



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSOALAN	vi
INTISARI	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Generator Uap	1
I.2 Biomass	6
I.3 Kotoran Hewan.....	9
I.4 Turbin Uap	13
BAB II PERANCANGAN AWAL GENERATOR UAP	15
II.1 Kebutuhan Listrik.....	15
II.2 Turbin Uap	16
II.3 Kebutuhan Awal Generator Uap.....	16
II.4 Sirkulasi air	20
II.5 Sistem Tarikan.....	21
BAB III PROSES PEMBAKARAN	23
III.1 Pendahuluan	23
III.2 Bahan Bakar	25
III.3 Reaksi Pembakaran	26
III.4 Temperatur Gas Pembakaran	30
BAB IV DAPUR DAN PENDIDIH RADIASI	32
IV.1 Pendahuluan	32
IV.2 Perhitungan Dapur	33
IV.3 Pipa Didih Radiasi	35



IV.3.1	Kalor yang diserap pipa didih	36
IV.3.2	Kalor yang diserap dinding dapur	41
IV.4	Tinjauan Kekuatan Pipa	44
BAB V	PENDIDIH KONVEKSI	45
V.1	Pendahuluan	45
V.2	Perancangan Pendidih Konveksi	47
V.2.1	Perancangan dimensi pipa dan jumlah pipa.....	47
V.2.2	Perhitungan dimensi dinding pendidih konveksi	49
V.2.3	Perhitungan temperatur gas asap.....	51
V.2.4	Perhitungan luas permukaan perpindahan kalor pendidih konveksi	58
V.3	Tinjauan Kekuatan Pipa	59
BAB VI	EKONOMISER	60
VI.1	Pendahuluan	60
VI.2	Perancangan Ekonomiser	62
VI.2.1	Perancangan dimensi pipa dan jumlah pipa.....	62
VI.2.2	Perhitungan dimensi dinding ekonomiser	63
VI.2.3	Perhitungan temperatur gas asap.....	65
VI.2.4	Perhitungan luas permukaan perpindahan kalor ekonomiser	70
VI.3	Tinjauan Kekuatan Pipa	71
VI.4	Air Heater	71
BAB VII	HEADER DAN DRUM	73
VII.1	Pendahuluan	73
VII.2	Header	73
VII.2.1	Header pada pipa didih radiasi.....	73
VII.2.2	Header pada ekonomiser.....	75
VII.3	Drum	76
VII.3.1	Drum bawah.....	77
VII.3.2	Drum atas.....	79



BAB VIII SIKULASI AIR PADA KETEL UAP	82
VIII.1 Pendahuluan	82
VIII.2 Perhitungan Sirkulasi Air	84
VIII.3 Perhitungan Kerugian Aliran Pada Pipa Riser	92
VIII.3.1 Kondisi SBV = 85 %	92
VIII.3.2 Kondisi SBV = 80 %	99
VIII.3.3 Kondisi SBV = 90 %	100
VIII.4 Perencanaan Pipa-pipa Turun	101
VIII.4.1 Perhitungan kerugian aliran pada pipa <i>downcomers</i>. 102	
VIII.4.2 Pipa penyalur pada bagian header	103
VIII.5 Pompa Air Isian	103
VIII.5.1 Rugi tekanan pada pipa ekonomiser	104
VIII.5.2 Jenis pompa air isian	105
BAB IX CEROBONG	108
IX.1 Pendahuluan	108
IX.2 Perhitungan Kerugian Tekanan	109
IX.2.1 Perhitungan kerugian tekanan aliran gas asap	109
IX.2.2 Perhitungan kerugian aliran udara	111
IX.3 Perencanaan Cerobong	113
BAB X BURNER DAN EFISIENSI	118
X.1 Burner	118
X.2 Efisiensi	120
BAB XI AIR ISIAN KETEL	122
XI.1 Pendahuluan	122
XI.2 Pemasakan Air Ketel	122
XI.3 Pembentukan Kerak dan Lumpur	124
XI.4 Pencegahan Pembentukan Kerak dan Lumpur	125
XI.5 Korosi	131
XI.6 Pencegahan Korosi	132



BAB XII PERLENGKAPAN GENERATOR UAP	135
XII.1 Katup Keamanan	135
XII.2 Manometer	136
XII.3 Thermometer	137
XII.4 Flow Meter	138
XII.5 Peluit Keamanan	138
XII.6 Garis Api	140
XII.7 Gelas Penduga	140
XII.8 Sumbat Penduga	141
XII.9 Peluit Bahaya	141
XII.10 Prop. Timah (sumbat leleh)	141
XII.11 Aparat Pengisi (<i>Feed Connection</i>)	142
XII.12 Kran Uap	144
XII.13 Aparat Pembuang (<i>Blow off Connection</i>)	144
XII.14 CO ₂ Recorder	146
BAB XIII PENUTUP	147
XIII.1 Penutup	147
XIII.1.1 Pengoperasian	147
XIII.1.2 Menghidupkan Generator.....	148
XIII.1.3 Mematikan Generator	148
XIII.2 Kesimpulan	149
DAFTAR PUSTAKA	151
LAMPIRAN-LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR DAN TABEL

Tabel 1.1	Potensi produk gas dari sapi perah, pedaging dan unggas	11
Gambar 1.1	Gas holder dan digester untuk kotoran ternak	12
Gambar 2.1	Hubungan antara enthalpi dan temperatur pada generator rancangan	17
Tabel 2.1	Pemilihan generator uap	21
Tabel 3.1	Kebutuhan <i>excess air</i> untuk berbagai bahan bakar	25
Gambar 4.1	Hubungan antara temperatur gas keluar dapur dengan laju pelepasan kalor untuk berbagai bahan bakar	37
Gambar 4.2	Emisivitas karbondioksida untuk tekanan total 1 atm	39
Gambar 4.3	Emisivitas uap air untuk tekanan total 1 atm	39
Gambar 4.4	<i>Effectiveness Factor</i> untuk daerah dinding dapur	40
Tabel 4.1	Emisifitas normal untuk berbagai macam bahan permukaan .	40
Tabel 4.2	Koefisien perpindahan panas konveksi	42
Gambar 4.5	Grafik hubungan temperatur gas pembakaran dengan enthalpi gas	43
Gambar 5.1	Panas jenis uap	49
Gambar 5.2	<i>Partial Pressure</i> berbagai bahan bakar	53
Gambar 5.3	<i>Mean radiating length</i>	53
Gambar 5.4	Koefisien k pada berbagai permukaan	53
Gambar 5.5	Konduktansi panas radiasi	54
Gambar 5.6	Hubungan temperatur film dengan <i>Physical properties factor</i>	56
Gambar 5.7	Nilai K_{RE} berdasarkan temperatur film dan diameter pipa	56
Gambar 5.8	<i>Arrangement factor</i>	57
Gambar 5.9	<i>Heat transfer depth factor</i>	58
Gambar 6.1	<i>Integral economiser</i>	60
Gambar 6.2	Hubungan antara enthalpi dengan temperatur gas	



	pembakaran	66
Gambar 6.3	Rothemuhle-type <i>air heater</i>	72
Gambar 7.1	Efisiensi ligamen antar lubang	74
Gambar 8.1	Hubungan antara % SBW dan % SBV untuk berbagai tekanan	87
Gambar 8.2	Kekasaran relatif pada berbagai bahan permukaan	93
Gambar 8.3	Faktor gesekan berdasarkan bilangan Reynold dan kekasaran	94
Gambar 8.4	Rugi belokan pada pipa	95
Gambar 9.1	Diameter cerobong	114
Gambar 9.2	Temperatur gas asap keluar stack	115
Gambar 9.3	Faktor gesekan pada cerobong	116
Gambar 10.1	Pembakar gas atmosfir	120
Gambar 12.1	Katup keamanan	136
Gambar 12.2	Manometer	137
Gambar 12.3	Peluit kemanan	139
Gambar 12.4	Gelas penduga	141
Gambar 12.5	Katup air umpan	143
Gambar 12.6	Kran uap	144
Gambar 12.7	CO ₂ Recorder	146



DAFTAR NOTASI

- A_d = Luas *duct* aliran gas asap lewat susunan pipa-pipa (m^2)
 A_o = Luas permukaan pipa-pipa (m^2)
 A_g = Luas penampang aliran gas asap lewat susunan pipa-pipa (m^2)
 A_p = Luas penampang susunan pipa-pipa (m^2)
 B = Tekanan barometris (inHg)
 B_{rb} = beban ruang bakar ($Btu/ft^3 \cdot hr$)
 C_p = Panas jenis masing-masing senyawa pada gas asap ($kJ/kg \cdot K$)
 C_{ap} = Kapasitas volume aliran (m^3/det)
 C_{pg} = Panas jenis campuran gas asap ($kJ/kg \cdot K$)
 C_{pw} = Panas jenis air rata-rata ($kJ/kg \cdot ^\circ C$)
 D = Diameter drum (mm)
 f = Koefisien gesekan
 F_a = Faktor susunan pipa yang segaris
 F_d = Faktor kedalaman
 F_{pp} = Faktor sifat-sifat fisik
 G = Flux massa dari gas atau udara ($lb/h \cdot ft^2$)
 H = Prosentase hidrogen pada bahan bakar (%)
 h_f = Entalpi air pada suhu didih (kJ/kg)
 h_g = Entalpi uap jenuh (kJ/kg)
 h_t = Entalpi gas asap total ($kcal/kg$)
 ID = Diameter dalam pipa (in)
 K = Faktor bahan bakar
 K_{RE} = Faktor sifat-sifat gas ($h \cdot ft^2/lb$)
 III = Jarak pipa sejajar aliran gas asap (in)
 $I \perp$ = Jarak pipa tegak lurus aliran gas asap (in)
 m = Kapasitas aliran air atau uap air (kg/jam)
 m_{bb} = konsumsi bahan bakar (kg/jam)
 N_b = Rugi head kecepatan pada belokan



- Nen = Rugi head kecepatan karena memasuki pipa
Nex = Rugi head kecepatan karena keluar dari pipa
 N_{RE} = Bilangan Reynold
OD = Diameter luar pipa (in)
 O_{2t} = Kebutuhan oksigen teoritis yang diambil dari udara (kg/kg bahan bakar)
 O_{2a} = Kebutuhan oksigen aktual yang diambil dari udara (kg/kg bahan bakar)
 P_c = Tarikan cerobong
Qd = Panas yang diserap oleh dinding (Btu/h)
Qe = Panas yang diserap oleh pipa-pipa ekonomiser (Btu/h)
 Q_j = Panas yang dibutuhkan oleh generator uap (kJ/jam)
Qk = Panas yang diserap oleh pipa-pipa didih konveksi (Btu/h)
Qr = Panas yang diserap oleh pipa-pipa didih radiasi (Btu/h)
t = tebal plat (ft)
 t_d = Temperatur didih air ($^{\circ}C$)
 t_f = Temperatur film gas asap atau bahan bakar masuk ruang bakar ($^{\circ}C$)
 t_1 = Temperatur gas asap masuk susunan pipa-pipa ($^{\circ}C$)
 t_2 = Temperatur gas asap keluar susunan pipa-pipa ($^{\circ}C$)
 U_{cg} = Koefisien perpindahan panas konveksi (Btu/h.ft².F)
 U_{rg} = Koefisien perpindahan panas radiasi (Btu/h.ft².F)
V = Kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/jam)
Vd = Volume dapur
 W_g = Kapasitas gas asap yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar (kg/jam)
 W_u = Kapasitas udara pembakaran yang dibutuhkan (kg/jam)
 W_{ud} = Berat udara pembakaran yang dibutuhkan (kg/kg bahan bakar)
X = Prosentase berat masing-masing senyawa pada gas asap (%)
 η = Efisiensi generator uap (%)
 Δp_b = Turun tekanan karena belokan (psi)
 Δp_e = Turun tekanan karena rugi-rugi saat masuk dan keluar pipa (psi)
 Δp_f = Turun tekanan karena gesekan pada pipa lurus (psi)
 Δt_m = *Log mean temperature difference*, LMTD (... $^{\circ}$)
 ρ_a = Berat spesifik air (kg/m³)



ρ_u = Berat spesifik uap air (kg/m^3)

ρ_l = Berat spesifik uap jenuh (kg/m^3)

ρ_{rata} = Berat spesifik rata-rata campuran air dan uap air (kg/m^3)

v_a = Volume spesifik air (m^3/kg)

v_u = Volume spesifik uap air (m^3/kg)

v_l = Volume spesifik uap jenuh (m^3/kg)

v_{mix} = Volume spesifik campuran air dan uap air (m^3/kg)