UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perencanaan Integral Furnace Boiler Kapasitas Uap 250 Ton/ Jam, Tekanan 80 ATM Dan Temperatur Uap 650 derajat Farenheit
Purwoko Bambang Sarsito, Ir. Purnomo, MSME, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2001 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL.....i
LEMBAR PENGESAHAN.....ii
MOTTO.....iii
LEMBAR PERSEMBAHAN.....iv
KATA PENGANTAR.....v
HALAMAN SOAL.....vii
INTISARI.....viii
DAFTAR ISI.....ix
DAFTAR GAMBAR.....xiv
DAFTAR TABEL.....xvi
DAFTAR NOTASI.....xvii

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Pengertian.....1
1.2. Penggolongan Generator Uap
1.2.1. Berdasarkan konstruksi.....2
1.2.2. Berdasarkan kapasitas uap yang dihasilkan.....4
1.2.3. Berdasarkan tekanan kerjanya.....4
1.2.4. Berdasarkan kedudukan pipa pemanasnya.....5
1.2.5. Berdasarkan sumber panasnya.....5
1.3. Proses termodinamika pada generator uap.....5
1.4. Bagian – bagian generator uap.....7
1.5. Sirkulasi air pada generator uap.....9

BAB II. DASAR PERENCANAAN

2.1. Permasalahan.....12
2.2. Satuan yang digunakan.....13
2.3. Perencanaan dasar.....13
2.4. Perencanaan proses generator uap.....16
2.5. Perencanaan kondisi uap dan operasi pompa.....18
2.6. Perencanaan udara pembakaran.....22

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perencanaan Integral Furnace Boiler Kapasitas Uap 250 Ton/ Jam, Tekanan 80 ATM Dan Temperatur Uap 650 derajat Farenheit
Purwoko Bambang Sarsito, Ir. Purnomo, MSME, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2001 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.7. Perencanaan aliran dan sirkulasi air isian.....22

BAB III. PERHITUNGAN PEMBAKARAN

3.1. Proses pembakaran.....26

3.2. Kebutuhan kalor generator uap.....28

3.2.1. Massa aliran air isian.....30

3.2.2. Kebutuhan kalor pembakaran.....31

3.3. Bahan bakar.....33

3.3.1. Komposisi bahan bakar.....35

3.3.2. Nilai kalor bahan bakar.....36

3.3.3. Kebutuhan bahan bakar.....39

3.4. Kebutuhan udara pembakaran.....40

3.5. Produk pembakaran.....48

3.6. Temperatur api adiabatis.....49

BAB IV. DAPUR DAN PIPA – PIPA DIDIH RADIASI

4.1. Dapur.....55

4.1.1. Jenis – jenis ruang bakar atau dapur.....56

4.1.2. Perencanaan bentuk dan dimensi dapur.....59

4.1.3. Temperatur api pembakaran aktual.....69

4.1.4. Temperatur gas asap keluar dapur.....73

4.1.5. Kalor yang diserap dapur.....77

4.1.6. Rugi kalor pada dinding dapur.....79

4.2. Pipa didih radiasi.....80

4.2.1. Susunan dan dimensi pipa didih radiasi.....81

4.2.2. Pemeriksaan kekuatan pipa.....81

BAB V. SUPERHEATER

5.1. Susunan dan dimensi pipa.....84

5.2. Kecepatan aliran uap.....84

5.3. Kesetimbangan kalor.....85

5.3.1. Kalor radiasi dapur yang diserap superheater.....86

5.3.2. Kebutuhan kalor aktual di superheater.....89

5.3.3. Kalor yang diserap superheater secara konveksi.....90

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perencanaan Integral Furnace Boiler Kapasitas Uap 250 Ton/ Jam, Tekanan 80 ATM Dan Temperatur Uap 650 derajat Farenheit
Purwoko Bambang Sarsito, Ir. Purnomo, MSME, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2001 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.4. Penurunan tekanan aliran gas asap.....108
5.5. Penurunan tekanan uap.....109
5.6. Pemeriksaan kekuatan pipa.....112

BAB VI. PIPA DIDIH KONVEKSI

6.1. Susunan dan dimensi pipa.....113
6.2. Kesetimbangan kalor.....114
6.2.1. Kebutuhan kalor.....114
6.2.2. Kalor yang diserap pipa didih konveksi.....115
6.3. Penurunan tekanan aliran gas asap.....124
6.4. Pemeriksaan kekuatan pipa.....125

BAB VII. CAVITY

7.1. Kesetimbangan kalor.....126
7.1.1. Kesetimbangan kalor bahan bakar minyak.....126
7.1.2. Kesetimbangan kalor bahan bakar gas alam.....130

BAB VIII. EKONOMISER

8.1. Susunan dan dimensi pipa.....135
8.2. Kecepatan dan aliran dalam pipa.....135
8.3. Kesetimbangan kalor 137
8.4. Penurunan tekanan aliran gas asap.....145
8.5. Penurunan tekanan aliran air isian.....146
8.6. Pemeriksaan kekuatan pipa.....150

BAB IX. SIRKULASI AIR ISIAN

9.1. Prinsip sirkulasi alami.....152
9.2. Perencanaan pipa naik dan pipa turun.....154
9.2.1. Perhitungan kerugian aliran pipa naik.....157
9.2.2. Perencanaan pipa turun.....178

BAB X. CEROBONG DAN FAN

10.1. Perencanaan cerobong.....183
10.2. Perencanaan fan penghembus udara.....186
10.3. Perencanaan fan penghisap gas asap.....190

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perencanaan Integral Furnace Boiler Kapasitas Uap 250 Ton/ Jam, Tekanan 80 ATM Dan Temperatur Uap 650 derajat Farenheit
Purwoko Bambang Sarsito, Ir. Purnomo, MSME, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2001 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB XI. PERLENGKAPAN GENERATOR UAP

11.1. Header.....197
11.1.1. Header superheater.....198
11.1.2. Header pendidih radiasi.....199
11.1.3. Header ekonomiser.....200
11.2. Boiler drum.....200
11.3. Pemanas air umpan.....203
11.3.1. Data perencanaan FWH.....204
11.3.2. Susunan dan dimensi pemanas air isian.....205
11.3.3. Kesetimbangan kalor.....205
11.3.4. Penurunan tekanan air isian.....208
11.4. Peralatan pembakar (*burner*).....209
11.5. Pompa air isian.....211
11.6. Air isian generator uap.....212

BAB XII. EFISIENSI

12.1. Perhitungan efisiensi metode langsung.....214
12.2. Perhitungan efisiensi metode tak langsung.....215

BAB XIII. ALAT BANTU GENERATOR UAP

13.1. Katup pengaman.....219
13.2. Gelas penduga.....220
13.3. Peluit bahaya.....221
13.4. Prop timah.....221
13.5. Manometer.....221
13.6. Katup pembersih (*blow down valve*).....222
13.7. Katup uap.....222
13.8. Katup air isian (*feedwater valve*).....222

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Perencanaan Integral Furnace Boiler Kapasitas Uap 250 Ton/ Jam, Tekanan 80 ATM Dan Temperatur Uap
650 derajat Farenheit**
Purwoko Bambang Sarsito, Ir. Purnomo, MSME, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2001 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB XIV. PENUTUP

14.1. Pengoperasian Generator Uap.....223

14.2. Menghidupkan Generator Uap.....224

14.3. Mematikan Generator Uap.....225

BAB XV. KESIMPULAN.....226

DAFTAR PUSTAKA.....231

LAMPIRAN.....232

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perencanaan Integral Furnace Boiler Kapasitas Uap 250 Ton/ Jam, Tekanan 80 ATM Dan Temperatur Uap 650 derajat Farenheit
Purwoko Bambang Sarsito, Ir. Purnomo, MSME, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2001 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Proses termodinamika pada generator uap.....6
Gambar 2.1. Perencanaan dasar *Integral Furnace Boiler*.....14
2.2. Perencanaan awal kondisi uap.....19
2.3. Persen SBV dan persen BW yang diijinkan berdasarkan tekanan kerja.....23
2.4. Hubungan antara tekanan dengan densitas pada pipa turun dan pipa naik.....24
Gambar 3.1. Skema aliran air hingga menjadi uap pada generator uap.....29
Gambar 4.1. Bentuk dan ukuran dapur.....59
4.2. Emisivitas uap air (H_2O) pada tekanan 1 atm.....61
4.3. Emisivitas karbondioksida (CO_2) pada tekanan 1 atm.....61
4.4. Faktor koreksi perpindahan kalor radiasi yang merupakan fungsi dari campuran uap air (H_2O) dan karbondioksida (CO_2).....62
4.5. Faktor efektivitas dinding ruang bakar 62
4.6. Kerugian radiasi berdasarkan *Gross Heat Input*.....72
4.7. Hubungan temperatur gas asap keluar dapur dengan *heat release rate*.....72
4.8. Konstruksi dinding dapur.....78
4.9. Konduktivitas termal berbagai bahan dinding dapur.....78
4.10. Konduktivitas permukaan pada berbagai kecepatan aliran udara 79
4.11. Susunan pipa didih radiasi.....80
Gambar 5.1. Viskositas absolut uap jenuh dan panas lanjut.....91
5.2. Faktor properti gas untuk menentukan bilangan Reynold.....92
5.3. Faktor kecepatan konveksi dan geometri dasar aliran silang (hc').....93
5.4. Faktor properti fisik untuk aliran menyilang gas.....94

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perencanaan Integral Furnace Boiler Kapasitas Uap 250 Ton/ Jam, Tekanan 80 ATM Dan Temperatur Uap 650 derajat Farenheit
Purwoko Bambang Sarsito, Ir. Purnomo, MSME, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2001 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.5. Faktor susunan dipengaruhi bilangan Reynold untuk susunan pipa in-line gas asap atau udara (Fa)....94
5.6. Faktor kedalaman perpindahan kalor....95
5.7. Koefisien perpindahan kalor radiasi....95
5.8.a. Tekanan parsial (pr) untuk minyak....96
5.8.b. Tekanan parsial (pr) untuk gas alam....96
5.9. Panjang berkas radiasi rata-rata 98
5.10. Faktor bahan bakar....98
5.11. Faktor kecepatan dan geometri aliran konveksi pada aliran longitudinal 98
5.12. Faktor properti fisik untuk aliran longitudinal uap (Fpp)....99
5.13. Faktor temperatur aliran longitudinal udara, gas / uap....9
5.14. Kalor jenis rata-rata gas asap....106
5.15. Faktor gesekan pipa karena bilangan Reynold gas / udara....107
5.16. Faktor kedalaman *draft loss* untuk jumlah baris pipa menyilang.107
5.17. Faktor gesekan untuk menentukan penurunan tekanan fluida yang melalui saluran tertutup....111
5.18. Kekasaran relatif berbagai permukaan saluran....112
5.19. Faktor belokan....112
Gambar 6.1. Skema gas asap melewati pipa didih konveksi....113
Gambar 9.1. Skema sirkulasi alam pada generator uap....151
9.2. Skema sistem sirkulasi air-uap....155
9.3. Grafik laju aliran massa aliran air-uap – tahanan aliran....178
Gambar 10.1. Hubungan diameter, tinggi cerobong dengan temperatur gas asap 184
10.2. Diameter cerobong berdasarkan laju massa gas asap....185
10.3. Tarikan cerobong....185
10.4. Faktor gesekan....186
10.5. Koefisien rugi tekanan saluran rectangular dengan sudut 90^0 ... 189
Gambar 11.1. Skema aliran fluida pada pemanas air umpan....204
11.2. Burner minyak dan gas tipe DRB–XCL™....210

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perencanaan Integral Furnace Boiler Kapasitas Uap 250 Ton/ Jam, Tekanan 80 ATM Dan Temperatur Uap 650 derajat Farenheit
Purwoko Bambang Sarsito, Ir. Purnomo, MSME, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2001 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. HHV dan LHV komponen gas alam tiap satuan volume.....38
3.2. Komposisi udara atmosfer.....40
3.3. Perhitungan kebutuhan oksigen teoritis minyak 41
3.4. Komposisi gas alam.....43
3.5. Perhitungan kebutuhan oksigen teoritis gas alam.....46
3.6. Konsentrasi gas asap hasil pembakaran minyak.....48
3.7. Konsentrasi gas asap hasil pembakaran gas alam.....49
3.8. Perhitungan pembakaran dan kebutuhan oksigen minyak-basis mol.....51
3.9. Perhitungan pembakaran dan kebutuhan oksigen gas alam-basis mol.....53
Tabel 9.1. Distribusi kalor radiasi dapur.....157
9.2. Besar sudut dan koefisien belokan untuk pipa naik R_1.....160
9.3. Besar sudut dan koefisien belokan pipa naik R_2.....163
9.4. Laju aliran massa air-uap dan kerugian aliran untuk persen SBV di atas % SBV maksimum yang diijinkan.....176
9.5. Laju aliran massa air-uap dan tahanan aliran untuk persen SBV di bawah % SBV maksimum yang diijinkan.....177
9.6. Besar sudut dan koefisien belokan pipa turun.....180
Tabel 10.1. Pengaturan referensi batas-batas *stack effect* (SE) dalam in.H_2O/ft tinggi cerobong (khusus satuan Inggris).....191
Tabel 11.1. Spesifikasi air isian generator uap.....214

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perencanaan Integral Furnace Boiler Kapasitas Uap 250 Ton/ Jam, Tekanan 80 ATM Dan Temperatur Uap 650 derajat Farenheit
Purwoko Bambang Sarsito, Ir. Purnomo, MSME, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2001 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1. Huruf latin

F_s = faktor efektifitas radiasi antar pipa

F_t = faktor temperatur

G_w = fluks massa air, lbm/ft^2 jam

G_g = fluks massa gas asap, lbm/ft^2

G_s = fluks massa uap, lbm/ft^2 jam

G_{ud} = fluks massa udara, lbm/ft^2 jam

H = tinggi cerobong, ft

H_g' = *heat available* gas asap, Btu/jam

h_{ac} = kerugian tekanan karena percepatan aliran, ft H_2O

h_b = rugi tekanan karena belokan, ft H_2O

h_{en} = rugi tekanan saat masuk pipa, ft H_2O

h_{ex} = rugi tekanan saat keluar pipa, ft H_2O

h_f = entalpi air, Btu/lbm

h_f = rugi tekanan karena gesekan, ft H_2O

h_{fg} = entalpi penguapan air, Btu/lbm

h_g = entalpi uap / gas asap, Btu/lbm

h_g = koefisien perpindahan kalor gas asap, Btu/jam ft^2 ^{0}F

h_k = rugi tekanan karena perubahan penampang pipa, ft H_2O

h_{cg} = koefisien perpindahan kalor konveksi gas asap, Btu/jam ft^2 ^{0}F

h_{rg} = koefisien perpindahan kalor radiasi gas asap, Btu/jam ft^2 ^{0}F

h_{ud} = koefisien perpindahan kalor konveksi udara luar, Btu/jam ft^2 ^{0}F

h_s = koefisien perpindahan kalor pada pipa, Btu/jam ft^2 ^{0}F

h_s = rugi tekanan pada pemisah uap, ft H_2O

h_p = head pompa, ft H_2O

hp = horse power / daya kuda

$h\Sigma d$ = total kerugian head pipa-pipa turun, ft H_2O

$h\Sigma r$ = total kerugian head pipa-pipa naik, ft H_2O

HHV = nilai kalor tinggi, Btu/lbm

K = faktor susunan dan bahan bakar

k = kondutifitas termal, Btu/jam ft^2 ^{0}F

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perencanaan Integral Furnace Boiler Kapasitas Uap 250 Ton/ Jam, Tekanan 80 ATM Dan Temperatur Uap 650 derajat Farenheit
Purwoko Bambang Sarsito, Ir. Purnomo, MSME, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2001 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

L = panjang pipa, ft

L = panjang berkas radiasi rata-rata, ft

LMTD = log mean differential temperature, ^0F

$l \perp$ = jarak antar sumbu pipa tegak lurus arah aliran gas asap, in

l // = jarak antar sumbu pipa sejajar arah aliran gas asap, in

L_e = panjang berkas ekuivalen, ft

LHV = nilai kalor rendah, Btu/lbm

m = laju aliran massa, lbm/jam

m_f = laju aliran massa kebutuhan bahan bakar, lbm/jam

m_g = laju aliran massa gas asap, lbm/jam

m_s = laju aliran massa uap, lbm/jam

m_{ud} = laju aliran massa kebutuhan udara, lbm/jam

N = jumlah pipa

N_b = faktoe belokan

N_{ek} = koefisien tahanan aliran pipa karena perubahan penampang

N_{en} = koefisien tahanan aliran saat masuk pipa

N_{ex} = koefisien tahanan aliran saat keluar pipa

N_{exp} = koefisien tahanan aliran karena ekspansi pipa

P = daya pompa. Daya motor, daya fan

Pc = tarikan cerobong teoritis, in H_2O

P_c = tekanan parsial CO_2

P_r = tekanan parsial, atm

P_w = tekanan parsial H_2O

Q_{cav} = kalor yang diradiasikan *Cavity*, Btu/jam

Q_d = kalor yang diserap dinding dapur, Btu/jam

Q_{ek} = kalor yang diserap ekonomiser, Btu/jam

Q_{konv} = kalor yang diserap secara konveksi, Btu/jam

Q_{ld} = kalor yang diserap lanjutan pipa didih radiasi, Btu/jam

Q_{pk} = kalor yang diserap pipa-pipa didih konveksi, Btu/jam

Q_{rad} = kalor yang diserap secara radiasi, Btu/jam

Q_{sh} = kalor yang diserap oleh superheater, Btu/jam

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perencanaan Integral Furnace Boiler Kapasitas Uap 250 Ton/ Jam, Tekanan 80 ATM Dan Temperatur Uap 650 derajat Farenheit
Purwoko Bambang Sarsito, Ir. Purnomo, MSME, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2001 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

r = jari-jari kelengkungan, in

r_i = jari-jari kelengkungan dalam, in

r_o = jari-jari kelengkungan luar, in

SE = *stack effect*

S_w = tegangan minimum yang diijinkan, psi

t = tebal lapisan dinding, in

T_r = tempeartur rata-rata, ^0F

T_1 = temperatur gas asap masuk, ^0F

T_1' = temperatur masuk air atau uap, ^0F

T_2 = temperatur keluar gas asap, ^0F

T_2' = temperatur keluar air atau uap, ^0F

T_d = temperatur dinding, ^0F

T_f = temperatur film, ^0F

t_{min} = tebal minimum pipa, in

T_s = temperatur rata-rata uap, ^0F

T_{ud} = temperatur udara luar, ^0F

T_w = temperatur dinding pipa, ^0F

U = koefisien perpindahan kalor menyeluruh, Btu/jam ft^2 ^0F

V = kecepatan aliran air-uap dalam pipa, ft/detik

V_{rb} = volume dapur, ft^3

V_{ud} = kecepatan aliran udara luar, ft/detik

Z = perbedaan elevasi, ft

2. Huruf Yunani

%SBV = persen volume uap

%SBW= persen berat uap

α_g = absorbtivitas radiasi gas asap

α_w = absorbtivitas radiasi H_2O

α_c = absorbtivitas radiasi CO_2

γ_d = berat jenis air pada pipa turun, lbf/ft^3

γ_f = berat jenis air jenuh, lbf/ft^3

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perencanaan Integral Furnace Boiler Kapasitas Uap 250 Ton/ Jam, Tekanan 80 ATM Dan Temperatur Uap 650 derajat Farenheit
Purwoko Bambang Sarsito, Ir. Purnomo, MSME, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2001 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

γ_g = berat jenis uap jenuh, lbf/ft^3

γ_{mix} = berat jenis campuran air-uap meninggalkan pipa naik, lbf/ft^3

γ_r = berat jenis campuran air-uap rata-rata pada pipa naik, lbf/ft^3

ε_c = emisivitas CO_2

$\varepsilon_{g(T)}$ = emisivitas gas asap pada temperatur T

ε_w = emisivitas H_2O

ε_{ef} = emisivitas efektif permukaan pipa

η_{th} = efisiensi termal generator uap (%)

η = efektifitas penyerapan dinding dapur

Δ_ε = faktor koreksi emisivitas karena adanya CO_2 dan H_2O dalam gas asap

ΔP = kerugian tekanan, psi / in H_2O

σ = konstanta Stefan Boltzman, $1{,}74 \cdot 10^{-8}$ Btu/jam ft^2 R^4

μ = viskositas absolut fluida, lbm/jam ft

ρ_r = massa jenis fluida rata-rata, lbm/ft^3

ρ_1 = massa jenis fluida masuk, lbm/ft^3

ρ_2 = massa jenis fluida keluar, lbm/ft^3

ν_r = volume jenis fluida rata-rata, ft^3/lbm

ν_1 = volume jenis fluida masuk, ft^3/lbm

ν_2 = volume jenis fluida keluar, ft^3/lbm