



VARIASI PENGGUNAAN BAHAN BAKAR TERHADAP EFISIENSI BOILER *CIRCULATING FLUIDIZED BED* KAPASITAS 50 TON/JAM DI PT SOCI MAS

Nurul Izmi Br. Purba^a, Husin Ibrahim^{b*}, Faisal Fahmi Hasan^a, Angga Bahri Pratama^a, Nelson Manurung^c, Abdul Razak^a, Rina^d

^aProgram Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

^bProgram Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

^cProgram Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

^dProgram Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang, Jl. Kampus, Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat 25164, Indonesia

*Corresponding authors at: husinibrahim@polmed.ac.id Tel.: +62812-6489-456

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 2 April 2026

Direvisi pada 28 Juni 2026

Disetujui pada 29 Juni 2026

Tersedia daring pada 30 Juni 2026

Kata kunci:

Batubara; Boiler; Cangkang

Keywords:

Coal; Boiler; Shell

ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi dampak perbedaan rasio penggunaan bahan bakar batubara dan cangkang kelapa sawit terhadap kinerja efisiensi boiler *Circulating Fluidized Bed* (CFB) berkapasitas 50 ton/jam di PT SOCI MAS. Analisis dilakukan berdasarkan data aktual operasional dan pengukuran nilai kalor masing-masing campuran bahan bakar. Pengujian dilakukan pada empat komposisi rasio, yaitu 70:30, 60:40, 50:50, dan 100% batubara, yang dianalisis berdasarkan konsumsi bahan bakar, entalpi, serta uap yang dihasilkan. Hasil menunjukkan bahwa variasi rasio sangat memengaruhi efisiensi termal boiler. Komposisi 70% batubara dan 30% cangkang menghasilkan efisiensi tertinggi, yaitu 91,54%, sementara rasio 60:40 menghasilkan efisiensi terendah sebesar 76,39%. Selain nilai kalor, kestabilan suhu air umpan dan uap *superheated* juga berpengaruh signifikan terhadap performa boiler. Penelitian ini menyarankan bahwa pencampuran bahan bakar dapat menjadi solusi efisien dan ramah lingkungan jika dikendalikan dengan baik.

ABSTRACT

This study examines the impact of varying fuel composition—specifically the ratio between coal and palm kernel shell—on the efficiency performance of a 50-ton/hour *Circulating Fluidized Bed* (CFB) boiler at PT SOCI MAS. The analysis is based on real operational data and calorific values from multiple fuel mixing ratios: 70:30, 60:40, 50:50, and 100% coal. These ratios were evaluated using parameters such as fuel consumption, enthalpy, and generated steam output. Results indicate that fuel variation plays a crucial role in determining boiler efficiency. The highest efficiency, 91.54%, was achieved with a 70:30 ratio, while the lowest, 76.39%, occurred at a 60:40 mix. Aside from calorific value, fluctuations in feedwater and superheated steam temperatures significantly influenced the system's performance. The study concludes that strategic blending of fuels, if properly monitored, can enhance operational efficiency while supporting environmental sustainability.

1. PENGANTAR

Industri saat ini sedang mengejar kemajuan cepat. Perkembangan yang muncul tentu akan menyebabkan persaingan yang intens di antara perusahaan. Oleh karena itu, sangat perlu untuk memeriksa kinerja mesin untuk menghindari pemborosan energi. Salah satu mesin industri adalah boiler, yang perannya sangat penting. Boiler perusahaan ini adalah modal yang sangat penting bagi perusahaan. Jika masalah terjadi dengan sistem boiler, uap akan terganggu untuk mengurangi efisiensi boiler. Nilai kalori batubara mempengaruhi perubahan nilai efisiensi boiler semakin tinggi nilai kalori batubara, semakin tinggi efisiensi boiler dan berpengaruh terhadap kinerja boiler (Andi Erwin Ariyanto, 2023). Jumlah aliran udara aktual yang dibutuhkan untuk proses pembakaran mendekati nilai aliran udara teoritis akan meningkatkan nilai efisiensi pembakaran boiler (Restu Dwi Ari Zulfikar, 2024).

Circulating Fluidized Bed (CFB) merupakan salah satu sistem utilitas penting yang mendukung kelancaran proses produksi, serta tergolong dalam jenis boiler berdasarkan metode pembakarannya. Dalam sistem ini, bahan bakar padat seperti batubara dibakar

menggunakan teknik *fluidisasi*, yaitu pembakaran yang terjadi karena partikel bahan bakar tersuspensi dalam aliran udara bertekanan dari saluran masuk (*inlet air pressure*).

Efisiensi boiler dalam sistem ini dihitung berdasarkan seberapa besar panas dari pembakaran yang benar-benar dimanfaatkan untuk menghasilkan uap. Sebagai teknologi pembakaran yang efisien dan inovatif, CFB dirancang untuk mengoptimalkan konversi energi dari bahan bakar padat. Teknologi ini banyak diterapkan di sektor pembangkit listrik dan industri lainnya karena mampu mengolah beragam bahan bakar seperti batubara, biomassa, hingga limbah. Kebaharuan penelitian ini terletak pada analisis efisiensi termal Boiler CFB secara komprehensif. Berbeda dengan kajian sebelumnya yang umumnya menganalisis variabel-variabel tersebut secara terpisah, penelitian ini menyajikan model evaluasi efisiensi yang menghubungkan parameter nilai kalor bahan bakar, konsumsi bahan bakar, uap yang dihasilkan, dan variasi pemakaian bahan bakar. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi berupa pendekatan analitik yang lebih lengkap dalam upaya optimasi kinerja boiler CFB pada skala industri.

1.1 Boiler

Boiler, atau ketel uap, merupakan suatu bejana tertutup yang dirancang untuk mengonversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi termal guna memproduksi uap dari air. Salah satu jenisnya, yaitu Boiler *Circulating Fluidized Bed (CFB)*, unggul dalam hal fleksibilitas bahan bakar serta kemampuan menekan emisi polutan secara efisien dan ekonomis, sehingga teknologi ini banyak diadopsi dalam sektor pembangkit tenaga listrik. Boiler CFB mampu memproses batubara bermutu rendah dengan nilai kalor di bawah 4.000 kkal. Panas yang dilepaskan dari proses pembakaran batubara dibawa oleh gas hasil pembakaran yang mengalir mengelilingi tabung-tabung berisi air (*water-tube boiler*), sehingga air di dalamnya menyerap kalor tersebut dan bertransformasi menjadi uap bertekanan dan bertemperatur tinggi.

1.2 Efisiensi Boiler

Efisiensi termal boiler merupakan salah satu parameter kunci dalam menilai keberhasilan sistem produksi uap pada industri proses. Boiler yang beroperasi secara optimal mampu mengonversi energi kimia bahan bakar menjadi energi panas secara maksimal, sehingga menghasilkan uap dengan kebutuhan bahan bakar yang lebih hemat. Peningkatan efisiensi boiler berkontribusi langsung terhadap perbaikan kinerja sistem secara keseluruhan. Efisiensi pada dasarnya merupakan upaya untuk meminimalkan bahkan mengeliminasi pemborosan material maupun tenaga kerja yang berpotensi menimbulkan kerugian, sekaligus mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya secara tepat dan efektif. Perhitungan efisiensi boiler itu sendiri dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berkaitan, meliputi efisiensi bahan bakar, efisiensi pembakaran, efisiensi termal, hingga efisiensi biaya operasional, yang seluruhnya memiliki korelasi dan keterkaitan satu sama lain secara sistemik.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat Penelitian

PT SOCI MAS MEDAN salah satu perusahaan yang fokus pada industri oleokimia, atau industri yang mengolah minyak sawit menjadi bahan kimia seperti asam lemak (*fatty acid*) dan gliserin. Pada April tahun 2008 PT Smart Tbk mengakuisisi PT SOCI dan terhitung mulai tanggal 2 September 2010 perusahaan berganti nama menjadi PT SOCI MAS. Di bawah payung kelompok usaha Sinar Mas, PT SOCI MAS terus melakukan ekspansi untuk meningkatkan kapasitas produksi maupun memperluas variasi produk yang dihasilkan.



Gambar 1: Layout Administrasi PT SOCI MAS MEDAN

2.2 Alat dan Bahan

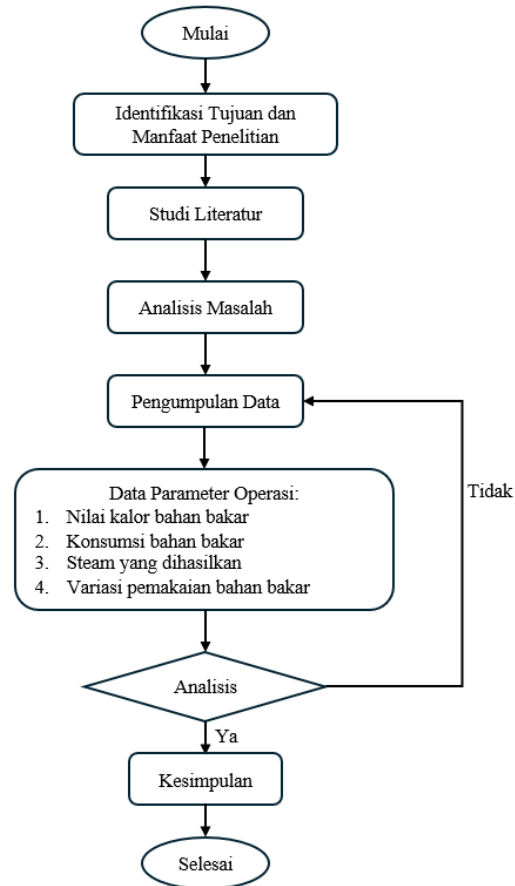
a. Alat pengujian

Alat yang digunakan untuk melakukan penelitian mengenai analisis efisiensi adalah Laptop dan kalkulator *scientific*.

b. Bahan Pengujian

Bahan yang digunakan selama proses penelitian ini yaitu data Q (jumlah produksi *steam*), h (entalpi dari *superheated steam*), h_f (entalpi air umpan), q (jumlah pemakaian bahan bakar), dan GCV (nilai kalor pembakaran tinggi). Semua data tersebut diperoleh dari *daily logbook* pada unit *Utility Power Plant* PT SOCI MAS MEDAN.

2.3 Flowchart



Gambar 2: Diagram alir (*flowchart*) proses pengolahan data

2.4 Data Spesifikasi Boiler CFB Kapasitas 50 ton/jam

Boiler merupakan wadah tertutup berbahan logam yang berfungsi untuk memanaskan air dan mengubahnya menjadi uap. Peran utama *boiler* adalah mengonversi air menjadi uap dengan tekanan dan temperatur tertentu, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai sumber energi atau tenaga. Uap (*steam*) sendiri adalah bentuk air dalam fase gas, yang dihasilkan melalui proses pemanasan hingga mencapai titik didih atau kondisi kritisnya.

Air yang digunakan sebagai bahan baku utama dalam boiler harus terlebih dahulu melalui tahapan pengolahan di sistem *water treatment*. Air yang masuk ke boiler harus memenuhi syarat tertentu, yaitu: bebas dari polutan, kotoran, dan sampah dari sumber air, tidak mengandung garam, ion, maupun mineral berlebih, steril dari bakteri, serta memiliki pH yang sesuai standar—tidak terlalu asam atau basa. Selain itu, air tersebut juga harus bebas dari kandungan oksigen yang dapat menyebabkan korosi pada sistem *boiler* (Lubis, 2024). *Boiler* di PT SOCI MAS digunakan untuk mensuplai *steam* yang akan diedarkan ke seluruh tahap produksi untuk menghasilkan produk. Jika uap yang dihasilkan boiler jumlahnya menurun maka akan terjadi gangguan pada produksi.



Gambar 3: Boiler CFB Kapasitas 50 ton/jam

Tabel 1: Spesifikasi Boiler CFB

Data	Spesifikasi
Model	UG—50/5.3M <i>Sub High Temperature and High Pressure CFB Boiler</i>
Tekanan Uap	53 Bar
Kapasitas Produksi Uap	50 ton/ jam
Temp. Superheated Steam	630°C
Temp. Air Umpan	106°C
Temp. Gas Buang	400°C

2.5 Data Spesifikasi Batubara PT. SOCI MAS Medan

Menurut ASTM (*American Standard for Testing and Materials*) ada beberapa jenis batubara yakni:

1. Gambut, ialah fase awal terbentuknya batubara dan mempunyai kadar air di atas 75% dan nilai kalori yang paling rendah.
2. Lignit, memiliki nilai kalor yang rendah dan kandungan airnya berkisar 35-75% dari beratnya, jenis ini banyak digunakan sebagai bahan bakar PLTU namun tidak efisien ditransportasikan ke tempat yang jauh karena kandungan airnya yang tinggi
3. Sub-bituminus, dengan ciri-ciri fisik yang berwarna coklat gelap cenderung hitam mempunyai 60-80% karbon serta kandungan air yang masih banyak, sebab itu menjadi sumber panas yang kurang efisien dibanding dengan bituminus.
4. Bituminus, berwarna mayoritas kehitaman dengan kandungan 68-86% karbon dan 8-10% air dari beratnya, sering digunakan sebagai bahan bakar di PLTU.
5. Antrasit merupakan batubara dengan jenis yang paling baik, berstruktur keras, gelap, dan berwarna hitam. Saat dibakar, batubara jenis ini akan terlihat seperti warna biru, jenis yang sangat sering digunakan oleh industri yang butuh temperature tinggi, dengan kandungan antara lain 86-98% karbon (C) serta kadar air di bawah 8%, pada PLTU sering dikategorikan dalam jenis *High Grade* atau *Ultra High Grade*.

Berdasarkan parameternya kualitas batubara terdiri dari:

1. *Moisture*, yaitu jumlah kandungan air baik kondisi bawaan ataupun pengaruh dari kondisi luar, bergantung iklim ataupun butiran air.
2. *Ash content*, yaitu sisa zat organik dalam batubara setelah pembakaran, abu ini biasanya dari pengotor bawaan dalam proses pembentukan batubara.
3. *Volatile matter*, yaitu zat aktif penghasil energi panas saat pembakaran, dalam batubara zat terbang yang tinggi cenderung mempercepat proses pembakaran, sedangkan zat terbang rendah sulit dalam proses pembakaran.
4. *Fixed Carbon*, yaitu karbon yang tertinggal setelah kandungan air dan zat terbang hilang, jumlah karbon akan meningkat, sehingga semakin tinggi nilai karbonnya semakin bagus batubaranya.
5. *Caloricific value* (nilai kalor) merupakan energi pada proses pembakaran batubara akibat adanya reaksi hidro karbon dan oksigen. *Gross Caloricific Value* (GCV) yaitu nilai kalor kotor atau nilai dari hasil pembakaran batubara dengan semua air yang hitungannya diambil dalam wujud gas. *Net Caloricific Value* (NCV) adalah nilai kalor bersih hasil pembakaran batubara.
6. *Sulfur Content*, yaitu kandungan sulfur ketika pembakaran, jika kandungannya tinggi maka batubara semakin tidak layak untuk dibakar.

Tabel 2: Data operasi unit PLTG tanggal 21 September 2022

No	Data	Proximate Analysis	Nilai
1.	Ash		9,94%
2.	Moisture		29,1%
3.	GCV		4160

Sumber: PT. SOCIMAS Medan, 2024

Tabel 3: Spesifikasi Cangkang Kelapa Sawit PT. SOCI MAS Medan

No	Data	Proximate Analysis	Nilai
1.	Ash		11,88%
2.	Moisture		26,22%
3.	GCV		3106

Sumber: PT. SOCI MAS Medan, 2024

Tabel 4: Hasil GCV Bahan Bakar melalui *Sampling Point*

No	Tanggal	Rasio	Batubara	Cangkang	GCV
			Kalori (kcal/kg)	Kalori (kcal/kg)	Kalori (kcal/kg)
1.	25 Mei 2025	70:30	4189	2880	3796
2.	18 Juni 2025	50:50	4496	2910	3703
3.	20 Juni 2025	60:40	4582	3153	4010
4.	25 Juni 2025	100:0	4326	0	4362

Sumber: PT. SOCI MAS Medan

2.6 Data dari Unit Utility Power Plant

Tabel 5: Data Hasil Rata-rata *Logbook Power Plant*

No	Tanggal	Main Steam			Main Feed Water		
		Flow (ton/jam)	Pressure (MPa)	Temp. °C	Flow (ton/jam)	Pressure (MPa)	Temp. °C
1.	25 Mei 2025	21,42	5,06	417	20,95	5,45	103,6
2.	18 Juni 2025	17,72	5,16	401,83	19,08	5,50	88,25
3.	20 Juni 2025	18,56	5,15	403,91	20,64	5,50	91
4.	25 Juni 2025	28,3	5,12	434,41	29,25	5,64	93,24

Sumber: PT. SOCI MAS Medan, 2025

Tabel 6: Akumulasi Konsumsi Bahan Bakar Seluruh *Shift* dalam Satu Hari

No	Tanggal	Subtotal Konsumsi Bahan Bakar dalam 3 <i>Shift</i> (ton)	Rata-rata (ton/jam)
1.	25 Mei 2025	99,06	4,13
2.	18 Juni 2025	96,19	4,01
3.	20 Juni 2025	98,18	4,09
4.	25 Juni 2025	135,25	5,63

Sumber: PT. SOCI MAS Medan, 2025

Proses pembakaran terdiri dari dua jenis yaitu pembakaran sempurna (*complete combustion*) dan pembakaran tidak sempurna (*incomplete combustion*). Pembakaran sempurna terjadi apabila seluruh unsur C yang bereaksi dengan oksigen hanya akan menghasilkan CO₂, seluruh unsur H menghasilkan H₂O dan seluruh S menghasilkan SO₂. Sedangkan pembakaran tak sempurna terjadi apabila seluruh unsur C yang dikandung dalam bahan bakar bereaksi dengan oksigen dan gas yang dihasilkan tidak seluruhnya CO₂. Keberadaan CO pada hasil pembakaran menunjukkan bahwa pembakaran berlangsung secara tidak lengkap.

Jumlah energi yang dilepaskan pada proses pembakaran dinyatakan sebagai entalpi pembakaran yang merupakan beda entalpi antara produk dan reaktan dari proses pembakaran sempurna. Entalpi pembakaran ini dapat dinyatakan sebagai *Higher Heating Value* (HHV) atau *Lower Heating Value* (LHV). HHV diperoleh ketika seluruh air hasil pembakaran dalam wujud cair sedangkan LHV diperoleh ketika seluruh air hasil pembakaran dalam bentuk uap.

HHV dan LHV adalah notasi *theoretical*, hanya dipakai untuk indikasi dan tidak menunjukkan kondisi yang sebenarnya dalam praktek. Alasannya bahan bakar dan gas hasil pembakaran tidak pernah berada pada temperatur yang sama sesuai asumsi yang dipakai untuk perhitungan HHV dan LHV. Dalam praktek, energi yang bisa kita peroleh dari pembakaran bahan bakar akan selalu lebih kecil dari HHV atau LHV, karena ada energi dalam bentuk panas yang dibawa pergi oleh gas hasil pembakaran. Itulah sebabnya efisiensi semua mesin konversi energi (*steam power plant, internal combustion engine, gas turbine*) tidak pernah bisa 100%. Maka, HHV dan LHV sama sekali tidak ada hubungannya dengan fase dari bahan bakarnya, baik bahan bakar padat maupun cair, sama-sama punya HHV dan LHV. Pembakaran itu proses eksotermis, jadi tidak mengambil panas (energi) dari lingkungan justru memberikan panas ke lingkungan. Sebenarnya yang bisa dibakar itu adalah fase gas, jika ada bahan bakar cair, maka harus terbentuk cukup uap di atas permukaannya supaya bisa memulai pembakaran. Kalau dimulai dari temperatur *ambient*, untuk bahan bakar cair tertentu, misalnya diesel *oil*, harus diberikan suhu yang cukup supaya tekanan uapnya cukup tinggi untuk membentuk fase uap yang bisa dibakar (dari sinilah muncul istilah *flash point*). Tapi ketika sudah dibakar, panas dari pembakaran akan selalu menyediakan energi yang cukup untuk menghasilkan fase uap yang siap untuk dibakar.

Perhitungan efisiensi *boiler* ini menggunakan metode langsung, metode ini kerap juga disebut metode *input-output*, sebab metode ini memerlukan keluaran (*output steam*) dan panas masuk (*input*) atau panas yang dihasilkan bahan bakar. Dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\eta_{boiler} = \frac{\text{panas masuk}}{\text{panas keluar}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\eta_{boiler} = \frac{Q(h-h_f)}{q \cdot GCV} \times 100\% \quad (2)$$

yang mana:

- Q : jumlah produksi *steam* (kg/jam)
- h : entalpi *superheated steam* (kcal/kg)
- h_f : entalpi air umpan (kcal/kg)
- q : jumlah pemakaian bahan bakar (kg/jam)
- GCV : nilai kalor pembakaran tinggi (kcal/kg)

2.7 Data hasil Konversi Uap Superheated dan Saturated

Tabel 7: Konversi Entalpi *Superheated* kJ/kg ke kcal/kg

No	Tanggal	Temp. Main Steam (<i>Superheated</i>) (°C)	Tekanan (MPa)	Entalpi Temp. Main Steam (h) (kJ/kg)	Entalpi Temp. Main Steam (h) (kcal/kg)
1.	25 Mei 2025	417	5,06	3237,6	773,8
2.	18 Juni 2025	401,83	5,16	3201,11	765,1
3.	20 Juni 2025	403,91	5,15	3206,12	766,2
4.	25 Juni 2025	434,41	5,12	3279,6	783,8

Sumber: *Steam Table* pada Tabel A-6

Tabel 8: Konversi Entalpi *Saturated* KJ/Kg ke Kcal/Kg

No	Tanggal	Temp. Main Feed Water (<i>Saturated</i>) (°C)	Tekanan (MPa)	Entalpi Temp. Main Feed Water (hf) (kJ/kg)	Entalpi Temp. Main Feed Water (hf) (kcal/kg)
1.	25 Mei 2025	103,6	5,45	434,3	103,8
2.	18 Juni 2025	88,25	5,50	369,68	88,35
3.	20 Juni 2025	91	5,50	381,25	91,12
4.	25 Juni 2025	93,25	5,64	390,72	93,38

Sumber: *Steam Table* pada Tabel A-4

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Nilai Gross Caloric Value Bahan Bakar

Perhitungan efisiensi variansi bahan bakar PT. SOCI MAS Medan diambil berdasarkan persenan jumlah bahan bakar yang akan dianalisis. Proses ini mengambil sampel data dengan perbandingan 70:30, 60:40, 50:50, dan 100% dalam 24 jam per-hari selama 4 hari tidak berurut yakni 25 Mei 2025 18 Juni 2025, 20 Juni 2025, dan 25 Juni 2025.

1. Hari ke-1 pada tanggal 25 Mei 2025 dengan variasi rasio batubara sebanyak 70% dan cangkang kelapa sawit 30%

$$\begin{aligned} \text{Batubara: } 70\% \times 4189 \text{ kcal/kg} &= 2932 \text{ kcal/kg} \\ \text{Cangkang: } 30\% \times 2880 \text{ kcal/kg} &= 864 \text{ kcal/kg} \\ 2932,3 \text{ kcal/kg} + 864 \text{ kcal/kg} &= 3796 \text{ kcal. Maka, GCV yang dihasilkan } 3796 \text{ kcal/kg.} \end{aligned}$$

2. Hari ke-2 pada tanggal 18 Juni 2025 dengan variasi rasio batubara sebanyak 50% dan cangkang kelapa sawit 50%,

$$\begin{aligned} \text{Batubara: } 50\% \times 4496 \text{ kcal/kg} &= 2248 \text{ kcal/kg} \\ \text{Cangkang: } 50\% \times 2910 \text{ kcal/kg} &= 1455 \text{ kcal/kg} \\ 2248 \text{ kcal/kg} + 1455 \text{ kcal/kg} &= 3703 \text{ kcal. Maka, GCV yang dihasilkan } 3703 \text{ kcal/kg.} \end{aligned}$$

3. Hari ke-3 pada tanggal 20 Juni 2025 dengan variasi rasio batubara sebanyak 60% dan cangkang kelapa sawit 40%

$$\begin{aligned} \text{Batubara: } 60\% \times 4582 \text{ kcal/kg} &= 2749,2 \text{ kcal/kg} \\ \text{Cangkang: } 40\% \times 3153 \text{ kcal/kg} &= 1261,2 \text{ kcal/kg} \\ 2749,2 \text{ kcal/kg} + 1261,2 \text{ kcal/kg} &= 4010,4 \text{ kcal. Maka, GCV yang dihasilkan } 4010,4 \text{ kcal/kg.} \end{aligned}$$

4. Hari ke-4 pada tanggal 25 Juni 2025 dengan rasio batubara sebanyak 100%

$$\text{Batubara: } 100\% \times 4326 \text{ kcal/kg} = 4326 \text{ kcal/kg. Maka, GCV yang dihasilkan } 4326 \text{ kcal/kg}$$

3.2 Hasil Perhitungan Efisiensi pada Variasi

Adapun hasil perhitungan efisiensi boiler adalah sebagai berikut:

1) Efisiensi pada tanggal 25 Mei 2025 dengan variasi rasio batubara 70% dan cangkang 30% adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{boiler}} &= \frac{Q (hg-hf)}{q \cdot \text{GCV}} \times 100\% \\ \eta_{\text{boiler}} &= \frac{21420 (773,8-103,8)}{4130 \times 3796} \times 100\% = 91,54\% \end{aligned}$$

2) Efisiensi pada tanggal 18 Juni 2025 dengan variasi rasio batubara 50% dan cangkang 50% adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{boiler}} &= \frac{Q (hg-hf)}{q \cdot \text{GCV}} \times 100\% \\ \eta_{\text{boiler}} &= \frac{17720 (765,1-88,3)}{4010 \times 3703} \times 100\% = 80,76\% \end{aligned}$$

3) Efisiensi pada tanggal 20 Juni 2025 dengan variasi rasio batubara 60% dan cangkang 40% adalah sebagai berikut:

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{Q (hg-hf)}{q \cdot \text{GCV}} \times 100\%$$

$$\eta_{boiler} = \frac{18560 (766,2-91,1)}{4090 \times 4010} \times 100\% = 76,39\%$$

4) Efisiensi pada tanggal 25 Juni 2025 dengan variasi rasio batubara 100% adalah sebagai berikut:

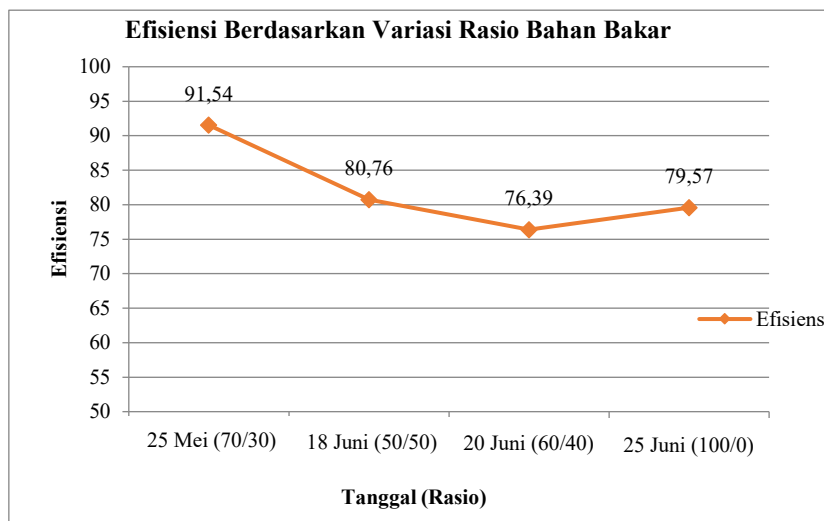
$$\eta_{boiler} = \frac{Q (hg-hf)}{q \cdot GCV} \times 100\%$$

$$\eta_{boiler} = \frac{28300 (783,8-93,3)}{5630 \times 4362} \times 100\% = 79,57\%$$

Tabel 9: Hasil Perhitungan Efisiensi Pada Berbagai Variasi

No	Tanggal	Rasio	GCV	Efisiensi
1.	25 Mei 2025	70:30	3796	91,54%
2.	18 Juni 2025	50:50	3703	80,76%
3.	20 Juni 2025	60:40	4010	76,39%
4.	25 Juni 2025	100:0	4362	79,57%

3.3 Grafik Perbandingan Efisiensi Berdasarkan Variasi Rasio Bahan Bakar



Gambar 4: Perbandingan Efisiensi Berdasarkan Tanggal dan Rasio

Dari grafik tersebut dapat kita lihat bahwa variasi bahan bakar sangat berpengaruh pada efisiensi. Pada saat variasi jumlah cangkang bertambah maka efisiensi juga berkurang, namun pada variasi 70:30 terlihat efisiensi optimal.

Hal tersebut tidak luput dari jumlah uap yang dihasilkan per jam. Hal ini terjadi karena pengaruh dari *flow steam* yang nilainya selalu berubah dan dipengaruhi bahan bakar yang digunakan selalu meningkat sehingga *boiler* beroperasi kurang optimal. Penyebab terjadinya perbedaan nilai efisiensi *thermal* ini adalah dipengaruhi oleh temperatur air umpan yang berbeda tiap jamnya dan temperatur oleh *superheater* juga cenderung berbeda.

4. KESIMPULAN

Komposisi campuran batubara dan cangkang kelapa sawit terbukti memberikan dampak nyata terhadap efisiensi *boiler*. Semakin tinggi proporsi batubara yang digunakan, maka nilai efisiensinya cenderung meningkat. Hasil paling optimal ditemukan pada pemakaian batubara 70% dan cangkang 30% yang menghasilkan efisiensi sebesar 91,54%, sedangkan nilai terendah tercatat saat komposisi batubara hanya 60% dan cangkang 40% dengan efisiensi 76,39%. Fluktuasi pada parameter operasi seperti suhu air umpan dan temperatur uap *superheated* ikut memengaruhi kestabilan efisiensi. Variasi kecil pada parameter ini dapat berdampak besar terhadap hasil pembakaran, sehingga perlu pengawasan yang lebih ketat. Nilai kalor bahan bakar memainkan peran penting dalam efisiensi sistem. Semakin tinggi *Gross Caloric Value* (GCV), maka energi panas yang dihasilkan dari pembakaran juga meningkat, yang berkontribusi langsung terhadap performa *boiler*. Nilai GCV tertinggi tercatat pada rasio 100% batubara sebesar 4326 kcal/kg. Serta, rasio 70% batubara dan 30% cangkang kelapa sawit menunjukkan efisiensi yang cukup tinggi (91,54%), dengan penggunaan batubara yang lebih sedikit dibanding rasio 100% batubara menawarkan efisiensi biaya dan potensi pengurangan dampak lingkungan dibanding penggunaan batubara secara penuh

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan rasa syukur karena berkat dan rahmat Yang Maha Kuasa, penulis dapat menyelesaikan jurnal ini, serta terima kasih untuk pihak-pihak yang telah memberi masukan dan dukungan atas penelitian ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat dianggap mempengaruhi hasil atau pembahasan dalam artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amna, S., Wahyuningsi, A., & Putra, A. (2023). ANALISIS EFISIENSI BOILER TIPE CIRCULATING FLUIDIZED BED (CFB) DENGAN METODE LANGSUNG DI PT XY. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 101-105.
- Ariyanto, A. E., & Soekardi, C. (2023). Analisis Pengaruh Nilai Kalori Batubara Terhadap Efisiensi Boiler dan Konsumsi Bahan Bakar Unit 1 PLTU Merak Energi Indonesia. *Jurnal Teknik Mesin*, 216.
- Efendi, S. R. (2021). Analisis Pengaruh Unjuk Kerja Air Priheater Terhadap Efisiensi Boiler. *Universitas Medan Area*, 7.
- Habibuddin, M., Anshar, M., & Firman. (2024). Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Direct dan Indirect pada PLTU Jeneponto 2×135 MW. *jurnal.poliupg.ac.id*, 147.
- Hafiz, M. I. (2019). Perhitungan Efisiensi Boiler pada Berbagai Temperatur Gas Buang Boiler di PT. SOCIMAS MEDAN. *Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan*, 6-7.
- Juliyanti, A. (2023). ANALISA PERBANDINGAN PENGGUNAAN BAHAN BAKAR (FIBER& SHELL) DAN AIR PADA BOILER ADVANCE30 TON PT. CITRA SAWIT LESTARI. *UPT. Perpustakaan Universitas Borneo Tarakan*, 5-7.
- Kobe, . K., & R. E. Lynn, J. (1953). *Chemical Review* 52. 117-236.
- Lubis, D. P. (2024). ANALISIS VARIASI RASIO CO-FIRING BATUBARA DAN SAWDUST (SERBUK GERGAJI) TERHADAP PERFORMA PLTU PANGKALAN SUSU . *SINERGI POLMED : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4-9.
- Putra, N. (2025, Juni 2). Retrieved Juni 20, 2025, from tempo.co.
- Sertifikasi, M. (2024, November 22). <https://mysertifikasi.com/pengenalan-tentang-ppp-dan-penggunaan-yang-tepat/>. Retrieved June 19, 2025, from mysertifikasi.com.
- Utomo, M. T., Yohana, E., & Halim, R. (2022). Analisis Hidrodinamika Di Dalam Circulating Fluidized Bed Boiler Berdasarkan Perubahan Waktu Menggunakan CFD. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*, 302.