

Studi Analisis Perubahan Nilai Kalor Batu Bara Terhadap Efisiensi Boiler di PLTU Nii Tanasa

Islah Witri Halik^{*1}, Faisal Habib², Sungkono³

¹ Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

^{2,3} Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

* Penulis Korespondensi.

J-MOVE
JURNAL TEKNIK MESIN



Riwayat Artikel

Diterima: 04 November 2025

Selesai Revisi: 11 Juli 2026

Disetujui: 11 Juli 2026

Tersedia daring: 31 Agustus 2026

Alamat E-mail

¹ islahhalik@gmail.com

² faizal.habib@umi.ac.id

³ sungkono@umi.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan nilai kalor batu bara terhadap efisiensi boiler di PLTU Nii Tanasa. Metode penelitian dilakukan dengan pengambilan data primer dan sekunder dari proses operasi boiler menggunakan tiga variasi nilai kalor batu bara, yaitu 4003 kcal/kg, 4159 kcal/kg, dan 4185 kcal/kg. Perhitungan dilakukan melalui neraca energi untuk menentukan nilai kalor bahan bakar, panas berguna, panas gas buang, dan efisiensi termal boiler. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kalor batu bara, semakin tinggi pula efisiensi boiler yang dihasilkan. Efisiensi meningkat dari 88,02% pada GCV 4003 kcal/kg menjadi 89,1% pada GCV 4185 kcal/kg. Kehilangan energi terbesar terjadi pada gas buang dan radiasi panas. Dengan demikian, kualitas batu bara dan pengendalian sistem udara pembakaran berpengaruh signifikan terhadap efisiensi boiler.

Kata kunci: efisiensi boiler, nilai kalor batu bara.

Abstract

This study aims to analyze the effect of changes in the calorific value of coal on boiler efficiency at the Nii Tanasa Power Plant. The research method involved collecting primary and secondary data from the boiler operation process using three variations of coal calorific values: 4003 kcal/kg, 4159 kcal/kg, and 4185 kcal/kg. The calculation is done through an energy balance to determine the calorific value of the fuel, useful heat, exhaust gas heat, and thermal efficiency of the boiler. The results of the study show that the higher the calorific value of coal, the higher the efficiency of the boiler produced. Efficiency increased from 88.02% at GCV 4003 kcal/kg to 89.1% at GCV 4185 kcal/kg. The greatest energy loss occurs in exhaust gases and heat radiation. Thus, the quality of coal and the control of the combustion air system have a significant effect on boiler efficiency.

Keywords: boiler efficiency, the caloric value of coal.

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau PLTU adalah pembangkit yang menggunakan energi kinetik uap untuk menghasilkan energi listrik. PLTU sering digunakan karena memiliki biaya produksi yang rendah dan menyediakan listrik dalam jumlah besar (Sandi, 2022). Generator yang digabungkan dengan turbin yang ditenagai oleh energi kinetik dari uap panas atau uap kering adalah jenis pembangkit listrik yang paling umum. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar, salah satunya yang paling utama adalah batu bara (Putra et al., 2021).

PLTU Nii Tanasa merupakan PLTU yang menggunakan batu bara untuk produksi listriknya. PLTU Nii Tanasa menggunakan boiler model water tube pulverizer untuk menghasilkan steam atau air panas, memiliki prinsip kerja membuang bahan bakar ke dalam tungku berjalan, sehingga saat berada di atas grate, bahan bakar dapat terbakar dan memanaskan tabung dalam

ruang bakar boiler dengan bahan bakar berupa batubara kelas Low Rank (LRC) sampai dengan High Rank (HRC)

Pembakaran batu bara membutuhkan tiga unsur: bahan bakar, udara (oksigen), dan sumber panas. Ketika ketiganya hadir dalam jumlah tertentu maka terjadi proses oksidasi terjadi. Jadi, nilai kalor bahan bakar yang memadai diperlukan untuk mencapai nilai kalor pembakaran yang optimal (Daud et al., 2020). Efisiensi boiler sangat penting untuk mengurangi biaya bahan bakar. Boiler yang tidak efisien membutuhkan banyak bahan bakar karena terus beroperasi (Putra et al., 2021).

Produsen manufaktur membuat desain boiler berdasarkan standar nilai kalor batubara regional di daerah tersebut. Unit pembangkit menggunakan desain boiler untuk low rank coal (LRC) dan batubara peringkat menengah (MRC), dan untuk mendapatkan high heating value (HHV) terbaik digunakan campuran kedua jenis batubara tersebut. (pencampuran batubara). Nilai pembakaran (HHV) dianggap optimal dan efektif jika sama atau mendekati nilai yang ditentukan oleh produsen

boiler (Iqbal et al., 2019) Pembakaran batubara yang tidak tepat pada sistem PLTU dapat mengakibatkan terciptanya slag pada boiler yang disebut juga dengan slagging yang dapat menurunkan efisiensi kinerja boiler. Akibat proses pembakaran batubara, slagging adalah melekatnya partikel abu batubara padat dan cair pada permukaan dinding penghantar panas pada temperatur ekstrim zona gas pembakaran (Sianipar et al., 2019). Selanjutnya batubara yang digunakan oleh PLTU Nii Tanasa terkadang memiliki masalah kualitas, seperti bahan lain yang tercampur ke dalam batu bara, contohnya besi kecil. Bahkan dalam volume sedang, hal ini dapat berdampak signifikan pada efisiensi pengoperasian boiler.

Komposisi dan nilai kalor batubara juga berdampak signifikan terhadap efisiensi boiler. Energi yang dihasilkan oleh pembakaran batubara bervariasi dengan karakteristik seperti faktor nilai kalori variabel, sehingga efisiensi boiler dipengaruhi oleh nilai kalor batubara yang digunakan (Sianipar et al., 2019). Sehingga dalam pemanfaatan batu bara sebagai bahan bakar harus dilakukan studi yang memadai untuk memaksimalkan efisiensi boiler dan meminimalkan kerugian akibat masalah dalam proses pembakaran batu bara.

Berdasarkan uraian diatas, dengan adanya nilai kalor batu bara yang tidak konstan yang dapat berpengaruh terhadap efisiensi boiler maka penulis mencoba melakukan penelitian dengan judul “Studi Analisis Perubahan Nilai Kalor Batu Bara Terhadap efisiensi Boiler di PLTU Nii Tanasa”. Pada penelitian ini akan dianalisis apakah terdapat perbedaan yang signifikan terhadap nilai efisiensi boiler berdasarkan nilai kalor batu bara yang digunakan.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Gambar 2.2 dibawah ini merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Nii Tanasa dengan kapasitas 20 MW yang berlokasi di Kecamatan Soropia, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara.



Gambar 2. 1 PLTU Nii Tanasa

PLTU Nii Tanasa, yang berlokasi di Desa Nii Tanasa, Kecamatan Soropia, Kabupaten Konawe, Kendari - Sulawesi Tenggara, adalah pembangkit listrik tenaga uap yang memiliki sejarah penting dalam penyediaan energi listrik di wilayah tersebut. Pembangkit ini, dengan kapasitas 2x10 MW, mulai beroperasi pada tahun 2011 sebagai bagian dari proyek 10.000 MW tahap I dan menjadi proyek pertama di luar Jawa yang mulai beroperasi pada tahap pengujian.

Jenis sumber energi khusus yang mengubah energi kinetik uap menjadi energi listrik adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Sumber energi utama sistem adalah bahan bakar yang dibutuhkan untuk membuat uap,

dan sumber energi sekundernya adalah uap. Struktur dasar pembangkit listrik jenis ini terdiri dari generator dan turbin yang ditenagai oleh energi kinetik uap panas dan kering. Bahan bakar cair dan bahan bakar padat adalah dua bentuk bahan bakar yang paling umum digunakan di pembangkit listrik (Martua, 2020).

2.2. Pengertian Batubara Secara Umum

Batubara yaitu bahan bakar fosil yang dihasilkan dari tumbuh-tumbuhan yang mengalami perubahan kimia jangka panjang (puluhan hingga ratusan juta tahun) di cekungan sedimen akibat tekanan dan suhu tinggi. Batubara adalah sedimen organik yang mudah terbakar. Residu tanaman dapat ditemukan pada kayu, lumut, ganggang, daun mati, dan bahan organik lainnya. Batubara terbuat dari senyawa anorganik yang berasal dari tanah liat, batu kapur, pasir kuarsa, serta mineral lain selain molekul organik. Karena tekanan mikroba, yang dipengaruhi oleh kejadian geologi, fisik, serta kimia. Pada akhirnya, setiap jejak tanaman ini akan ditumbuk, dibubarkan, dikumpulkan, digabungkan dengan benda lain, dan menghilang (Riana, 2020).

Batubara adalah sisa-sisa tanaman purba yang terdistorsi yang pertama kali berkumpul di lahan gambut dan lahan basah. Karena penumpukan lanau dan sedimen lainnya, serta perubahan kerak bumi, gambut serta rawa secara teratur terkubur hingga sangat dalam. Selama proses ini, bahan tanaman terkena tekanan dan suhu tinggi. Suhu dan tekanan yang ekstrim menyebabkan tanaman ini mengalami perubahan fisik dan kimiawi, mula-mula berubah menjadi gambut dan kemudian batubara (Martua, 2020).



Gambar 2. 2 Sample Batu Bara

2.3. Boiler Secara Umum

Boiler adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang terbuat dari baja dan digunakan untuk menghasilkan uap (steam). Steam diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Pada umumnya boiler memakai bahan bakar cair (residu, solar), padat (batu bara), atau gas. Air di dalam boiler dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap. (Sugiharto, 2020).

Konsep mendasar dalam boiler adalah proses pembakaran, yang melibatkan reaksi kimia sesaat antara oksigen dan bahan yang mudah terbakar untuk menghasilkan panas. 100% energi potensial bahan bakar dapat diubah dalam proses pembakaran yang sempurna. Pembakaran total dengan efisiensi 100% sebenarnya sangat sulit dicapai karena adanya loss pada mesin pendukung. Jenis boiler secara umum dibagi menjadi dua,

diantaranya yaitu: water tube boiler dan fire tube boiler (Shahab dan Amna, 2023).

a) Boiler

Boiler adalah suatu kombinasi antara sistem-sistem peralatan yang dipakai untuk terjadinya perpindahan panas radiasi dan konveksi energi termal gas-gas hasil pembakaran ke fluida kerja yaitu air. Sifat perpindahan panas yang terjadi adalah pertama perpindahan sub dingin dimana panas yang diterima digunakan untuk menaikkan temperatur hingga mencapai temperatur cair jenuh. Kemudian mengalami proses kedua yaitu pendidihan dengan konveksi paksa, dimana terjadi proses boiling (Shah, 2023). Fluida kerja air secara bertahap menjadi fluida uap dan akhirnya menjadi uap jenuh. Pada tahap kedua ini tidak terjadi kenaikan temperatur. Panas yang diterima seluruhnya digunakan untuk terjadi perubahan fase. Apabila diperlukan, pemanasan dapat dilanjutkan dari uap jenuh menjadi uap super panas. Parameter kinerja boiler, seperti efisiensi dan rasio penguapan, berkurang terhadap waktu disebabkan buruknya pembakaran, kotornya permukaan penukar panas dan buruknya operasi dan pemeliharaan. Bahkan untuk boiler yang baru sekalipun, alasan seperti buruknya kualitas bahan bakar dan kualitas air dapat mengakibatkan buruknya kinerja boiler. Neraca panas dapat membantu dalam mengidentifikasi kehilangan panas yang dapat atau tidak dapat dihindari.

b) Prinsip Kerja Boiler Water Tube (Pipa Air)

Prinsip kerja boiler water tube adalah memanaskan air yang mengalir di dalam pipa (water tube) dengan panas dari gas buang hasil pembakaran. Panas ini memanaskan air hingga mendidih dan berubah menjadi uap, yang kemudian dikumpulkan dalam steam drum untuk digunakan.

Di dalam PLTU, boiler water tube berperan sebagai jantung sistem pembangkit uap. Fungsinya adalah untuk mengubah air menjadi uap bertekanan tinggi dengan memanfaatkan panas dari pembakaran batubara atau bahan bakar lain. Uap ini nantinya digunakan untuk menggerakkan turbin uap, yang memutar generator menghasilkan listrik. Berikut adalah langkah-langkah prinsip kerja boiler water tube:

- Pembakaran: Bahan bakar dibakar di dalam tungku boiler, menghasilkan gas buang panas.
- Perpindahan Panas: Gas buang panas ini kemudian mengalir di sekitar pipa-pipa air (water tube) yang ada di dalam boiler.
- Pemanasan Air: Panas dari gas buang ditransfer ke air yang ada di dalam pipa, menyebabkan air mendidih dan berubah menjadi uap.
- Pemisahan Uap: Uap yang terbentuk kemudian dipisahkan dari air di dalam steam drum.
- Penyaluran Uap: Uap yang telah dipisahkan siap digunakan untuk berbagai keperluan, seperti pembangkitan listrik, pemanasan, atau proses industri.

Perbedaan dengan Fire Tube Boiler: Berbeda dengan fire tube boiler di mana gas panas melewati pipa-pipa dan air mengelilinginya, pada water tube boiler, air berada di dalam pipa dan gas panas mengelilinginya (Alaw & Sulaiman, 2020).

2.4. Efisiensi Boiler

Rumus Efisiensi Boiler:

$$\eta_{boiler} = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

Contoh perhitungan:

$$\eta_{boiler} = \frac{40}{50} \times 100\% = 80\%$$

Keterangan:

η_{boiler} : Efisiensi boiler (%)
 Q_{out} : Panas keluar berguna (Watt)
 Q_{in} : Panas masuk (Watt)

Langkah perhitungan:

- a) Mencari nilai Q_{out} dengan persamaan berikut:

$$Q_{out} = \dot{m}_s \times \Delta h \quad (2)$$

Dimana:

$\dot{m}_s$: laju aliran uap (kg/s)
 Δh : perubahan enthalpy

Mencari nilai Q_{in} dengan persamaan:

$$Q_{in} = \dot{m}_{bb} \times CGV \quad (3)$$

Dimana:

$\dot{m}_{bb}$: laju aliran massa batubara (kg/s)
 CGV : *Gross Calorific Value*/nilai kalor batubara

2.5. Kerugian Boiler

Kerugian (losses) pada boiler water tube dapat sangat merugikan, terutama dalam hal efisiensi dan biaya operasional. Kerusakan pada tube boiler, seperti kebocoran atau korosi, dapat menyebabkan kehilangan panas, penurunan produksi, dan bahkan menyebabkan downtime yang signifikan.

Penyebab Kerugian pada Boiler Water Tube:

- a) Kebocoran

Kebocoran pada tube boiler dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk korosi, erosi, dan kerusakan akibat tekanan tinggi. Kebocoran ini menyebabkan hilangnya air panas dan uap, yang mengurangi efisiensi boiler dan meningkatkan biaya operasional.

- b) Korosi

Korosi pada tube boiler dapat disebabkan oleh kualitas air yang buruk, suhu tinggi, dan kondisi operasi yang tidak tepat. Korosi dapat menyebabkan kebocoran dan kerusakan pada tube, yang mengakibatkan penurunan efisiensi dan biaya perbaikan yang tinggi.

- c) Erosi

Erosi pada tube boiler dapat disebabkan oleh aliran fluida yang tinggi atau adanya partikel abrasif dalam air. Erosi dapat menyebabkan penipisan dinding tube dan akhirnya menyebabkan kebocoran.

- d) Kualitas Air yang Buruk

Kualitas air yang buruk, seperti kandungan oksigen terlarut yang tinggi atau adanya partikel tersuspensi, dapat menyebabkan korosi dan pembentukan kerak pada tube boiler. Hal ini dapat mengurangi efisiensi perpindahan

panas dan meningkatkan risiko kerusakan.

e) Kelebihan Tekanan

Tekanan yang berlebihan pada boiler dapat menyebabkan kerusakan pada tube boiler, terutama jika boiler tidak dirancang untuk menahan tekanan tinggi. Hal ini dapat menyebabkan kebocoran atau bahkan ledakan.

f) Kelebihan Suhu

Suhu yang terlalu tinggi pada boiler juga dapat menyebabkan kerusakan pada tube boiler. Suhu yang tinggi dapat menyebabkan korosi dan deformasi pada tube, yang dapat menyebabkan kebocoran atau kerusakan permanen.

g) Kerusakan Akibat Operasi

Kerusakan pada boiler juga dapat disebabkan oleh operasi yang tidak tepat, seperti pemanasan yang terlalu cepat atau pendinginan yang terlalu cepat. Hal ini dapat menyebabkan tekanan yang berlebihan pada tube dan menyebabkan kerusakan.

Pencegahan dan Perawatan:

a) Pemantauan Kualitas Air

Pemantauan kualitas air secara berkala dan perawatan yang tepat dapat mencegah korosi dan pembentukan kerak pada tube boiler.

b) Perawatan Rutin

Perawatan rutin pada boiler, seperti pembersihan dan inspeksi, dapat membantu mengidentifikasi masalah potensial sebelum menjadi masalah yang lebih serius.

c) Penggunaan Boiler yang Tepat

Menggunakan boiler sesuai dengan spesifikasi dan rekomendasi pabrikan dapat membantu mencegah kerusakan akibat tekanan atau suhu yang berlebihan.

d) Pelatihan Operator

Operator yang terlatih dapat membantu mencegah kesalahan operasi yang dapat menyebabkan kerusakan pada boiler.

e) Perbaikan Segera

Perbaikan segera pada kerusakan yang terdeteksi dapat mencegah kerusakan lebih lanjut dan mengurangi biaya perbaikan.

Dengan melakukan tindakan pencegahan dan perawatan yang tepat, kerugian akibat kerusakan pada boiler water tube dapat diminimalkan, dan efisiensi serta keandalan boiler dapat terjaga.

3. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode analisis data primer dan sekunder dari operasi boiler di PLTU Nii Tanasa. Data primer diperoleh dari pengukuran langsung nilai kalor batubara, sedangkan data sekunder dari spesifikasi boiler dan operasi harian.

3.1. Metode Pengumpulan Data Penelitian

Data pada penelitian ini terbagi atas dua jenis yaitu:

a) Data Primer

Data primer yang digunakan adalah:

- Nilai kalor sampel batu bara yang digunakan.
- Data ultimate batubara yaitu Carbon, Total Sulfur, Hydrogen, Oksigen serta Nitrogen
- Data kadar CHN fly ash.
- Proksimat sampel yaitu Ash, Inherent Moisture, Fixed Carbon serta Volatile Matter.
- Nilai total moisture.

b) Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan adalah:

- Spesifikasi nilai kalor batu bara PLTU Nii Tanasa
- Spesifikasi boiler yang digunakan PLTU Nii Tanasa
- Efisiensi aktual pembakaran boiler.

3.2. Metode Analisis Data

Peneliti menggunakan analisis atau olah data untuk mengubah data menjadi informasi yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah (Martua, 2020). Analisis data dilaksanakan setelah mengumpulkan semua data parameter, dan hasilnya digunakan untuk menentukan efisiensi boiler. Kegiatan ini memerlukan pembuatan perhitungan teoretis serta pengumpulan informasi operasional tentang tugas yang dilakukan secara langsung atau tidak langsung. Pendekatan analisis yang digunakan adalah:

a) Analisis Nilai Kalor (CV)

Dalam kilogram, jumlah kalori batu bara persatuan berat dinyatakan dalam satuan kal/g ataupun kkal/kg. Karena dilakukan dalam bejana tertutup dengan volume yang telah ditentukan sebelumnya, pengujian ini juga dikenal sebagai gross calorific value (GCV) pada volume konstan.

b) Analisis Efisiensi Boiler

Total panas yang diberikan ke boiler oleh bahan bakar tidak digunakan seluruhnya untuk pembangkit uap ketika teknik kehilangan panas (heat loss) atau pendekatan tidak langsung digunakan. Saat berada di dalam ketel, sejumlah besar panas dapat hilang, yang disebut sebagai kehilangan panas. Banyak kerugian yang diperhitungkan dalam metode tidak langsung atau perhitungan kehilangan panas, dan perhitungan efisiensi dilakukan dengan mengurangi fraksi kehilangan panas hingga total 100% (Putra et al., 2021).

c) Analisa Proksimat

Analisis proksimat adalah analisis secara umum dari batubara untuk bahan kimia yang dikandungnya, seperti:

- Inherent Moisture (IM)
- Kadar abu(A)
- Kandungan zat terbang (VM)
- Fixed Carbon / Karbon Padat yang Tersisa (FC)

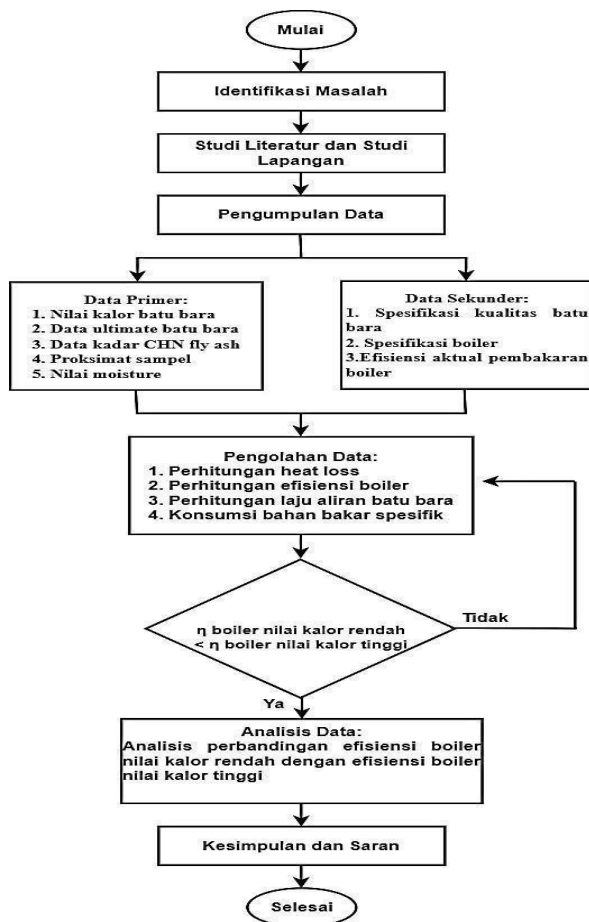
d) Analisa Ultimate

Analisis ini melihat kandungan-kandungan yang terdapat dalam batubara, antara lain jumlah:

- Carbon (C)
- Hydrogen(H)
- Nitrogen (N)
- Sulfur(S)
- eOksigen (O)

Identifikasi karakteristik yang dapat menghambat proses pembakaran atau kualitas batubara bergantung pada konsentrasi karbon, oksigen dan hidrogen. Sementara elemen yang diperlukan seperti nitrogen dan belerang mungkin dapat membantu penggunaan batubara menyebabkan polusi.

3.3. Flowchart Penelitian



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Perhitungan Efisiensi Boiler

Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan untuk ketiga variasi nilai kalor.

Nilai Kalor (CGV, kcal/kg)	Q _{in} (MW)	Q _{kb} (MW)	Q _{gb} (MW)	Q _h (MW)	Efisiensi (%)
4003	39,56	34,83	2,95	1,78	88,02
4159	41,11	36,39	2,91	1,81	88,52
4185	41,36	36,86	3,14	1,36	89,10

Efisiensi boiler meningkat seiring peningkatan nilai kalor batubara. Pada GCV 4003 kcal/kg, efisiensi 88,02%, meningkat menjadi 89,10% pada GCV 4185 kcal/kg. Kehilangan energi terbesar adalah pada gas buang (Q_{gb}), diikuti oleh radiasi panas (Q_h).

4.2. Pembahasan

Hasil ini konsisten dengan teori neraca energi, di mana energi panas yang lebih tinggi dari batubara kalori tinggi mengurangi kehilangan relatif. Penelitian terdahulu seperti Nada et al. (2023) menunjukkan tren serupa, di mana efisiensi boiler meningkat 1-2% per peningkatan 200 kcal/kg. Namun, faktor lain seperti tekanan uap (35-37 bar) dan suhu (484-489°C) juga berkontribusi. Diagram Sankey menunjukkan bahwa energi berguna (Q_{kb}) mendominasi, namun gas buang tetap signifikan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis mengenai pengaruh perubahan nilai kalor batu bara terhadap efisiensi boiler di PLTU Nii Tanasa, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Nilai kalor batu bara berpengaruh signifikan terhadap efisiensi boiler. Semakin tinggi nilai kalor (GCV) batu bara yang digunakan, semakin besar energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran sehingga efisiensi boiler meningkat.
- Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan efisiensi sesuai perubahan nilai kalor bahan bakar. Pada GCV 4003 kcal/kg, efisiensi boiler sekitar 88,02%, meningkat menjadi 88,52% pada GCV 4159 kcal/kg, dan mencapai efisiensi tertinggi 89,1% pada GCV 4185 kcal/kg. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai kalor sebesar ±180 kcal/kg dapat menaikkan efisiensi hingga kurang ±1%. Kehilangan energi terbesar terdapat pada gas buang (flue gas loss) dan radiasi panas dari permukaan boiler. Kedua faktor ini menyumbang lebih dari 20% dari total energi yang dihasilkan, sehingga mempengaruhi efisiensi keseluruhan sistem. Kualitas pembakaran dan rasio udara-bahan bakar sangat menentukan performa boiler.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diuraikan, berikut adalah beberapa saran yang dapat diberikan:

- Pemilihan batu bara sebaiknya disesuaikan dengan nilai kalor optimal boiler. PLTU disarankan menggunakan batu bara dengan nilai kalor mendekati 4200 kcal/kg agar efisiensi termal tetap tinggi dan konsumsi bahan bakar dapat ditekan. Perlu dilakukan pemantauan rutin terhadap kualitas batu bara dan sistem pembakaran. Analisis proksimat dan ultimat secara berkala akan membantu memastikan karakteristik bahan bakar sesuai spesifikasi desain boiler.
- Optimasi sistem udara pembakaran dan pemanfaatan panas buang. Penggunaan air preheater dan economizer secara efektif dapat mengurangi kehilangan energi pada gas buang dan meningkatkan efisiensi sistem hingga beberapa persen.
- Perawatan berkala (maintenance) pada pipa-pipa boiler dan sistem perpindahan panas. Tindakan ini penting untuk mencegah fouling, slagging, serta kebocoran yang dapat menurunkan kinerja boiler.
- Penelitian lanjutan disarankan untuk menganalisis dampak variasi kadar air, abu, dan sulfur pada batu bara terhadap performa boiler, agar diperoleh model prediksi efisiensi yang lebih komprehensif untuk PLTU berbahan bakar batubara kalori rendah di Indonesia

DAFTAR PUSTAKA

- Alaw, F. A., & Sulaiman, N. S. (2020). A Review of Boiler Operational Risks in Empty Fruit Bunch Fired Biopower Plant. *Journal of Chemical Engineering and Industrial Biotechnology*, 5(2), 29–35. <https://doi.org/10.15282/jceib.v5i2.3624>

- Aulia, A., Farid, F., & Zahar, W. (2021). Korelasi Parameter Analisis Proksimat dan Analisis Ultimat terhadap Nilai Kalori Batubara. *Jurnal Pertambangan dan Lingkungan ISSN*, 2775, 1384.
- Bramantha, H. A., Ningsih, Y. B., & Suherman, A. (2022). Analisis Peningkatan Kualitas Batubara Dengan Pencucian Batubara Menggunakan Shaking Table Untuk Memenuhi Standar Abu Penggunaan Bahan Bakar Di PLTU (Skala Laboratorium). *Applicable Innovation Of Engineering And Science Research (Avoer)*, 1(1).
- Fitasari, Nur. (2021). *Analisis Pengaruh Nilai Kalori Batu Bara Terhadap Efisiensi Pembakaran Pada Boiler PT. Rekind Daya Mamuju 2×25 Mw*. Kementerian Perindustrian R.I. Politeknik Ati Makassar.
- Hernawan, K. (2021). Peluang Penghematan Energi Pada Boiler Di PT Indo Bharat Rayon. *Jurnal Teknik Energi*, 10(1), 19–23.
<https://doi.org/10.35313/Energi.V10i1.2314>
- Iqbal, Dianta, Agus, P. (2019). Analisis Pengaruh Kualitas Batu Bara Terhadap Performa. June, 520–529.
- Juniarta, I. K., Setiawan, I. N., & Dwi Giriantari, I. A. (2022). Analisis Sistem Kelistrikan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid Kapasitas 25 Kwp Di Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Provinsi Bali. *Jurnal SPEKTRUM*, 9(1), 111.
<https://doi.org/10.24843/Spektrum.2022.V09.01.P13>
- Martua, Y. (2020). Analisa Perbandingan Efisiensi Boiler Dengan Metode Heat-Losses Pada Saat Awal Operasi dan Setelah Overhaul Di PT.Pomi Paiton.
- Muzaki, I., & Mursadin, A. (2019). Analisis Efisiensi Boiler Dengan Metode Input–Output Di PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk. Unit Banjarmasin. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 4(1), 37–46.
<https://doi.org/10.20527/Sjmekinematika.V4i1.50>
- Nada, F., & Siregar, I. (2023). Pengaruh Kualitas Batu Bara Terhadap Efisiensi Boiler Unit Utilitas Batu Bara PT Petrokimia Gresik Menggunakan Metode Indirect/Heat Loss Mengacu Pada Asme. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(02), 29-38.
- P, A. D., Hartono, R., & Seng, A. (2020). Analisis Efisiensi Bahan Bakar Batubara Tipe Low Rank Coal Pada Boiler Stoker PLTU Tidore Unit 2 Efisiensi Thermal. 5, 24–29. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(1), 8–5.
https://doi.org/10.37905/J_jeec.V4i1.107
- Prima, F. (2021). Analisis Kualitas Batubara Rendah Terhadap Efisiensi Thermal Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. IP. UJP Sintang. *Jurnal Teknologi Rekaya Teknik Mesin Suspendi*, 2(1), 41–48.
- Putra, B. R., Mangala, L. K., & Gunawan, Y. (2021). Analisis Pengaruh Nilai Kalor Batubara dan Excess Air Terhadap Efisiensi Boiler. *Enthalpy*, 6(1), 12–17.
- Rafli, R., Ilham, J., & Salim, S. (2022). Perencanaan Dan Studi Kelayakan PLTS Rooftop
- Shah, M. M. (2023). Further Study and Development of Correlations for Heat Transfer during Subcooled Boiling in Plain Channels. *Fluids*, 8(9).
<https://doi.org/10.3390/fluids8090245>