



HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR MOTTO

LEMBAR PERSEMBAHAN

KATA PENGANTAR	i
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	ii
INTISARI	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	xii

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Pengertian Generator Uap	1
1.2. Klasifikasi Generator Uap	1
1.3. Proses Termodinamika Generator Uap.....	4
1.4. Generator Uap Franco Tosi	6

BAB II DASAR PERENCANAAN

2.1 Permasalahan Dan Satuan Yang Digunakan Dalam Perencanaan ..	8
2.2 Pemilihan Generator Uap	8
2.3 Perencanaan Generator Uap	9
2.4 Perencanaan Sistem Sirkulasi Air	11
2.5 Kondisi Aliran Air	13
2.6 Massa Aliran Uap	14
2.7 Kebutuhan Kalor Generator Uap	15

BAB III. PEMBAKARAN

3.1 Perencanaan Udara Pembakaran	18
3.2 Komposisi Bahan Bakar	19
3.3 Reaksi Pembakaran	19



3.4	Nilai Rekalibrasi Generator Uap Setara Dengan Yang Digunakan Untuk Pabrik Kertas Blabak Magelang	20
3.5	Kebutuhan Bahan Bakar	21
3.6	Kebutuhan Udara Pembakaran Dan Komposisi Gas Asap	22
3.7	Komposisi Gas Asap	23

BAB V. DAPUR, PIPA DIDIH RADIASI, DAN SCREEN

4.1	Dapur	25
4.1.1	Macam-Macam Dapur	25
4.1.2	Perancangan Dapur	26
4.2	Screen	35
4.2.1	Perencanaan Screen	35
4.2.2	<i>Draft Loss</i> dan <i>Pressure Drop</i>	44
4.3	Rugi Kalor Pada Dapur dan Kalor Yang Diterima	
	Pipa-Pipa Didih Radiasi	46
4.4	Tinjauan Kekuatann Pipa Didih Radiasi	48

BAB V. PIPA DIDIH KONVEKSI

5.1	Pipa-Pipa Didih Konveksi	49
5.1.1	Perencanaan Pipa-Pipa Didih Konveksi	49
5.1.2	Kerugian Kalor Melalui Dinding	53
5.2	<i>Caviti</i>	54
5.1	Perencanaan <i>Caviti</i>	54
5.2	Kerugian Kalor Melalui Dinding	56
5.3	<i>Daft Loss</i>	58
5.4	Tinjauan Kekuatan Pipa-Pipa Didih Konveksi	58

BAB VI. AIRHEATER

6.1	<i>Air Heater Primer</i>	60
6.1.1	Perencanaan <i>Air Heater</i> Sekunder	60
6.1.2	Kerugian Kalor Melalui Dinding	66



Draft Loss Udara Sekunder	67
6.2 Air Heater Sekunder	68
6.2.1 Perencanaan <i>Air Heater</i> Sekunder	68
6.2.2 Kerugian Kalor Melalui Dinding	72
6.2.3 Penurunan Tekanan Udara Sekunder Dan <i>Draft Loss</i> Gas Asap	74
6.2.4 Temperatur Pipa	75
6.3 Caviti	76
6.3.1 Perencanaan <i>Caviti</i>	76
6.3.2 Kerugian Kalor Melalui Dinding	76

BAB VII. BURNER, CEROBONG DAN FAN

7.1 <i>Burner</i>	78
7.2 Cerobong	79
7.3 Fan	83
7.3.1 Fan Penghembus (<i>Forced Draft Fan</i>)	83
7.3.2 Fan Penghisap (<i>Induced Fan</i>)	90

BAB VIII. SIRKULASI AIR ISIAN

8.1 Prinsip Sirkulasi Alam	94
8.2 Perencanaan Pipa Turun D1	96
8.1 Rugi Aliran Pada Pipa Naik (R1)	96
8.2 Pemilihan Pipa-Pipa Turun D1	101
8.3 Perencanaan Pipa Turun D2	102
8.3.1 Rugi Aliran Pada Pipa Naik (R2)	102
8.3.2 Pemilihan Pipa-Pipa Turun D2	105
8.4 Perencanaan Pipa Turun D3	106
8.4.1 Rugi Aliran Pada Pipa Naik (R3)	106
8.4.2 Pemilihan Pipa-Pipa Turun D3	109

8.5	Perencanaan Pipa Turun D4	111
8.5.1	Rugi Aliran Pada Pipa Naik (R4)	111
8.5.2	Pemilihan Pipa-Pipa Turun D4	115

BAB IX. DEAERATOR

9.1	Kebutuhan Kalor <i>Deaerator</i>	119
9.2	Pompa Air Isian	120
9.2.1	Pemilihan Pompa	120
9.3	Efisiensi Generator Uap	124

BAB X. DRUM, HEADER DAN ALAT PERLENGKAPAN

10.1	Drum	126
10.1.1	Perencanaan Drum Atas	126
10.1.2	Perencanaan Drum Bawah	127
10.2	Header	128
10.2.1	Header Pada Pendidih Radiasi	128
10.3	Alat-Alat Perlengkapan	129

BAB XI. AIR ISIAN Generator Uap

11.1	Kesadahan Air	142
11.2	Pengolahan Air Isian	143
11.2.1	Pengolahan Air Isian Secara Luar	143
11.2.2	Pengolahan Air Isian dari Dalam	149
11.3	Proses Pemisahan Minyak	152
11.4	Blow Down	152
11.5	Pencegahan Korosi	153

BAB XII. PENUTUP

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Komposisi gas asap		23
Tabel 4.1 Pembagian udara untuk pembakaran		27
Tabel 8.1 Koefisien belokan N_b		97
Tabel 9.1 Putaran motor listrik sinkron 50 Hz		120

Gambar 1.2. Proses pada generator uap	2
Gambar 2.1 Sketsa Generator Uap	10
Gambar 2.2 Bagan Aliran Air dan Uap	13
Gambar 2.3 Proses pada generator uap yang direncanakan	15
Gambar 4.1 Sketsa ruang bakar	24
Gambar 4.2 Fluks panas radiasi	27
Gambar 4.3 Hubungan antara α dan s_d/D_o	30
Gambar 4.4 Harga radiasi untuk CO_2	32
Gambar 4.5 Harga radiasi untuk H_2O	33
Gambar 4.6 Faktor pertukaran panas radiasi keseluruhan	33
Gambar 4.7 Faktor efektivitas dinding ruang bakar	35
Gambar 4.8 Faktor properti gas untuk menentukan bilangan Reynold (K_{Re})	37
Gambar 4.9 Faktor kecepatan konveksi dan geometri dasar aliran silang (h_c')	38
Gambar 4.10 Faktor properti fisik (F_{pp})	38
Gambar 4.11 Faktor susunan yang dipengaruhi oleh bilangan Reynold untuk berbagai susunan pipa <i>in line</i> aliran silang untuk udara atau gas asap (F_a)	39
Gambar 4.12 Faktor kedalaman perpindahan kalor (F_d)	39
Gambar 4.13 Tekanan parsial (p_r) untuk bahan bakar minyak	41
Gambar 4.14 Panjang berkas radiasi rata-rata (L)	41
Gambar 4.15 Faktor bahan bakar (K)	41
Gambar 4.16 Koefisien perpindahan kalor radiasi dasar (h_r')	42
Gambar 4.17 faktor pengotoran (K_f)	42
Gambar 4.18 Kalor jenis rata-rata gas asap (c_p)	43
Gambar 4.19 Faktor gesekan yang dipengaruhi oleh bilangan Reynold untuk bermacam-macam susunan pipa aliran silang	44



Gambar 4.20	Faktor kedalaman <i>draft loss</i> untuk jumlah baris pipa yang menyilang	44
Gambar 4.21	Struktur dinding dapur	45
Gambar 4.22	Konduktansi permukaan pada berbagai kecepatan aliran udara (Standar ASTM pada bahan refraktori, 1948)	47
Gambar 6.1	Viskositas absolut uap jenuh dan panas lanjut	63
Gambar 6.2	Faktor kecepatan dan geometri aliran konveksi pada aliran longitudinal (h_l')	64
Gambar 6.3	Pengaruh temperatur film dan tekanan uap pada faktor properti fisik (F_{ppu})	64
Gambar 6.4	Faktor temperatur aliran longitudinal udara, gas atau uap (F_T)	65
Gambar 6.5	Kekasaran relatif berbagai material (ϵ / De)	68
Gambar 6.6	Faktor gesekan (f)	69
Gambar 6.7	Faktor belokan pipa bulat (N_b)	70
Gambar 8.1	Pengaruh temperatur film T_f dan <i>moisture</i> , pada faktor properti fisik F_{pp} pada gas/udara dalam aliran longitudinal ...	87
Gambar 9.1	<i>Circular burner</i>	100
Gambar 9.2	Dimensi cerobong berdasarkan laju aliran gas asap	101
Gambar 9.3	Hubungan suhu gas asap keluar dan dimensi cerobong	102
Gambar 9.4	Tarikan cerobong	103
Gambar 9.5	Faktor gesekan	103
Gambar 9.6	Viskositas absolut uap	106
Gambar 9.8	Koefisien rugi tekanan pada saluran rektangular dengan sudut 90°	107
Gambar 9.9	Faktor kerugian karena pengecilan penampang (N_b)	108
Gambar 9.10	Faktor kerugian karena pembesaran penampang (N_e)	110
Gambar 10.1	Skema sirkulasi alam pada generator uap	118
Gambar 10.2	Skema susunan pipa-pipa didih dan turun	119
Gambar 10.3	Viskositas absolut beberapa cairan	120

Gambar 10.4 Diagram Pabrik Uap Setara Dengan Yang Digunakan Untuk Pabrik Kertas Blabak Magelang	122
Gambar 11.1 Koefisien perpindahan kalor berdasarkan kecepatan aliran air dalam pipa	144
Gambar 11.2 Koefisien kondensasi	145
Gambar 11.3 Grafik hubungan putaran spesifik, head dan kapasitas pompa	149
Gambar 11.4 Grafik hubungan putaran spesifik dan efisiensi	150
Gambar 12.1 Katub pengaman	151
Gambar 12.2 Gelas penduga	159
Gambar 12.3 Manometer	161
Gambar 12.4 Prop timah	163
Gambar 12.5 Peluit bahaya	164
Gambar 12.6 Keran air isian	165
Gambar 12.7 Katub uap	166
Gambar 12.8 Katup <i>Blowdown</i>	167

DAFTAR NOTASI

A	= luas permukaan, ft^2
A_a	= luas penampang aliran air dalam pipa, ft^2
A_{cav}	= luas permukaan <i>cavity</i> , ft^2
A_{cv}	= luas total permukaan pipa radiasi yang terkena panas, ft^2
A_s	= luas penampang aliran uap, ft^2
A_{sc}	= luas penampang <i>screen</i> , ft^2
A_r	= <i>flat projected area</i> dapur, ft^2
A_k	= luas permukaan yang menerima kalor konveksi, ft^2
A_d	= luas permukaan dinding yang bersinggungan dengan udara luar, ft^2
A_p	= persentase luas penyerapandikalikan dengan luas planar, ft^2
A_R	= luas permukaan refraktori yang tidak terkena panas langsung, ft^2
A_{rt}	= luas total permukaan refraktori, ft^2
B	= <i>barometric pressure</i> , in Hg
b	= tinggi saluran <i>rectangular</i> gas asap/udara, ft
c_p	= Panas jenis gas asap, Btu/lb.°F
CR	= rasio sirkulasi/ <i>ciculation ratio</i>
d	= lebar saluran <i>rectangular</i> udara/gas asap, ft
D_e	= diameter ekuivalen, in atau ft
D_i	= diameter dalam pipa, in
D_o	= diameter luar pipa, in
D_s	= diameter <i>shell</i> FWH, in
E	= efisiensi ligament
e_G	= emisivitas gas
f	= faktor gesekan
F	= faktor pertukaran keseluruhan
F_a	= faktor susunan
F_d	= faktor kedalaman



Fe = faktor efektivitas

F_{pp} = faktor properti fisik

F_s = faktor efektivitas radiasi antar pipa

F_t = faktor temperatur

G' = jumlah massa uap terkondensasi satuan luas penampang / beban FWH

G_a = fluks massa air, lb/ft² jam

G_g = fluks aliran gas asap, lb/ft² jam

G_s = fluks massa uap, lb/ft² jam

G_u = fluks massa udara, lb/ft² jam

H = tinggi cerobong, ft

H_{ac} = kerugian head karena kecepatan aliran, ft air

H_f = entalpi air, Btu/lb

H = tinggi cerobong, ft

H = head pompa, ft H₂O

h = koefisien perpindahan panas total, Btu/ft² jam °F

h_a = konduktifitas perpindahan panas udara, Btu/ft² jam °F/in

h_{ac} = kerugian head karena percepatan aliran, ft H₂O

h_f = enthalpy air, Btu/lbm

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

h_g = enthalpy uap/gas asap, Btu/lbm

h_{cg} = koefisien perpindahan kalor konveksi gas asap, Btu/h ft² °F

h_{rg} = koefisien perpindahan kalor radiasi gas asap, Btu/h ft² °F

h_u = koefisien perpindahan kalor konveksi udara *air heater*, Btu/h ft² °F

h_p = head pompa, ft H₂O

hp = daya / horse power

h_s = koefisien perpindahan kalor pada pipa, Btu/h ft² °F

hΣd = total kerugian head pada pipa - pipa turun, ft H₂O

hΣr = total kerugian head pada pipa - pipa naik, ft H₂O

HHV = nilai kalor tinggi, Btu/lbm



K = faktor susunan dan bahan bakar

k = konduktivitas kalor bahan, Btu/h ft² °F

L_r = panjang pipa, ft

L = panjang radiasi rata – rata, ft Btu/h ft²

LMTD = *log mean differential temperature*, °F

L_⊥ = jarak antar sumbu pipa tegak lurus arah aliran, in

L_{//} = jarak antar sumbu pipa sejajar arah aliran, in

L_e = panjang berkas ekuivalen, ft

LHV = nilai kalor rendah, Btu/lbm

m = laju aliran massa, lbm/jam

m_g = laju aliran massa gas asap, lbm/jam

m_s = laju aliran massa uap, lbm/jam

m_u = kebutuhan massa udara pembakaran, lbm/jam

m_{ud-act} = kebutuhan udara pembakaran aktual, lbm/jam

N = jumlah pipa

N_b = jumlah baris pipa

N_b = faktor belokan

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

N_s = putaran spesifik pompa, l/menit

N_{en} = koefisien tahanan aliran pada saat masuk

N_{ex} = koefisien tahanan aliran pada saat keluar

N_{exp} = koefisien tahanan aliran karena ekspansi penampang

P = daya pompa / daya motor / daya fan, kW

P_c = tarikan cerobong teoritis, in H₂O

P_c = tekanan parsial CO₂

P_p = tekanan yang harus disediakan pompa, ft H₂O

P_r = tekanan parsial, atm

P_w = tekanan parsial H₂O

Q_{ah} = kalor yang diperlukan *air heater*, Btu/jam



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

Q_d = kalor yang diserap oleh dinding dapur, Btu/jam

Q_{pd} = kalor yang diserap oleh pipa – pipa didih, Btu/jam

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

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

Q_{ld} = kalor yang hilang melalui dinding, Btu/jam

Q_{pkonv} = kalor yang diserap oleh pipa-pipa konveksi, Btu/jam

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

Q_{scr} = kalor yang diserap oleh *screen*, Btu/jam

Q_u = kalor yang dibawa oleh udara pembakaran, Btu/lbm

r = jari-jari kelengkungan, in

r_o = jari-jari kelenkungan luar, in

r_i = jari-jari kelenkungan dalam, in

SE = *stack effect*

S_w = tegangan minimum yang diijinkan, psi

t = tebal lapisan dinding, in

t = tebal pipa, in

t_r = temperatur rata-rata, °F

T_1 = temperatur masuk gas asap, °F

T_1' = temperatur masuk air atau uap, °F

T_2 = temperatur keluar gas asap, °F

T_2' = temperatur keluar air atau uap, °F

T_b = temperatur pada black body, °F.

T_{u1} = temperature udara masuk, °F

T_{u1} = temperature udara keluar, °F

T_d = temperature jenuh air isian, °F

T_d = temperature dinding, °F

T_o = temperature referensi, °F

T_f = temperature bahan bakar, °F



T_f	= temperature film, °F
T_{fa}	= temperature film udara, °F
T_{fg}	= temperature film gas asap, °F
$T_{g\ out}$	= temperature gas asap meninggalkan <i>air heater</i> , °F
T_{gr}	= temperature gas asap rata-rata, °F
t_{min}	= tebal pipa minimum, in
T_s	= temperature rata-rata uap, °F
T_{ud}	= temperature udara luar, °F
T_w	= temperature dinding pipa, °F
U	= koefisien perpindahan kalor overall, Btu/h ft ² °F
V	= kecepatan aliran air dalam pipa, ft/s
V_c	= volume cavity, ft ³
Z	= perbedaan elevasi, ft

2. HURUF YUNANI

% SBV	= persen volume uap
%SBW	= persen berat uap
α_g	= absorbsivitas radiasi gas asap
α_w	= absorbsivitas radiasi H ₂ O
α_c	= absorbsivitas radiasi CO ₂
γ_f	= berat jenis air jenuh, lbf/ft ³
γ_{mix}	= berat jenis campuran uap dan air meninggalkan pipa-pipa naik, lbf/ft ³
γ_r	= berat jenis campuran air-uap rata-rata pipa naik, lbf/ft ³
γ_l	= berat jenis fluida masuk pipa-pipa naik, lbf/ft ³
γ_d	= berat jenis air pada pipa-pipa turun, lbf/ft ³
γ_s	= berat jenis uap jenuh, lbf/ft ³
ϵ_c	= emisivitas gas asap
$\epsilon_g(T)$	= emisivitas gas asap pada temperature T



ε_w = emisivitas H_2O

ε_{ef} = emisivitas efektif permukaan pipa

ε_s = emisivitas pipa baja

η = efisiensi termal generator (%)

η = efektifitas penyerapan dinding dapur

Δ_c = faktor koreksi emitivitas karena adanya CO_2 dan H_2O

ΔP = draft loss / kerugian tekanan, psi / in H_2O

ΔP_b = penurunan tekanan karena belokan

ΔP_f = penurunan tekanan karena gesekan

ΔP_{en} = penurunan tekanan pada saat masuk pipa

ΔP_{ex} = penurunan tekanan pada saat keluar pipa

σ = konstanta Stefan Boltzman, $1,714 \times 10^{-8}$ Btu/jam $ft^2 R^4$

θ = sudut belokan, $^\circ$

μ = viskositas absolut fluida, lbm/h 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

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

v_1 = volume jenis fluida masuk, ft^3/lbm

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