

Analisis Efisiensi Bahan Bakar Batubara Tipe Low Rank Coal Pada Boiler Stoker PLTU Tidore Unit 2

Agan Daud P.¹, Rudi Hartono², Ahmad Seng³
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Khairun
agan.osd@gmail.com

Abstraks

PLTU Tidore beroperasi dengan bahan bakar batubara agar pemakaian minyak pada pembangkit-pembangkit tenaga diesel di Tidore-Ternate berkurang. Menggunakan batubara kelas rendah (Low Rank), boiler di PLTU Tidore diharapkan mampu bekerja secara maksimal. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai bagaimanakah pengaruh kualitas batubara kelas rendah tersebut pada kinerja boiler di PLTU Tidore.

Batubara dengan karakteristik GCV ± 4000 kcal/kg, carbon $\pm 45\%$, moisture $\pm 35\%$, ash content $\pm 4\%$, nitrogen $\pm 1\%$, hydrogen $\pm 4\%$, sulphur $\pm 0.5\%$, dan oksigen $\pm 12\%$ kalori ± 4200 kcal/kg, karbon $\pm 45\%$. Dioperasikan pada boiler water tube tipe stoker dimana kebutuhan turbin adalah 50 bar mainsteam. Menggunakan periode Performance test bulan Maret, April, dan Mei sebagai acuan kinerja boiler karena beban dipertahankan 7 MW, setiap performance test menggunakan batubara yang berbeda kualitas, asal, dan kondisi.

Didapatkan nilai efisiensi sebesar 70% pada batubara di PT April dengan kalori 4117 Kcal/kg, agar boiler di PLTU Tidore dapat bekerja secara maksimal dibutuhkan batubara dengan nilai kalori >4200 kcal/kg, karbon $>45\%$, moisture $<35\%$, dan juga kondisi kering.

Kata kunci : Tabung tipis, penyerap energi, energi plastis, gaya reaksi, impak kecepatan tinggi

PENDAHULUAN

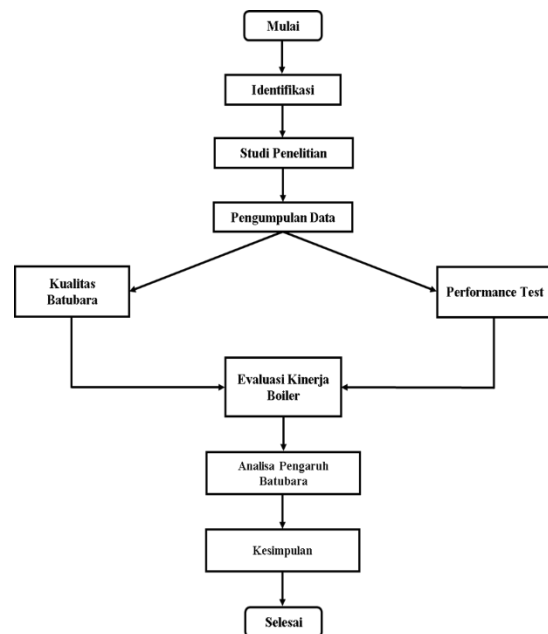
Pembakaran membutuhkan 3 unsur yaitu bahan bakar (fuel), udara (oksigen) dan sumber panas, bila ketiganya berada dalam suatu konsentrasi tertentu maka timbulah reaksi oksidasi. Maka dari itu untuk mendapatkan kualitas pembakaran yang baik, dibutuhkan kualitas bahan bakar yang baik pula.

PLTU Tidore menggunakan Boiler Water Tube tipe Stoker, memiliki prinsip kerja melontarkan bahan bakar pada tungku yang berjalan, sehingga selama berada pada grate tersebut bahan bakar dapat terbakar dan memanaskan tube-tube dalam ruang bakar boiler dengan bahan bakar berupa batubara kelas Low Rank (LRC) yang mempunyai kalori 3800-4200 Kcal/Kg, dimana batubara tersebut merupakan batubara kelas rendah, selain itu kandungan dan kondisi batubara juga berpengaruh besar pada kinerja boiler. Digunakan efisiensi thermal Boiler sebagai alat ukur teoritis kinerja boiler dalam merubah energi panas menjadi uap. Bagaimanakah pengaruh kualitas batubara tersebut pada kinerja boiler?, ini akan menjadi tujuan penelitian.

Penelitian ini membatasi pada uji kinerja boiler yang hanya menggunakan evaluasi Efisiensi Thermal, pemantauan visual, dan parameter yang ada di PLTU Tidore

METODOLOGI

Sebagai variable uji, digunakan periode performance test bulan Maret, April dan Mei pukul 14.00-16.00 WIT. Ketiga performance test menggunakan batubara yang berbeda.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Kualitas batubara didapat dari COA (Certificate of Analysis), beban pada performance test dipertahankan stabil 7 MW, boiler yang digunakan adalah unit 2.

Setelah data kualitas batubara dan parameter boiler didapat, dilakukan perhitungan teoritis efisiensi thermal boiler (fuel to steam) dengan persamaan :

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \quad \text{----- (1)}$$

$$= \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\% \quad \text{----- (2)}$$

Dimana,

Q = Kuantitas uap yang dihasilkan dalam kg / jam.

q = Jumlah bahan bakar yang digunakan per jam (q) dalam kg / jam.

GCV = nilai kalor bruto bahan bakar (HHV) dalam kcal / kg bahan bakar.

h_g = Entalpi Steam jenuh dalam (kcal/kg) Steam. Didapat dari Tekanan kerja (dalam kg/cm^2 dan suhu superheat ° C, jika ada

h_f = Entalpi air umpan dalam (kcal/kg) air. Didapat dari Suhu air umpan (° C)

Adapun untuk menghitung ratio bahan bakar pada setiap daya yg dibangkitkan digunakan persamaan :

$$SFC = \frac{q}{kWh} \quad \text{----- (3)}$$

Setelah kinerja boiler diketahui, dilakukan analisa berdasarkan batubara yang digunakan pada setiap performance testnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data dari coa adalah data saat batubara tiba.

1. Performance Test 1 bulan Maret, menggunakan batubara dari PT. Ade Putra Tanrajeng, dari Tabang, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Tiba pada 30 Januari 2020
2. Performance Test 2 bulan April, menggunakan batubara dari PT. Ade Putra Tanrajeng, dari Tabang, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Tiba pada 22 Maret 2020
3. Performance Test 3 bulan Mei, menggunakan batubara dari PT. Mitra Setia Tanah Bumbu, dari Sebanban, Kalimantan Selatan. Tiba pada 3 Mei 2020

Tabel 1. Data dari COA

	PARAMETER	PT-1	PT-2	PT-3
		(Maret)	(April)	(Mei)
		AR	AR	AR
PROXIMATE	Fixed Carbon (%)	28.65	29.08	29.71
	Total Moisture (%)	36.97	35.35	34.93
	Moisture In Analysis (%)	0	0	0
	Ash Content (%)	3.23	3.74	3.65
	Volatile Matter (%)	31.15	31.83	31.71
ULTIMATE	Total Moisture (%)	36.97	35.35	34.93
	Moisture In Analysis (%)	0	0	0
	Ash Content (%)	3.23	3.74	3.65
	Carbon (%)	43.7801	44.54	43.13
	Hydrogen (%)	3.04	3.14	3.08
	Nitrogen (%)	0.584	0.59	0.61
	Sulfur (%)	0.11	0.12	0.18
Oxygen (%)	12.2859	12.52	14.42	
	HGI	56	57	50
	AFT	1314	1295	1355
	Gross Calorific Value (kcal/kg)	4035	4117	3970
	Nett Calorific Value (kcal/kg)	3663	3749	3608

Berdasarkan nilai kandungan batubara diatas, terdapat 3 analisis (proksimasi, ultimasi, dan lainnya), Digunakan analisis ultimasi sebagai perbandingan penelitian karena mencakup kandungan unsur. Basis pengukuran yang digunakan adalah As-received, yakni kandungan moisture surface dimasukan atau tidak dikeringkan dan apa adanya, dikarenakan batubara yang tiba di PLTU Tidore tidak langsung digunakan untuk Performance Test, jarak waktu batubara tiba dengan pemakaiannya sekitar 3-4 minggu.

Evaluasi Kinerja Boiler

Tabel 2. Data parameter pada boiler.

PARAMETER	PT-1 (Maret)	PT-2 (April)	PT-3 (Mei)
	AR	AR	AR
FLOW MS (Q) = kg/jam	33810	33420	30720
STEAM DRUM (Hg) = BAR	46.59	46.76	44.55
WATER (Hf) = °C	140.89 (56.69 bar)	141.78 (56.34 bar)	143 (57.21 bar)
FLOW FUEL = kg/jam	8154	6100.65	9369
BEBAN = kWh	7000	7000	7000

1. PT-1 bulan Maret

Efisiensi Thermal

$$= \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$= \frac{33810 \text{ kg/jam} (668.5 - 141.72) \text{ kcal/kg}}{8154 \text{ kg/jam} \cdot 4035 \text{ kcal/kg}} \times 100\%$$

$$= \frac{17810634.65}{32901390} \times 100\%$$

$$= 0.5413 \times 100 \% = \mathbf{54.13 \%}$$

Specific Fuel Consumption

$$SFC = \frac{q}{kWh}$$

$$= \frac{8154 \text{ kg/h}}{7000 \text{ kWh}} = \mathbf{1.16 \text{ kg/kWh}}$$

2. PT-1 bulan April
Efisiensi Thermal

$$= \frac{Qx(h_g-h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$= \frac{33420 \text{ kg/jam} (668.5 - 142.6) \text{ kcal/kg}}{6100.65 \text{ kg/jam} \cdot 4117 \text{ kcal/kg}} \times 100\%$$

$$= \frac{17573238.6}{25116376.05} \times 100\%$$

$$= 0.69.96 \times 100 \% = \mathbf{70 \%}$$

Specific Fuel Consumption

$$SFC = \frac{q}{kWh}$$

$$= \frac{6100.65 \text{ kg/jam}}{7000 \text{ kW}} = \mathbf{0.87 \text{ kg/kWh}}$$

3. PT-1 bulan Mei
Efisiensi Thermal

$$= \frac{Qx(h_g-h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$= \frac{30702 \text{ kg/jam} (668.9 - 143.9) \text{ kcal/kg}}{9369 \text{ kg/jam} \cdot 3970 \text{ kcal/kg}} \times 100\%$$

$$= \frac{16117936}{37194930} \times 100\%$$

$$= 0.433 \times 100 \% = \mathbf{43.3 \%}$$

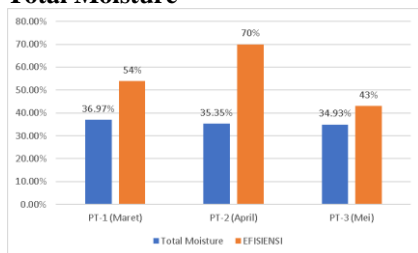
Specific Fuel Consumption

$$SFC = \frac{q}{kWh}$$

$$= \frac{9369 \text{ kg/jam}}{7000 \text{ kW}} = \mathbf{1.34 \text{ kg/kWh}}$$

Pembahasan

1. Total Moisture



Gambar 2. Grafik kandungan total moisture batubara terhadap efisiensi boiler

Kandungan total Moisture batubara dari setiap test menunjukkan grafik yang berkebalikan, dimana semakin tinggi Moisture pada batubara akan semakin menurun panas yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan kandungan Moisture batubara dapat mengurangi kandungan Carbon dan nilai kalori batubara. Selain itu, Moisture menyebabkan batubara susah terbakar, sehingga

membutuhkan udara lebih untuk memanaskan batubara terlebih dahulu sebelum terbakar sepenuhnya.

Pada saat tungku grate berjalan seiring batubara dilontarkan masuk ke ruang bakar, tidak semua batubara dapat langsung terbakar.

(PT-1)



(PT-2)



(PT-3)



Gambar 3. Kondisi ruang bakar setiap Performance Test

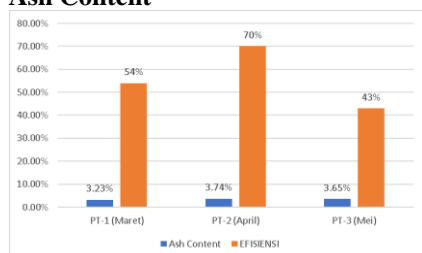
Secara visual terlihat api furnace pada PT-2 sangat terang dan layer batubara cukup tipis, menandakan bahwa batubara di tungku grate terbakar sempurna, berbeda dengan kondisi pembakaran Furnace PT-3 yang terlihat layer batubara cukup tebal, artinya batubara menumpuk karena tidak terbakar mengingat kecepatan jalannya grate dan jumlah udara masuk adalah sama. Penyebabnya adalah kondisi batubara yang basah, meskipun tidak diketahui kenaikan kandungan moisture pada saat batubara disimpan dan terpapar hujan selama penyimpanan. Ketidakefektifannya pembakaran di PT-3 dapat juga diamati pada parameter O_2 analyzer yang berada di cerobong / stack flue gas.

Table 3. Data Oksigen dari sisa hasil pembakaran.

Pukul	PT-1 (Maret)	PT-2 (April)	PT-3 (Mei)
14.00 WIT	2.43%	3.00%	6.10%
15.00 WIT	3.44%	3.10%	3.90%
16.00 WIT	4.80%	2.18%	4.50%
Rata-rata	3.56%	2.76%	4.83%
Digunakan pembakaran (21% - sisa)	17.44%	18.24%	16.17%

Oksigen sisa pembakaran juga dapat mencerminkan kondisi ruang bakar, dimana pada PT-2 sebesar 2.76 %, artinya udara yang mengandung 21% oksigen dialirkan ruang bakar untuk proses pembakaran telah digunakan sebanyak 18.24 %.

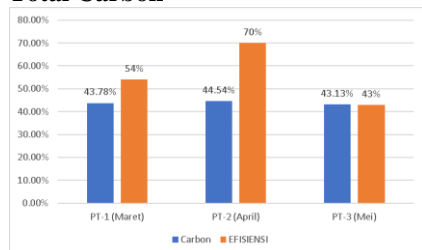
2. Ash Content



Gambar 4. Grafik Ash Content terhadap nilai efisiensi Boiler

Kandungan Ash Content pada setiap test menunjukkan grafik yang berbanding lurus dengan nilai efisiensi, artinya semakin tinggi kandungan Ash Content maka akan semakin tinggi nilai efisiensi boiler. Meskipun demikian, kandungan abu sangat rentan terhadap tingkat pencemaran udara serta mengakibatkan terjadinya hujan asam (kontak abu yang mengandung SO_2 dengan air hujan) yang menyebabkan korosif pada peralatan. Sementara Ash Content merupakan sisa zat anorganik yang terdapat dalam batubara, antara lain SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Mn_3O_4 , CaO , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , dan SO_3 .

3. Total Carbon

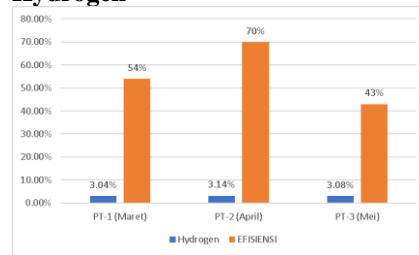


Gambar 5. Grafik total Carbon terhadap nilai efisiensi Boiler

Kandungan total Carbon pada setiap test terlihat berbeda meskipun berbanding lurus dengan efisiensi Boiler, dimana seharusnya kenaikan efisiensi pada PT-2 tidak terlalu jauh. Batubara pada PT-2 berasal dari Kalimantan Timur sedangkan batubara PT-3 berasal dari

Kalimantan Selatan. Menurut perhitungan efisiensi thermal boiler, hal ini dikarenakan pada PT-2 lebih sedikit membutuhkan panas dalam mencapai suhu dan tekanan main-steam yg diinginkan dibandingkan dengan PT-3, perbedaannya terdapat pada nilai kalori batubara yakni berbeda 147 kcal/kg walaupun kandungan karbon hanya berbeda 1.41 %. Selain itu, faktor lain dari tinggi rendahnya nilai karbon antara lain : daerah yang ditambang, kedalaman penambangan, dan usia pembatubaraan. Semakin lama batubara tertimbun akan semakin tinggi kandungan karbonnya, begitupun sebaliknya.

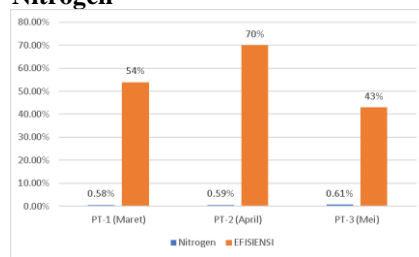
4. Hydrogen



Gambar 6. Grafik kandungan Hydrogen terhadap nilai efisiensi Boiler

Kandungan Hydrogen pada setiap test menunjukkan grafik yang berbanding lurus dengan nilai efisiensi Boiler, seperti halnya kandungan Carbon, keduanya akan berubah menjadi CO_2 saat terbakar. Hydrogen mempunyai peran positif terhadap proses pembakaran yakni dapat menyebabkan batubara lebih cepat terbakar, karena Hydrogen memiliki titik lebur dibawah temperature pembakaran - $259^{\circ}C$.

5. Nitrogen

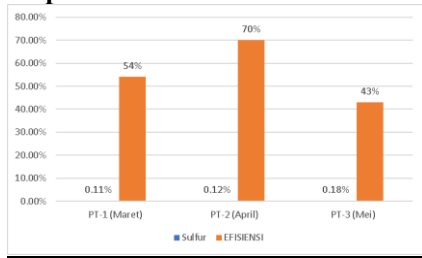


Gambar 7. Grafik kandungan Nitrogen terhadap nilai efisiensi Boiler

Kandungan Nitrogen pada setiap test menunjukkan grafik yang berbanding lurus dengan efisiensi Boiler. Nitrogen pada batubara tidak banyak berkontribusi terhadap energi pembakaran karena dapat mengurangi komposisi Hydrogen, meskipun demikian Nitrogen dapat membuat batubara menjadi mudah digerus karena batubara sendiri merupakan sisa tumbuhan yang tertimbun sangat lama di dalam tanah sehingga memudahkan peralatan Boiler dalam memasok Furnace. Selain itu,

emisi gas oksida Nitrogen (NO_x) dapat mencemari lingkungan.

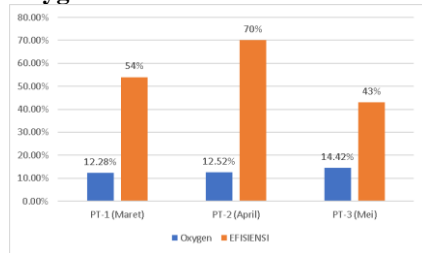
6. Sulphur



Gambar 8. Grafik kandungan Sulphur terhadap nilai efisiensi Boiler

Kandungan Sulphur pada setiap test menunjukkan grafik yang berbanding terbalik dengan nilai efisiensi Boiler, selain itu kandungan sulfur pada PT-3 diapat 0.18 %, selisih 0.06% dengan PT-2, terlihat secara visual api pada PT-3 tidak seterang PT-2, menunjukkan bahwa batubara di PT-2 terbakar dengan sempurna. Sulphur berpengaruh negative pada pembakaran dan peralatan boiler. Sifat dari Sulphur adalah dapat mengikat O_2 ketika proses pembakaran menghasilkan SO_2 dan SO_3 , serta dapat mempercepat tingkat korosi pada tube-tube Boiler. batas maksimal kadar Shulpur untuk industry menurut B2TE (Balai Besar Teknologi Konversi Energi) adalah $<0.5\%$.

7. Oxygen



Gambar 9. Grafik kandungan Oxygen terhadap nilai efisiensi Boiler

Kandungan Oxygen pada setiap test menunjukkan grafik yang berbanding lurus dengan nilai efisiensi Boiler, oksigen yang terdapat dalam batubara merupakan oksigen yang tidak reaktif. Sebagaimana dengan hydrogen, kandungan oksigen akan berkurang selama evolusi atau pembentukan air (H_2O) dan karbondioksida (CO_2). Jadi, kandungan oksigen di batubara kelas rendah memang cukup tinggi. Meskipun begitu, bertambahnya kandungan Oksigen pada batubara mengakibatkan menurunnya kebutuhan udara pembakaran, hal ini dikarenakan udara sebagian besar terdiri dari 79% Nitrogen dan 21% Oksigen.

Dari ke-tujuh kandungan diatas diketahui Ash Content, Carbon, Nitrogen, Hydrogen, dan Oksigen dapat mendukung kinerja Boiler dalam menghasilkan uap, yang

paling berpengaruh positif adalah kandungan karbon dan hidrogen. Hal tersebut terlihat dari nilai kalori dan jumlah pemakaian batubara di setiap Performance Testnya.

Pemakaian batubara Performance Test ke-2 sebesar 6100.6 Kg/jam, selisih 2053 Kg/jam dengan PT-1, dan selisih 3268 Kg/jam dengan PT-3. Didukung oleh hasil SFC, dimana batubara pada PT-2 dapat menghasilkan 1 kwh setiap 0.87 kg. Hal ini dikarenakan kondisi batubara PT-1 dan PT-3 susah terbakar hingga layer tebal dan tertumpuk (gambar 4.2). Penyebabnya adalah batubara terpapar hujan sebelum dilaksanakannya Performance Test dan tidak adanya Equipment pengering batubara sebelum masuk ruang bakar. Faktor lain adalah daerah tambang, kedalaman tambang, dan usia pematubaraan. Namun spesifikasi daerah tambang, kedalaman tambang, dan usia pematubaraan tidak disertakan pada saat batubara tiba di PLTU Tidore, hanya COA sebagai acuan kualitas batubara.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Kandungan Moisture dan Sulphur memberi pengaruh negatif pada kinerja boiler, keduanya dapat menurunkan pembakaran dan efisiensi boiler, kandungan Carbon dan Hydrogen dapat meningkatkan pembakaran dan efisiensi boiler.
2. Pembakaran yang tidak sempurna pada PT-1 dan PT-3 disebabkan oleh kondisi batubara basah sehingga tidak terbakar lalu munumpuk.
3. Nilai kalori pada batubara PT-2 adalah yang tertinggi yakni 4117 Kcal/kg, dimana unsur yg mempengaruhinya adalah Carbon dan Moisture.
4. Daerah tambang, kedalaman tambang, dan usia pematubaraan dapat mempengaruhi kualitas batubara. Semakin tua dan dalam lapisan pertambangan akan semakin tinggi kalori batubara.
5. Dibutuhkan batubara dengan nilai kalori diatas 4150 Kcal/kg, total moisture dibawah 32%, dan kondisi kering.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. American Boiler Manufacturers Association, 2001, Handbook of Power Utility and Boiler Terms and Phrases, 6th Edition, Virginia.
- [2]. American Society of Mechanical Engineers (ASME) PTC 4.1, (1998), Performance Test Code Fired Steam Generator Berau of Energy Efficiency 4th edition, 2015, Energy Efficiency of Thermal Utilities, New Dehli, India.
- [3]. Borio R.W., Levasseur A.A, 1980, Overview of Coal Ash Deposition in Boilers, Combustion Engineering, inc. 1000 prospect hill road, United State.
- [4]. Djokosetyardjo M.J., 1987, Ketel Uap, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [5]. Radovic, L. R, 1998, Chapter 7: Coal in Energy and Fuels in Society, Primis, North America.
- [6]. Susilawati, 1992, Proses Pembentukan Batubara, Analisa Penelitian dan Pengembangan Geologi, Institut Teknologi Bandung.
- [7]. The Babcock & Wilcox Company, 2005, Steam Its Generation and Use, 41st Edition, Mcdermott Company, Ohio, U.S.A.