

Perencanaan Ketel Uap untuk Kebutuhan Turbin Uap dengan Tekanan 50 Bar, Temperatur 450 °C, dan Daya Turbin 10 MW

Muhammad Pardomuan¹, M. Abdulkadir^{1*}, Harianto¹

¹Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

e-mail*: makadir2011@gmail.com

Abstrak

Ketel uap adalah salah satu pesawat konversi energi yang memanfaatkan air sebagai media penjalur energi, dimana air diubah menjadi uap dengan cara dipanaskan. Jenis ketel uap antara lain, ketel uap lorong api, ketel uap pipa – pipa api, dan ketel uap pipa – pipa air. Penentuan jenis ketel bisa diketahui dari kapasitas uap yang dihasilkan dan tekanan kerjanya. Dalam perencanaan ini, ketel uap yang mampu menggerakkan turbin uap dengan ketentuan tekanan 50 bar, temperatur 450°C dan daya turbin uap sebesar 10 MW serta dengan kapasitas ketel uap yang diperoleh sebesar 122,468 ton/h adalah ketel uap bertekanan dan berkapasitas tinggi sehingga dipilih jenis ketel uap pipa – pipa air. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai – nilai berikut, besarnya energi kalor untuk mengubah air menjadi uap panas lanjut yaitu sebesar 325.933.173 kJ/h dan temperatur gas asap di dalam ruang bakar sebesar 1.588°C serta volume ruang bakarnya sebesar 365,4 m³, untuk pemilihan bahan pipa menggunakan setandar ASME B31.1-2001 (*American Society of Mechanical Engineers*) dan untuk ukuran diameter pipa berdasarkan schedule No. 40. Ketel uap ini memiliki efisiensi sebesar 80% sehingga kerugian panas termasuk kecil.

Kata kunci : Ketel uap, ketel uap pipa-pipa air, perpindahan panas, uap

Abstract

*A steam boiler is an energy conversion aircraft that uses water as an energy propagating medium, where water is converted into steam by heating it. Types of steam boilers include fire passage steam boilers, fire-tube boilers and water-pipe boilers. Determination of the type of boiler can be known from the capacity of the steam produced and its working pressure. In this plan, a steam boiler capable of driving a steam turbine with a pressure of 50 bar, a temperature of 450°C and a steam turbine power of 10 MW and with a boiler capacity of 122,468 tons/h is a high-pressure and high-capacity steam boiler. pipes - water pipes. From the calculation results obtained the following values, the amount of heat energy to convert water into further hot steam is 325,933,173 kJ/h and the temperature of the flue gas in the combustion chamber is 1.588oC and the volume of the combustion chamber is 365.4 m³, for selection. Pipe materials use ASME B31.1-2001 (*American Society of Mechanical Engineers*) standards and for pipe diameter sizes based on schedule No. 40. This steam boiler has an efficiency of 80% so that the heat loss is small.*

Keywords: Boilers, boiler water pipes, heat transfer, steam

1. PENDAHULUAN

Salah satu kebutuhan energi yang hampir tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan manusia pada zaman yang serba modern ini adalah kebutuhan energi listrik. Pemanfaatan energi listrik ini secara luas telah digunakan untuk kebutuhan rumah tangga, komersil, instansi – instansi pemerintah, industri, dan lain – lain (Zuhal, 2000). Untuk itu manusia berusaha untuk memperoleh energi ini. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan membangun pusat – pusat tenaga listrik. Di Indonesia terdapat berbagai pembangkit tenaga listrik antara lain PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU.

Ketel uap merupakan salah satu pesawat konversi energi yang mengubah air menjadi uap dengan cara dipanaskan. Untuk industri dalam skala besar boiler dapat menghasilkan uap kering dengan tekanan yang cukup tinggi, seperti pada PLTU yang digunakan untuk menggerakkan generator. Sedangkan boiler dalam skala kecil, uap yang dihasilkan masih berupa uap basah, uap ini masih mengandung air. Pada dasarnya prinsip kerja pembangkit uap (steam generator) adalah untuk mengubah air menjadi uap pada tekanan dan temperatur tertentu (Subakti, 1985). Untuk mengubah air menjadi uap dibutuhkan sejumlah kalor atau panas yang dihasilkan dari gas hasil pembakaran atau gas asap (flue gas) karena temperatur gas asap tinggi terjadi perpindahan kalor baik secara radiasi maupun konveksi dari gas asap ke dinding air sekitarnya sehingga menaikkan temperatur air sampai menjadi uap (Sarjono, 1967).

System tenaga uap hampir semuanya memakai air sebagai medium penjalur energi. Dimana air yang telah diolah sehingga layak untuk pengisian pemanas uap. Setelah dipanaskan oleh gas asap dibagian economizer, air masuk kebidang pemanas untuk dijadikan uap jenuh. Setelah menjadi uap jenuh, uap tersebut masuk pada bagian superheater untuk dijadikan uap panas lanjut.

2. METODE PENELITIAN

Pengambilan data performa ketel uap diperoleh dari hasil perhitungan, literatur maupun diskusi dengan dosen pembimbing yang kemudian dianalisa menjadi sebuah data deskriptif. Data akhir yang diperhitungkan yaitu kapasitas ketel uap, kebutuhan bahan bakar, kapasitas gas asap, volume ruang bakar, energi kalor total yang diserap pipa – pipa ketel, temperatur gas asap, efisiensi ketel uap. Secara garis besar persamaan yang digunakan pada perhitungan tersebut yaitu (Djokosetyardjo, 2006; Praktikno, 2008) :

1. Kapasitas ketel uap (\dot{m})

$$\dot{m} = \frac{P_{gen}}{\eta_t \times W_{turbin}} \dots\dots\dots 1$$
2. Energi kalor total (Q_{tot})

$$Q_{tot} = Q_e + Q_d + Q_s \dots\dots\dots 2$$
3. Kebutuhan bahan bakar (m_{bb})

$$M_{bb} = \frac{Q_{tot}}{\eta_k \cdot LHV} \dots\dots\dots 3$$
4. Kapasitas gas asap (W_{ga})

$$W_{ga} = W \times M_{bb} \dots\dots\dots 4$$
5. Temperatur gas asap

$$Q_{ga} = W \cdot C_{p_{ga}} \cdot T_{ga} \dots\dots\dots 5$$
6. Volume ruang bakar

$$VRB = \frac{M_{bb} \times LHV}{BRB} \dots\dots\dots 6$$
7. Efisiensi ketel uap

$$\eta_k = \frac{LHV - Q_t}{LHV} \times 100\% \dots\dots\dots 7$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kapasitas ketel uap

Kerja yang dibutuhkan turbin uap dengan tekanan konstan :

$$P1 = 5 \text{ Mpa}$$

$$T1 = 450^\circ\text{C}$$

Dari *property tables and chart (Table A-6 superheater water)* maka diperoleh harga entalpy (h) yaitu sebagai berikut :

Tabel 1. Kondisi uap masuk turbin

P = 5 Mpa		
T °C	h kJ/kg	s kJ/kg.k
450	3317,497	6,82168

Dengan asumsi uap air melewati sudu – sudu turbin tidak terjadi kerugian panas yang keluar maupun masuk sistem (*adiabatik*), serta fluida tidak mengalami perubahan energi kinetik maupun potensial maka dengan itu keadaan *entropy* tetap, sehingga dapat dicari harga *entalpy* (h₂) yaitu :

Tabel 2. Kondisi uap keluar turbin

P = 1,3 Mpa		
T °C	h kJ/kg	s kJ/kg.k
250	2931,520	6,78783
?	?	6,82168
300	3044,290	6,99380

Karna nilai tidak diketahui maka akan di lakukan interpolasi, dari data – data di atas maka dapat dicari entalpy (h₂) dan temperatur (T₂) (William, 1970; Holman, 1984):

$$\frac{6,82168 - 6,78783}{6,99380 - 6,78783} = \frac{h - 2931,520}{3044,290 - 2931,520}$$

$$h = (0,164344322 \times 112,77) + 2931,520$$

$$= 2950,053 \text{ kJ/kg}$$

$$0,164344322 = \frac{T - 250}{300 - 250}$$

$$T = (0,164344322 \times 50) + 250$$

$$= 258 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dari table dan kalkulasi diatas maka diketahui harga – harga berikut :

$$h_1 = 3317,497 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 2950,053 \text{ kJ/kg}$$

$$T_2 = 258^\circ\text{C}$$

Maka besarnya nilai kerja turbin dapat dicari (Salisbury, 1972):

$$W_{\text{turbin}} = h_1 - h_2 \dots\dots\dots 8$$

$$= 3317,497 \text{ kJ/kg} - 2950,053 \text{ kJ/kg}$$

$$= 367,444 \text{ kJ/kg}$$

Dengan mengasumsika efisiensi turbin (η_t) sebesar 80 % maka dapat dicari kapasitas uap atau kebutuhan uap yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{P_{gen}}{\eta_t \times W_{turbin}} \dots\dots\dots 9 \\ &= \frac{10111,22 \text{ kW}}{0,8 \times 367,444 \text{ kJ/kg}} \\ &= 34 \text{ kg/s} \approx 122,468 \text{ ton/h} \end{aligned}$$

3.2. Energi kalor total dan kebutuhan bahan bakar

Data – data ketel uap yang akan direncanakan adalah :

- Kapasitas ketel uap (\dot{m}) : 122,468 Ton/h
 - Temperatur uap masuk turbin (T) : 450°C
 - Entalpy uap panas lanjut (h_g) : 3317,497 kJ/kg
 - Tekanan (P) : 50 bar \approx 5 Mpa \approx 51 kg/cm²
 - Suhu air masuk ekonomiser (T_m) : (100°C – 150°C) diambil 150°C
- Dari *saturated water – pressure table* (tabel A-5) didapat harga – harga berikut :

Tabel 3. Kondisi air masuk ekonomiser

Press P kPa	Sat. temp., T _{sat} °C	Spesific volume m ³ /kg	Entalpy kJ/kg		
		Sat. Vapor v _g	Sat. liquid h _f	Evap. h _{fg}	Sat. vapor h _g
5000	263,94	0,039448	1154,5	1639,7	2794,2

Kebutuhan energi panas untuk menaikkan suhu air umpan pada ekonomiser dari 150°C – 263,94°C.

$$\begin{aligned} Q_e &= \dot{m} \cdot C_{pa} \cdot (T_k - T_m) \dots\dots\dots 6 \\ C_{pa} &= \frac{1154,5 \text{ kJ/kg}}{263,94 \text{ }^\circ\text{C}} \\ &= 4,374 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_e &= 116.545,7 \text{ kg/h} \times 4,374 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (263,94^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C}) \\ &= 61.036.032 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Kebutuhan energi kalor untuk penguapan air

$$\begin{aligned} Q_d &= \dot{m} \cdot h_{fg} \dots\dots\dots 7 \\ &= 122.467,641 \text{ kg/h} \times 1639,7 \text{ kJ/kg} \\ &= 200.810.191 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Kebutuhan kalor pada superheater

$$\begin{aligned} Q_s &= \dot{m} \cdot (h_s - h_g) \dots\dots\dots 8 \\ &= 122.467,641 \text{ kg/h} \times (3317,497 \text{ kJ/kg} - 2794,2 \text{ kJ/kg}) \\ &= 64.086.949 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Maka kebutuhan kalor total dapt dicari yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{tot} &= Q_e + Q_d + Q_s \\ &= 61.036.032 \text{ kJ/h} + 200.810.191 \text{ kJ/h} + 64.086.949 \text{ kJ/h} \\ &= 325.933.173 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya kebutuhan bahan bakar pada ketel uap dapat diketahui dengan megasumsikan efisiensi ketel uap sebesar 80 % efisiensi ketel berkisar 70% - 90%, (Muin, 1988), maka :

$$M_{bb} = \frac{Q_{tot}}{\eta_k \cdot LHV} \dots\dots\dots 9$$

$$= \frac{325.933.173 \text{ kJ/h}}{0,8 \times 25.668 \text{ kJ/kg}}$$

$$= 15.873 \text{ kg bb/h}$$

3.3. Kapasitas gas asap

Pada pembakaran sempurna, gas asap terdiri dari CO₂, H₂O, O₂, H₂, dan SO₂. Gas asap ditinjau terhadap 1 kg bahan bakar dengan presentase Gas Nitrogen (N₂) 77 %, dan Gas Oksigen (O₂) 23%.

Komposisi gas asap

1. CO₂ = dari hasil reaksi
= 2,33 kg/kg bb
2. H₂O = dari hasil reaksi + kelembaban udara
= 0,522 kg/kg bb + (0,05 × 0,522)
= 0,548 kg/kg bb
3. O₂ = Kelebihan oksigen = Kebutuhan oksigen × 23%
= 2,16445 kg/kg bb × 0,23
= 0,456 kg u/kgbb
4. N₂ = N₂ dari udara

= 0,01 + (11,5715875 kgkg bb × 0,77)
= 8,780 kg u/kg bb
5. SO₂ = Hasil reaksi
= 0,01 kg/kg bb

Jadi besarnya kapasitas gas asap per kg bahan bakar adalah :

$$W = 2,33 + 0,548 + 0,456 + 8,780 + 0,01$$

$$= 12,123 \text{ kg/kg bb}$$

Tabel 4. Kapasitas gas asap

No	Nama Molekul	Komposisi %	Kapasitas kg/h	Berat molekul BM	Laju mol kmol/jam
1	CO ₂	19,2	36.983	44	840,523
2	H ₂ O	4,5	8.698	18	483,231
3	O ₂	3,8	7.231	32	225,966
4	N ₂	72,4	139.354	28	4.977
5	SO ₂	0,1	159	64	2,480
Jumlah		100	192.425		6.529,121

Komposisi gas asap dalam persen (%)

$$\text{CO}_2 = \frac{2,33}{12,123} \times 100 = 19,2 \%$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{0,548}{12,123} \times 100 = 4,5 \%$$

$$\text{O}_2 = \frac{0,456}{12,123} \times 100 = 3,8 \%$$

$$\text{N}_2 = \frac{8,780}{12,123} \times 100 = 72,4 \%$$

$$\text{SO}_2 = \frac{0,01}{12,123} \times 100 = 0,1 \%$$

$$\text{Total gas asap} = 100 \%$$

Besarnya kapasitas gas asap yang dihasilkan dari proses pembakaran yaitu :

$$W_{ga} = W \times Mbb \dots\dots\dots 10$$

$$= 12,123 \text{ kg/kg bb} \times 15.873 \text{ kg bb/h}$$

$$= 192.425 \text{ kg/h}$$

Volume 1 mol gas asap pada suhu 0°C dan tekanan 1 atm adalah 22,4 dm³ (0,0224 m³) sehingga jumlah debit gas asap adalah :

$$V_{ga} = 6.529,121 \text{ Kmol/h} \times 0,0224 \text{ m}^3/\text{mol} \dots\dots\dots 11$$

$$= 6.529.121 \text{ mol/h} \times 0,0224 \text{ m}^3/\text{mol}$$

$$= 146.252,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Sehingga besar massa jenis gas asap adalah (lorenzi, 1949):

$$\rho = \frac{W_{ga}}{V_{ga}} \dots\dots\dots 12$$

$$= \frac{192.425}{146.252,3}$$

$$= 1,316 \text{ kg/m}^3$$

3.4. Temperatur gasa asap

1. Temperatur gas asap di dalam tungku bakar

Untuk mencari suhu gas asap pada ruang bakar dilakukan dengan metode trial and eror. Kalkulasi dilakukan dengan mengambil salah satu dugaan temperatur.

$$Q_{ga} = W \cdot C_{pga} \cdot T_{ga} \dots\dots\dots 13$$

$$= 12,30594588 \text{ kg/kg bb} \times 1,0976 \times 250$$

$$= 3376,752 \text{ kJ/kg bb}$$

Dari Tabel dibawah diketahui harga T_{ga} yang terdekat dengan LHV = 25.593 kJ/kg adalah :

$$T_{ga} = 1550^\circ\text{C}$$

$$Q_{ga} = 24.834 \text{ kJ/kg bb}$$

$$T_{ga} = 1600^\circ\text{C}$$

$$Q_{ga} = 25.879 \text{ kJ/kg bb}$$

Tabel 4.5. Hasil perhitungan trial and eror (JP. Holman, 1984)

T _{ga} °C	C _{pga} kJ/kg.°C	Q _{ga} kJ/kg	T _{ga} °C	C _{pga} kJ/kg.°C	Q _{ga} kJ/kg
250	1,098	3.327	1.050	1,214	15.458
300	1,101	4.003	1.100	1,223	16.306
350	1,104	4.683	1.150	1,231	17.165
400	1,107	5.366	1.200	1,240	18.033
450	1,110	6.053	1.250	1,248	18.912
500	1,113	6.744	1.300	1,260	19.861
550	1,122	7.482	1.350	1,272	20.824
600	1,132	8.231	1.400	1,285	21.802
650	1,141	8.991	1.450	1,297	22.796
700	1,151	9.763	1.500	1,309	23.804
750	1,160	10.547	1.550	1,322	24.834
800	1,169	11.339	1.600	1,334	25.879
850	1,178	12.143	1.650	1,347	26.940
900	1,188	12.958	1.700	1,359	28.016
950	1,197	13.783	1.750	1,372	29.107
1.000	1,206	14.620			

Temperatur gas asap pada ruang bakar dapat dicari dengan melakukan interpolasi dari ketentuan diatas, maka besarnya temperatur gas asap adalah :

$$\frac{25.633 - 24.834}{25.879 - 24.834} = \frac{T_{ga} - 1550}{1600 - 1550}$$

$$T_{ga} = 1.588 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\frac{25.633 - 24.834}{25.879 - 24.834} = \frac{C_{pga} - 1,322}{1,334 - 1,322}$$

$C_{pga} = 1,331 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$

Sehinggga temeratur gas asap di dalam tungku bakar sebesar ($T_{ga} = 1.588^\circ\text{C}$)

2. Temperatur gasa asap setelah melewati pemanas udara

$$T_{g7} = T_{g6} - \frac{Q_{ud}}{W_{ga} \times C_{pga}}$$

Dimana :

T_{g6} : Temperatur gas asap masuk pemanas udara ($202,613 \text{ } ^\circ\text{C}$)

W_{ga} : kapasitas gas asap Kapasitas gas asap (192.425 kg/h)

C_{pga} : Panas jenis gas asap pada ($1,090 \text{ kJ/kg}_{ga}.^\circ\text{C}$)

Sehingga :

$$T_{g7} = 202,613 \text{ } ^\circ\text{C} - \frac{17.247.982,679 \text{ kJ/h}}{192.425 \text{ kg/h} \times 1,090 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$= 117,165^\circ\text{C}$$

3.5. Volume ruang bakar

Adapun jenis pembakaran yang digunakan adalah Rangka Bakar Rantai dengan beban ruang bakar sebesar (BRB) $30.000 \text{ Btu/h.ft}^3$ ($1.117.775 \text{ kJ/h.m}^3$).

Maka volume ruang bakarnya yaitu :

$$VRB = \frac{M_{bb} \times LHV}{\frac{BRB}{1.117.775 \text{ kJ/h.m}^3}} \dots\dots\dots 14$$

$$= \frac{15.873 \text{ kg/h} \times 25.668 \text{ kJ/kg}}{1.117.775 \text{ kJ/h.m}^3}$$

$$= 364,5 \text{ m}^3$$

$$VRB = P \times L \times T + \left(\frac{P \times L \times t}{2} \right) \dots\dots\dots 15$$

$$= 6 \times 6 \times 9,5 + \left(\frac{6 \times 6 \times 1,3}{2} \right)$$

$$= 365,4 \text{ m}^3$$

Luas permukaan ruang bakar (ARB) yaitu :

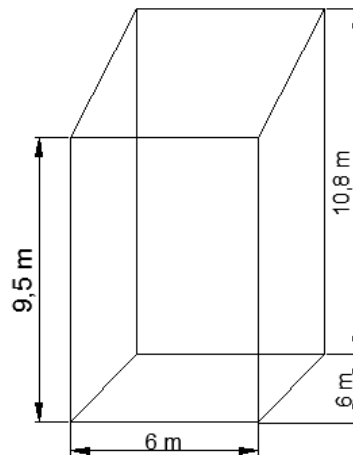
$$ARB = (6 \times \sqrt{6^2 + 6^2}) + \left[2 \times (6 \times 9,5) + \left(\frac{6 \times 9,5}{2} \right) \right] + (6 \times 9,5) + (6 \times 10,8) + (6 \times 6) \dots\dots 16$$

$$= 312,344 \text{ m}^2$$

Perkiraan panjang rata – rata pancarannya :

$$Lp = 3,6 \times \left(\frac{VRB}{ARB} \right) \dots\dots\dots 17$$

$$= 3,6 \times \left(\frac{365,4 \text{ m}^3}{312,344 \text{ m}^2} \right) = 4,2 \text{ m} \approx 13,817 \text{ ft}$$



Gambar 1. Dimensi ruang bakar

3.6. Efisiensi ketel uap

1. Kerugian cerobong

$$Q_{cb} = W \cdot C_{p_{ga}} \cdot T_{ga} \dots\dots\dots 18$$

Dimana :

- W : Berat gas asap (12,123 kg_{ga}/kg_{bb})
- C_{p_{ga}} : Panas jenis gas asap (1,0896 kJ/kg.°C)
- T_{ga} : Temperatur gas asap masuk cerobong (117,165°C)

Sehingga :

$$Q_{cb} = 12,123 \text{ kg}_{ga}/\text{kg}_{bb} \times 1,0896 \times 117,165$$

$$= 1.547,710 \text{ kJ/kg}$$

Dalam presentase :

$$Q_{cb} = \frac{Q_{cb}}{LHV} \times 100$$

$$= \frac{1.547,710 \text{ kJ/kg}}{25.668 \text{ kJ/kg}} \times 100$$

$$= 6,03 \%$$

2. Kerugian panas yang melewati dinding – dinding ketel

$$Q_{Dd} = \frac{Q_{d_{tot}}}{Q_{tot}} \times 100 \% \dots\dots\dots 19$$

Dimana :

- Q_{tot} : Total kerugian panas seluruh (325.933.173 kJ/h)
- Q_{d₁} : Kerugian panas dinding dapur (484.696,479 kJ/h)
- Q_{d₂} : Kerugian panas dinding superheater (4.263,070 kJ/h)
- Q_{d₃} : Kerugian panas dinding bank boiler (954,728 kJ/h)
- Q_{d₄} : Kerugian panas dinding ekonomiser (994,087 kJ/h)

Total energi panas yang hilang :

$$Q_{d_{tot}} = 484.696,479 + 4.263,070 + 954,728 + 994,087$$

$$= 490.908,363 \text{ kJ/kg}$$

Sehingga :

$$Q_{Dd} = \frac{490.908,363 \text{ kJ/kg}}{325.933.173 \text{ kJ/h}} \times 100$$

$$= 0,151 \%$$

Dalam kJ/kg :

$$Q_{Dd} = 0,151\% \times LHV$$

$$= 0,134 \% \times 25.668 \text{ kJ/kg}$$

$$= 38,660 \text{ kJ/kg}$$

3. Kerugian panas akibat gas yang tidak terbakar

Untuk kadar gas karbon monoksida diusahakan sangat kecil untuk dapat meminimalkan kerugian panas dari gas yang tidak terbakar, dimana kadar CO untuk pembakaran batu bara diperkirakan sebesar 2%.

$$Q_g = \frac{70 \times CO\%}{CO\% + CO_2\%} \dots\dots\dots 20$$

Dimana :

CO₂ : Campuran gas karbon dioksida dalam gas asap (19,2%)

Sehingga :

$$Q_g = \frac{70 \times 2\%}{2\% + 19,2\%}$$

$$= 6,6\%$$

Dalam kJ/kg :

$$Q_g = Q_g \times LHV$$

$$= 6,6\% \times 25.668 \text{ kJ/kg}$$

$$= 1.694,1 \text{ kJ/kg}$$

4. Kerugian lain – lain

Dalam perhitungan sebelumnya efisiensi ketel di asumsikan sebesar 80%, maka presentase kerugian lain – lain kurang dari 7,22%. Sehingga :

$$Q_L = \text{Presentase kerugian lain – lain} \times LHV$$

$$= 7,22\% \times 25.668 \text{ kJ/kg}$$

$$= 1.853,655 \text{ kJ/kg}$$

Total kerugian panas yang hilang :

$$Q_t = Q_{cb} + Q_{Dd} + Q_g + Q_L$$

$$= 1.547,710 \text{ kJ/kg} + 38,660 \text{ kJ/kg} + 1.694,1 \text{ kJ/kg} + 1.853,655 \text{ kJ/kg}$$

$$= 5.134,113 \text{ kJ/kg}$$

Sehingga efisiensi ketel dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut

$$\eta_k = \frac{LHV - Q_t}{LHV} \times 100\%$$

$$= \frac{25.668 \text{ kJ/kg} - 5.134,113 \text{ kJ/kg}}{25.668 \text{ kJ/kg}} \times 100$$

$$= 80,0 \%$$

3.7. Bahan pipa yang digunakan

Pipa – pipa dididh radiasi, screen, superheater, bank boiler, ekonomiser, pemanas udara, pipa saluran uap-air, header, drum ketel uap, menggunakan standar ASME B31.1-2001 (American Society of Mechanical Engineers). untuk ukuran pipa dan header menggunakan schedule No. 40.

4. KESIMPULAN

Dari uraian diatas makadapat disimpulkan

1. Ketel uap yang direncanakan merupakan ketel uap berkapasitas tinggi yang mana ketel uap ini memiliki kapasitas ketel uap sebesar 122,468 ton/h.
2. Besarnya energi kalor yang dibutuhkan untuk mengubah air menjadi uap panas lanjut yaitu sebesar 325.933.173 kJ/h.
3. Ketel uap yang dapat menghasilkan daya turbin sebesar 10 MW dengan tekanan 50 bar dan temperatur uap panas lanjut 450°C yaitu termasuk ketel uap bertekanan tinggi dan berdasarkan kapasitasnya jenis ketel uap yang direncanakan adalah ketel uap pipa – pipa air.

5. SARAN

Agar dalam proses perencanaan selanjutnya dapat memberikan hasil yang maksimal, maka penulis memberikan beberapa saran yang didasarkan pada banyak faktor, antara lain :

1. Melakukan perhitungan diawal sebelum menentukan konstruksi ketel uap.
2. Perlu adanya keterlibatan langsung dari calon perancang dalam proses perawatan (*maintenance*) ketel uap yang sudah ada sehingga dapat memberikan pemahaman yang sangat mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Djokosetyardjo, M.J. 2006. *Ketel Uap*. Cetakan Keenam. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Pratikto. 2008. *Ketel Uap Pipa – Pipa Air Bi Drum*. Malang: CV. Asrori.
- Sarjono, H. 1967. *Ketel Uap*. Surakarta: CV. Mas Surakarta.
- Surbakti, B.M. 1985. *Pesawat Tenaga Uap I (Ketel Uap)*. Edisi Kedua. Surakarta: CV. Mutiara Solo.
- Zuhal. 2000. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.