

LONJAKAN THERMAL RUANG BAKAR

Pawito S*)

1. PENDAHULUAN

Kompleksnya perubah-perubah berpengaruh dan masih sedikitnya pengetahuan tentang mekanisme pembakaran di ruang bakar, menyebabkan adanya kesenjangan yang cukup besar antara hasil peramalan analitik dengan data industri. Kadang-kadang, bahkan sering, hasil perhitungan analitik menyajikan hasil yang tidak masuk akal. Terjadinya keadaan yang terganggu kesetimbangan menyebabkan semakin kompleksnya mekanisme yang terjadi. Beberapa model telah dibangun seperti model klasik, Rosin, Semenov dan Vulis-Essenhigh, tetapi belum memberikan hasil dengan ketelitian yang cukup handal.

Pada tulisan ini, akan disajikan keterkaitan kerapatan bahan bakar, dimensi ruang bakar serta temperatur gas dan dinding pada keadaan kritis yang memungkinkan terjadinya ledakan thermal.

Pada majalah Teknik Mesin No. 2 & 3 Vol. III/1984 telah dilakukan pembahasan ruang bakar model Rosin. Model Rosin tersebut menganggap keadaan ajeg telah tercapai, yaitu:

- reaksi berlangsung dengan laju yang tetap.
- kalor yang dibangkitkan sama dengan kalor yang dilepaskan.

Keadaan tersebut tidak selalu dapat tercapai. Walaupun tidak diinginkan, kadang-kadang terjadi ledakan (explosions) atau padam. Keadaan tersebut dapat terjadi bila laju kalor yang dibangkitkan tidak sama dengan laju kalor yang dilepaskan. Pengertian "ledakan" bukanlah dalam arti yang sama dengan ledakan pada TNT. Pengertian istilah ledakan hanya dikaitkan pada ketidaksetimbangan antara kalor yang dibangkitkan dan yang dilepaskan.

LAMBANG-LAMBANG

- A : Tetapan laju kinetik = $\frac{V k_o}{S}$ [m/hr]
 Q : Kalor reaksi [k.kal/mol.produk]
 R : Tetapan gas 1,986 k.kal/kg mol °K
 S : Luas permukaan dalam ruang bakar [m²]
 T : Temperatur dinding [°C atau °K]
 T_w : Temperatur dinding [°C atau °K]
 T_{ign} : Temperatur pembakaran [°C atau °K]
 T_{st} : Temperatur ajeg [°C atau °K]

T_c : Temperatur keadaan kritis [°C atau °K]

V : Isi ruang bakar [m³]

$\frac{-E}{RT}$: Fungsi Arrhenius

k_o : Tetapan laju kinetik [1/hr]

f(n)_c : Fungsi kerapatan reaktor [mole/m³]

n : Jumlah mol komponen di dalam volume V

κ : Koefisien perpindahan kalor [k.kal/hr m °C]

φ⁻ : Fluks kalor pada permukaan dinding [k.kal/m² hr]

φ⁺ : Laju pembangkitan kalor [k.kal/m² hr]

φ : Laju pembangkitan kalor total [k.kal/hr]

MODEL SEMENOV

Analisis ketidaksetimbangan thermal dilakukan dengan mengambil model Semenov dan dinamakan lonjakan thermal Semenov. Lonjakan thermal Semenov telah dikembangkan oleh Bradley dengan anggapan temperatur dinding T_w dan temperatur gas T berharga tetap.

Kalor yang dilepas:

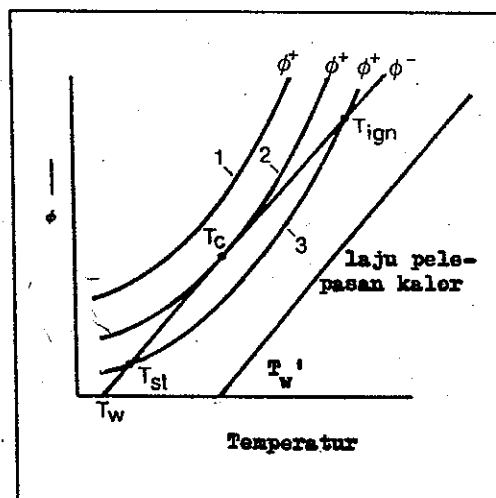
$$\phi^- = \kappa \frac{S}{V} (T - T_w) \text{ k.kal/m}^2 \cdot \text{hr} \quad (1)$$

Kalor yang dibangkitkan (Arrhenius):

$$\phi^+ = Q f(n) \cdot V k_o e^{-E/RT} \text{ k.kal/hr} \quad (2)$$

atau

$$\phi^+ = Q f(n) \frac{V k_o}{S} e^{-E/RT} \text{ k.kal/m}^2 \cdot \text{hr} \quad (3)$$



*) Staf Jurusan Mesin, Laboratorium Teknik Uap ITB.

Kriteria Semenov.

$Q(fn)$ dapat diartikan sebagai kerapatan pembakaran. Untuk bentuk yang telah ditetapkan, persamaan (1) merupakan garis lurus tunggal dan persamaan (3) merupakan famili kurva lengkung dalam diagram ϕ vs T . Kurva (1) menunjukkan laju pembangkitan kalor ϕ^+ selalu lebih besar daripada laju pelepasan kalor ϕ^- . Hal tersebut menunjukkan keadaan ledakan.

Kurva (3) mempunyai 2 buah titik potong. Antara titik-titik potong tersebut laju pembangkitan kalor selalu lebih kecil daripada laju pelepasan kalor.

T_{st} adalah titik mantap (stabil). Pada temperatur T_{st} terjadi reaksi pembakaran yang mantap. T_{st} tidak dapat diartikan sebagai temperatur yang menyebabkan campuran bahan bakar-udara terbakar dengan sendirinya. T_{ign} menunjukkan terjadinya pembakaran yang dapat berkembang menjadi ledakan atau pembakaran mantap. T_c menunjukkan keadaan berlangsungnya pembakaran tanpa penambahan kalor dan disebut "self-ignitation".

Pada titik singgung tersebut, tercapai keadaan:

$$\begin{aligned}\phi^+ &= \phi^- \\ \frac{\partial \phi^+}{\partial T} &= \frac{\partial \phi^-}{\partial T}\end{aligned}\quad (3)$$

atau

$$\kappa S (T_c - T_w) = Q f(n) A e^{-E/RT_c} \quad (4)$$

$$\kappa S = Q f(n) A \frac{E}{RT_c^2} e^{-E/RT_c} \quad (5)$$

setelah disusun didapat :

$$(T_c - T_w) = \frac{RT_c^2}{E} \quad (6)$$

atau

$$T_c^2 - \frac{E}{R} T_c + \frac{E}{R} T_w = 0 \quad (7)$$

Yang mempunyai solusi:

$$T_c = \frac{E}{2R} \pm \frac{1}{2} \left[\frac{E}{R} \left(\frac{E}{R} - 4 T_w \right) \right]^{1/2}$$

Karena hasil imajiner tidak mungkin

$$\frac{E}{R} \geq 4 T_w$$

Ambil $E \sim 20$ k.kal/g-mol, didapat batas atas harga $T_w = 2500$ °K. Dalam keadaan $E/R = 4 T_w$, akan didapatkan $T_c = 5000$ °K atau 0 °K. Hal tersebut menunjukkan bahwa analisis, pada hakekatnya tidak masuk akal.

Dari persamaan (6) dapat dinyatakan:

$$\begin{aligned}T_c - T_w &= \frac{RT_w^2}{E} \left(\frac{T_c}{T_w} \right)^2 \\ &= \frac{RT_w^2}{E} \left[\frac{T_w + T_c - T_w}{T_w} \right]\end{aligned}$$

$$\frac{T_c - T_w}{T_w} = \frac{RT_w}{E} \left[1 + \frac{T_c - T_w}{T_w} \right] \quad (8)$$

Dengan menentukan batasan :

$$\Theta_c = \frac{T_c - T_w}{T_w} \quad (9)$$

maka

$$\Theta_c = \frac{R T_w}{E} (1 + \Theta_c)^2 \quad (10)$$

Dalam pengetrapan praktis, T_w selalu lebih kecil daripada T_c dan T_w kurang lebih 1000 K.

Untuk keadaan $\Theta_c \ll 1$ maka

$$\Theta_c = \frac{R T_w}{E} \quad (11)$$

Dengan mengambil E sebesar 20 k.kal/g-mol, $T_w = 1000$ K dan R 2 k.kal/kg-mol. K, didapat

$$\Theta_c \sim \frac{1}{10}$$

maka $T_c = 1100$ °K

Bila pembakaran terjadi dengan pelumeran abu yang berat, pengambilan $T_w = 1500$ °K adalah masuk akal, maka didapat:

$$\Theta_c \approx 0,15$$

dan $T_c \approx 1725$ °K.

Persamaan (11) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$T_c - T_w = \frac{R T_w^2}{E} \quad (12)$$

dengan memasukkan ke persamaan (5), didapat:

$$\frac{\kappa S}{V} \left(\frac{RT_w^2}{E} \right) = Q f(n)_c A e^{-E/R \left(T_w + \frac{R T_w^2}{E} \right)} \quad (13)$$

Tulis kembali pangkat pada sebelah kanan tanda sama dengan:

$$\frac{E}{R \left(T_w + \frac{R T_w^2}{E} \right)} = \frac{E^2}{E R T_w + R^2 T_w^2}$$

Dengan melakukan pembagian, didapat:

$$\frac{E^2}{E R T_w + R^2 T_w^2} = \frac{E}{R T_w} - \frac{1}{1 + \frac{R T_w}{E}}$$

Untuk perkiraan kasar, suku $R T_w/E$ diabaikan. Maka persamaan (13) menjadi:

$$\frac{\kappa S}{V} \left(\frac{RT_w^2}{E} \right) = Q f(n)_c A e^{-\frac{E}{R T_w} + 1} \quad (14)$$

Indeks "c" menyatakan keadaan kritis. Maka konsentrasi reaktor yang berkaitan dengan keadaan tersebut adalah:

$$f(n)_c = \frac{\kappa S R T_w^2 e^{-E/R T_w}}{Q A V E e} \quad (15)$$

Dengan menentukan batasan

$$D = \frac{\kappa S R}{Q A V E e} \quad (16)$$

dapat dinyatakan

$$f(n)_c = D T_w^2 e^{-E/R T_w} \quad (17)$$

Dalam kenyataannya untuk mengurangi penyimpanan, suku "e" pada pembagi pada persamaan (17) dapat diganti $e^{0.95}$, maka dengan batasan:

$$D^1 = \frac{\kappa S R}{Q A V E e^{0.95}} \quad (18)$$

diperoleh:

$$f(n)_c = D^1 T_w^2 e^{E/R T_w} \quad (19)$$

atau

$$\ln \frac{f(n)_c}{T_w^2} = \frac{E}{R T_w} + \ln D^1 \quad (20)$$

Persamaan (20) diperkirakan sebagai salah satu syarat terjadinya lonjakan thermal. Kejadian lonjakan thermal, didasarkan pada konsepsi Semenov yang menganggap bahwa keadaan kesetimbangan ditentukan oleh titik potong kurva pelepasan dan penangkapan kalor oleh permukaan dinding ruang bakar yang seragam.

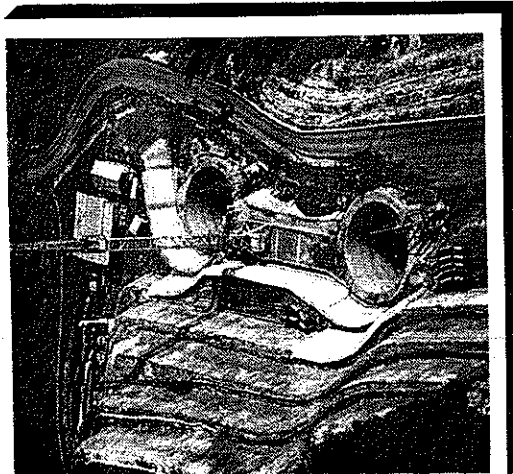
Dalam praktek, tidak semua permukaan dinding berupa tabir pipa. Pada tabir pipa pun tidak semuanya merupakan permukaan pipa. Adanya membran (sirip) dan perubahan kualitas uap dalam arah vertikal juga merupakan penyebab terjadinya penyebaran temperatur yang tidak seragam.

DAFTAR RUJUKAN

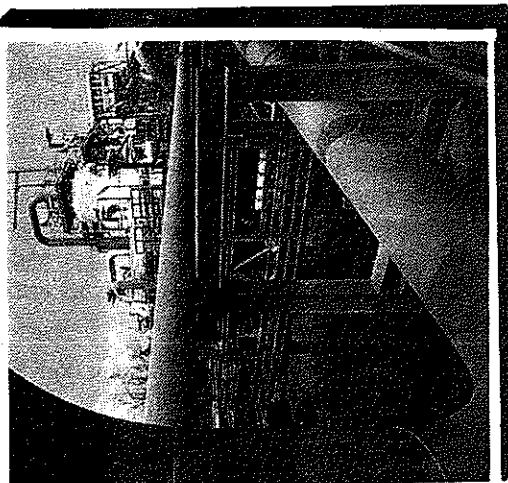
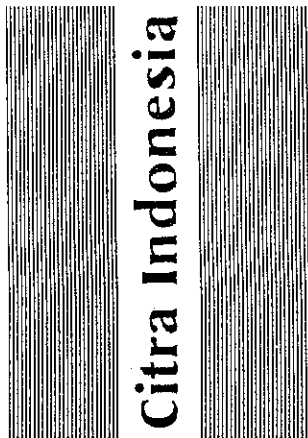
1. C.E., Ignition Systems for Pulverized Coal, C.E. Inc., Texas, 1978.
2. M. Wiener, The Latest Developments in Natural Circulation Boiler Design, American Power Conference, Chicago, 1977.
3. Joseph G. Singer, C.E., Combustion, Fossil Power Systems, C.E. Inc., Windsor, 1981.
4. John N. Bradley, Flame and Combustion Phenomena, Methuen and Co., London, 1969.

@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@





□ CIVIL ENGINEERING
AND CONSTRUCTION
DIVISION



□ OIL AND GAS
DIVISION

□ PROCESS ENGINEERING
AND GENERAL CONTRACTING
DIVISION

□ ELECTRICAL
AND NUCLEAR POWER
DIVISION

PT Citra Indonesia
13th Floor, Arthaloka Bldg.
Jl. Jend. Sudirman 2 Jakarta P.O. Box 2701
Tel. 583287 Telex : 44474 Citra IA