

Analisa Economizer Dalam Ruang Pembakaran Ketel Uap Pada Pabrik CPO

Lelawati¹

Email: llwtnaz@yahoo.com

Abstract

A steam boiler is a device that works by heating water to a boil to produce high pressure hot steam. The drum is made of forged steel DIN 17100, St 37-1 with a tensile strength of $240 \text{ N/mm}^2 = 240 \text{ kg/cm}^2$. In the palm oil processing industry CPO (Crude Palm Oil) the hot steam produced by the steam boiler is used to drive steam turbines, as source of electrical energy, oil palm boiling, and other palm oil processing processes. The economizer is part of a steam boiler which serves to heat water for filling the kettle so that it reaches its boiling point.

Keywords: CPO, Steam Kettle, Economizer

Pendahuluan

Proses Pengolahan industri pengolahan CPO (*Crude Palm Oil*) dilakukan dengan cara perebusan buah kelapa sawit, dalam proses perebusan sangat membutuhkan peran ketel uap, Ketel uap merupakan alat yang bekerja dengan cara memanaskan air hingga mendidih agar menghasilkan uap panas yang bertekanan tinggi.

Dalam merencanakan ketel uap hal-hal yang harus diperhatikan adalah:

- Letak ketinggian permukaan tanah dimana ketel akan diadakan.
- Bahan bakar yang digunakan dan harganya, dimana terdapat bahan bakar yang banyak tersedia dengan harga yang relatif murah.
- Tersedianya air ketel yang cukup untuk kebutuhan ketel.
- Ongkos dan biaya pemeliharaan relatif murah. Digunakan untuk keperluan proses didalam industri.

Didalam pabrik pengolahan minyak kelapa sawit (CPO) uap hasil pengolahan ketel uap sangat dibutuhkan untuk keperluan proses antara lain:

- a. Digunakan pada proses perebusan kelapa sawit pada strelizer yang menggunakan uap bersuhu tinggi.
- b. Digunakan untuk pemanasan tangki-tangki penampungan *crude oil* agar penyimpanan tetap dalam keadaan cair.

- c. Turbin adalah salah satu mesin penggerak utama untuk menggerakkan suatu peralatan dimana media penggeraknya menggunakan uap hasil ketel.
- d. Energi potensial uap yang terkandung didalam uap di ubah menjadi energi kinetik di dalam turbin uap. Selanjutnya energi kinetik tersebut diubah lagi menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin yang dapat dihubungkan ke generator pembangkit energi listrik yang digunakan sebagai sumber energi listrik pada pabrik.

Kajian Teori

Jenis - jenis dari uap

Uap Basah adalah uap yang masih bercampur bagian air halus yang mempunyai suhu yang sama. Besarnya entalpi jenis dari uap basah adalah:

$$H = h^1 + x \cdot r$$

Dimana:

H = Entalpi Jenis

h^1 = Kalor zat cair

x = Jumlah uap yang terdapat dalam kalor basah tersebut

r = Kalor penguapan

Uap Jenuh

Uap jenuh adalah uap yang tidak mengandung bagian – bagian air. Besar entalpi jenis dari uap jenuh adalah:

$$H = h^1 + r$$

¹ Dosen Fak. Teknik Prodi Teknik Mesin Universitas Prof. Dr. Hazairin SH Bengkulu
Majalah Teknik Simes Vol.15 No.2 Juli 2021

Uap panas lanjut adalah uap yang dapat dari pemanas. Besarnya entalpi jenis uap panas lanjut ini adalah:

$$H = h^1 + r + cp \cdot \Delta t$$

Dimana:

Cp = panas jenis pada tekanan uap

Δt = perbedaan temperatur uap masuk dan keluar superheater untuk mengubah uap panas jenuh menjadi uap panas lanjut.

Proses kerja pada katel uap pipa air sendiri dimulai dari masuknya bahan bakar ke ruang bakar ketel dan masuknya air dari bak air isian yang ditarik oleh pompa melewati pipa economizer agar air dipanaskan terlebih dahulu menggunakan udara panas dari sisa pembakaran. Air yang sudah masuk ke drum atas turun ke drum bawah untuk di didihkan, uap hasil pemanasan air masuk ke drum penampungan uap, uap akan keluar melalui pipa yang di arahkan ke alat atau mesin kerja yang di inginkan seperti turbin uap dan steam tempat perebusan sawit.

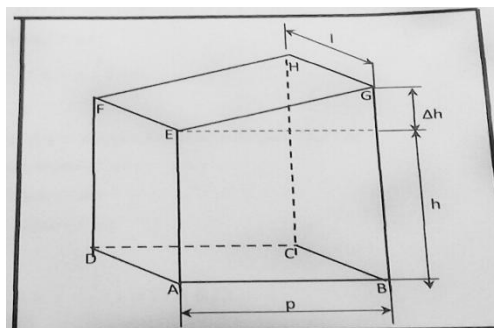
Metodologi

Ruang bakar adalah suatu tempat terjadinya pembakaran bahan bakar dan panas yang dihasilkan kemudian digunakan untuk pembentukan uap yang ada di dalam ketel.

Panjang (p) AB = 5 m

Lebar (l) = 5 m

Tinggi (h) = 6 m



Gambar 1. Kontruksi ruang Pembakaran

Tinggi Dapur Ketel Uap

Tinggi ruang dapur dengan sudut kemiringan pembengkokan laju laluan pada gas ruang bakar (Δh), sudut

kemiringan pembengkokan ($\alpha = 10^\circ - 20^\circ$) diambil 20° .

$$\Delta h = \text{tg } \alpha \cdot l$$

Penjelasan:

Tg α = sudut krmiringsn pembengkokak ($^\circ$)

l = lebar dapur (5)

maka:

$$\Delta h = \text{tg } \alpha \cdot l$$

$$\Delta h = \text{tg } 20^\circ \cdot 5$$

$$\Delta h = 2,45 \text{ m}$$

Tinggi keseluruhan dapur dari header kedrum (H) dengan bengkokak 20°

$$H = h + \Delta h$$

Penjelasan:

h = Tinggi dapur

Δh = Tinggi dapur dengan sudut kemiringan (m)

maka:

$$H = h + \Delta h$$

$$H = 6 + 2,45$$

$$H = 8,45 \text{ m}$$

Volume Ruang Pembakaran

$$V = (p \cdot l) \cdot H + \frac{1}{2} (p \cdot l) \cdot \Delta h$$

Penjelasan:

Δh = tinggi dapur dengan susut kemiringan (2,45 m)

P = panjang dapur (5m)

l = lebar dapur (5)

h = tinggi dapur (6)

maka:

$$V = (p \cdot l) \cdot H + \frac{1}{2} (p \cdot l) \cdot \Delta h$$

$$V = (5 \cdot 5) \cdot 6 + \frac{1}{2} (5 \cdot 5) \cdot 2,45$$

$$V = 150 + 30,62$$

$$V = 180,62 \text{ m}^3$$

Volume Ruang Pembakaran Mengacu Dengan Jumlah Bahan Bakar

$$V_f = \frac{W_b \cdot LHV \cdot \mu_f}{H_{r,f}}$$

Penjelasan:

V_f = volume ruang bakar berdasarkan kebutuhan bahan bakar (m^3)

W_b = jumlah kebutuhan bahan bakar (13,62 kg/s)

LHV = nilai kalor panas bawah (3010,16 kJ/kg)

μ_f = efisiensi ruang bakar (70% – 90%) direncanakan sebesar 80%

¹ Dosen Fak. Teknik Prodi Teknik Mesin Universitas Prof. Dr. Hazairin SH Bengkulu Majalah Teknik Simes Vol.15 No.2 Juli 2021

Hrf = laju kalor yang dihasilkan ruang bakar untuk bahan bakar padat (133500 – 222500 kkal/m³jam) direncanakan 200000 kkal/m³jam = 477,6 kJ/m³

maka:

$$V_f = \frac{W_b \cdot LHV \cdot \mu_f}{H_{rf}}$$

$$V_f = \frac{13,62 \cdot 3010,16 \cdot 0,80}{477,6}$$

$$= 68,67 \text{ m}^3$$

Dalam perencanaan ruang bakar memiliki syarat yaitu nilai $V > V_f$, berdasarkan nilai dari hasil perhitungan nilai $V=281,25$ dan nilai $V_f = 68,67$. Sehingga memenuhi suatu syarat yang digunakan untuk perencanaan ruang bakar. Dimana nilai $V > V_f$.

Volume Dinding Pada Ruang Pembakaran

Dinding ruang bakar pada ketel ini merupakan bagian dari ruang bakar, dimana ruang berada di bagian dalam dinding ruang bakar. Volume dinding yang terdapat pada ruang bakar tersebut dapat dihitung menggunakan rumus:

$$F_{RB} = p \cdot l \cdot h$$

Penjelasan:

p = panjang dapur (5m)

l = lebar dapur (5m)

h = tinggi dapur (6m)

maka luasnya dinding ruang pembakaran

$$F_{RB} = p \cdot l \cdot h$$

$$F_{RB} = 5 \cdot 5 \cdot 6 = 150 \text{ m}^3$$

Perpindahan Panas Yang Terjadi Pada Ruang Pembakaran

Dalam ruang bakar terjadi hantaran panas dari sumber panas ke dinding pemanas secara pancaran atau radiasi. Perpindahan panas yang terjadi secara radiasi yaitu perpindahan panas dari benda ke benda melalui pancaran atau gelombang elektromagnetis.

Kemudian dari bidang pemanas itu di hantarkan lagi kepada air ketel melalui aliran.

Perpindahan panas radiasi menggunakan rumus berikut:

$$Q_p = C_Z \cdot F_{RB} \{ (T_{api}: 100)^4 - (T_{benda}: 100)^4 \}$$

Penjelasan:

Q_p = perpindahan panas secara radiasi (kJ/jam)

C_Z = konstanta pancaran 20, 726 kJ/jam (table harga C_Z lit.4 hal 25)

F_{RB} = luas dinding yang dipanaskan (150 m²)

T_{api} = temperatur pembakaran 250° C

T_{benda} = temperatur benda 30° C

maka:

$$Q_p = C_Z \cdot F_{RB} \{ (T_{api}: 100)^4 - (T_{benda}: 100)^4 \}$$

$$Q_p = 20,726 \cdot 150 \{ (250 : 100)^4 - (30 : 100)^4 \}$$

$$Q_p = 3108,9 \{ (2,5)^4 - (0,3)^4 \}$$

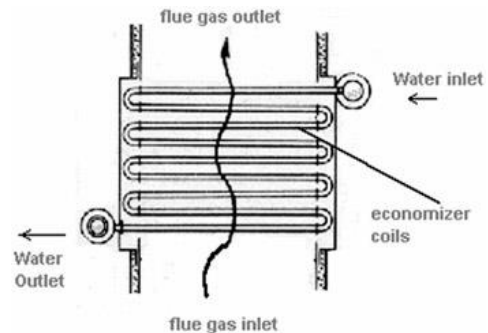
$$Q_p = 3108,9 \{ 39,06 - 0,0081 \}$$

$$Q_p = 3108,9 \cdot 39,051$$

$$= 121405,65 \text{ kJ/jam}$$

Pembahasan

Perhitungan Economizer



Gambar 2. Ekonomizer

Ekonomizer merupakan bagian dari ketel uap yang berfungsi memanaskan air untuk pengisian ketel sehingga mencapai titik didihnya .

Berikut adalah data perencanaan economizer:

$$\text{Kapasitas uap} = 43000 \text{ kg/jam}$$

$$= 11,9 \text{ kg/s}$$

Temperatur udara luar = 30° C

Tekanan uap = 28 kg/cm²

Nilai bahan bakar bawah = 3010,16 kJ/kg

Ukuran nominal pipa 2 in schedule no .40

Diameter dalam pipa = 2,067 in = 52,5

Diameter luar pipa = 2,357 in = 60,33

Tegangan yang diizinkan = 562,5 kg/cm²

(sumber: Sularso.Kyokatsu Suga,2004,

Dasar Perencanaan Dan Pemilihan

Elemen Mesin, Pradnya Pramtia: Jakarta)

Perhitungan temperatur

$$Ws.Cpw.(Tw2 - Tw1) = Wg. Cpg. (Tg5-Tg4)$$

Penjelasan:

Ws = kapasitas uap 11,9 kg/s

Cpw = panas jenis gas asap
1,0053 kJ/kg°C

Tw1 = temperatur air masuk 30°C

Tw2 = temperatur air keluar 120°C

Wg = berat gas asap 81,84 kg gas/s

Cpg = panas jenis gas 1,0053 kJ/kg°C

Tg4 = temperatur gas masuk
234,30°C

Tg5 = temperatur gas keluar (°C)

maka:

$$Ws.Cpw.(Tw2 - Tw1) = Wg. Cpg. (Tg5-Tg4)$$

$$11,9 \cdot 1,0053 (120-30) = 81,84 \cdot 1,0053 (Tg5 - 234,30)$$

$$1076,67 = 82,27(Tg5 - 234,30)$$

$$(Tg5 - 234,30) = \frac{1076,67}{82,27}$$

$$(Tg5 - 234,30) = 13,08$$

$$Tg5 = 234,30 + 13,08 = 221,22 \text{ °C}$$

Luas penampang ekonomizer

$$Ag = \frac{1}{4} \pi \cdot Do^2$$

Penjelasan:

Ag = luas penampang (mm²)

Do = diameter luar pipa 60,33 mm

maka:

$$Ag = \frac{1}{4} \pi \cdot Do^2$$

$$Ag = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 60,33^2$$

$$Ag = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 3639,70$$

$$Ag = \frac{1}{4} \cdot 11428,68$$

$$Ag = 2857,17 \text{ mm}^2$$

Gas massa flow

$$Gg = \frac{wg}{Ag}$$

Penjelasan:

Gg = Gas massa flow (kg/m²s)

Wg = berat gas asap 81,84 kg/s

Ag = luas penampang pipa (2857,17 mm²=2,8m²)

maka:

$$Gg = \frac{wg}{Ag}$$

$$Gg = \frac{81,84}{2,8} = 29,22 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

Bilangan reynold

$$Nre = \frac{Do \cdot Gg}{\mu}$$

Penjelasan:

Nre = bilangan reynold

Do = diameter luar pipa (60,33 mm = 0,0603 mm)

μ = nilai ketentuan 0,019

Gg = gas masa flow 29,22 kg/m²s

maka:

$$Nre = \frac{Do \cdot Gg}{\mu}$$

$$Nre = \frac{0,0603 \cdot 29,22}{0,019}$$

$$Nre = \frac{1,761}{0,019} = 92,68$$

Luas bidang pemanas pada economizer

$$Ae = \frac{Qeco}{U \cdot \Delta Tm}$$

Penjelasan:

Ae = luas bidang pemanas economizer

Qeco = panas yang diperlukan untuk memanaskan air pada economizer (kJ/s)

U = koefisiensi perpindahan panas (0,1)

ΔTm = selisih antara temperatur keluar dan masuk

$$Ae = \frac{Qeco}{U \cdot \Delta Tm}$$

$$Ae = \frac{538,713}{0,1 \cdot 96,15}$$

$$Ae = 56,02$$

Panas yang dibutuhkan untuk memanaskan air dalam economizer

$$Qeco = Ws \cdot Cpa \cdot \Delta Tm$$

Penjelasan:

Ws = kapasitas ketel uap 11,9 kg/s

Hf = entalpi air 125,8 kJ/kg

T = titik didih 250°C

Cpa = perbandingan antara entalpi dengan titik didih

ΔTm = selisih antara temperatur keluar dan temperatur masuk

Tw1 = temperatur air masuk (30°C)

Tw2 = temperatur air keluar (120°C)

maka:

$$Qeco = Ws \cdot Cpa \cdot \Delta Tm$$

$$Qeco = 11,9 \cdot Cpa \cdot (120-30)$$

$$Cpa = \frac{Hf}{T} = \frac{125,8}{250} = 0,503$$

$$Qeco = 11,9 \cdot 0,503 \cdot 90$$

$$Qeco = 538,713 \text{ kJ/s}$$

Mencari selisih temperatur dalam economizer dapat menggunakan rumus :

¹ Dosen Fak. Teknik Prodi Teknik Mesin Universitas Prof. Dr. Hazairin SH Bengkulu
Majalah Teknik Simes Vol.15 No.2 Juli 2021

$$\Delta T_m = \frac{(T_{w5}-T_{w1})-(T_{w4}-T_{w2})}{\frac{T_{w4}-T_{w2}}{T_{w5}-T_{w1}}}$$

Penjelasan:

ΔT_m = selisih temperatur

Tg1 = temperatur air masuk 30°C

Tg2 = temperatur air keluar 120°C

Tg4 = temperatur gas masuk 234,30°C

Tg5 = temperatur gas keluar 221,22°C

maka:

$$\Delta T_m = \frac{(T_{w5}-T_{w1})-(T_{w4}-T_{w2})}{\frac{T_{w4}-T_{w2}}{T_{w5}-T_{w1}}}$$

$$\Delta T_m = \frac{(221,22 - 30) - (234,30 - 120)}{\frac{234,30 - 120}{221,22 - 30}}$$

$$\Delta T_m = \frac{(191,22) - (114,3)}{\frac{114,12}{141,22}}$$

$$\Delta T_m = \frac{76,92}{0,80} = 96,15 \text{ m}^2$$

Sehingga luas bidang pemanas economizer dapat dihitung:

$$A_e = \frac{Q_{eco}}{U \cdot \Delta T_m}$$

$$A_e = \frac{538,713}{0,1 \cdot 96,15}$$

$$A_e = 56,02$$

Jumlah pipa economizer

$$N_e = \frac{A_e}{A_g}$$

Penjelasan:

N_e = jumlah pipa

A_e = Luas bidang pemanas 56,02m²

A_g = luas penampang pipa 2,85 m²

maka:

$$N_e = \frac{A_e}{A_g}$$

$$N_e = \frac{56,02}{2,85} = 19,65 \text{ dibulatkan}$$

menjadi 20 buah

Perpindahan panas pada economizer

$$Q_k = \alpha \cdot A_g (T_2 - T_1)$$

Penjelasan:

A_g = Luas penampang pipa 2,85 m²

T_1 = temperatur air masuk 30°C

T_2 = temperatur api 250°C

maka:

$$Q_k = \alpha \cdot A_g (T_2 - T_1)$$

$$Q_k = 3,62 \cdot 2,85 (250-30)$$

$$Q_k = 10,317 \cdot 220 = 2269,74 \text{ kJ/m}^2$$

Kesimpulan

Ekonomizer merupakan bagian alat yang sangat dibutuhkan dalam proses pengolahan sawit pada pabrik CPO, untuk itu perhitungan dalam perencanaan ekonomizer memerlukan tingkat ketelitian yang sangat tinggi.

Daftar Pustaka

- Culp, Archie W. Sitompul, Darwin. 1996. *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*. Jakarta : Erlangga.
- aryanto. 1993. *Dasar – Dasar Teknik Mesin*. Jakarta : Rineka Cipta.
- Djokosetyardjo, M.J. 1987. *Ketel Uap*. Jakarta : PT Pradanya Paramita.
- Djokosetyardjo, M.J. 1990. *Pembahasan Lebih Lanjut Tentang Ketel Uap*, Jakarta : PT. Pradanya Paramita.
- Djokosetyardjo, M.J. 2003. *Ketel Uap*. Jakarta : PT. Pradya Paramita.
- Muin, Syamsir A. 1998. *Pesawat–Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Jakarta : Rajawali Pers.
- Sularso, K Suga, 1991. *Dasar Perencanaan Mesin*. Jakarta : PT. Pradya Paramita.

¹ Dosen Fak. Teknik Prodi Teknik Mesin Universitas Prof. Dr. Hazairin SH Bengkulu Majalah Teknik Simes Vol.15 No.2 Juli 2021