LAMPIRAN A
SPESIFIKASI ALAT

A. Ruang Bakar

Tabel 11. Spesifikasi Ruang Bakar

Dimensi	Ukuran
Bentuk	Box
Panjang	100 cm
Lebar	58 cm
Tinggi	70 cm

B. *Longitudinal Water Tuber Boiler*

Tabel 12. Spesifikasi *WaterTube Boiler*

Dimensi	Ukuran
Panjang*boiler*	100 cm
Diameter *boiler*	30 cm
Diameter *tube*	2,5 cm
Panjang *tube*	70 cm
Tebal *tube*	0,15cm
Jumlah *tube*	16 buah

C. Turbin

Tabel 13. Spesifikasi Turbin

Dimensi	Ukuran
Bentuk	Silinder sirip
Diameter	51 cm
Tebal	0,6 cm
Jumlah sudu	54 buah
Jarak dari poros	25 cm
Tebal turbin	5 cm
Luas turbin	0.52 m^2

D. Generator

Tabel 14. Spesifikasi Generator

Dimensi	Ukuran

Daya	3000 watt
NP	3000 rpm
Frekuensi	50/60 Hz
Phase	1
voltase	220
Mas ampere	13.6
Cos α	1

E. Kondensor

Tabel 15. Spesifikasi Kondensor

Dimensi	Ukuran
Bentuk	Persegi panjang
Panjang	79 cm
Lebar	61 cm
Tinggi	35 cm
Diameter *tube*	0,5 in
Jumlah *tube*	16 buah

F. Kompresor

Tabel 16. Spesifikasi Kompresor

Dimensi	Ukuran
Bentuk	Silinder vertikal
Diameter selang	1,5 cm
Tinggi	39 cm
Luas penampang	2024 cm^2
Diameter tangki	14 cm
Tenaga	1 HP
Tekanan maksimum	8 Bar
Volume	8 Liter
Putaran	2850 rpm
Kapasitas	150 Liter/menit

G. *OilTank*

Tabel 17. Spesifikasi *OilTank*

Dimensi	Ukuran
Bentuk	Silinder
Diameter	27 cm
Panjang	46 cm
Tebal	4 mm

H. Pompa

Tabel 18. Spesifikasi Pompa

Dimensi	Ukuran
Tinggi *boiler*	75 cm
Diameter *boiler*	50 cm
Diameter *tube*	2,5 cm
Panjang *tube*	75 cm
Tebal *tube*	0,15 cm
Jumlah *tube*	9 buah
Tenaga	2,2 HP
Daya	1,6 KW
Putaran	2800 rpm
Tegangan	220 V
Arus	8,5 A

LAMPIRAN B
DOKUMENTASI KEGIATAN


V15

LAMPIRAN C
GAMBAR ALAT

Gambar21.*Steam Drum*


Gambar 22. *Longitudinal Tubesheet*


Gambar23.*TubesheetSuperheater*


Gambar24.*Furnace*

Gambar 25. Komporesor


Gambar 26.Tangki Bahan Bakar


Gambar27. Sudu Turbin


Gambar 28. Kondensor


Gambar 29. Pompa


Gambar 30. Level Volume

Gambar31.kontrolPanel

Gambar 32. Generator

Gambar 33. *Burner*

Gambar 34. *Open Pulley* Sistem

Gambar 35. *Temperature Gauge*

Gambar 36. *PressureGauge*

Gambar 37. *Flowmeter*

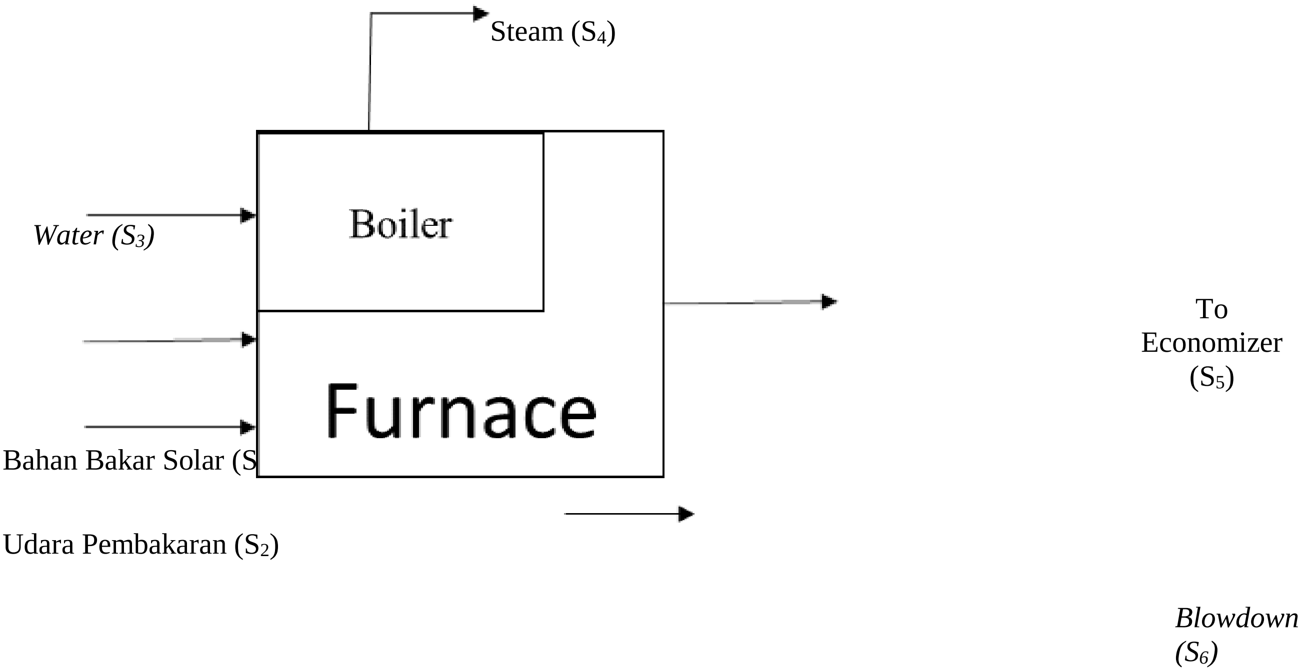
Gambar 38. *Water Tank*

Gambar 39. *Tubesheet Economizer*

Gambar 40.Prototipe *Steam Power Generator* Keseluruhan

LAMPIRAN D

DATA PENGAMATAN



Tabel.19 laju alir Bahan Bakar

Tekanan (bar)	Area Operasi	Flow Bahan Bakar (kg/jam)
5	Liquid Burner	2,000
10	Liquid Burner	1,750

Tabel.20 laju alir Steam

Tekanan (bar)	Area Operasi	Flow Steam (kg/jam)
45	Drum	15
30	Drum	10

Tabel.21 laju alir Blowdown

Tekanan (bar)	Area Operasi	Flow Blowdown (kg/jam)
45	Drum	15
30	Drum	20

Tabel.22 Data proses Steam Power Plant

Parameter	Tekanan	
	10	5
Tempratur Bahan Bakar (°C)	30	30
Tempratur Udara (°C)	30	30
Tempratur Wall Furnace (°C)	152	150

Tempratur Flue Gas (ºC)	221	219
Tekanan steam (bar)	10	5
Tempratur Blowdown (ºC)	100	100
Tempratur BFW (ºC)	28	28
AFR	16:01	

LAMPIRAN E

PERHITUNGAN

Neraca Massa Water Tube Boiler

Pada *Water Tube Boiler* terjadi proses produksi uap yang kemudian akan dimanfaatkan sebagai penggerak Turbin untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kw.

Basis 1 jam operasi

Flow solar 2,00 L

Massa solar	1,75	kg
HHV	10500	kcal/kg
spgr	0,874	kg/L

Tabel. 23 Analisis Orsat Flue gas

Komponen	%vol
CO_2	8,48%
CO	2,13%
O_2	7,15%
N_2	82,24%
Total	100,00%

Spesifikasi Burner

Diameter 6,4 cm r = 3,2 cm

Luas penampang burner = $2 \cdot 3{,}14 \cdot r^2$

= 64,3072 cm^2

= 0,00643072 m^2

Kecepatan aliran = 0,761 m/s

Laju alir massa = 17,61760051 m^3

-Massa Udara dari air kompresor = 28,00 kg

Mol udara suplai = $\frac{28{,}00 \text{ kg}}{28{,}84 \text{ kg/kmol}}$

= 0,9709 kmol

-AFR Pembakaran pada Liquid Burner

$$AFR = \frac{\text{kg udara}}{\text{kg bahan bakar}}$$

$$= \frac{28{,}00 \text{ kg}}{1{,}75 \text{ kg}}$$

= 16 : 1

-Mol N_2 dari udara suplai = $\frac{79}{100}$ x Mol udara total

= $\frac{79}{100}$ x 0,9709 kmol

= 0,7670 kmol

= 21,48 kg

-Mol O_2 dari udara suplai = $\frac{21}{100}$ x Mol udara total

= $\frac{21}{100}$ x 0,9709 kmol

= 0,2039 kmol

= 6,52 kg

% N_2 pada flue gas sama dengan % N_2 dari udara 82,24%

Mol N_2 pada flue gas sama dengan N_2 dari udara 0,7670 kmol

Mol total dry flue gas = $\frac{100\%}{82{,}24\%}$ x -Mol N2 dari udara suplai

= 100% x 0,7670 kmol

82,24%

= 0,9326 kmol

Tabel.24 komposisi dry flue gas (orsat)

Komponen	%(vol)	Mol (Kmol)	BM	Massa (Kg)
CO_2	8,48%	0,0791	44	3,4798
CO	2,13%	0,0199	28	0,5562
O_2	7,15%	0,0667	32	2,1338
N_2	82,24%	0,7670	28	21,4757
Total	100,00%	0,9326		27,6456

- Menghitung H_2O pada udara

T dry = 32 C

RH = 65%

-Dari grafik humidity chart didapatkan nilai H = 0,024

H_2O udara = H x Udara Suplai

= 0,024 x 0,971 kmol

= 0,0233 kmol

= 0,4194 kg

- Menghitung H_2O hasil reaksi

Mol O_2 yang bereaksi pada proses pembakaran

Mol O_2 dari udara - (Mol O_2 dalam CO_2 + Mol O_2 dalam CO)

0,2039 kmol - 0,0791 kmol + 0,0099 kmol

0,1149 kmol

Mol H_2O hasil reaksi pembakaran 0,1149 kmol atau 2,0676 kg

- H_2O total dalam flue gas

H_2O dari udara + H_2O hasil reaksi pembakaran

0,0233 kmol + 0,1149 kmol

0,1382 kmol

2,5238 kg

Tabel 25 Komposisi wet flue gas

Komponen	Massa (Kg)	BM	Mol (Kmol)
CO2	3,4798	44	0,0791
CO	0,5562	28	0,0199
O2	2,1338	32	0,0667
N2	21,4757	28	0,7670
H2O	2,5238	18	0,1402
Total	30,1694		1,0728

Tabel 26 Komposisi udara suplai dengan humiditas

Komponen	Massa (Kg)	BM	Mol (Kmol)
O2	6,5243	32	0,2039
N2	21,4757	28	0,7670
H2O	0,4194	18	0,0233
Total	28,4194		0,9942

-Sehingga didapatkan Neraca Massa

Tabel 27 Nerca Massa Sputar Boiler

INPUT		OUTPUT	
Komponen	Massa (kg)	Komponen	Massa (kg)
O2	6,5243	O2	2,1338
N2	21,4757	N2	21,4757
H2O	0,4194	H2O	2,5238
Solar	1,750	CO2	3,4798
-	-	CO	0,5562
Total	30,1694		30,1694

Neraca Energi Water Tube Boiler

INPUT

Basis 1 jam

Pada Tekanan 5 Bar

1) Menghitung Entalpi Solar

Massa Solar (m_{bb}) = 1,75 kg

$T_{referensi}$ = 25 ºC = 298 K

T_{solar} = 30 ºC = 303 K

ºAPI = 40 ºF (Sumber : Willcox, Diesel Technology hal 304)

pada Fig.66, Hougen hal 266 pada ºAPI 40 ºF didapat cp = 0,502 Kcal/KgºC

Q_{solar} = m_{solar} x cp solar x (T_{bb} - T_{ref})

= 1,75 kg/jam x 0,502 Kcal/KgºC x (30 - 25) ºC

= **4,3925 kcal**

2. *Heating Value* Solar = m_{solar} x HHVsolar

= 1,75 kg/jam x 10500 Kcal/kg

= **18375 kcal/jam**

3. Menghitung entalpi Udara

n udara = 0,9709 kmol

$T_{referensi}$ = 25 ºC = 298 K

T_{udara} = 30 ºC = 303 K

Dari Tabel 17, Hougen hal. 255 diperoleh :

a = 6,386

b = 0,001762

c = -2,656E-07

$$Cp = a + bT + cT^2$$ (Eq.21, Hougen hal 253)

$$= a + \frac{b}{2}(T_2 + T_1) + \frac{c}{3}(T_2^2 + T_2 T_1 + T_1^2)$$ (Eq.25, Hougen hal 258)

Maka,

$$\text{Cp udara} = 6{,}386 + \frac{0{,}001762}{2}\ 601\ \text{K} + \frac{-2{,}656E\text{-}07}{3}\ 270907\ \text{K}$$

= 6,891497 Kcal/Kmol.K

Q = n x cp x Delta T

= 0,97 6,89 Kcal/Kmol.K 5 K

= **33,45 kcal**

4. Menghitung Entalpi BFW

$m_{Fresh\ Water}$ = 30 kg

$T_{referensi}$ = 25 ºC = 298 K

T_{Bfw} = 28 ºC

Dari Tabel *Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor)*, maka nilai entalpi dari *saturated steam* saat T = 28 ^oC adalah 117,43 Kj/kg

h_f = 117,43 Kj/kg

(Sumber : Moran, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (2006))

h_f = 117,43 Kj/kg x 0,24 Kcal/kj

= 28,1832 Kcal/kg

Maka,

Q = m_{BFW} x h_f

= 30 kg x 28,1832 kcal/kg

= **845,496 kcal**

5. Menghitung Entalpi H2O dari Udara

Panas laten H_2O dalam flue gas

hf **Pada 30 0C** = 125,79 kj/kg

H_{fg} = 125,79 Kj/kg (Sumber : Hougen hal 236)

= 125,79 Kj/kg x 0,24 kkal/kj

= 30,1896 kcal/kg

Entalpi uap air dalam flue gas = massa H_2O dalam flue gas x H_{fg}

= 0,4194175 kg x 30,1896 kcal/kg

= **12,66204583 kcal**

OUTPUT

1) Menghitung Entalpi *Dry Flue Gas*

0

Tabel 28 Komposisi Mol Flue Gas Kering

Komponen	n (kmol)
CO_2	0,0791
CO	0,0199
O_2	0,0667
N_2	0,7670
Total	0,9326

Tabel 29 Konstanta Kapasitas Panas

Komponen	A	B x10^{-3}	C x 10^{-6}
CO_2	6,339	10,14	-3,415
CO	6,35	1,811	-0,2675
O_2	6,117	3,167	-1,005
N_2	6,457	1,389	-0,069

(Sumber : Hougen, hal 255)

Kapasitas panas (Cp) tersebut dihitung dengan persamaan berikut :

$$Cp = a + \frac{b}{2}(T_2 + T_1) + \frac{c}{3}(T_2^2 + T_2.T_1 + T_1^2)$$

(Eq.25, Hougen hal 258)

$T_{referensi}$ = 25 °C = 298 K

T_{udara} = 219 °C = 492 K

ΔT = $T_2 - T_1$

= 194 K

Maka,

$$Cp\ CO_2 = 6,339 + \frac{0,01014}{2}\ 790\ K + \frac{-0,000003415}{3}\ 477484\ K$$

= 9,800764047 Kcal/Kmol.K

$$Cp\ CO = 6,35 + \frac{0,001811}{2}\ 790\ K + \frac{-2,675E\text{-}07}{3}\ 477484\ K$$

= 7,022769343 Kcal/Kmol.K

$$Cp\ O_2 = 6,117 + \frac{0,003167}{2}\ 790\ K + \frac{-0,000001005}{3}\ 477484\ K$$

= 7,20800786 Kcal/Kmol.K

$$Cp\ N_2 = 6,457 + \frac{0,001389}{2}\ 790\ K + \frac{-0,000000069}{3}\ 477484\ K$$

= 6,994672868 Kcal/Kmol.K

$$Cp\ N_2 = 7,136 + \frac{0,00264}{2}\ 790\ K + \frac{4,59E\text{-}08}{3}\ 477484\ K$$

= 8,186105505 Kcal/Kmol.K

Tabel 30 Konstanta Kapasitas Panas

Komponen	A	B $x10^{-3}$	C $x\ 10^{-6}$	Cp (Kcal/kmol.K)
CO_2	6,339	10,14	-3,415	9,8008
CO	6,350	1,811	-0,2675	7,0228
O_2	6,117	3,167	-1,005	7,2080

H_2O	7,136	2,64	0,0459	8,1861
N_2	6,457	1,389	-0,069	6,9947

Sehingga,

Q CO_2 = n CO_2 x Cp CO_2 x ΔT

= 0,0791 kmol x 9,800764 Kcal/Kmol.K x 194 K

= **150,371067 kcal**

Tabel 31 Panas Sensibel *Flue Gas*

Komponen	n (kmol)	Cp (Kcal/kmol.K)	ΔT K	Q Kcal
CO_2	0,0791	9,8008	194	150,3711
CO	0,0199	7,0228	194	27,0643
O_2	0,0667	7,2080	194	93,2459
H2O	0,0233	8,1861	194	37,0044
N_2	0,7670	6,9947	194	1040,7802
Total	**0,9559**			**1348,4658**

2) **Menghitung panas penguapan H_2O Flue Gas**

Panas laten H_2O dalam flue gas

hf pada 219 °C = 1870 kj/kg

H_{fg} = 1870 Kj/kg (Sumber : Hougen hal 236)

= 1870 Kj/kg x 0,24 kkal/kj

= 448,8 kcal/kg

Entalpi uap air dalam flue gas = massa H_2O dalam flue gas x H_{fg}

= 2,5237784 kg x 448,8 kcal/kg

= **1132,671763 kcal**

Jadi total entalpi flue gas = Panas Penguapan H2O + Entalpi Dry Flue Gas

= 1132,67 kcal + 1348,4658

Heatloss Flue Gas = **2481,1 kcal**

3) **Heating Value CO Tak Terbakar**

DH°c CO = 67000 Kcal/kmol (Sumber : Tabel 30, Hougen hal 262

n CO = 0,0199 Kmol

= 19,8649 mol

Maka,

HV CO tak terbakar = 67000 Kcal/mol x 0,0199 kmol

= **1330,9483 Kcal/kmol**

4) Entalpi dari Saturated Steam

m_{steam} = 10 kg

P steam = 5 bar

h_g = 2748,70 kj/kg

(Sumber : Moran, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (2006))

= 2748,70 Kj/kg x 0,24 kkal/kj

= 659,688 Kcal/kg

Maka,

Q_{Steam} = m_{steam} x h_g

= 10 kg x 659,69 Kcal/kg

= **6596,88** Kcal

5) Entalpi Blowdown

m blowdown = 20 kg

T blowdown = 100 ºC

Maka hf = 419,04 kj/kg

Qblowdown = m blowdown x hf

= 20 kg x 419,04 kj/kg

= 8380,8 kj

= 8380,8 kj x 0,24 kkal/kj

= **2011,4 kcal**

6) Menghitung Heat Loss Radiasi Permukaan Furnace

$Q = \varepsilon \cdot \Sigma \cdot A_{boiler} ((Ts^4)/1000 - (Tref^4)/1000)$ (Sumber, *Holman*. Hal 351)

Keterangan

Q = panas radiasi

ε = emisivitas steel oxidized = 0,78

σ = nilai tetapan Stefan-Boltzmen = 5.67×10^{-8} W/m^2K

A = luas permukaan boiler = 2,8 m^2

Ts = temperatur dinding boiler = 150 ºC = 423 K

Tref = temperatur lingkungan = 25 ºC = 298 K

$$Q = \varepsilon \cdot \Sigma \cdot A_{boiler} ((Ts^4)/1000 - (Tref^4)/1000)$$

$$= 0,78 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 2,8 \times \left((423)^4 - (298)^4 \right)$$

= 2988,0157 W

= 10756,86 Kj/jam x 0,24 Kcal/Kj

= **2581,64556** Kcal/jam

7) Menghitung Heat Loss Konveksi dari permukaan Furnace

$T_{dinding\ luar}$	=	150	°C	=	423	K
Tref	=	25	°C	=	298	K
ΔT	=	125	°C	=	398	K
Panjang	=	100	cm	=	1	m
Lebar	=	58	cm	=	0,58	m
Tinggi	=	70	cm	=	0,7	m

A luas = 2 (p. L + p.t + L.t)

= 2 x 0,58 + 0,7 + 0,406

= 3,372 m

$$h = 1,42 \left(\frac{\Delta T}{L}\right)^{1/4.}$$ (Sumber: J.P. Holman Hal.315)

$$= 1,42 \left(\frac{125}{1}\right)^{1/4.}$$

= 4,74806 W/m²°C

Q = h x A x ΔT (Sumber: J.P. Holman Hal.315)

= 4,74806 W/m²°C x 3,372 m² x 100 °C

= 1601,04 J/s/1000(3600)

= 5763,76 Kj/jam

= 5763,76 Kj/jam x 0,24 kkal/kj

= **1383,3** kkal/jam

Tabel 32 Neraca Energi Seputar Boiler Furnace

Komponen	Input (Kcal)	(%)	Output (Kcal)	(%)
Entalpi Solar	4,39	0,02	-	-
Heating Value Solar	18375,00	95,35	-	-
Entalpi *Boiler Feed Water*	845,50	4,39	-	-
Entalpi udara kering	33,45	0,17	-	-
Entalpi H2O dari Udara	12,66	0,07	-	-
Heat loss Flue Gas	-	-	2481,14	12,87
Entalpi CO yang tak terbakar	-	-	1330,95	6,91
Entalpi dari Saturated Steam	-	-	6596,88	34,23
Heatloss Blowdown	-	-	2011,39	10,44
Heat Loss Radiasi	-	-	2581,65	13,40
Heat Loss Konveksi	-	-	1383,30	7,18
Panas yang yang teranalisis			2885,70	14,97
Total	**19271,00**	**100,00**	**19271,00**	**100,00**

Efisiensi Boiler Furnace = Entalpi Steam / ... x 100 %

$$= \frac{\text{Energi Input}\quad 6596{,}88 \text{ kcal}}{19271{,}00 \text{ kcal}} \times 100 \%$$

$$= 34{,}23 \%$$

SEC (spesific energy consumed) $= \frac{\text{kg bahan bakar}}{\text{kg steam}}$

$$= \frac{1{,}75}{10} = 0{,}175$$

Neraca Energi Water Tube Boiler

INPUT

Basis 1 jam

Pada Tekanan 10 Bar

1) Menghitung Entalpi Solar

Massa Solar (m_{bb}) = 2 kg

$T_{referensi}$ = 25 ºC = 298 K

T_{solar} = 30 ºC = 303 K

ºAPI = 40 ºF (Sumber : Willcox, Diesel Technology hal 304)

pada Fig.66, Hougen hal 266 pada ºAPI 40 ºF didapat cp = 0,502 Kcal/KgºC

Q_{solar} = m_{solar} x cp solar x (T_{bb} - T_{ref})

= 2 kg/jam x 0,502 Kcal/KgºC x (30 - 25) ºC

= **5,02 kcal**

2. *Heating Value* Solar = m_{solar} x HHVsolar

= 2 kg/jam x 10500 Kcal/kg

= **21000 kcal/jam**

3. Menghitung entalpi Udara

n udara = 0,9709 kmol

$T_{referensi}$ = 25 ºC = 298 K

T_{udara} = 30 ºC = 303 K

Dari Tabel 17, Hougen hal. 255 diperoleh :

a = 6,386

b = 0,001762

c = -2,656E-07

Cp = a + bT + cT² (Eq.21, Hougen hal 253)

$$= a + \frac{b}{2}(T_2 + T_1) + \frac{c}{3}(T_2^2 + T_2 T_1 + T_1^2)$$

(Eq.25, Hougen hal 258)

Maka,

$$Cp\ udara = 6{,}386 + \frac{0{,}001762}{2}\ 601\ K + \frac{-2{,}656E\text{-}07}{3}\ 270907\ K$$

= 6,891497 Kcal/Kmol.K

Q = n x cp x Delta T

= 0,97 6,89 Kcal/Kmol.K 5 K

= **33,45 kcal**

4. Menghitung Entalpi BFW

$m_{Fresh\ Water}$ = 30 kg

$T_{referensi}$ = 25 ºC = 298 K

T_{Bfw} = 28 ºC

Dari Tabel *Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor)*, maka nilai entalpi dari *saturated steam* saat T = 28 °C adalah 117,43 Kj/kg

h_f = 117,43 Kj/kg

(Sumber : Moran, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (2006))

h_f = 117,43 Kj/kg x 0,24 Kcal/kj

= 28,1832 Kcal/kg

Maka,

Q = m_{BFW} x h_f

= 30 kg x 28,1832 kcal/kg

= **845,496 kcal**

5. Menghitung Entalpi H2O dari Udara

Panas laten H_2O dalam flue gas

hf pada 30 °C = 125,79 kj/kg

H_{fg} = 125,79 Kj/kg (Sumber : Hougen hal 236)

= 125,79 Kj/kg x 0,24 kkal/kj

= 30,1896 kcal/kg

Entalpi uap air dalam flue gas = massa H_2O dalam flue gas x H_{fg}

= 0,4194175 kg x 30,1896 kcal/kg

= **12,66204583 kcal**

OUTPUT

1) Menghitung Entalpi *Dry Flue Gas*

0

Tabel 33 Komposisi Mol Flue Gas Kering

Komponen	n (kmol)
CO_2	0,0791
CO	0,0199
O_2	0,0667
N_2	0,7670
Total	0,9326

Tabel 34 Konstanta Kapasitas Panas

Komponen	A	B x10^-3	C x 10^-6
CO_2	6,339	10,14	-3,415
CO	6,35	1,811	-0,2675
O_2	6,117	3,167	-1,005
N_2	6,457	1,389	-0,069

(Sumber : Hougen, hal 255)

Kapasitas panas (Cp) tersebut dihitung dengan persamaan berikut :

$$Cp = a + \frac{b}{2}(T_2 + T_1) + \frac{c}{3}(T_2^2 + T_2.T_1 + T_1^2)$$

(Eq.25, Hougen hal 258)

$T_{referensi}$ = 25 ºC = 298 K

T_{udara} = 30 ºC = 303 K

ΔT = $T_2 - T_1$

= 5 K

Maka,

$$Cp\ CO_2 = 6{,}339 + \frac{0{,}01014}{2}\ 601\ K + \frac{-0{,}000003415}{3}\ 270907\ K$$

= 9,077687532 Kcal/Kmol.K

$$Cp\ CO = 6{,}35 + \frac{0{,}001811}{2}\ 601\ K + \frac{-2{,}675E\text{-}07}{3}\ 270907\ K$$

= 6,870049626 Kcal/Kmol.K

$$Cp\ O_2 = 6{,}117 + \frac{0{,}003167}{2}\ 601\ K + \frac{-0{,}000001005}{3}\ 270907\ K$$

= 6,977929655 Kcal/Kmol.K

$$Cp\ N_2 = 6{,}457 + \frac{0{,}001389}{2}\ 601\ K + \frac{-0{,}000000069}{3}\ 270907\ K$$

= 6,868163639 Kcal/Kmol.K

$$Cp\ N_2 = 7{,}136 + \frac{0{,}00264}{2}\ 601\ K + \frac{4{,}59E\text{-}08}{3}\ 270907\ K$$

= 7,933464877 Kcal/Kmol.K

Tabel 35 Konstanta Kapasitas Panas

Komponen	**A**	**B x10^{-3}**	**C x 10^{-6}**	**Cp (Kcal/kmol.K)**
CO_2	6,339	10,14	-3,415	9,0777
CO	6,350	1,811	-0,2675	6,8700
O_2	6,117	3,167	-1,005	6,9779

H_2O	7,136	2,64	0,0459	7,9335
N_2	6,457	1,389	-0,069	6,8682

Sehingga,

Q CO_2 = n CO_2 x Cp CO_2 x ΔT

= 0,0791 kmol x 9,077688 Kcal/Kmol.K x 5 K

= **3,58961483 kcal**

Tabel 36 Panas Sensibel *Flue Gas*

Komponen	n (kmol)	Cp (Kcal/kmol.K)	ΔT K	Q Kcal
CO_2	0,0791	9,0777	5	3,5896
CO	0,0199	6,8700	5	0,6824
O_2	0,0667	6,9779	5	2,3265
H2O	0,0233	7,9335	5	0,9243
N_2	0,7670	6,8682	5	26,3391
Total	**0,9559**			**33,8619**

2) Menghitung panas penguapan H_2O Flue Gas

Panas laten H_2O dalam flue gas

hf Pada 221 0C = 2801 kj/kg

H_{fg} = 2801 Kj/kg (Sumber : Hougen hal 236)

= 2801 Kj/kg x 0,24 kkal/kj

= 672,24 kcal/kg

Entalpi uap air dalam flue gas = massa H_2O dalam flue gas x H_{fg}

= 2,5237784 kg x 672,24 kcal/kg

= **1696,584818 kcal**

Jadi total entalpi flue gas = Panas Penguapan H2O + Entalpi Dry Flue Gas

= 1696,58 kcal + 33,8619

Heatloss Flue Gas = **1730,4 kcal**

3) Heating Value CO Tak Terbakar

DH°c CO = 67000 Kcal/kmol (Sumber : Tabel 30, Hougen hal 262)

n CO = 0,0199 Kmol

= 19,8649 mol

Maka,

HV CO tak terbakar = 67000 Kcal/mol x 0,0199 kmol

= **1330,9483 Kcal/kmol**

4) Entalpi dari Saturated Steam

m_{steam} = 15 kg

P steam = 10 bar

h_g = 2778,00 kj/kg

(Sumber : Moran, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (2006))

= 2778,00 Kj/kg x 0,24 kkal/kj

= 666,72 Kcal/kg

Maka,

Q_{Steam} = m_{steam} x h_g

= 15 kg x 666,72 Kcal/kg

= **10000,8** Kcal

5) Entalpi Blowdown

m blowdown = 15 kg

T blowdown = 100 ºC

Maka hf = 419,04 kj/kg

Qblowdown = m blowdown x hf

= 15 kg x 419,04 kj/kg

= 6285,6 kj

= 6285,6 kj x 0,24 kkal/kj

= **1508,5 kcal**

6) Menghitung Heat Loss Radiasi Permukaan Furnace

$Q = \varepsilon \cdot \Sigma \cdot A_{boiler} ((Ts^4)/1000 - (Tref^4)/1000)$ (Sumber, *Holman*. Hal 351)

Keterangan

Q = panas radiasi

ε = emisivitas steel oxidized = 0,78

σ = nilai tetapan Stefan-Boltzmen = 5.67×10^{-8} W/m^2K

A = luas permukaan boiler = 2,8 m^2

Ts = temperatur dinding boiler = 152 ºC = 425 K

Tref = temperatur lingkungan = 25 ºC = 298 K

$$Q = \varepsilon \cdot \Sigma \cdot A_{boiler} ((Ts^4)/1000 - (Tref^4)/1000)$$

$$= 0,78 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 2,8 \times \left((425)^4 - (298)^4 \right)$$

= 3063,529385 W

= 11028,71 Kj/jam x 0,24 Kcal/Kj

= **2646,88939** Kcal/jam

7) Menghitung Heat Loss Konveksi dari permukaan Furnace

$T_{dinding\ luar}$	=	152	°C	=	425	K
Tref	=	25	°C	=	298	K
ΔT	=	127	°C	=	400	K
Panjang	=	100	cm	=	1	m
Lebar	=	58	cm	=	0,58	m
Tinggi	=	70	cm	=	0,7	m

A luas = 2 (p. L + p.t + L.t)

= 2 x 0,58 + 0,7 + 0,406

= 3,372 m

$$h = 1,42 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4.}$$

(Sumber: J.P. Holman Hal.315)

$$= 1,42 \left(\frac{127}{1} \right)^{1/4.}$$

= 4,76694 W/m²°C

Q = h x A x ΔT (Sumber: J.P. Holman Hal.315)

= 4,76694 W/m²°C x 3,372 m² x 100 °C

= 1607,41 J/s/1000(3600)

= 5786,68 Kj/jam

= 5786,68 Kj/jam x 0,24 kkal/kj

= **1388,8** kkal/jam

Tabel 37 Neraca Energi Seputar Boiler Furnace

Komponen	Input (Kcal)	(%)	Output (Kcal)	(%)
Entalpi Solar	5,02	0,02	-	-
Heating Value Solar	21000,00	95,91	-	-
Entalpi *Boiler Feed Water*	845,50	3,86	-	-
Entalpi udara kering	33,45	0,15	-	-
Entalpi H2O dari Udara	12,66	0,06	-	-
Heat loss Flue Gas	-	-	1730,45	7,90
Entalpi CO yang tak terbakar	-	-	1330,95	6,08
Entalpi dari Saturated Steam	-	-	10000,80	45,67
Heatloss Blowdown	-	-	1508,54	6,89
Heat Loss Radiasi	-	-	2646,89	12,09
Heat Loss Konveksi	-	-	1388,80	6,34
Panas yang yang teranalisis			3290,20	15,03
Total	**21896,63**	**100,00**	**21896,63**	**100,00**

$$\text{Efisiensi Boiler Furnace} = \frac{\text{Entalpi Steam}}{\text{Energi Input}} \times 100\ \%$$

$$= \frac{10000{,}80\ \text{kcal}}{21896{,}63\ \text{kcal}} \times 100\ \%$$

$$= 45{,}67\ \%$$

$$\text{SEC (spesific energy consumed)} = \frac{\text{kg bahan bakar}}{\text{kg steam}}$$

$$= \frac{2}{15} = 0{,}133333333$$