

ANALISA SUHU NYALA ADIABATIK DARI BERBAGAI JENIS BATU BARA

Daud Patabang *

Abstract

The aim of this investigation is to find out adiabatic flame temperatures of coal that consists of anthracite, bituminous, sub bituminous and lignite. Besides, correlations between adiabatic flame temperatures and content of constituent in coal are also performed. Content of carbon, hydrogen, oxygen and nitrogen are factors that affect the flame temperatures. The results are the adiabatic flame temperatures of anthracite is 1913 °C, bituminous 1892 °C, subitumionous 1988 °C and lignite 2026 °C. The higher of Adiabatic flame temperature, the higher of hydrogen content and volatile matters simultaneously. Vice versa, nitrogen and Ash decrease.

Key words: : Adiabatic flame temperatures, Coal

Abstrak

Tujuan pengkajian ini untuk mendapatkan besaran suhu nyala adiabatik untuk setiap jenis batubara dunia yang dibagi atas 4 kelas yaitu batubara antracite, batubara bituminous, batubara subituminous dan batubara lignite. Disamping besaran suhu nyala adiabatik juga dikaji hubungannya dengan kandungan konstituen dari setiap batubara tersebut di atas.

Metode pengkajian dilakukan dengan menghitung suhu nyala adiabatik berdasarkan kandungan konstituen yaitu kandungan carbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen.

Hasil yang dicapai adalah suhu nyala adiabatik masing-masing batubara yaitu batubara antracite 1913 °C, batubara bituminous 1892 °C, batubara subituminous 1988 °C dan batubara lignite 2026 °C.

Kecendrungan kenaikan suhu nyala adiabatik berkorelasi dengan kenaikan hidrogen, dan Volatile Matters, akan tetapi berkorelasi negatif dengan kenaikan nitrogen dan kandungan Ash.

Kata kunci: Suhu nyala adiabatik, batubara

1. Pendahuluan

Suhu nyala adiabatik adalah suhu maksimum nyala bahan bakar yang terjadi apabila tidak ada kebocoran panas ke sekelilingnya. Suhu nyala adiabatik diperlukan untuk mengetahui berapa besar panas yang terjadi ketika bahan bakar tersebut dibakar. Hal ini merupakan salah satu parameter karakteristik termal dari bahan bakar, seperti halnya batubara yang dipakai sebagai bahan bakar untuk memanaskan air di dalam ketel uap untuk menghasilkan uap yang memiliki

suhu dan tekanan tinggi yang dipakai memutar generator untuk membangkitkan energi listrik.

Jenis batubara dunia yang akan ditinjau adalah batubara antracite, batubara bituminous, batubara subbituminous dan batubara lignite.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Suhu nyala adiabatik

Suhu nyala adiabatik adalah suhu dimana pada pembakaran bahan bakar tidak ada perpindahan panas ke

sekeliling dan tidak ada kerja yang dilakukan.

Pada sistem terbuka, untuk sistem aliran steady state, dimana perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan maka persamaan kesetimbangan digambarkan pada Gambar 1.

Persamaan kesetimbangan energi untuk kondisi ini adalah:

$$H_R + \Delta Q = H_P + \Delta W_{SF} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- H_R : adalah entalpi reaktan
- H_P : adalah entalpi produk
- ΔQ : adalah panas netto yang masuk ke sistem dari sekeliling
- ΔW_{SF} : adalah kerja netto yang dilakukan oleh sistem

Olehkarena reaktan dan produk umumnya tersusun dari beberapa konstituen, maka dapat ditulis :

$$\sum_R (mh) + \Delta Q = \sum_P (mh) + \Delta W_{SF} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana : $m = nM$

Sehingga persamaan di atas diubah menjadi :

$$\sum_R (nMh_f) + \Delta Q = \sum_P (nMh_f) + \Delta W_{SF} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- m : adalah massa masing-masing konstituen
- n : adalah jumlah bilangan molekul masing-masing konstituen
- M : adalah massa molekuler masing-masing konstituen
- h_f : adalah entalpi formasi dari masing-masing konstituen

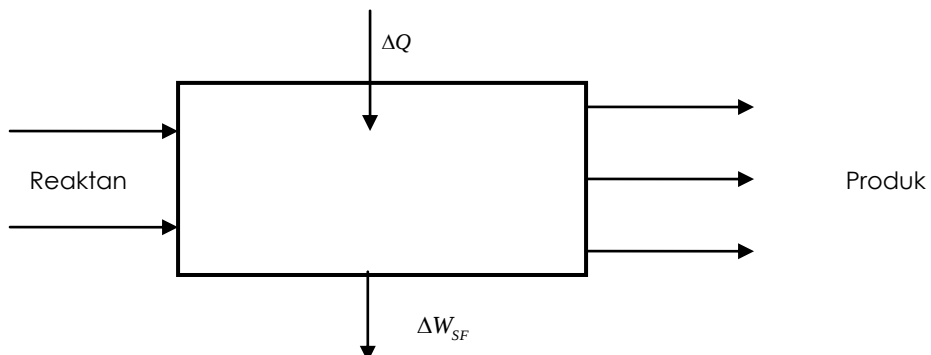
Pada kondisi adiabatik dapat dinyatakan sebagai : $\Delta Q = \Delta W_{SF} = 0$.

Sehingga $\sum_R (mMh_f) = \sum_P (mMh_f)$

Selanjutnya suhu nyala adiabatik dihitung dari persamaan reaksi pembakaran stoikiometrik berdasarkan kandungan dari konstituen bahan bakar.

2.2 Perhitungan Suhu Nyala Adiabatik untuk Batubara Antracite

Perhitungan suhu nyala adiabatik didasarkan atas persentase massa dari kandungan carbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen di dalam batubara.



Gambar 1: Persamaan kesetimbangan untuk kondisi steady

Dari hasil pengujian dengan analisis ultimasi diperoleh kandungan konstituen batubara antracite yaitu 83,9 %C, 1,3 %N₂, 2,9 %H₂, dan 0,7 %O₂

temperatur reaktan 29 °C, maka temperatur nyala adiabatik dapat dihitung sebagai berikut:

- Komposisi molal dari batubara *antracite* adalah :

$$\frac{0,839}{12,011} C + \frac{0,029}{2,016} H_2 + \frac{0,007}{32} O_2 + \frac{0,013}{28,016} N_2$$

atau

$$0,06985 C + 0,01438 H_2 + 2,1875 \times 10^{-3} O_2 + 4,64 \times 10^{-4} N_2$$

Dinormalisasi dengan 1 mol batubara antracite sehingga diperoleh :

$$0,8226 C + 0,16935 H_2 + 2,576 \times 10^{-3} O_2 + 5,4644 \times 10^{-3} N_2$$

Reaksi pembakaran stoikiometrik :

$$\begin{aligned} &0,8226 C + 0,16935 H_2 + 2,576 \times 10^{-3} O_2 + 5,4644 \times 10^{-3} N_2 + \\ &\left(0,8226 + \frac{0,16935}{2} - 2,576 \times 10^{-3} \right) O_2 + \left(0,8226 + \frac{0,16935}{2} - 2,576 \times 10^{-3} \right) 3,76 N_2 \rightarrow \\ &0,8226 CO_2 + 0,16935 H_2O + \left(0,8226 + \frac{0,16935}{2} - 2,576 \times 10^{-3} + 5,4644 \times 10^{-3} \right) N_2 \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned} &0,8226 C + 0,16935 H_2 + 2,576 \times 10^{-3} O_2 + 5,4644 \times 10^{-3} N_2 + 0,909851 O_2 + 3,421 N_2 \\ &\rightarrow 0,8226 CO_2 + 0,16932 H_2O + 0,9102 N_2 \end{aligned}$$

Dengan menambahkan kelebihan udara 20%, maka reaksi pembakaran menjadi:

$$\begin{aligned} &0,8226 C + 0,16935 H_2 + 2,576 \times 10^{-3} O_2 + 5,4644 \times 10^{-3} N_2 + (1,20 \times 0,909851) O_2 \\ &+ (1,20 \times 3,421) N_2 \rightarrow 0,8226 CO_2 + 0,16935 H_2O + (0,2 \times 0,909851) O_2 + (1,20 \times 3,421 \\ &+ 5,4644 \times 10^{-3}) N_2 \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned} &0,8226 C + 0,16935 H_2 + 2,576 \times 10^{-3} O_2 + 5,4644 \times 10^{-3} N_2 + 1,0918 O_2 + 4,1052 N_2 \\ &\rightarrow 0,8226 CO_2 + 0,16935 H_2O + 0,18197 O_2 + 4,110 N_2 \end{aligned}$$

Karena kondisi yang ditinjau adalah adiabatik, maka $\Delta Q = 0$, dan $\Delta W_{SF} = 0$

Sehingga $\sum_R (nMh_f) = \sum_P (nMh_f)$

Seluruh reaktan pada kasus khusus dibuat menjadi substans elemental (tidak berlaku apabila bahan bakar mengandung molekul kompleks seperti hidrocarbon), sehingga pada suhu 25 °C diperoleh :

$$\sum_R (nMh_f) = 0$$

Dan pada temperatur ini produk menjadi $\sum_P (nMh_f) = 0$

Selanjutnya suhu nyala adibatik diperoleh dengan menggunakan table entalpi pembentukan h_f pada suhu dan tekanan yang berbeda : (Tabel 4-8, p.163 Powerplant Technolgy by.M.M.El-Wakil, Pub.McGraw-Hill Book Company).

Dari tabel tersebut dengan menggunakan data pada suhu antara 2100 K dan 2200 K dan dengan trial and error pada suhu tersebut diperoleh seperti pada Tabel 1.

Dengan cara perhitungan yang sama untuk batubara antracite, maka nilai suhu nyala adiabatik untuk batubara bituminous, batubara subituminous dan batubara lignite diperoleh seperti pada tabel 2.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil analisis

Hasil perhitungan suhu nyala adiabatik batubara adalah seperti tertera pada Tabel 2.

Tabel 1. Produk $\sum_P (nMh_f) = 0$ pada suhu T= 2100 K dan pada T= 2200 K

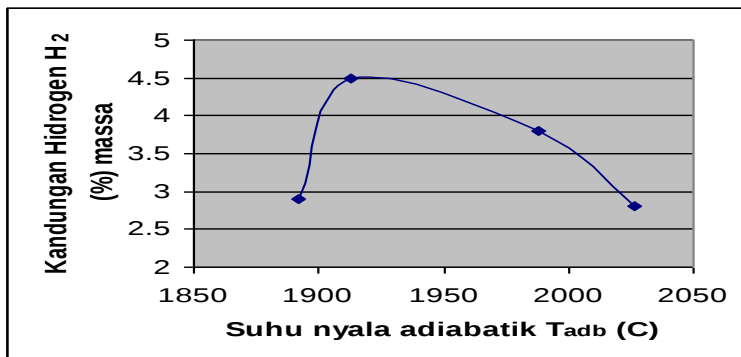
Pada suhu T = 2100 K diperoleh :
$\sum_P (nMh_f) = 0,8226(44,011)(-2893,6) + 0,16935(18,016)(-3916) + 0,18197(32)(846,8)$ $+ 4,110(28,016)(917,5) = -6126,75 \text{ Btu / lb.mol batubara antracite}$
Pada T = 2200 K
$\sum_P (nMh_f) = 0,8226(44,011)(-2834,2) + 0,16935(18,016)(-3791,8) + 0,18197(32)(929,3)$ $+ 4,110(28,016)(973,1) = 3285,1 \text{ Btu / lb.mol batubara antracite}$
Dengan interpolasi untuk $\sum_P (nMh_f) = 0$
Diperoleh suhu nyala adiabatik,
$T_{adiabatik} = 2195 \text{ K} = 1892 \text{ } ^\circ\text{C}$

Tabel 2. Hasil perhitungan suhu nyala adiatik untuk berbagai jenis batubara

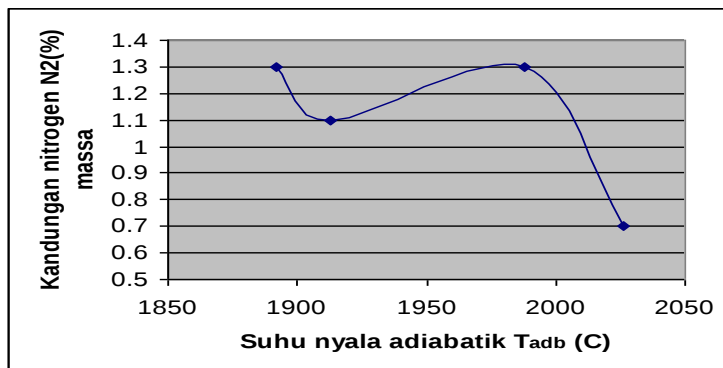
PROXIMATE ANALYSIS				
	Jenis Batubara			
(% massa)	Antracite	Bituminous	Subbituminous	Lignite
Fixed Carbon (FC)	83.3	70	45.9	30.8
Volatile Matters (VM)	5.7	20.5	30.5	28.2

Tabel 2. Hasil perhitungan suhu nyala adiatic untuk berbagai jenis batubara (lanjutan)

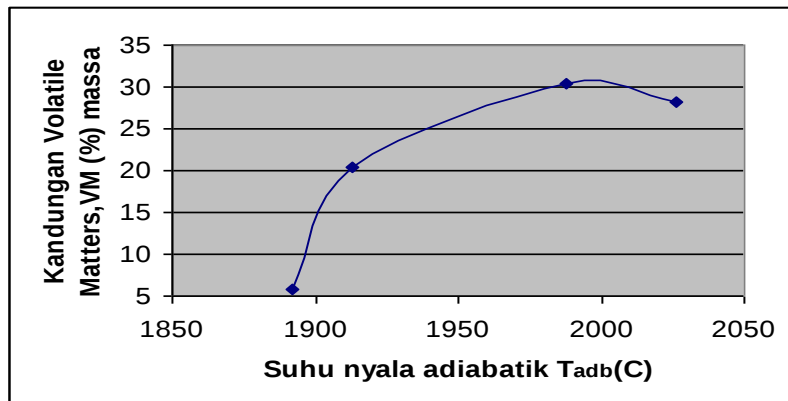
PROXIMATE ANALYSIS				
	Jenis Batubara			
(% massa)	Antracite	Bituminous	Subbituminous	Lignite
Moisture (M)	2.5	3.3	19.6	34.8
Ash (A)	8	6.2	4	6.2
ULTIMATE ANALYSIS				
Carbon, C	89.3	80.7	58.8	42.4
Hidrogen (H ₂)	2.9	4.5	3.8	2.8
Sulfur (S)	0.7	1.8	0.3	0.7
Oksigen (O ₂)	0.7	2.4	12.2	12.4
Nitrogen (N ₂)	1.3	1.1	1.3	0.7
Air (H ₂ O)	2.5	3.3	19.6	34.8
Nilai Kalor HHV (Btu/lb)	13,710	14,310	10,130	7,210
Suhu nyala adiabatik T_{adb}(°C)	1892	1913	1988	2026



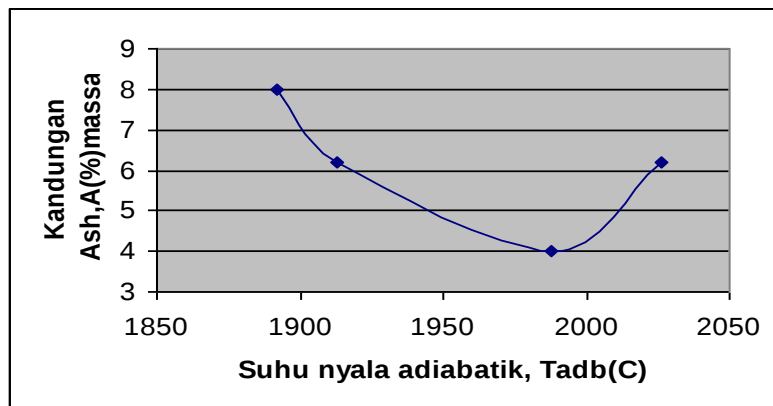
Gambar 2. Grafik Hubungan antara kandungan hidrogen H₂ (%) massa dalam batubara dengan suhu nyala adiabatik T_{adb} (°C)



Gambar 3. Grafik Hubungan antara kandungan nitrogen N₂ (%) massa dalam batubara dengan suhu nyala adiabatik T_{adb} (°C)



Gambar 4. Grafik Hubungan antara kandungan Volatile Matters, VM (%) massa dalam batubara dengan suhu nyala adiabatik T_{adb} (°C)



Gambar 5. Grafik Hubungan antara kandungan Ash, A (%) massa dalam batubara dengan suhu nyala adiabatik T_{adb} (°C)

3.2 Pembahasan

Dari Gambar 2, grafik hubungan antara kandungan hidrogen dalam batubara terlihat bahwa hidrogen membuat kecenderungan kenaikan suhu nyala adiabatik.

Pada Gambar 3 mengindikasikan kenaikan nitrogen dalam batubara mengakibatkan kecenderungan penurunan suhu nyala adiabatik batubara. Kenaikan volatile matters, VM mengakibatkan kenaikan suhu nyala adiabatik (Gambar 4). Kenaikan Ash dalam batubara

mengakibatkan turunnya suhu nyala adiabatik (Gambar 5).

Fenomena naiknya suhu nyala adiabatik dengan rendahnya nilai kalor batubara, rendahnya Fixed Carbon menunjukkan bahwa suhu nyala adiabatik tidak berkorelasi secara langsung terhadap kualitas atau tingkatan batubara, dimana pada kenyataan bahwa kenaikan Fixed Carbon mengakibatkan kenaikan nilai kalor batubara, oleh karena itu perlu ada pengkajian tentang laju evolusi massa batubara terhadap durasi waktu pembakarannya.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

- 1) Dari hasil perhitungan Suhu nyala adiabatik berdasarkan klandungan konstituen dalam tiap-tiap batubara yaitu batubara antracite 1892 °C, batubara bituminous 1913 °C, batubara subituminous 1988 °C dan batubara lignite 2026 °C.
- 2) Dari data hasil perhitungan suhu nyala adiabatik dan disandingkan dengan konstituen yang terkandung dalam batubara diperoleh trend data sebagai berikut : hidrogen membuat kecendrungan kenaikan suhu nyala adiabatik, Kenaikan nitrogen dalam batubara mengakibatkan kecendrungan penurunan suhu nyala adiabatik batubara, Kenaikan volatile matters, VM mengakibatkan kenaikan suhu nyala adiabatik dan Kenaikan Ash dalam batubara mengakibatkan turunnya suhu nyala adiabatik.

4.2 Saran

Untuk dapat menjawab secara tuntas tentang karakteristik batubara sehubungan dengan suhu nyala adiabatik, maka diperlukan penelitian tentang laju evolusi massa terhadap durasi pembakaran untuk mengetahui apakah suhu nyala adiabatik berkorelasi terhadap mutu dari berbagai jenis batubara.

5. Daftar Pustaka

- Abdullah,K., A.K Irwanto, N.Siregar, E.Agustina, A.H.Tambunan, M.Yamin, E.Hartulistiyoso dan Y.Purwanto, 1991.*Energi dan Listrik Pertanian*. IPB-Bogor
- Babcock & Wilcox, 1992., *Steam in generation and use*, Ed.40th,printed in the United States of America

Burleson Donald R, 1980. *Elementary Statistics*, Winthrop Publisher,Inc. Cambridge, Massachussets

El-Wakil,M.M, 1982, *Powerplant Technology*, 2nd printing, McGraw-Hill Book Company

Kementrian Negara Riset dan Teknologi, @ 2004 ristek.go.id. htm, online, diakses 25 Agustus 2006

Pratoto,A., 2003, *Combustion Characteristics of Oil Palm's Empty Fruit Bunches*, Proceedings of the International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion, Bali, Indonesia, December 7-11,2003.

Patabang Daud, 2007, *Studi Karakteristik Pembakaran Briket Arang Kulit Kemiri*, Tesis S2 Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin, Makassar.