

HALAMAM JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

MOTTO

LEMBAR PERSEMBAHAN

KATA PENGANTAR	i
HALAMAN SOAL	iii
INTISARI	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xvi

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Pengertian	1
1.2. Klasifikasi Generator Uap	2
1.3. Proses Termodinamika pada Generator Uap	6
1.4. Sirkulasi Air Isian	7
1.5. Bagian-Bagian Utama Generator Uap	8
1.6. Bagian-Bagian Penunjang Generator Uap	10

BAB II. DASAR PERENCANAAN

2.1. Permasalahan dan Pemilihan Generator Uap	13
2.2. Satuan yang Digunakan dalam Perencanaan	13
2.3. Perencanaan Sirkulasi Air Isian Generator Uap	13
2.4. Perencanaan Dasar	14
2.5. Udara Pembakaran	16
2.6. Perencanaan Proses pada Generator Uap	17
2.7. Kebutuhan Uap FWH dan Kapasitas Pompa	20

BAB III. PEMBAKARAN

3.1. Kebutuhan Kalor Generator Uap	26
3.2. Pemilihan Bahan Bakar	29



3.2.1. Perencanaan Bahan bakar Padat/ Batubara	29
3.2.2. Komposisi Bahan Bakar	30
3.2.3. Nilai Kalor Bahan Bakar	31
3.3. Kebutuhan Udara Pembakaran	32
3.4. Perhitungan Pembakaran	33
3.4.1. Perhitungan Efisiensi	38
3.4.2. Parameter Performansi	41
BAB IV. DAPUR DAN PIPA-PIPA DIDIH RADIASI	
4.1. Dapur	47
4.1.1. Macam - Macam Dapur	47
4.1.2. Perencanaan Bentuk dan Dimensi Dapur	48
4.2. Pipa-Pipa Didih Radiasi	51
4.3. Kalor yang Diserap Dapur	51
4.4. <i>Screen</i>	58
4.4.1. Perencanaan <i>Screen</i>	58
4.4.2. Kalor yang Diserap <i>Screen</i>	59
4.5. <i>Draft Loss</i> dan <i>Pressure Drop</i>	68
4.6. Rugi Kalor pada Dinding Dapur	70
4.7. Tinjauan Kekuatan Pipa-Pipa Didih Radiasi	73
BAB V SUPERHEATER	
5.1. Perencanaan Superheater	75
5.1.1. Kecepatan Aliran uap	75
5.1.2. Keseimbangan Kalor Antara Gas Asap dan Uap	77
5.1.3. Kalor yang Diserap Superheater	78
5.2. Rugi Kalor Melalui Dinding Superheater	84
5.2.1. Rugi Kalor Dinding Samping dan Bawah	85
5.2.2. Rugi Kalor Dinding Atas	86
5.3. Penurunan Tekanan Uap dan <i>Draft Loss</i>	87
5.4. Tinjauan Kekuatan Pipa	91
BAB VI. PIPA-PIPA DIDIH KONVEKSI	
6.1. Perencanaan Pipa Didih Konveksi	93



PERENCANAAN GENERATOR UAP BAHAN BAKAR BATUBARA KAPASITAS 60 TON/JAM,
TEKANAN 60 ATM DAN TEMPERATUR
5000C

I Wayan Sumerta, Jr. Arief Darmawan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

6.2. Kesetimbangan Kalor 94
Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

6.3. Rugi Kalor Melalui Dinding	97
6.4. <i>Cavity</i>	99
6.4.1. Radiasi <i>Cavity</i>	99
6.4.2. Rugi Kalor Melalui Dinding <i>Cavity</i>	101
6.5. <i>Draft Loss</i> dan Penurunan Tekanan Air	102
6.6. Tinjauan Kekuatan Pipa-Pipa Didih Konveksi	103

BAB VII. EKONOMISER

7.1. Perencanaan Pipa-Pipa Ekonomiser	105
7.2. Kalor yang Diserap Ekonomiser	106
7.3. Rugi Kalor Melalui Dinding	109
7.4. Penurunan Tekanan Air dan <i>Draft Loss</i>	110
7.5. Pemilihan Bahan Pipa	112

BAB VIII. DUST COLECTOR

8.1. Polusi Udara	113
8.2. Pengendalian Polutan Padat	114
8.3. Teknologi Pengendalian <i>Particulate</i>	115
8.4. Prinsip Pengumpul Debu	115
8.5. Perencanaan <i>Dust Colector</i>	116
8.5.1. Rugi Kalor Melalui Dinding	117
8.5.2. Penurunan Tekanan	118

BAB IX. AIR HEATER

9.1. Kapasitas Udara yang Dipanaskan <i>Air Heater</i>	122
9.2. Perencanaan <i>Air Heater</i>	123
9.3. Kesetimbangan Kalor	125
9.4. Rugi Kalor Melalui Dinding	129
9.5. Penurunan Tekanan Udara dan <i>Draft Loss</i>	130
9.6. Temperatur Pipa	131

BAB X. FEED WATER HEATER

10.1. Perencanaan <i>Feed Water Heater</i>	133
--	-----



10.3. Perencanaan Dinding FWH	141
10.4. Tinjauan Kekuatan Pipa-Pipa FWH	141

BAB XI. SIRKULASI AIR ISIAN

11.1. Sirkulasi Alam	144
11.2. Sirkulasi Paksa	144
11.3. Prinsip Sirkulasi Alam	145
11.4. Kerugian Tekanan Aliran Air dan Uap	147
11.5. Perencanaan Pipa-Pipa Turun	149
11.6. Penyerapan Kalor dan Laju Aliran Massa pada Pipa-Pipa Naik	152
11.6.1. Perencanaan Pipa-Pipa Turun 1	152
11.6.1.1. Rugi aliran pada pipa-pipa naik (R1)	152
11.6.1.2. Pemilihan Pipa-Pipa Turun 1	155
11.6.2. Perencanaan Pipa-Pipa Turun 2	157
11.6.2.1. Rugi Aliran Pada Pipa-Pipa Naik (R2)	157
11.6.2.2. Pemilihan Pipa-Pipa Turun 2	159
11.6.3. Perencanaan Pipa-Pipa Turun 3	161
11.6.3.1. Rugi Aliran pada Pipa-Pipa Naik (R3)	161
11.6.3.2. Perencanaan Pipa-Pipa Turun 3	164
11.6.4. Perencanaan Pipa-Pipa Turun 4 dan 5	165
11.6.4.1. Rugi Aliran Pada Pipa-Pipa Naik (R4 = R5)	165
11.6.4.2. Pemilihan Pipa-Pipa Turun 4 dan 5	168

BAB XII. PULVERIZER, BURNER DAN ALAT PERLENGKAPAN

12.1. <i>Coal Pulverizer</i>	171
12.2. Sistem Penepung Batubara	172
12.3. <i>Burner</i> dan Sistem Pembakaran	174
12.4. Alat Perlengkapan Generator Uap	178
12.4.1. Katup Pengaman / <i>Safety Valve</i>	179
12.4.2. Manometer	180
12.4.3. Gelas Penduga	181
12.4.4. Garis Api	183

12.4.5. Peluit Bahaya	183
12.4.6. Prop Timah	184
12.4.7. Katup Air Umpan / <i>Feed Water Valve</i>	185
12.4.8. Keran Uap / <i>Steam Valve</i>	186
12.4.9. Keran Pembersih / <i>Blow Down Valve</i>	186
12.4.10. Pemisah Uap / <i>Steam Separator</i>	187
BAB XIII. SISTEM TARIKAN	
13.1. Cerobong	189
13.1.1. Perencanaan Cerobong	190
13.2. Fan	194
13.2.1. Fan Penghembus Udara	196
13.4.2. Fan Penghisap Gas	202
13.4.3. Fan Udara Primer	207
BAB XIV. HEADER, DRUM DAN POMPA	
14.1. <i>Header</i>	211
14.1.1. <i>Header</i> pada Pendidih Radiasi	212
14.1.2. <i>Header</i> Superheater	213
14.1.3. <i>Header</i> pada Ekonomiser	214
14.2. Drum	216
14.2.1. Perencanaan Drum Atas	217
14.2.2. Drum Bawah	217
14.3. Pompa Air Isian	218
14.3.1. Faktor–Faktor dalam Pemilihan Pompa	218
14.3.2. Pemilihan Pompa	219
BAB XV. EFISIENSI TERMAL DAN KONTROL TEMPERATUR	
15.1. Efisiensi Generator Uap	221
15.2. Pengontrolan Temperatur Uap	224
BAB XVI. AIR ISIAN GENERATOR	
16.1. Kesadahan Air	234
16.2. Pengolahan Air Isian	235
16.2.1. Pengolahan Air Isian Luar / <i>Eksternal Treatment</i>	235

BAB XVII. PENUTUP

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kondisi air isian atau uap	24
Tabel 3.1. Komposisi udara atmosfer	32
Tabel 3.2. Kebutuhan udara pembakaran dan hasil pembakaran	33
Tabel 3.3 Kebutuhan udara pembakaran teoritis	35
Tabel 3.4. Komposisi gas asap dalam persen berat dan persen volume	38
Tabel 3.5. Perhitungan pembakaran	45
Tabel 11.1. Perbandingan Luas permukaan dan penyerapan kalor radiasi dapur oleh kelompok pipa-pipa didih radiasi	150
Tabel 11.2. Koefisien belokan N_b	153
Tabel 13.1. <i>Stack effect</i> untuk tiap ft vertikal	202

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1.	Perkembangan generator uap	5
Gambar 1. 2.	Proses pada generator uap	6
Gambar 1.3.	Sirkulasi air isian generator uap	8
Gambar 2.1.	Perencanaan dasar	15
Gambar 2.2.	Aliran fluida dan perencanaan proses	20
Gambar 3.1.	Rugi-rugi kalor radiasi dan konveksi melalui dinding (<i>radiation Losses</i>) dalam persen <i>gross heat input</i>	40
Gambar 3.2	<i>Enthalpy</i> gas asap di atas 77°F pada 30 in. Hg.	46
Gambar 4.1.	Perencanaan bentuk dan dimensi ruang bakar	50
Gambar 4.2.	Faktor efektivitas dinding ruang bakar (1,0 untuk permukaan <i>full water cooled</i>)	53
Gambar 4.3.	Hubungan antara temperatur gas asap keluar dapur dengan <i>heat release rate</i> untuk berbagai jenis bahan bakar	54
Gambar 4.4.	Emisivitas uap air pada tekanan total 1 atm; $p_w L_e$ = tekanan parsial dalam atm x <i>mean beam length</i> dalam ft	56
Gambar 4.5.	Emisivitas karbon dioksida pada tekanan total 1 atm; $p_c L_e$ = tekanan parsial dalam atm x <i>mean beam length</i> dalam ft.	57
Gambar 4.8.	Faktor properti gas untuk menentukan Bilangan Reynold	61
Gambar 4.9.	Faktor kecepatan konveksi dan geometri dasar aliran silang h_c' ..	62
Gambar 4.10.	Faktor properti fisik (F_{pp})	62
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)	63
Gambar 4.12.	Faktor kedalaman perpindahan kalor (F_d)	63
Gambar 4.13.	Koefisien perpindahan kalor radiasi dasar (h_r')	65
Gambar 4.14.	Tekanan parsial (p_r) untuk batubara dan bahan bakar padat lainnya	65
Gambar 4.15.	Panjang berkas radiasi rata-rata / <i>Mean Radiating Length</i> (L).....	66
Gambar 4.16.	Faktor bahan bakar	66



Gambar 4.17.	Faktor pengotoran	66
Gambar 4.18.	Kalor jenis rata-rata gas asap (c_p)	67
Gambar 4.19.	Faktor gesekan, yang dipengaruhi oleh bilangan Reynold untuk bermacam-macam susunan pipa aliran silang gas atau udara	69
Gambar 4.20.	Faktor kedalaman <i>draft loss</i> untuk jumlah baris pipa menyilang	70
Gambar 4.21.	Konstruksi dinding dapur	70
Gambar 4.22.	Konduktivitas thermal berbagai bahan dinding dapur	71
Gambar 4.23.	Konduktansi permukaan pada berbagai kecepatan aliran udara (Standar ASTM pada bahan <i>refractory</i> , 1948)	72
Gambar 5.1.	Viskositas absolut uap jenuh dan panas lanjut	80
Gambar 5.2.	Faktor kecepatan dan geometri aliran konveksi pada aliran longitudinal	83
Gambar 5.3.	Pengaruh temperatur film T_f dan tekanan pada faktor proferti fisik F_{pp}	83
Gambar 5.4.	Faktor temperatur F_T , aliran longitudinal udara, gas atau uap	84
Gambar 5.5.	Susunan lapisan dinding superheater	85
Gambar 5.6.	Kekasaran relatif berbagai permukaan saluran	89
Gambar 5.7.	Hubungan bilangan Reynold - faktor gesekan untuk menentukan penurunan tekanan fluida yang melalui saluran tertutup (pipa dan <i>duct</i>)	90
Gambar 5.8.	Koefisien belokan	91
Gambar 6.1.	Perencanaan <i>Cavity</i>	100
Gambar 8.1.	Perencanaan pengumpul debu siklon	118
Gambar 9.1.	Perencanaan <i>air heater</i>	123
Gambar 9.2.	Pengaruh temperatur film T_f dan <i>moisture</i> , pada faktor proferti fisik F_{pp} pada gas dalam aliran longitudinal	127
Gambar 10.1.	Aliran fluida dalam FWH	134
Gambar 10.2.	Koefisien perpindahan kalor berdasarkan kecepatan aliran air dalam pipa	137
Gambar 10.3.	Koefisien Kondensasi	139



tekanan kerja	145
Gambar 11.2. Skema sirkulasi alam pada generator uap	146
Gambar 11.3. Skema susunan pipa-pipa didih dan turun	148
Gambar 11.4. Viskositas absolut beberapa jenis fluida	153
Gambar 12.1. Pengapian langsung, sistem fan panas untuk <i>pulverized coal</i>	173
Gambar 12.2. Pengapian langsung, sistem fan dingin untuk <i>pulverized coal</i>	173
Gambar 12.3. <i>Conventional circular burner</i>	175
Gambar 12.4. <i>Conventional cell burner</i>	176
Gambar 12.5. <i>S-type burner</i>	176
Gambar 12.6. DRB-XCI TM <i>burner</i>	178
Gambar 12.7. Katup Pengaman	180
Gambar 12.8. Manometer	181
Gambar 12.9. Gelas penduga	182
Gambar 12.10. Peluit bahaya (dari Black, Dikkers & Co. Hengelo)	184
Gambar 12.11. Prop timah	185
Gambar 12.12. Keran pengisi air umpan	185
Gambar 12.13. Keran uap / <i>steam valve</i>	186
Gambar 12.13. Keran pembersih	187
Gambar 12.14. Drum uap dengan tiga baris <i>separator</i> siklon primer	188
Gambar 13.1. Dimensi cerobong berdasarkan laju aliran gas asap	191
Gambar 13.2. Hubungan diameter, tinggi cerobong dengan temperatur keluar gas asap	192
Gambar 13.3. Tarikan cerobong	193
Gambar 13.4. Faktor Gesekan	193
Gambar 13.5. Susunan perencanaan sistem tarikan	195
Gambar 13.6. Koefisien rugi tekanan pada saluran rektangular dengan sudut 90°	198
Gambar 13.7. Faktor kontraksi penampang N_c	199
Gambar 13.8. Faktor ekspansi penampang N_e	199
Gambar 15.1. Kontrol superheater dengan menaikkan <i>excess air</i>	226



PERENCANAAN GENERATOR UAP BAHAN BAKAR BATUBARA KAPASITAS 60 TON/JAM,
TEKANAN 60 ATM DAN TEMPERATUR
5000C

Gambar 15.2. Pengontrolan superheater dengan resirkulasi gas asap	227
Gambar 15.3. Kontrol superheater menggunakan gas <i>by-pass</i>	228
Gambar 15.4. <i>Attemperator</i> jenis <i>header / drum</i> dan instalasinya	230
Gambar 15.5. <i>Attemperator</i> jenis <i>sheel and tube</i> dan instalasinya	230
Gambar 15.6. <i>Attemperator</i> jenis <i>sumerged</i> dan instalasinya	231
Gambar 15.7. <i>Attemperator</i> jenis kontak langsung / <i>spray</i> dan instalasinya	231

1. Huruf Latin

- A = luas permukaan, ft²
- A_a = luas penampang aliran air dalam pipa, ft²
- A_{cav} = luas permukaan *cavity*, ft²
- A_s = luas penampang aliran uap, ft²
- A_{sc} = luas penampang *screen*, ft²
- A_g = luas penampang aliran / *free area* gas asap, ft²
- A_r = *flat projected area* dapur, ft²
- A_k = luas permukaan yang menerima kalor konveksi, ft²
- A_d = luas permukaan dinding yang bersinggungan dengan udara luar, ft²
- A_p = persentase luas penyerapan dikalikan dengan luas planar, ft²
- B = tekanan udara luar, in Hg
- b = tinggi saluran *rectangular* gas asap/udara, ft
- B_r = beban ruang bakar, Btu/ft³ jam
- CFM = *cubic feet minutes*
- c_p = kalor jenis gas asap, Btu/lbm °F
- CR = rasio sirkulasi/*circulation ratio*
- d = lebar saluran *rectangular* 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 *shell* FWH, in
- E = efisiensi pelemahan / *ligament*
- E_{in} = infut kalor ke generator, Btu/jam
- E_{out} = kebutuhan kalor total generator uap, Btu/jam
- f = faktor gesekan
- F_a = faktor susunan pipa
- F_d = faktor kedalaman
- F_{pp} = faktor properti fisik



- F_t = faktor temperatur
- G' = jumlah massa uap yang terkondensasi satua penampang / beban FWH
- G_a = fluks massa air, lbm/ft² jam
- G_g = fluks massa gas asap, lbm/ft² jam
- G_s = fluks massa uap, lbm/ft² jam
- G_u = fluks massa udara, lbm/ft² jam
- H = tinggi cerobong, ft
- H_g' = *heat available* gas asap, Btu/jam
- H_g = *heat available* gas asap, Btu/lbm
- 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_g = koefisien perpindahan kalor gas asap, Btu/h ft² °F
- 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_{ud} = koefisien perpindahan kalor konveksi udara luar, Btu/h ft² °F
- h_s = koefisien perpindahan kalor pada pipa, Btu/h ft² °F
- h_p = *head* pompa, ft H₂O
- hp = daya / *horse power*
- $h_{\Sigma d}$ = total kerugian *head* pada pipa-pipa turun, ft H₂O
- $h_{\Sigma r}$ = total kerugian *head* pada pip-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 = panjang pipa, ft
- L = panjang radiasi rata-rata, ft
- LMTD = *log mean differential temperature*, °F
- $L_{\perp}$ = jarak antar sumbu pipa tegak lurus arah aliran, in



L_e = panjang berkas ekuivalen, ft

LHV = nilai kalor rendah, Btu/lbm

m = laju aliran massa, lbm/jam

m_f = laju kebutuhan bahan bakar, lbm/jam

m_g' = laju massa gas asap per 10.000 Btu kalor input

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_u' = pengurangan kebutuhan udara karena adanya karbon tak terbakar, lbm/jam

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

m_{u-Btu} = kebutuhan udara pembakaran per 10.000 Btu kalor input

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, 1/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

PC = *pulverized Coal* / batubara serbuk

P_c = tarikan cerobong teoritis, in H_2O

P_c = tekanan parsial CO_2

P_p = tekanan yang harus disediakan pompa, ft H_2O

P_r = tekanan parsial, atm

P_w = tekanan parsial H_2O

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_{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} = total kalor yang diserap oleh *screen*, Btu/jam

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

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

r = jari-jari kelengkungan, in

r_o = jari-jari kelengkungan luar, in

r_i = jari-jari kelengkungan daalam, in

SE = *stack efect*

S_w = tegangan minimum yang diijinkan, psi

t = tebal lapisan dinding, in

t = tebal pipa, in

t_r = temperatur rata-rata, °F

T₁ = temperatur masuk gas asap, °F

T₁' = temperatur masuk air atau uap, °F

T₂ = temparatur keluar gas asap, °F

T₂' = temperatur keluar air atau uap, °F

T_{u1} = temperatur udara masuk, °F

T_{u2} = temperatur udara keluar, °F

T_d = temperatur jenuh air isian, °F

T_d = temperatur dinding, °F

T_o = temperatur referensi, °F

T_f = temperatur bahan bakar, °F

T_f = temperatur film, °F

T_{fa} = temperatur film udara, °F

T_{fg} = temperatur film gas asap, °F

T_{g out} = temperatur gas asap meninggalkan *air heater*, °F



- t_{min} = tebal pipa minimum, in
- T_s = temperatur rata-rata uap, °F
- T_{ud} = temperatur udara luar, °F
- T_w = temperatur dinding pipa, °F
- U = koefisien perpindahan kalor *overall*, Btu/h ft² °F
- V = kecepatan aliran air dalam pipa, ft/s
- V_c = kecepatan gas asap pada *dust collector*, ft/s
- V_g = kecepatan aliran gas asap, ft/s
- V_c = volume cavity, ft³
- 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 H₂O
- α_c = absorbsivitas radiasi CO₂
- γ_f = berat jenis air jenuh, lbf/ft³
- γ_{mix} = berat jenis campuran uap and air meninggalkan pipa-pipa naik, lbf/ft³
- γ_r = berat jenis campuran air-uap rata-rata pada pipa naik, lbf/ft³
- γ_l = berat jenis fluida masuk pipa-pipa naik, lbf/ft³
- γ_d = berat jenis air pada pipa pipa turun, lbf/ft³
- γ_s = berat jenis uap jenuh, lbf/ft³
- ϵ_c = emisivitas gas asap
- $\epsilon_{g(T)}$ = emisivitas gas asap pada temperatur T
- ϵ_w = emisivitas H₂O
- ϵ_{ef} = emisivitas efektif permukaan pipa
- ϵ_s = emisivitas pipa baja



η = efektivitas penyerapan dinding dapur

Δ_{ϵ} = faktor koreksi emisivitas karena adanya CO_2 dan H_2O dalam gas

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. $\text{ft}^2 \text{R}^4$

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_2 = volume jenis fluida keluar, ft^3/lbm