

PERANCANGAN KETEL UAP PIPA API KAPASITAS UAP 185 KG /JAM PADA GEDUNG PERHOTELAN

Srihanto.

Prodi Teknik Mesin , FTI, Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta,
srihanto58@gmail.com

Abstrak

Ketel uap adalah suatu pesawat yang mengubah air menjadi uap dengan jalan dipanaskan dan uap tersebut digunakan untuk keperluan kebutuhan gedung perhotelan. Perencanaan Ketel uap ini berskala kecil tipe pipa api dengan kapasitas uap 185 kg/jam uap basah dengan bahan bakar solar. Kebutuhan gedung perhotelan terhadap uap adalah untuk pembuatan air panas di Heat exchange tank, pengering cucian di laundry, memasak di dapur. Permasalahan yang ada tidak mudah mendapatkan ketel uap yang sesuai dengan kebutuhan gedung perhotelan dengan kapasitas yang diinginkan. Untuk itu Tujuan dari perencanaan ini diharapkan dapat memperoleh spesifikasi ketel uap yang sesuai dengan keperluan gedung perhotelan yang terdiri dari 200 room. Metode penelitian dalam perancangan ketel uap ini dengan survei ke lapangan untuk menentukan spesifikasi data kebutuhan uap pada gedung perhotelan, serta studi perpustakaan dan mencari sumber dari jurnal ilmiah maupun internet tentang perancangan ketel uap. Dari hasil perancangan diperoleh : jumlah kalor yang diproduksi 247844,6 kJ/jam. Tekanan uap 4 bar. Konsumsi bahan bakar solar 12,7 kg/jam atau 15 liter/jam. Diameter ketel 690 mm, tebal 88 mm, panjang 1,85 m, luas bidang pemanasan, $V_0 = 7,5 \text{ m}^2$, diameter Lorong Api $D_1 = 160 \text{ mm}$, tebal dinding lorong api 8 mm. Diameter pipa luar 42,2 mm, jumlah pipa api / tube 115 buah. Bahan Plat drum (badan) ketel dari Baja SCMn5, untuk suhu kerja 400°C, tegangan kerja (σ_k) = 25 kg/cm², sedangkan tegangan ijin 119,3 kg/cm².

Kata kunci: perancangan, ketel uap, pipa api, gedung.

1. PENDAHULUAN

Ketel uap adalah suatu alat atau mesin kalor yang terdiri dari seperangkat komponen utama diantaranya tabung bejana (*shell*) yang berisi fluida air dan pipa (*tube*) untuk mengalirkan panas hasil pembakaran bahan bakar dari lorong api, panas tersebut dialirkan melalui dinding pipa ke air sehingga air berubah menjadi uap bertekanan. Uap panas bertekanan tersebut digunakan pada gedung perhotelan maupun apartemen sebagai pengering pakaian, pembuat air panas untuk mandi dan memasak, sedang di industri minyak uap digunakan untuk penyulingan, di industri manufaktur uap digunakan sebagai oven, pengering cat dan di industri kimia sebagai proses pencampur, oven dan pengering, serta uap digunakan sebagai pemutar turbin untuk pembangkit tenaga listrik. Permasalahan yang ada pada produksi ketel uap kapasitas 180 kg/jam yang di perkiraan untuk kapasitas hotel dengan 200 kamar masih jarang di temukan di pasaran, kebanyakan kapasitasnya lebih besar atau kecil. Fungsi Ketel Uap di Gedung Perhotelan. a) Kebutuhan air panas tamu hotel yang menginap (10 %) dengan cara uap di salurkan ke coil tangki Heat Exchange berisi air sehingga air menjadi

panas 50°C. dan disalurkan ke ruangan-ruangan. b) Kebutuhan pengering berbagai baju, handul, spry, nafkin, restoran dan lainnya. (70 %), c) Kebutuhan memasak agar hemat bahan bakar (20%) kebutuhan uap ini diperoleh dari data dan pengalaman pengelola hotel.

Sebagaimana di tulis di Jurnal Teknovasi Volume 03, Nomor 1, 2016, 45 – 50 ISSN : 2355-701X oleh Edy Syahputra^{1*}, Riky Wardhana² & Indra Hermawan³ Jurusan Teknik Mesin, Universitas Al Azhar Medan berjudul “Rancang Bangun Ketel Uap Pada Rumah Sakit Dengan Kapasitas 400 Tempat Tidur” Jenis bahan bakar yang digunakan adalah solar dengan konsumsi bahan bakar sebesar 151,14 kg/jam, adalah salah satu perancangan ketel uap dengan kapasitas yang lebih besar sehingga akan membutuhkan bahan bakar yang lebih besar (ASME, 2004).

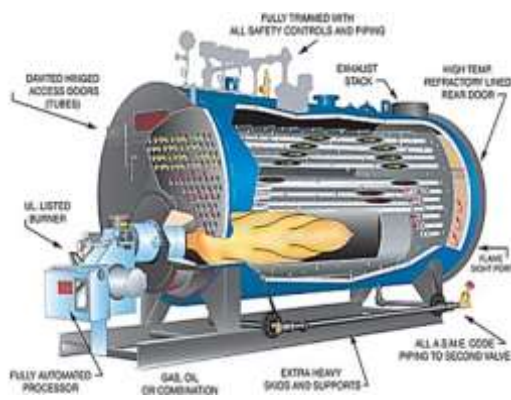
Tujuan perancangan ketel uap dengan kapasitas 180 kg/jam untuk memenuhi kebutuhan pada gedung perhotelan 200 kamar. Menentukan berapa besar kalor yang dibutuhkan untuk hotel tersebut. Kemudian menentukan ukuran atau dimensi dan kekuatan komponen utama ketel uap. Yang selanjutnya menentukan berapa besar

konsumsi bahan kajar tiap jam (Brothers S , 1998).

Dada umumnya Ketel uap di bagi menjadi dua yaitu : a) ketel uap pipa api dan b) ketel uap pipa air. Dalam perancangan ketel uap pipa api ini menentukan konstruksi dan dimensi komponen utama ketel uap yaitu:

- a) Bejana Ketel.(*sheel*)
Bejana ketel uap pipa api biasanya dibuat berbentuk silinder yang di dalamnya berisi air yang dipanaskan menjadi uap bertekanan.
- b) Pipa-pipa Penguap.
Pipa-pipa api ini pada sisi satu berhubungan dengan gas panas, dan pada sisi yang lain berhubungan dengan air berdiameter sekitar 2- 3,5 inch tergantung pada bahan bakar yang dipakai.
- c) Ruang Pembakaran
Ruang pembakaran digunakan untuk proses pembakaran bahan bakar padat, sedangkan untuk bahan bakar cair digunakan ruang bahan bakar
- d) Lemari/lorong Api
Gas panas hasil pembakaran bahan bakar dalam alirannya akan berkumpul dalam lemari api, sedangkan sisa-sisa pembakaran yang berupa abu yang terbawa gas asap akan dibuang melalui pengumpul debu. (Subakty. BM, 2016)(8)

Di bawah ini diperlihatkan ketel uap pipa api type Horizontal pada gambar 1.1.



Gambar 1. Ketel Uap Pipa Api Horizontal
(Sumber : <http://repository.unimar-amni.ac.id/2217/2/BAB%20II.pdf>, 30-10-22)(6)

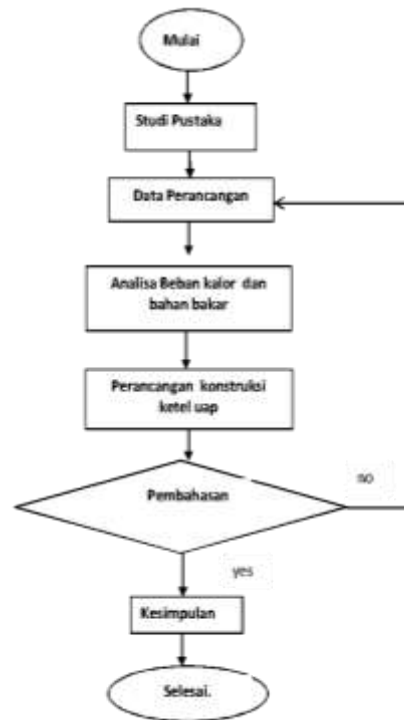
Selain komponen utama ketel uap di lengkapi dengan komponen pendukung yaitu :

- a. *Superheater* (pemanas Uap lanjut).

- b. *Economizer* (pemanas Air Pengisi Ketel).
 - c. *Air Heater* (pemanas Udara).
 - d. Kondensator.
 - e. Tangki pemanas (*Feed Tank*).
 - f. Valve Pengaman tekanan.(*safety valve*)
 - g. Gelas Penduga.(*sign glass*)
 - h. Blowdown system
1. Oil burner

2. METODOLOGI PENELITIAN .

Untuk mendapatkan perancangan yang sistematis dan akurat dari berbagai dimensi komponen ketel uap, maka di buatlah diagram alir yang memberikan gambaran prosedur perancangan ketel uap.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.
Sumber : Penelitian Mandiri

Dalam perancangan ketel uap ini adalah penelitian perancangan dan terapan untuk mendapatkan hasil nyata dari jenis ketel uap yang mampu memenuhi kebutuhan beban kalor di hotel 200 kamar. Mendapatkan data dari lapangan dan menggunakan referensi dari berbagai buku, jurnal dan aplikasi internet.

a) Data Perancangan :

- Kapasitas uap = 185 kg/jam
- Tekanan uap = 4 Bar

- Jenis Ketel Uap Pipa Api Type Vertikal
- Bahan bakar = Solar
- Penggunaan = Gedung Hotel 200 kamar.

*** Adapun Data kebutuhan kalor uap pada hotel adalah (Data lapangan) :**

- Untuk kebutuhn laundry =70 %
- Uuntuk masak di dapur = 20 %
- U untuk pemanass air = 10 %.

*** Data Pengeringan Pakaian Di Laundry Antara Lain (Edy Syahputra dkk, 2016)(5) :**

- Linen(*spray*) = 240 lembar = 240 kg.
- Handuk Besar = 300 lembar = 300 kg.
- Handuk kecil dan napkin /serbet = 220 lbr = 110 kg.
- Seragam karyawan 200 setel= 200 kg.
- Baju tamu 200 sêtel= 200 kg.
- Cucian dari luar Hotel = 400 kg.
- Total Cucian adalah = 1450 kg.
- Bila kandungan air 50 % pada kain 1450 kg x 0,5 = 724,7 kg.

Dasar Analisa Perhitungan Ketel uap :

a) Perhitungan Kalor (Subakty.BM, 1996)(8):

$$Qb = m. Cp. (Ta-Tu). \dots\dots(2.1)$$

Dimana =

m = massa air yang hendak dikeringkan.

Cp = kalor spesifik air = 4,2 kJ/kg °C.

Ta = suhu air.

Tu = suhu penguapan.

b) Perhitungan Kapasitas Ketel uap (Subakty. BM, 1996)(8):

$$Q_{laundry} = \frac{Qb}{Ho(\eta k)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

Hk = efisiensi ketel uap. = 80 %.

Ho = *hu* – *ha* (kJ/kg), (*hu* entalpi uap masuk dan *ha* entalpi masuk)

c) Kebutuhan udara spesifik bahan bakar (Brothers Sulzer,2008)(2):

$$V_{th} = \frac{1,01 Hn}{1000} + 0,5(m^3/kgbb) \dots\dots(2.3)$$

Dimana :

Hn = Nilai kalor bahan bakar minyak solar = 10500 kCal / kg

d) Sedangkan Panas Yang Berguna :

$$Q_l = 87,5 \% .Hn \dots\dots\dots(2.4)$$

g) Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan adalah :

$$B = \frac{Qs (hs-hv)}{\eta k.Hn.} (kg/jam) \dots\dots(2.5)$$

Dimana :

Qs = Kapasitas ketel kg/jam .

Hn = Nilai bakar tertinggi = 10500 kCal / kg. = 43953 kJ/kg.

ηk = Efisiensi ketel = 87,5 %

hs = Enthalpi pada tekanan 4 Bar,temperatur 144°C

hv = Enthalpi dari air pengisi ketel, 27°C s/d 30°C . 125,8 kJ / kg. (dari tabel uap)

Analisa perhitungan Konstruksi Ketel - uap(Brothers Sulzer,1998)(2):

a) Ukuran Diameter atau Badan Ketel

Ukuran badan ketel adalah diameter dari bahan ketel.

$$D = \pm 0,25V Vo (m) \dots\dots(2.6)$$

Dimana ;

Beban spesifik (*s*) adalah 25 kg uap/m² Vo / jam.

$$Vo = \frac{S}{s}(m^2) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

S = beban spesifik kg uap/m².Vo.jam.

S = Kapasitas ketel (kg/jam)

b). Sedangkan ukuran panjang badan ketel uap (Brothers Sulser Ltd, 1998) (2) :

$$L = \frac{Vo}{k.D^2} (m) \dots\dots\dots$$

(2.8)

Dimana :

Vo = Luas pemanasan

K = Konstanta besaran 2,75 - 4,5

D = Diameter ketel (m)

c). Tebal Dinding Ketel (Badan Ketel)

$$t = \frac{Di.P}{(200.V.Sf)-P} + C (mm) \dots\dots(2.9)$$

Dimana :

t = Tebal dinding ketel direncanakan (mm)

Di = Diameter dalam ketel (m)

P = Tekanan kerja ketel (kg / cm²)

V = Faktor sambungan Las = 0,7

Sf = Faktor keamanan = 1,5

K = Tegangan kerja (kg/mm²) suhu kerja dinding ketel adalah

$$tu + 50 ^\circ C$$

d). Tebal Pipa Api (Djoko Setyarjo, M.J. 1987)(4):

$$t_p = \frac{D.P+C}{\frac{200.V.K+P}{S_f}} \dots(2.10)$$

Dimana :

- P = Tekanan kerja ketel (atm
= kg / cm²)
- D = Diameter Luar pipa (mm)
- $V = 1$
- K = Tenggangan material pada temperatur kerja (kg/mm².)
- S_f = Faktor keamanan = 1,5
- C = faktor penambahan tebal pipa = 2 mm.

e) Menentukan jumlah pipa api :

Jadi Jumlah pipa api adalah =

$$N_p = \frac{\text{Luasan shell} - \text{Luasan lorong api}}{\text{Luasan pipaserta jarak pipa}} = \frac{A_d - A_l}{D_p} \text{ (buah) } \dots (2.11)$$

f). Luas bidang pemanasan: (Bruijin L.A. De dan Muilwijk L,1996) (3)

$$V_o = \frac{Q_k}{S} \text{ (m}^2\text{) } \dots(2.12)$$

Dimana :

- Q_k = Kapasitas ketel uap (kg/jam).
- S = Beban spesifik panas (25 kg uap/m². Vo/jam)

g) Perancangan Diameter Lorong Api Type Schots : (Bruijin L.A. De dan Muilwijk L) [3]:

$D_1 = 0,25 (D - 50)$ (mm)

h) Tebal dinding lorong api adalah (Bruijin L.A. De dan Muilwijk L)(3):

$$t_1 = \frac{P.D.+(0,2xL)+200}{1200} \text{ (mm)}$$

Dimana :

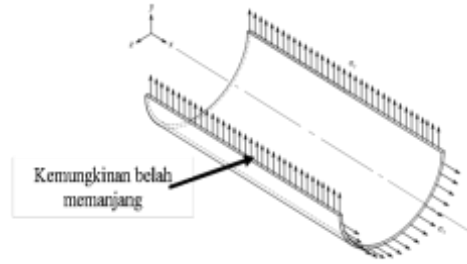
- P = Tekanan kerja ketel (Bar).
- D = Diameter lorong api (mm)
- L = panjang lorong api di Lr = direncanakan 1850 mm

i) Persamaan kemungkinan belah dinding ketel :

$$t_b = \frac{D.P}{2.\sigma_i.(1+\frac{D}{L})} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana =

- D = diameter dalam ketel (mm)
- P = tekanan kerja (N/mm²)
- σ_i = Tegangan ijin bahan (N/mm²)
- L = panjang ketel (m)



Gambar 3. Dinding ketel di periksa kemungkinan belah. (Sumber : <https://id.lambdageeks.com/pressure-vessel-design/>, 20-10-22)(7)

j). Pemeriksaan terhadap kekuatan pipa (Subakty. BM, 1996) :

$$\sigma = \frac{P.D.}{2.t}$$

Dimana :

- P = Tekanan air (N/mm²)
- D = diameter dalam pipa (mm)
- t = tebal pipa (mm)

k) Material Pipa Api direncanakan (ASME ,2004) (1) :

dari SA-178-A .(ASME), tegangan tarik ijin $\sigma_i = 26 \text{ ksi}/1,5 = 17,3 \text{ ksi} = 119,3 \text{ kg/cm}^2$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Analisa Peerhhitungan :

Dari hasil analisa perancangan ketel uap ddi kategorrikn menjadi dua bagian yaitu perhitungan kalor dan perhitungan konstruksi.

Perencnaaan Perhitungan kalor adalah :

a) Perhitungan kalor ketel uap:

* Jumlah air yang diuapkan pada pakaian di laundry adalah $Q_l = 346982,4 \text{ kJ}$.

* Uap tersebut diproduksi selama 2 jam maka , Maka kebutuhan uap untuk laundry per jam : \

$$Q_{\text{laundry}} = \frac{Q_l}{2} = 346982,4/2 = 173491,2 \text{ kJ/jam}$$

* Sedang Pemakaian uap laundry sebesar 70 %

$$Q_l = \frac{Q_l}{70} \times 100 = \frac{173491,2 \text{ kJ/jam}}{70} \times 100 = 247844,6 \text{ kJ/jam.}$$

* Sehingga kebutuhan uap laundry

$$Q_l = 108 \text{ kg/jam}$$

b) Besar kapasitas ketel uap pada hotel (Qb) :

1.Untuk Laundry 70 % = 108 kg/jam

- 2. Pemanas air 20 % = 30,9 kg/jam
- 3. Memasak 10 % = 15,4 kg/jam +

Total kebutuhan Uap untuk Hotel

$$(Qh) = 154,3 \text{ kg/jam.}$$

Dengan demikian maka direncanakan kapasitas ketel uap :

$$Qk : 1,2 \times 154,3 \text{ kg} = 185,16$$

kg/jam atau dibulatkan menjadi

Maka Kapasitas ketel uap

$$(Qk) = 185 \text{ kg/jam.}$$

c) Kebutuhan udara, 1 kg bahan bakar teoritis

$$V_{th} = 11,105 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ bahan bakar.}$$

d) Sedangkan Panas Yang Berguna

Adalah $(QI) = 9188 \text{ kCal / kg}$ bahan bakar.

e) Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan adalah

$$B = 12,7 \text{ kg/jam}$$

Analisa Perhitungan Dimensi dan Kontruksi :

a) Perancangan diameter ketel uap

$$(Di) = 0,69 \text{ m} = 690 \text{ mm}$$

b) Ukuran panjang badan ketel uap (L)

$$= 1,85 \text{ m}$$

c) Tebal dinding ketel uap, Baja SC

Mn5, untuk suhu kerja 400 °C, tegangan kerja $(\sigma_k) = 25 \text{ kg/mm}^2$ diperoleh tebal dinding ketel uap (t) = **4,18 mm**

d) Dimensi pipa api direncanakan

Diameter luar

$$Do = 1\frac{1}{4}'' = 42,2 \text{ mm,}$$

Diameter dalam $Di = 38,64 \text{ mm}$

Tebal pipa $t = 3,56 \text{ mm,}$

Panjang pipa $L = 1,85 \text{ m} = 1850 \text{ mm}$

Material pipa api direncanakan

(ASME, 2004): SA-178-A . *tegangan tarik ijin* $\sigma_i = 26 \text{ ksi}/1,5 = 17,3 \text{ ksi} = 119,3 \text{ kg/cm}^2$.

e) Menentukan jumlah pipa api :

$$n = 128 \text{ buah.}$$

Dikurangi satu baris untuk penyangga pipa (10 %) (dikurangi 13 buah)

sehingga jumlah pipa

$$n = 128 - 13 = 115 \text{ buah}$$

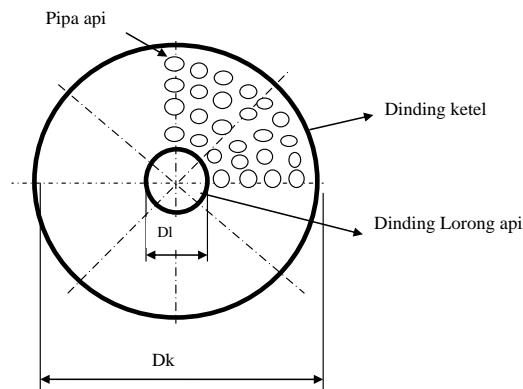
f)Pemeriksaan kekuatan dinding ketel uap

kemungkinan belah adalah $(tb) = 0,83$

mm. Maka dinding ketel uap aman

terhadap kemungkinan belah atau $t > tb$

atau $8 \text{ mm} > 0,83 \text{ mm.}$



Gambar 4. Susunan pipa api ketel uap .

Sumber : Penelitian Mandiri

g) Luas bidang pemanasan.

$$Vo = 7,5 \text{ m}^2$$

h) Diameter Lorong Api

$$D1 = 160 \text{ mm}$$

i) Tebal dinding lorong api (ti) :

$$ti = 2,1 \text{ mm}$$

Direncanakan tebal dinding Lorong api sesuai dengan tebal dinding ketel uap yaitu = 8 mm

j) Pemeriksaan terhadap kekuatan pipa

$$(\sigma_k) = 2170786,5 \text{ kN/m}^2.$$

$$= 21,09 \text{ kg/cm}^2 \text{ atau } 2,11 \text{ N/mm}^2.$$

Material pipa terbuat (ASME 2004) : SA-178-A, suhu 950°F tebal (3,56 mm). *tegangan tarik* $\sigma = 26 \text{ ksi}$, *Type Plain, joint welded. Dengan tegangan tarik ijin* $\sigma_i = 26 \text{ ksi}/1,5 = 17,3 \text{ ksi} = 119,3 \text{ kg/cm}^2$.

3.2. Pembahasan

Dari hasil perancangan perancangan ketel uap pipa api type vertical kapasitas 185 kg/jam adalah :

*.Analisa Energi:

Kalor yang dihasilkan/produksi ketel uap adalah 247844,6 kJ/jam, digunakan untuk laundry 70 % , masak 10 % dan pemanas air 20 %.

Kebutuhan udara spesifik terhadap bahan bakar adalah 11,105 m³/kg bahan bakar. Panas yang berguna adalah 87,5%. Atau kerugian panas adalah 12,5%.

Pemakaian bahan bakar 15 ltr/jam , bahan bakar dri solar dengan nilai kalor $H_n = 10500 \text{ kJ/kg.}$

*. Hasil Analisa Kekuatan dan dimensi :

Diameter luar Shell = 690 mm, panjang ketel = 185 mm, Tebal

dinding = 8 mm. bahan terbuat dari baja SCMn5 pada 400°C Tegangan kerja 25 kg/mm². Tegangan ijin 16,7 kg/mm². Tekanan kerja 4 Bar. luas bidang pemanasan, $V_o = 7,5 \text{ m}^2$, diameter Lorong Api D1 = 160 mm, tebal dinding lorong api 8 mm. Diameter pipa api = 1 ¼ inc atau =42,2 mm, schedule 40, tebal 3,56 mm, jumlah pipa = 115 buah bahan pipa terbuat dari Material terbuat pipa api direncanakan dari SA-178-A .(ASME), tegangan tarik ijin $\sigma_i = 26 \text{ ksi}/1,5 = 17,3 \text{ ksi} = 119,3 \text{ kg/cm}^2$.

4. KESIMPULAN

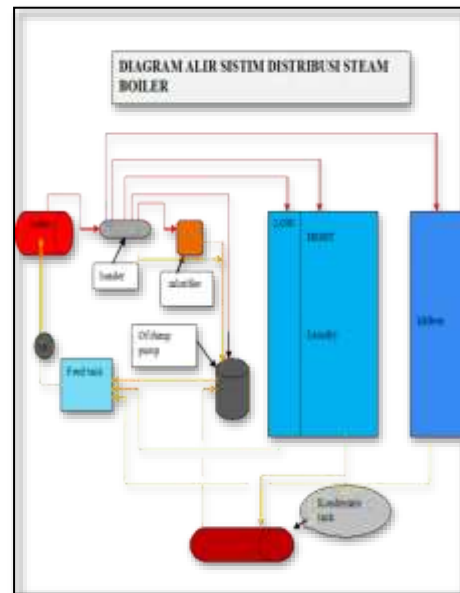
Dari hasil perencanaan ketel Uap kapasitas 185 kg/jam tekanan 4 Bar. Adalah :

- Jenis Ketel uap pipa api vertical dengan produksi uap 247844,6 kJ/kg. bahan bakar cair (Solar) , konsumsi bahan bakar perjam = 14,8 kg/jam. Atau 15 ltr/jam.
- Diameter luar dinding ketel (sheel) = 690 mm, Panjang 186 mm, tebal dinding = 8 mm. jumlah pipa api 115 buah diameter 1 ¼ inc.
- Bahan dinding terbuat bahan Plat ScMn 5 dengan kekuatan 25 kg/cm². Hasil pemeriksaan pada tegangan kerja bahan tersebut kemungkinan belah tebal 0,85 mm, dan kemungkinan putus, tebal 0,45 mm sedang tebal dinding 8 mm, sehingga bahan ketel aman.

DAFTAR PUSTKA :

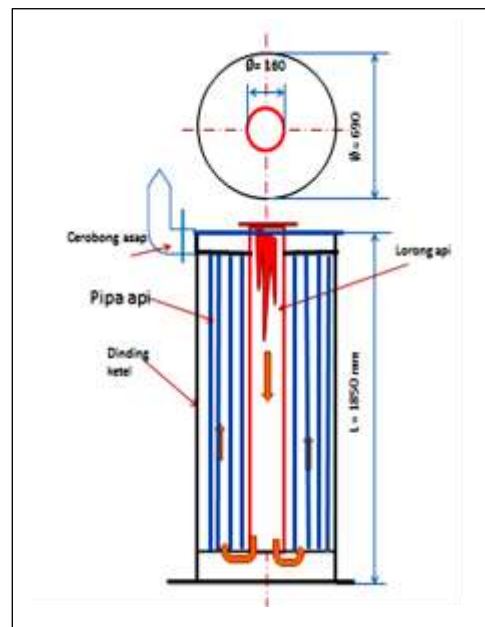
- ASME (American Society of Mechanical Engineer), 2004. *Boiler & Pressure Vessel Section IV: Rule For The Contruction fo Heating Boiler* , NewYork . Three Park Avenew
- Brothers Sulzer Ltd, **Boiler Hand Book**, 1998 Wintherthur, *InterWeld Inc Ltd* Switzerland,
- <https://id.lambdageeks.com/pressure-vessel-design/>, (20-10-22)(7)
- <http://repository.unimaramni.ac.id/2217/2/BAB%20II.pdf>, (20-10-22)(6)
- <http://repository.unimaramni.ac.id/2217/2/BAB%20II.pdf>, (20-10-22)
- <https://id.lambdageeks.com/pressure-vessel-design/>, (20-10-22)

LAMPIRAN 1



Gambar Skematik distribusi uap

LAMPIRAN 2



Gambar Konstruksi ketel uap vertikal