

STUDI EFISIENSI BOILER TERHADAP NILAI KALOR BATUBARA PADA BOILER JENIS PULVERIZER COAL KAPASITAS 300 T/H (STUDI KASUS PT XYZ)

Wawan Gunawan¹, Bambang Ali G.²

^{1,3)}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Banten Jaya
Jl. Ciwaru Raya II No. 73, Kel. Cipare, Kec. Serang, Kota Serang 42117

ABSTRACT

Boilers are the process of combustion of coal fuel in a closed vessel which is used to produce steam. Steam can drive Turbine-Generators to produce electricity. Excess air is the percentage of oxygen in the mass fraction contained in combustion air (flue gas). The value of excess air and efficiency on the boiler machine can be known by the method of descriptive analysis and calculation analysis. The purpose of this study was to decide the effect of calorific value of coal on the value of efficiency and the effect of calorific value of coal on excess air using the descriptive analysis method. The calculation procedure begins with calculating the actual enthalpy, low heat value, actual efficiency on variations in the calorific value of coal and calculating the actual Air Fuel Ratio (AFR), ideal Air Fuel Ratio (AFR), and excess air in the boiler engine. The calculation results show that the use of coal with a greater LHV value results in a higher boiler efficiency value. The use of coal with LHV 31.773 kJ/kg gives the value of boiler efficiency reaching 57% with a value of excess air of 63.6%. So that the higher calorific value of coal requires lower excess air and produces higher efficiency.

Keywords: Boilers, Air Fuel Ratio, Low Heat Value, Efficiency, Excess Air.

ABSTRAK

Boiler merupakan proses terjadinya pembakaran bahan bakar batubara pada bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan steam. Steam tersebut dapat menggerakkan turbine-generator untuk menghasilkan listrik. Excess air merupakan persentase oksigen didalam fraksi massa yang terkandung didalam udara hasil pembakaran (flue gas). Nilai excess air dan efisiensi pada mesin boiler dapat diketahui dengan metode analisa deskriptif dan analisa perhitungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh nilai kalor batubara terhadap nilai efisiensi dan pengaruh nilai kalor batubara terhadap excess air dengan menggunakan metode analisa deskriptif. Prosedur perhitungan diawali dengan menghitung entalpi aktual, low heat value, efisiensi aktual pada variasi nilai kalor batubara dan menghitung Air Fuel Ratio (AFR) aktual, Air Fuel Ratio (AFR) ideal, serta excess air pada mesin boiler. Hasil perhitungan menunjukkan penggunaan batubara dengan nilai LHV lebih besar menghasilkan nilai efisiensi boiler yang lebih tinggi. Penggunaan batubara dengan LHV 31.773 kJ/kg memberikan nilai efisiensi boiler mencapai 57 % dengan nilai excess air sebesar 63,6 %. Sehingga nilai kalor batubara

yang lebih tinggi memerlukan excess air yang lebih rendah serta menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi.

Kata kunci: Boiler, Air Fuel Ratio, Low Heat Value, Efisiensi, Excess Air.

1. PENDAHULUAN

Dalam kesempurnaan pembakaran ada tiga hal yang mempengaruhinya seperti perbandingan udara dan bahan bakar *Air Fuel Ratio* (AFR), kehomogenan campuran, dan temperatur pembakaran. Pada *Air Fuel Ratio* (AFR) terdapat campuran kaya dan campuran kurus, campuran kaya adalah campuran dimana jumlah bahan bakar lebih banyak dibandingkan dengan udara, sedangkan campuran kurus adalah campuran yang kekurangan bahan bakar atau kelebihan udara. Antara campuran kaya dan campuran kurus terdapat campuran *stoichiometry*, dimana perbandingan antara udara dengan bahan bakar dalam keadaan setimbang. Setiap perbandingan volume udara dengan bahan bakar menghasilkan emisi gas buang yang berbeda-beda.

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh nilai kalor batubara terhadap kinerja boiler dan mengetahui pengaruh excess air terhadap nilai AFR. Sedangkan manfaat dari penelitian ini adalah perusahaan dapat mengetahui dampak yang ditimbulkan pada kinerja mesin boiler sebagai akibat variasi nilai kalor batubara, mendapatkan efisiensi aktual pada performa boiler tipe pulverizer coal, dapat mengetahui kondisi aktual pada boiler setelah dilakukan perhitungan efisiensi dan excess air.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Karakteristik batubara dapat dibedakan berdasarkan nilai kalor dan analisa proximate dan ultimate antara lain sebagai berikut: Parameter ini merepresentasikan nilai kalor yang terkandung pada batubara, dalam satuan kcal/kg. Terdapat dua tipe nilai kalor pada setiap bahan bakar, *Gross Calorific Value* (GCV) dan *Nett Calorific Value* (NCV) atau kadang disebut juga *High Heating Value* (HHV) dan *Low Heating Value* (LHV). HHV, heat yang dihasilkan dari pembakaran sempurna batubara pada volume konstant sehingga semua air (H₂O) terkondensasi dalam bentuk cairan. Dari tabel diatas dapat dilihat nilai GCV batubara tersebut adalah sebesar 4134 kcal/kg (pada kondisi *As received*) LHV, heat yang dihasilkan dari pembakaran sempurna batubara pada volume konstant dengan semua air (H₂O) terbentuk dalam bentuk uap. Pada data diatas, kebetulan nilai NCV tidak ditampilkan, setiap bahan bakar hidrokarbon baik berbentuk padat, cair maupun gas pasti memiliki nilai HHV dan LHV karena setiap reaksi oksidasi yang melibatkan atom C dan H pasti menghasilkan H₂O dan CO₂. Pada kenyataanya, pembakaran batubara yang terjadi termasuk menguapkan H₂O yang terbentuk sehingga hanya nilai LHV yang dihasilkan. Pada batubara dimana kandungan air (*moisture*) yang relatif lebih besar dibandingkan dengan Bahan Bakar Minyak atau gas, sehingga rentang nilai antara HHV dan LHV cukup signifikan dibanding nilai kalor pada BBM atau BBG. Perbedaan antara nilai pembakaran tinggi dan rendah dihitung dengan cara pendekatan berdasarkan rumus berikut ini yang dapat dipakai untuk sebarang bahan bakar dalam basis massa. Nilai HHV dapat ditentukan sebagai berikut :

$$HHV = 33950.C + 144200 H_2 - \frac{O_2}{8} + 9400.S \dots\dots\dots (1)$$

Nilai kalor bawah (LHV) dapat ditentukan sebagai berikut, yaitu selisih antara HHV dengan panas laten yang terbentuk dari proses pembakaran.

$$LHV = HHV - 2400 (M + 9 \times H_2) \dots\dots\dots (2)$$

Proximate Analysis adalah suatu analisis untuk menentukan kandungan utama batubara yaitu *Moisture, Volatile Matter, Fixed Carbon, dan Ash*. *Moisture*, adalah kadar air yang terkandung didalam batubara. Nilai ini didapatkan ketika sampel batubara dialirkan udara panas pada temperatur 104-110°C. Bobot yang hilang itulah kadar *moisture* pada batubara. Prosedur lengkap pengetesaannya dapat dibaca pada ASTM D3173. Pada laporan diatas dapat dilihat *total moisture content* didalam batubara tersebut 34,83 % artinya dari 100 kg batubara 34,83 kg adalah air, cukup besar. Dapat dibayangkan sebagian nilai kalor batubara hilang hanya untuk menguapkan kandungan air tersebut. Dari 34,83 % *total moisture* tersebut sebesar 14,18 % adalah *Inherent Moisture (IM)* dan sisanya adalah *Surface Moisture (SM)*. *Surface Moisture* adalah kandungan air yang berada di permukaan butir batubara sedangkan *IM* adalah kandungan air yang terdapat pada rongga-rongga kapiler batubara yang sangat kecil. *Volatile Matter* adalah kandungan batubara yang mudah menguap jika dipanaskan selain *moisture*. Metode pengetesan dapat dibaca ASTM D3175. *Fixed carbon* adalah material padat selain *ash* pada batubara. Metode penentuannya tidak ada standar khusus, tetapi merupakan selisih bobot batubara dikurangi bobot *moisture, volatile matter* dan *ash* (sesuai prosedur di ASTM D3172). *Ash* adalah kandungan abu pada batubara. Metode pengetesannya dapat dilihat di ASTM D3174.

Ultimate Analysis adalah suatu analisis untuk menentukan nilai kandungan *Carbon (C), Hidrogen (H₂), Nitrogen (N₂), Oksigen (O₂), dan Sulfuric (S)*. Dari gambar tabel diatas dapat dilihat bahwa kandungan terbesar batubara adalah *Carbon, Moisture*, kemudian *Oksigen* dan seterusnya. Kandungan ini cenderung konstan kecuali *moisture*, jika dikurangi atau ditambah maka akan sangat berpengaruh terhadap nilai kalor suatu batubara. Oleh karena itu, semakin banyak dikembangkan teknologi pengeringan batubara untuk meningkatkan kualitas batubara. Analisis ultimasi diperlukan untuk menentukan kebutuhan udara pembakaran untuk suatu sistem tertentu dan digunakan untuk mengukur sistem aliran bagi dapur pembakaran. Perhitungan-perhitungan ini jika mungkin hendaklah didasarkan dari pada analisis ultimasi begitu terbakar. Untuk dapat mengetahui *massa Carbon (C), Hidrogen (H₂), Oksigen (O₂), Sulfur (S), Nitrogen (N₂)* didalam batubara sekaligus dengan nilai pembakaran tinggi (HHV) suatu sampel batubara dengan menggunakan rumus dibawah ini (*Bureau of Energy Efficiency*) :

a. Kandungan Karbon (C)
 $C = 0,97 FC + 0,7 (VM + 0,1A) - M(0,6-0,01M) \dots\dots\dots (3)$

b. Kandungan Hidrogen (H₂)
 $H_2 = 0,036FC + 0,086 (VM + 0,1xA) - 0,0035M^2 (1-0,02M) \dots\dots\dots (4)$

c. Kandungan Nitrogen (N₂)
 $N_2 = 2,10 - 0,02 \times VM \dots\dots\dots (5)$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi. Metode observasi adalah suatu teknik pengumpulan data dengan cara pengamatan langsung terhadap objek yang diteliti. Untuk menguatkan metode tersebut dilakukan studi literatur melalui buku-buku, jurnal dan dokumen yang ada di perusahaan tempat penelitian yang relevan dengan permasalahan yang dibahas. Metode ini dilakukan dengan analisa deskriptif yaitu menghitung LHV batubara, *Air Fuel Ratio (AFR)*, menghitung *excess air* dan

menghitung efisiensi mesin *boiler*. Tahapan pengolahan data dalam penelitian ini meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut :

- Identifikasi data batubara yaitu mengelompokkan data batubara berdasarkan jenis yang digunakan pada proses produksi, yaitu batubara jenis 1 (penggunaan tanggal 1-3 April 2020) dan batubara jenis 2 (penggunaan tanggal 4-7 April 2020).
- Mencari nilai *entalpi* dan LHV berdasarkan data produksi selama 1 minggu dan dokumen sertifikat analisis batubara, yaitu tentang temperatur, tekanan, konsumsi batubara, uap yg dihasilkan, dan persentase kandungan air (TM dan IM), *sulfur* (TS), *fix carbon* (FC), abu (*ash*), nilai kotor kalori (GCV), tingkat kekerasan batu bara (HGI), dan titik leleh batu bara (VM).
- Melakukan perhitungan efisiensi aktual penggunaan batubara jenis A dan penggunaan batubara jenis B.
- Melakukan perhitungan AFR aktual berdasarkan *flue* gas yang diketahui pada data produksi yang didapat dan menghitung AFR ideal berdasarkan rumus kesetimbangan unsur kimia.
- Melakukan perhitungan *excess air* berdasarkan hasil perhitungan AFR aktual dan AFR ideal/*stoikiometri*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Mencari *Entalpi* Aktual Bahan Bakar Batubara

Menggunakan data yang diambil pada tanggal 1-7 April 2020.

Tabel 1. Hasil Perhitungan *Entalpi* untuk Uap dan Air

Tanggal	h_{uao}			h_{air}		
	T aktual	P aktual	h uap	T aktual	P aktual	h air
	°C	mPa	kJ/kg	°C	mPa	kJ/kg
1	537,9	9,5	3481,8	205,8	14,4	901,2
2	537,6	9,4	3481,1	204,7	14,7	896,2
3	536,4	9,4	3478,1	205,8	14,7	901,2
4	536,8	9,5	3479,1	205,2	14,7	898,5
5	537,1	9,5	3479,9	205,3	14,7	899,0
6	537,3	9,5	3480,4	205,4	14,4	899,4
7	537,3	9,5	3480,4	205,8	14,5	901,2

Mencari *entalpi* yang belum diketahui, maka dilakukan perhitungan interpolasi menggunakan tabel A-4 *Saturated water-Temperature table* dan A-6 *Superheated water*. Rumus Interpolasi :

$$Y = y_1 + \frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} \times (y_2 - y_1)$$

$$h_{uap} = 3387,4 + \frac{(535-500)}{(550-500)} \times (3512 - 3387,4) = 3481,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{air} = 874,9 + \frac{(205,8-205)}{(210-205)} \times (897,6 - 874,9) = 901,2 \text{ kJ/kg}$$

4.2 Mencari LHV Aktual

Menggunakan data yang diambil pada tanggal 1-7 April 2020.

Tabel 2. Hasil Perhitungan LHV Aktual

Tanggal	Unsur-unsur Kimia					Nilai Kalor Batubara		Keterangan
	S	C	H ₂	O ₂	TM (Arb)	Batas Atas (HHV)	Batas Bawah (LHV)	
	%	%	%	%	%	kJ/Kg	kJ/Kg	
1	0,60	65,18	5,08	12,87	24,73	32,733	31,042	Batubara Jenis 1
2	0,60	65,18	5,08	12,87	24,73	32,733	31,042	
3	0,60	65,18	5,08	12,87	24,73	32,733	31,042	
4	0,69	64,31	5,18	12,75	24,25	33,473	31,773	Batubara Jenis 2
5	0,69	64,31	5,18	12,75	24,25	33,473	31,773	
6	0,69	64,31	5,18	12,75	24,25	33,473	31,773	
7	0,69	64,31	5,18	12,75	24,25	33,473	31,773	

Mencari nilai HHV dan LHV yang belum diketahui, maka terlebih dahulu mencari *ultimat analysis*-nya.

Rumus : O₂

$$HHV = 33950. C + 144200\left(H_2 - \frac{O_2}{8}\right) + 9400.S$$

$$LHV = HHV - 2400 (M + 9 \times H_2)$$

- a. Menentukan nilai kalor batubara jenis 1 : Batubara 1 (tanggal 1-3 April 2020)

$$HHV = 33950(65,18) + 144200\left(5,08 - \frac{12,87}{8}\right) + 9400(0,60) = 32.733 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 32.733 - 2400 (24,73 + 9 \times 5,08) = 31.042 \text{ kJ/kg}$$

- b. Menentukan nilai kalor batubara jenis 2 : Batubara 2 (tanggal 4-7 April 2020)

$$HHV = 33950 (64,31) + 144200\left(5,18 - \frac{12,75}{8}\right) + 9400(0,69) = 33.473 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 33.473 - 2400 (24,25 + 9 \times 5,18) = 31.773 \text{ kJ/kg}$$

4.3 Menghitung Efisiensi Aktual

Tabel 3. Hasil Efisiensi Aktual

Tanggal	LHV	mbb Batubara	ms uap	h _{uap}	h _{air}	Efisiensi
	kJ/Kg	Ton/Hari	Ton/Hari	kJ/Kg	kJ/Kg	%
1	31,042	805	5.486	3481,8	901,2	57
2	31,042	804	4.730	3481,1	896,2	49
3	31,042	752	4.202	3478,1	901,2	46
4	31,773	719	4.996	3479,1	898,5	56
5	31,773	707	4.650	3479,9	899,0	53
6	31,773	735	5.614	3480,4	899,4	62
7	31,773	804	5.408	3480,4	901,2	55

Contoh perhitungan sebagai berikut :

- a. Menghitung efisiensi batubara jenis 1 : Batubara 1 (tanggal 1 April 2020)

Diketahui :

LHV = 31.042 kJ/kg

M_{bahan bakar} = 805 Ton/Hari

Mainsteam = 5.486 Ton/Hari

Dicari Efisiensi (η) = ?

$$\eta = \frac{M \text{ steam} \times (h_2 - h_1)}{M \text{ bahanbakar} \times \text{LHV}} = \frac{5.486 \times (3481,8 - 901,2)}{805 \times 31.042} = 57 \%$$

- b. Menghitung efisiensi batubara jenis 2 : Batubara 2 (tanggal 4 April 2020)

Diketahui :

LHV = 31.773 kJ/kg

M_{bahan bakar} = 719 Ton/Hari

Mainsteam = 4.996 Ton/Hari

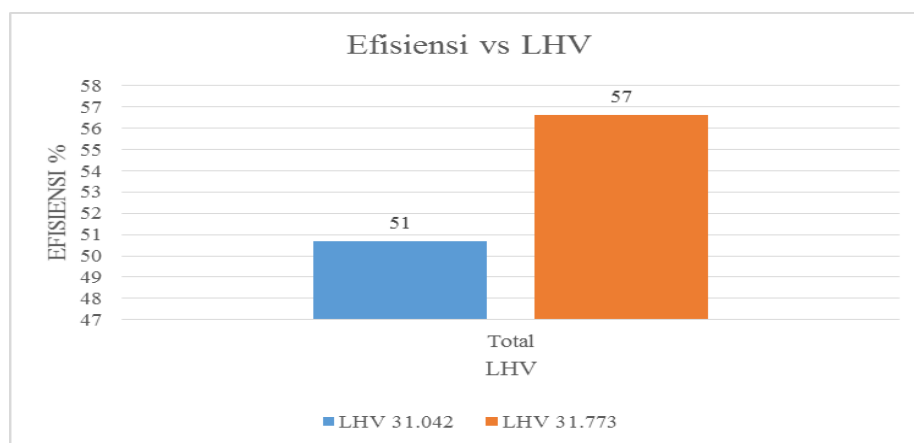
Dicari Efisiensi (η) = ?

$$\eta = \frac{M \text{ steam} \times (h_2 - h_1)}{M \text{ bahanbakar} \times \text{LHV}} = \frac{4.996 \times (3481,1 - 898,5)}{719 \times 31.773} = 56 \%$$

4.4 Analisa Perbandingan Efisiensi dengan LHV Aktual

Tabel 7 Perbandingan Efisiensi dan LHV

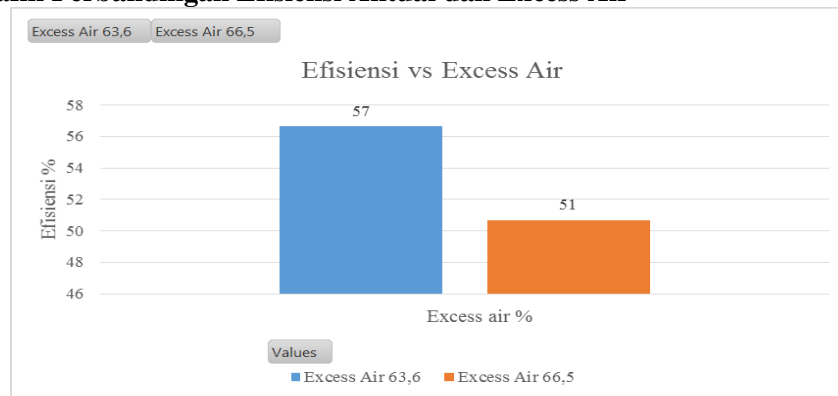
Tanggal	Batas Bawah LHV kJ/kg	Efisiensi Aktual (%)
1	31.042	57
2	31.042	49
3	31.042	46
4	31.773	56
5	31.773	53
6	31.773	62
7	31.773	55



Grafik 1. Analisa Perbandingan Efisiensi dan LHV

Pada grafik perbandingan antara nilai LHV dengan Efisiensi terlihat pada tanggal 1 sampai tanggal 3 nilai LHV stabil di angka 31.042 kJ/kg. Sementara dari tanggal 4 sampai tanggal 7 mengalami kenaikan nilai LHV yaitu 31.773 kJ/kg. Sedangkan untuk nilai efisiensi naik turun tiap hari dikarenakan massa batubara atau konsumsi batubara yang digunakan juga naik dan turun setiap hari. Dan pada grafik diatas menunjukkan jika nilai LHV naik maka nilai efisiensi juga akan naik. Efisiensi 51% dan 57% didapat dari perhitungan rata-rata pada nilai LHV yang berbeda.

4.5 Grafik Perbandingan Efisiensi Aktual dan Excess Air



Grafik 2. Analisa Perbandingan Efisiensi dan *Excess Air*

Pada grafik perbandingan antara nilai efisiensi dengan *excess air* terlihat nilai efisiensi didapat 51 % dengan nilai *excess air* 66,5 %. Sedangkan untuk nilai efisiensi 57 % didapat *excess air* 63,6 %. Dari grafik diatas menunjukkan jika nilai efisiensi naik maka nilai *excess air* akan turun.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapat bahwa pengaruh nilai kalor penggunaan batubara terhadap *efisiensi* dan *excess air* adalah :

- Efisiensi penggunaan batubara jenis 1 nilai LHV sebesar 31,042 kJ/kg dengan efisiensi mencapai 51 % nilai ini lebih rendah dari batu bara jenis 2 dengan nilai LHV sebesar 31,773 kJ/kg yang memiliki efisiensi 57 %. Jadi makin tinggi nilai LHV batubara maka efisiensi *boiler* makin besar.
- Excess air* untuk batubara jenis 1 dengan LHV sebesar 31,042 kJ/kg dalam sistem PT. XYZ mencapai 66,5 % sedangkan untuk batubara jenis 2 dengan LHV sebesar 31,773 kJ/kg memiliki nilai *excess air* sebesar 63,6 %. Sehingga batubara dengan LHV yang lebih tinggi memerlukan udara berlebih yang lebih rendah dan menghasilkan nilai efisiensi yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Buecker, Brad. 2002. *Basic Of Boiler And HRSG Design*. Tulsa, Oklahoma: Penwell Corp.

Diklat PLN. 2006. *Performance Test PLTU*. PLTU Tanjung Awar-Awar.

Nasorudin, Tubagus Ahmad. 2014. *Uji Kualitas Syngas Bahan Bakar Bonggol Jagung terhadap Air Fuel Ratio (AFR) dan Kadar Air dengan Gasifikasi Downdraft*. Cilegon: Skripsi Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Formosa Heavy Industries Corporation. 1995. *System Description of Boiler Control System For 300 T/H Drum Type Boiler*. Taiwan: FHI Corp.

Surindra, M Denny. 2014. *Analisis Variasi Nilai Kalor Batubara di PLTU Tanjung Jati B terhadap Energi Input System*. Semarang: Jurnal Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang. Vol. 9, No. 3.

Sugiyono. 2015. *Metode Penelitian dan Pengembangan (Research and Development)*. Bandung: ALFABETA.

Pudjanarsa, Astu dan Djati Nursuhud. 2013. *Mesin Konversi Energi (Edisi 3)*. Yogyakarta: ANDI OFFSET.

Wiharjo, Danu. 2011. *Analisa Nilai Excess Air untuk Meningkatkan Efisiensi Pembakaran Boiler pada Load Rate 641.15 MW di PLTU PAITON Unit 7*. Malang: Laporan Tugas Akhir Fakultas Teknik Politeknik Negeri Malang.

World Coal Institute. 1985. London.

Yunus. A. Cengel, dan John. M. Cimbala. 2006. *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. United States: The McGraw-Hill Companies. Inc.

Zemansky Mark W. dan Richard H. Dittman. 1997. *Heat and Thermodynamics*. The McGraw-Hill Companies, Inc.