

KAJIAN KEBUTUHAN UAP DAN KEAMANAN KONTRUKSI BOILER INDUSTRI TAHU KAPASITAS UMKM

Khairul Suhada

Staf Pengajar Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik UISU

HP: 085836484255

khairulsuhada80@gmail.com

Abstrak

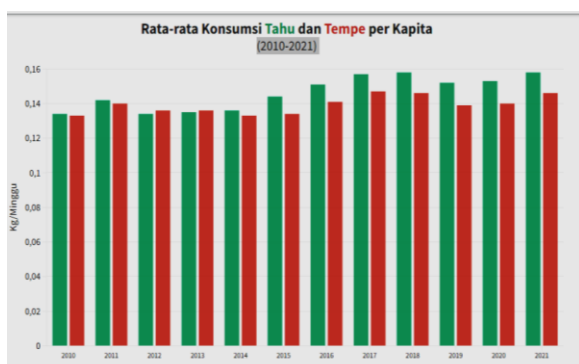
Penghematan bahan bakar dalam industri tahu mempengaruhi harga tahu itu sendiri, perubahan proses perebusan saripati kacang kedelai dari konvensional berubah dengan menggunakan uap air dapat menghemat biaya operasional sampai 50%. uap menjadi kebutuhan industri tahu moderen tetapi keamanan dari kontruksi boiler ketika dioperasikan haruslah terjadi. Standar ASME dapat dijadikan acuan karena sudah lama teruji, dari standar tersebut menghasilkan nominal dimensi dan kapasitas boiler yang akurat yaitu Material Pelat badan boiler SA285Grade C, diameter 1000 mm dengan tebal Pelat 3 mm dengan tekanan 8bar (116 lb/in²) dan temperature 150⁰ C aman untuk kontruksi Boiler. Material SA53GradeB untuk pipa api dengan tebal 1,133 mm, diameter 68 mm. Material SA 285 Grade C dipilih untuk tube sheet dengan tebal 1,6256 mm dan tekanan 111 lb/in² aman untuk digunakan. Material SA53 Grade B untuk pipa nozel dengan tebal 1,4478 mm untuk lubang safety valve, pressure gauge / manometer, thermometer, water level gauge, pada tekanan kerja 116 lb/in² aman untuk digunakan. Material carbon steel main steamvalve, dan blowdown dengan tebal 1,27 mm dan diameter 2 in aman untuk digunakan. Volume Boiler 0,511m³ = 511 Kg = 511 Liter. Kapasitas Boiler 320 Kg/am. Energi panas yang dibutuhkan Boiler/penguapan awal 751.756,8 kJ/jam. Bahan bakar kayu yang dibutuhkan 54,9 kg/jam. Kalor yang dibutuhkan untu kepenguapan=172.337.360,62 J. Waktu penguapan awal = 1/4,362 jam = 13,75 menit, pada perebusan 40 Kg kacang kedelai.

Kata Kunci : Industri Tahu, Uap Air, Boiler, ASME

I. PENDAHULUAN

Industri Tahu adalah salah satu industri yang berjumlah besar, yang hampir ada di seluruh kecamatan di Indonesia, 86.400 unit tersebar di pulau jawa belum lagi di daerah lain, dengan capaian produksi 2,56 Ton/Tahun (Ariani. 2011).

Perkapitanya rata-rata konsumsi tahu sebesar 0,158 kg perminggu meningkat 4,29 % dari tahun sebelumnya. (Badan Statistik Indoesesia. 2021), seperti terlihat pada Gambar 1 berikut :



Gambar 1. Grafik Nilai Rata-rata konsumsi tahu dan tempe perkapita tahun 2010-2021

Sumber : Badan Pusat Statistik Indonesia, Tahun 2021

Metode konvensional perebusan tahu memanfaatkan panas kayu bakar untuk merebus bubur tahu pada bejana wajan besar, merupakan salah satu masalah yang banyak menghabiskan biaya operasional yang besar pada proses pembuatan tahu,

tetapi dengan menggunakan uap akan menghemat biaya operasional sebesar 50%.

Jaminan keamanan dari kecelakaan kerja pada penggunaan Boiler merupakan masalah tersendiri bagi pengguna Boiler pada Industri tahu, yang umumnya masih awam dalam pembuatan kontruksi Boiler tersebut, maka dari itu pembuatan Boiler tahu dengan Standar ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) sangat penting untuk dikaji dan disosialisasikan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tahu adalah makanan yang terbuat dari endapan sari pati kacang kedelai dengan proses koagulasi.

Proses pembuatan Tahu adalah sebagai berikut:

1. Perendaman

Langkah pertama membuat tahu yaitu proses perendaman. Kedelai direndam dalam air bersih sekitar delapan jam. Air yang dipakai paling sedikit tiga liter untuk satu kilogram kedelai. Selama proses tersebut, biji kedelai mengembang ketika direndam. Proses perendaman berlangsung selama 8-12 jam. Jika menggunakan air panas perendaman selama 1-2 jam. Setelah direndam kemudian biji kedelai dicuci dan ditiriskan. Proses pembersihan ini dilakukan berkali-kali menggunakan air bersih. Jika pencucian kurang bersih, berdampak pada tahu yang cepat menjadi asam.

2. Penggilingan

Proses pembuatan tahu kedua yaitu penggilingan. Kedelai digiling dan ditambahkan air hangat sedikit-demi sedikit. Penggunaan air hangat ini supaya bau khas kedelai tidak hilang. Proses penggilingan ini membuat kedelai menjadi bubuk halus. Ketika mesin giling dinyalakan, tambahkan air sedikit demi sedikit dalam mesin. Kemudian masukkan kedelai dalam mesin. Sediakan wadah untuk bubuk halus kedelai.

3. Perebusan/Pemasakkan

Bubur dididihkan selama 10-15 menit. Proses pemasakan bubuk kedelai selesai setelah muncul gelembung kecil. Pemasakan bubuk dilakukan dalam wadah besar. Suhu ketika pemasakan sekitar 100-150 derajat celsius. Ketika proses pemasakan ditambahkan air terus-menerus. Misalnya, 10 liter untuk satu kilogram kacang kedelai. Tahap pemasakan ini bertujuan untuk mempermudah proses penyaringan dan bau kedelai.

4. Penyaringan

Tahap ketiga adalah proses penyaringan. Ketika bubuk kedelai disaring, airnya diendapkan menggunakan batu tahu. Sebanyak satu liter sari kedelai menggunakan satu gram batu tahu sambil diaduk perlahan. Larutan tahu batu ini untuk menggumpalkan sari kedelai. Penyaringan bubuk dilakukan dua kali untuk mendapatkan ampas kedelai lebih banyak. Setelah itu sari kedelai digumpalkan dengan larutan jenuh (batu tahu). Proses pengendapan selama 1 malam dalam suhu 70 sampai 90 derajat. Ketika penambahan batu tahu, larutan terus diaduk sampai berhenti ketika gumpalan bubuk terbentuk. Gumpalan akan turun ke dasar wadah. Proses pengendapan ini penting untuk memisahkan air tahu dengan bubuk tahu.

5. Penggumpalan

Gumpalan tahu kemudian dimasukkan dalam cetakan yang dialasi kain bagian atas. Kemudian ditutup menggunakan kain yang sama, sedangkan bagian atasnya ditutup papan. Berat papan berbobot sekitar 30 kg. Penggumpalan dilakukan selama 15 menit sampai sisa air tahu menetes.

Boiler merupakan mesin pengkonversi fluida yang umumnya berupa air menjadi uap, panas dan tekanan uap inilah yang akan dimanfaatkan untuk kebutuhan pengguna boiler tersebut sesuai kebutuhan masing-masing penggunaanya, yang umumnya menggunakan energi panas.

Didinjau dari aliran fluida yang dialiri pada pipa, maka Boiler dapat dibagi menjadi :

1. Boiler pipa Api (*fire tube Boiler*)

Boiler jenis ini pada bagian tubenya dialiri dengan gas pembakaran dan bagian lainnya yaitu *shell* dialiri air yang akan diuapkan. Tube-tubanya langsung didinginkan oleh air yang melindunginya. Jumlah pass dari *boiler* tergantung dari jumlah laluan horizontal dari gas pembakaran diantara

furnace dan pipa-pipa api. Laluan gas pembakaran pada *furnace* dihitung sebagai pass pertama. *Boiler* jenis ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala menengah (Raharjo dan Karnowo 2008: 180).

2. *Bolier* pipa air (*water tube Boiler*)

Boiler jenis ini banyak dipakai untuk kebutuhan uap skala besar. Prinsipkerja dari *boiler* pipa air berkebalikan dengan pipa api, gas pembakaran dari *furnace* dilewatkan ke pipa-pipa yang berisi air yang akan diuapkan (Raharjo dan Karnowo 2008: 180).

Bagian-bagian utama Boiler Tahu adalah sebagai berikut:

1. Badan Boiler

Tebal pelat badan Boiler dan Tekanan uap boiler dihitung dengan rumus dari ASME section IV:3 sebagai berikut:

$$t = \frac{PR}{SE-0,6P}$$

$$P = \frac{SEt}{R+0,6t}$$

2. Pipa Api

Tebal pipa api dapat ditentukan dengan rumus ASME Sec. IV Chapter 18 2008:5 sebagai berikut:

$$t = \frac{PR}{SE-0,6P} + 0,4$$

Dimana:

P=Tekanan perancangan (*design pressure*) tidak kurang dari 30 psi (200kPa)

S=Kekuatan stres maksimum material (*maximum allowable stress*) (psi)

t = Tebal pipa api (inchi)

R=Radius dalam silinder

E=Efisiensi sambungan pada silinder (*efficiency*) (E=1)

3. Tube sheet

Tebal dan tekanan tubesheet dapat dihitung dengan rumus yang mengacu pada ASME Section IV 2004:26 yaitu:

$$t = \sqrt{\left(\frac{P}{CS} + \left(P^2 - \frac{\pi D^2}{4}\right)\right)}$$

$$P = \frac{CST^2}{p \frac{\pi D^2}{4}}$$

Dimana:

t=Tebal pelat yang dibutuhkan

p=Maksimal jarak antar pipa api (inchi)

C=2.7 untuk pipa api pengelasan ketebalan kurang dari 11 mm (7/16 inchi)

C=2.8 untuk pipa api pengelasan ketebalan lebih dari 11mm (7/16 inchi)

S=kekuatan stres maksimum material (*maximum allowable stress*) (Psi)

P = Tekanan perancangan (*design pressure*) (Psi)

D=Diameter luar pipa (inchi)

4. Ligament

Efisiensi *ligament* di rumuskan oleh ASME Section IV 2004:29 yaitu:

$$E = p-d/p$$

E=Efisiensi *ligament*

p=Jarak antar lubang (Inchi)

d=diameter lubang pipa api (Inchi)

III. METODE PENELITIAN

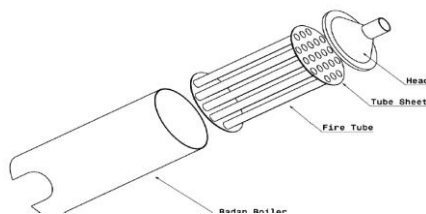
Dasar kajian ini berdasarkan kapasitas produksi industri tahu yang ada disekitar Kota Medan dan Kabupaten Deli Serdang Sumatera Utara dan perencanaan kontruksi Boiler berdasarkan standar ASME Section IV.

Kapasitas produksi industri tahu bergantung besar modal dan permintaan pasar, sebagai acuan penulis mengambil data dari lapangan yang berkapasitas kecil yaitu 40 kg/hari.

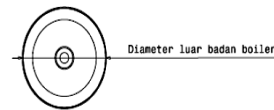
Sebagian data-data yang diperlukan diperoleh dari survey dilapangan dan literature, berikut ini data yang akan dijadikan dasar perhitungan kapasitas uap dan kontruksi Boiler Tahu:

1. Tinggi badan Boiler : 2000 mm
2. Diameter badan Boiler : 1000 mm
3. Diameter pipa api : 70 mm
4. Tekanan perancangan : 8 Bar
5. Temperatur Operasional : 100-150⁰C
6. Tekanan Operasi : 2 Bar
7. Tipe Boiler : Vertical Fire Tube

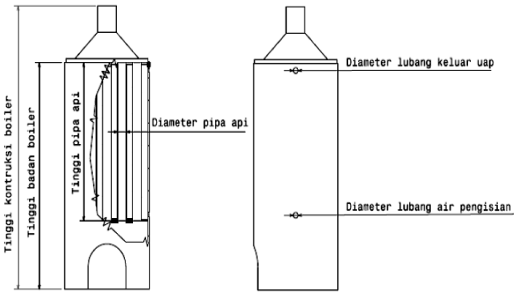
Untuk mendapatkan kebutuhan uap, kapasitas Boiler dan jaminan keamanan proses dari Boiler, maka langkah awal yang akan dilakukan Penulis, pertama ialah menentukan dimensi kontruksi Boiler untuk menentukan volume air yang akan menjadi dasar kebutuhan dan kapasitas uap dari Boiler yang akan dirancang, bentuk dimensi dari Boiler yang akan dirancang adalah seperti Gambar 3.



Gambar 3. Bentuk dimensi dari Boiler



Top View



Front View

Right View

Gambar 4. Kontruksi Boiler Tahu

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tebal Badan Boiler

1. Tebal Badan Boiler (t):

$$t = \frac{PR}{SE-0,6P}$$

Dimana:

P=Tekanan perancangan=8bar=116 lb/in²

R=Radius dalam badan boiler=9,85 in (250 mm)

D=Diameter dalam badan boiler=39,4 in (1000 mm)

Material SA285 Grade C didapatkan data sebagai berikut:

S=Maximum Allowable stress value= 11 ksi =11000 lb/in² (ASME Section I V 2004:73)

E=Jointco efficient =85% =0,85 (ASME Section IV 2004:86)

$$t = \frac{116 \text{ lb/in}^2 \cdot 9,85 \text{ in}}{11000 \text{ lb/in}^2 \cdot 0,85 - 0,116 \text{ lb/in}^2}$$

$$= 0,122 \text{ in} = 2,845 \text{ mm} = 3 \text{ mm}$$

Maka Diameter luar badan Boiler 1006 mm

4.2. Pipa Api

Properties yang dipilih untuk pipa api adalah Material SA53 Grade B dengan data sebagai berikut:

S=Maximum Allowable stress value =12 ksi =12000 lb/in²

Yield strength =242 Mpa (ASME Section IV 2004:73)

E=Joint coefficient =85%=0,85 (ASME Section I V 2004:86)

D=Diameter lu ar fire tube=2,67 in (68 mm)

L=Panjang fire tube=59 in (1500 mm)

P=Tekanan perancangan=8 bar=116 lb/in²

T=Temperatur perancangan= 150⁰C

Jumlah pipa api 21 buah
 Untuk mendapatkan ketebalan *fire tube* dengan menggunakan prosedur pencarian pada ASME Section IV: Menentukan L/D^0 dan D^0/t

$$\frac{L}{D^0} = \frac{59 \text{ in}}{2,76 \text{ in}} = 21,376$$

Diasumsikan : $D^0/t = 60$
 Dari tabel ASME Section I Part D2010 Table Ghal 791 dan ASME Section II Part D2010 Table CS-2 hal 794 didapatkan : Tabel 1. Pencarian P dengan $D_0/t=60$

Tabel 1. Pencarian P dengan $D_0/t=60$

D_0/t	L/D_0	Faktor A	t (°C)	Faktor A	Faktor B (Mpa)	Faktor B (lb/in ²)
60	10,000	$3,22 \times 10^{-4}$	150	$1,6 \times 10^{-4}$	15,63	2266,93
60	14,430	$3,1 \times 10^{-4}$	150	$3,1 \times 10^{-4}$	30,29	4393,19
60	25,000	$3,07 \times 10^{-4}$	150	$7,83 \times 10^{-4}$	77,90	11298,44

$$P = \frac{B}{D^0/t}$$

$$P = 11.298,44 \text{ lb/in}^2 / 60 = 188,5 \text{ lb/in}^2$$

$$P > P_1$$

$$188,5 \text{ lb/in}^2 > 116 \text{ lb/in}^2$$

Jadi $D_0/t=60$ aman dapat digunakan

$$t = 68/60 = 1,133 \text{ mm}$$

4.3. Tube sheet

Material SA 285 Grade C didapatkan data sebagai berikut:

$$S = \text{Maximum Allowable stress value} = 11 \text{ ksi} = 11000 \text{ lb/in}^2 \text{ (ASME Section IV 2004:73)}$$

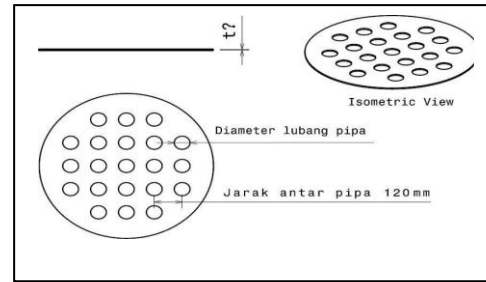
$$E = \text{Joint coefficient} = 85\% = 0,85 \text{ (ASME Section IV 2004:86) dan (ASME Section IV 2004:26)}$$

$$P = \text{Tekanan perancangan} = 8 \text{ bar} = 116 \text{ lb/in}^2$$

$$p = \text{Maksimal jarak antar pipa api} = 4,724 \text{ in (120 mm)}$$

$C=2,7$ untuk pipa api pengelasan ketebalan kurang dari 11 mm (7/16 inchi), 2,8 untuk pipa api pengelasan ketebalan lebih dari 11 mm (7/16 inchi) (ASME Section IV 2004:26)

$$D = \text{Diameter luar pipa} = 2,76 \text{ in (70 mm)}$$



Gambar 5. Ukuran tube sheet

$$t = \sqrt{\left(\frac{P}{CS} \times \left(P^2 - \frac{\pi D^2}{4}\right)\right)}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{116 \text{ lb/in}^2}{2,7 \times 11000 \text{ lb/in}^2} \times \left(4,724 \text{ in}^2 - \frac{\pi (2,76 \text{ in})^2}{4}\right)\right)}$$

$$= 0,064 \text{ in} = 1,6256 \text{ mm}$$

$$P = \frac{CS t}{p^2 - \frac{\pi D^2}{4}}$$

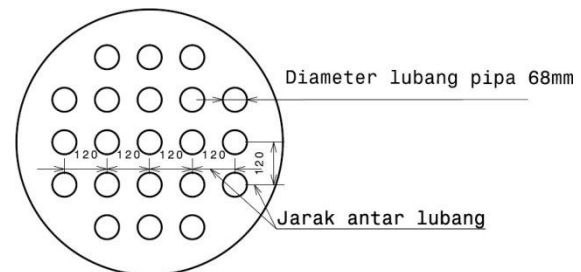
$$= \frac{2,7 \times 11000 \text{ lb/in}^2 \times 0,25^2}{4,724 \text{ in}^2 - \frac{\pi (2,76 \text{ in})^2}{4}}$$

$$= 111 \text{ lb/in}^2$$

4.4 Ligament

$$E = p - d/p$$

E = Efisiensi = 4,724 in (120 mm)
 p = Jarak antar lubang = 4,724 in (120 mm)
 d = diameter lubang pipa api = 2,67 in (68 mm)



Gambar 6. Ligament boiler

$$E = 4,724 \text{ in} - 2,67 \text{ in} / 4,724 \text{ in} = 0,43 = 43\%$$

4.5 Pipa Nozel

Ukuran pipa nozel untuk lubang *safety valve*, *pressure gauge / manometer*, *thermometer*, *water level gauge*, *main steam valve*, dan *blowdown* menggunakan rumus:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} + 0,4$$

Material pipa nosel menggunakan *seamless carbon steel SA 53 Grade B* untuk boiler ditunjukkan pada ASME Section IV Table HF-300.1 hal 73. Material SA53 Grade Bd idapatkan data sebagai berikut:

$$S = \text{Maximum Allowable stress value} = 12 \text{ ksi} = 12000 \text{ lb/in}^2$$

$$\text{Yield strength} = 242 \text{ Mpa}$$

$$E = \text{Joint coefficient} = 85\% = 0,85 \text{ (ASME Section IV 2004:86)}$$

$$P = \text{Tekanan perancangan} = 8 \text{ bar} = 116 \text{ lb/in}^2$$

$$R_1 = \text{Radius dalam pipanosel} = 0,5 \text{ in} = 12,7 \text{ mm}$$

$$R_2 = \text{Radius dalam pipanosel} = 1 \text{ in} = 25,4 \text{ mm}$$

a. Pipa nosel *safety valve, manometer, thermo meter* dan *water level gauge* menggunakan pipa carbon steel dengan ukuran diameter 1 in dan tebal pipa yang dibutuhkan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$t = \frac{PR_1}{SE - 0,6P}$$

$$= \frac{116 \text{ lb/in}^2 \times 0,5 \text{ in}}{12000 \text{ lb/in}^2 \times 0,85 - 0,6 \times 116 \text{ lb/in}^2} + 0,04$$

$$= 0,0057 + 0,04$$

$$= 0,0457 \text{ in} = 1,4478 \text{ mm}$$

b. Pipanosel *main steam* dan *blowdown*

Pipa nosel menggunakan pipa carbon steel dengan ukuran 2 in dan tebal pipa yang dibutuhkan dengan perhitungan sebagai berikut:

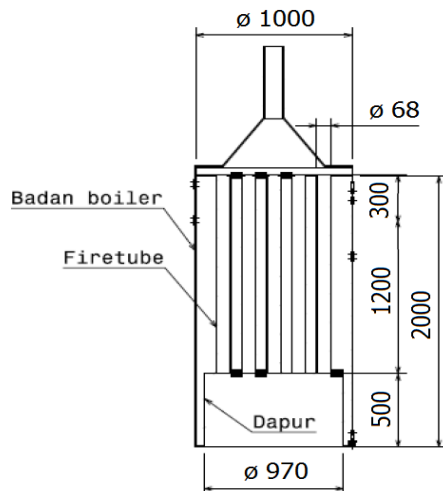
$$t = \frac{PR_1}{SE - 0,6P}$$

$$= \frac{116 \text{ lb/in}^2 \times 1 \text{ in}}{12000 \text{ lb/in}^2 \times 0,85 - 0,6 \times 116 \text{ lb/in}^2} + 0,04$$

$$= 0,01145 + 0,04$$

$$= 0,051 \text{ in} = 1,27 \text{ mm}$$

Volume boiler



Gambar 7. Sket Boiler

Volume boiler (V_b) adalah luas alas Boiler kali tinggi Boiler ($\text{Volume Total}/V_{b,\text{total}}$) dikurang volume dapur (V_d), Volume ruang Uap (V_{ru}) dan Volume pipa api (V_p) yaitu:

$$V_b = V_{b,\text{total}} - V_d - V_{ru} - V_p$$

$$= (0,785 \times 1 \times 2) - (3,14 \times 0,235 \times 0,05) - (3,14 \times 0,00462 \times 1,5 \times 21)$$

$$= 1,57 - 0,235 - 0,62$$

$$= 0,715 \text{ m}^3 = 715 \text{ Liter}$$

Penyerapan air pada kacang kedelai ketika perendaman, penambahan air ketika penggilingan, pengendapan dan penambahan air ketika perebusan, diperkirakan dari 40 Kg kacang kedelai kering membutuhkan penambahan air hingga 100 Kg ketika akan direbus dengan uap, maka massa uap yang dibutuhkan adalah:

$$m_{\text{air}} c_{\text{air}} \Delta t = m_{\text{uap}} c_{\text{uap}} \Delta t$$

dimana:

$$c_{\text{air}} = 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$c_{\text{uap}} = 2100 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{air}} = 100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 80^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{uap}} = 150^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$$

$$100 \text{ Kg} \times 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times 80^\circ\text{C} =$$

$$m_{\text{uap}} \times 2100 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times 50^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{uap}} = 320 \text{ kg}$$

maka kapasitas Boiler 320 Kg/jam untuk sekali memasak kebutuhan Bahan Bakar (kayu):

Kebutuhan bahan bakar diketahui dari perhitungan-perhitungan berikut ini:

$$Q = S \times \Delta i$$

Dimana S adalah (Kg/jam) dan Δi = Entalpi uap - entalpi air pengisian ketel.

- Entalpi uap pada tekanan kerja 8 bar (800kPa) = 2768.3 kJ/kg (Cengel 2005: 894)

- Entalpi air pengisian ketel 1 atm (101.325kPa) = 419,06 kJ/kg (Cengel 2005: 892)

$$Q = 320 \text{ kg/jam} \times (2768.3 \text{ kJ/kg} - 419,06 \text{ kJ/kg})$$

$$= 751.756,8 \text{ kJ/jam}$$

Maka kebutuhan bahan bakar:

$$B = \frac{Q}{LHV \times \eta_{\text{Boiler}}}$$

$$= \frac{75.1756,8 \text{ kJ/jam}}{19.551 \text{ MJ/kg} \times 0,7}$$

$$= 54,9 \text{ kg/jam}$$

Maka untuk penguapan awal (Q_{awal}):

$$Q_{\text{awal}} = m c_{\text{air}} \Delta t$$

$$= 511000 \text{ g} \times 1,0069 \text{ kal/gram}^\circ\text{C} \times (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$= 41.162.072 \text{ kal}$$

$$= 172.337.360,62 \text{ J}$$

Waktu pemanasan awal didapat dari:

$$Q_1 = Q_2$$

Q_1 =Kalor boiler =751.756,8 kJ/jam (dari perhitungan konsumsi bahan bakar)

Q_2 =Kalor yang dibutuhkan untuk penguapan =172.337.360,62 J

$$Q_1=Q_2$$

751.756,8 kJ/jam =172.337,36062 kJ=4.362 jam

Waktu penguapan awal = 1/4,362 jam

= 13,75 menit

V. KESIMPULAN

1. Material Pelat badan boiler SA285Grade C, diameter 1000 mm dengan tebal Pelat 3 mm dengan tekanan 8 bar (116 lb/in²) dan temperature 150⁰ C aman untuk kontruksi Boiler.
2. Material SA53 Grade B untuk pipa api dengan tebal 1,133 mm, diameter 68 mm
3. Material SA 285 Grade C dipilih untuk tube sheet dengan tebal 1,6256 mm dan tekanan 111 lb/in² aman duntuk digunakan
4. Material SA53Grade B untuk pipa nozel dengan tebal 1,4478 mm untuk lubang *safety valve*, *pressure gauge / manometer*, *thermometer*, *water level gauge*, pada tekanan kerja116 lb/in² aman untuk digunakan
5. Material carbon steel *main steamvalve*, dan *blowdown* dengan tebal 1,27 mm dan diameter 2 in aman untuk digunakan
6. Volume Boiler 0,511m³ = 511 Kg =511 Liter
7. Kapasitas Boiler 320 Kg/am
8. Energi panas yang dibutuhkan Boiler/penguapan awal751.756,8 kJ/jam
9. Bahan bakar kayu yang dibutuhkan 54,9 kg/jam
10. Kalor yang dibutuhkan untuk penguapan =172.337.360,62 J
11. Waktu penguapan awal = 1/4,362 jam = 13,75 menit

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ASME. 2004. *Boiler & Pressure Vessel Code IV, Rules For Contruction fo Heating Boiler*. New York : Three Park Avenue
- [2]. ASME. 2008. *ASME Section IV: Rules For The Contruction Of Heating Boilers, Chapter 18*.
- [3]. ASME. 2010. *Boiler & Pressure Vessel Code II, Properties (Metric) Materials*. New York : Three Park Avenue
- [4]. Desai C. S. 1996. *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Translated by Wirjosoedirdjo S. J. 1979. Jakarta : Penerbit Erlangga
- [5]. Muin, Syamsir A. 1988. *Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Jakarta: Rajawali Pers.
- [6]. Rusnoto. 2008. *Perencanaan Ketel Uap Tekanan 6 Atm dengan Bahan Bakar Kayu untuk Industri Sederhana*. Oseatek, Edisi 4. Hal 32-35
- [7]. Raharjo W. D dan Karnowo. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Semarang : Universitas Negeri Semarang Press
- [8]. Chattopadhyay P. 2001. *Boiler Operation Engineering Questions and Answers* (Second Edition). New Delhi : Tata McGraw-Hill
- [9]. Sugiono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R & D*. Bandung : Alfabeta
- [10]. Singer F.L dan A. Pytel. 1985. *Kekuatan Bahan (Teori Kokoh – Strenght of Materials)*. Jakarta : Erlangga
- [11]. Weaver W dan P.R Johnston. 1993. *Elemen Hingga untuk Analisis Struktur*. Bandung : PT Eresco
- [12]. Widyatama Monelis, Pramono dan Dony Hidayat Al-Janah. 2013. *Perancangan Rear Part Mobil Listrik Menggunakan Software 3D Siemens NX8*. Automotive Science and Education Journal, Volume 2 No. 1. Hal: 1-9
- [13]. Yohana E dan Askhabulyamin. 2009. *Perhitungan Efisiensi Dan Konversi Dari Bahan Bakar Solar Ke Gas Pada Boiler Ebara HKL 1800 KA*. Rotasi, Volume 11 No. 3. Hal: 13-16 78