



Available online at www.jurnal.untidar.ac.id

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

Journal homepage: <http://jurnal.untidar.ac.id/index.php/mechanical/index>



Perancangan Ketel Uap Mini Berbasis Standar ASME untuk Industri Tahu Menggunakan ANSYS

Muhammad Affan Asshidqi^a, Arif Rahman Saleh^b, Sigit Iswahyudi^c

^{a,b,c}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tidar, Jl. Kapten Supratman no.
39, Potrobangsari, Magelang Utara, Magelang, 56114 Indonesia

*Correspondence email: affanasshidqi18@gmail.com

Keyword:

Boiler, ANSYS,
ASME

ABSTRACT

The boiling process in small-scale tofu production is still often done conventionally, using a pan over a direct heat source and consuming large amounts of firewood, which significantly increases production costs. This study designs a vertical fire tube boiler that produces saturated steam at 100°C-120°C, generating 280 kg/hour of steam in compliance with American Society of Mechanical Engineers (ASME) standards, using wood as fuel. The research covers the boiler's construction design per ASME standards, its design in Inventor software, and structural analysis focusing on displacement and stress in ANSYS, revealing the strengths and weaknesses of the proposed design. The boiler has an inner body diameter of 1200 mm and a thickness of 4.5 mm, with a steam capacity of 140 kg per 30 minutes (280 kg/hour), a fuel requirement of 47.8 kg/hour, a steam pressure of 2 bar, and a design pressure of 6 bar; the material used is stainless steel 304. Based on the ANSYS simulation at 120°C, with a steam load of 1,626 N, water load of 8722 N, water pressure of 588.52 N/m², steam pressure of 0.205 N/m², and gravity of 9.81 m/s², the maximum von Mises stress is 5.4586×10^7 N/m², maximum displacement is 0.40364 mm, maximum temperature is 120.22°C, and the safety factor is 3.75562.

Kata Kunci:

Ketel uap, ANSYS,
ASME

ABSTRAK

Proses pemasakan tahu pada industri kecil masih sering ditemui menggunakan cara tradisional yaitu dengan wajan dan tungku langsung. Borosnya penggunaan bahan bakar yaitu kayu bakar sehingga hal ini dapat memengaruhi bengkaknya biaya produksi. Perancangan ini bertujuan mendesain konstruksi ketel uap tipe vertical fire tube boiler yang menghasilkan uap jenuh pada temperatur 100oC-120oC serta menghasilkan uap sebanyak 280 kg/jam yang sesuai standar American Society of Mechanical Engineers (ASME) berbahan bakar kayu. Pada penelitian ini yaitu perancangan ketel uap pada industri tahu meliputi perancangan kontruksi ketel uap dengan standar ASME, desain ketel uap dibuat menggunakan software inventor serta analisis struktur ketel uap

sebagai objek penelitian dengan menekankan pengujian pada displacement dan stress pada konstruksi ketel uap menggunakan software ANSYS. Bentuk hasil analisis data ini akan menunjukkan kelemahan dan kelebihan dari rancangan yang telah dilakukan. Ketel uap memiliki diameter badan dalam 1200 mm serta memiliki ketebalan 4,5 mm. Kapasitas uap sebesar 140 kg per 30 menit atau 280 kg/jam dengan kebutuhan bahan bakar 47,8 kg/jam dengan spesifikasi tekanan uap operasi 2 bar dan tekanan perancangan 6 bar. Material yang digunakan adalah stainless steel 304. Berdasarkan simulasi ANSYS yang telah dilakukan dengan temperatur 120°C dengan diberikan beban uap 1,626 N, beban air 8722 N, tekanan air 588,52 N/m², tekanan uap 0,205 N/m², gravitasi 9,81 m/s menghasilkan nilai tegangan von mises maksimum $5,4586 \times 10^7$ N/m², Displacement maksimal 0,40364 mm, Temperatur maksimal 120,22 °C, safety factor 3,75562.

PENDAHULUAN

Pemasakan dengan cara konvensional pada proses pemasakan tahu memiliki beberapa kekurangan di antaranya dapat merusak kualitas dari kedelai jika tidak pandai dalam mengolahnya. Borosnya penggunaan bahan bakar sehingga hal ini dapat memengaruhi bengkaknya biaya produksi serta dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat pemotongan pohon terus menerus serta polusi hasil pembakaran kayu berlebih. Waktu yang diperlukan untuk proses perebusan juga terbilang lama, bahkan kapasitas produksi terbatas [1], [3].

Ketel uap dapat menjadi solusi untuk mengatasi permasalahan yang terjadi. Ketel uap merupakan salah satu alat perubah energi. Prinsip kerja ketel uap adalah untuk menghasilkan uap bertekanan dengan melakukan pemanasan terhadap air. Uap bertekanan yang dihasilkan ketel uap dapat dimanfaatkan untuk perebusan tahu. Penggunaan ketel uap ini bisa diletakkan di tempat yang terpisah dengan bubur tahu yang akan diolah sehingga tahu akan terbebas dari rasa sangit dari asap pembakaran [2], [4], [5].

Menurut Kondayya (2016) bagian terpenting dalam merancang ketel uap adalah desain dan analisis. Melakukan analisis struktural dan panas pada ketel uap menggunakan teknik elemen hingga dengan bantuan software ANSYS. Hasil dari penelitiannya didapatkan defleksi maksimum menginduksi 1,089 mm, tegangan maksimum sebesar 377,02 MPa dengan kekuatan yang diizinkan material senilai 524 MPa sehingga diperoleh faktor keamanan 1,389. Nilai faktor keamanan melebihi 1, maka desain sudah bisa dibilang aman [6].

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah pertama untuk merancang konstruksi ketel uap jenis vertical fire tube boiler yang menghasilkan uap jenuh pada temperatur 100°C-120°C serta menghasilkan uap sebanyak 280 kg/jam untuk digunakan pada proses pemanasan sistem uap pada industri tahu skala kecil hingga menengah. Yang kedua mengetahui model desain dan analisis statik ketel uap yang akan digunakan untuk pemanasan sistem uap pada industri tahu dengan menggunakan ANSYS. Yang ketiga merancang konstruksi ketel uap agar aman sesuai dengan standar American Society of Mechanical Engineers (ASME) yang diperuntukkan untuk proses pemanasan sistem uap pada industri tahu skala kecil hingga sedang [7]. Berbeda dengan penelitian Hari [7] yang merancang vertical fire tube boiler untuk industri tahu menggunakan software SolidWorks, penelitian ini menggunakan software ANSYS untuk analisis struktur serta menerapkan spesifikasi kapasitas dan tekanan operasi yang berbeda, dengan cakupan perhitungan konstruksi yang lebih menyeluruh mengacu pada standar ASME section IV.

Perancangan ketel uap harus sesuai standar yang ada agar ketel uap dapat beroperasi dengan aman dan efisien berikut hal yang harus diperhitungkan dalam perancangan [8]:

1. Badan Ketel Uap

Dalam perancangan badan ketel uap dibutuhkan ketebalan dan tekanan desain dari silinder shell, tube, pipa dan header harus ditentukan sesuai rumus berikut [9].

$$t_{db} = \frac{P \times R_{ib}}{SE - 0,6P} \quad (1)$$

Keterangan:

Simbol	Keterangan
P, S	Tekanan perancangan (Pa); kekuatan tekan maksimal material (Pa) – berlaku pada Pers. (1)–(6)
t_db, R_ib, E	Tebal dinding boiler (mm); radius dalam silinder (mm); efisiensi sambungan – Pers. (1)
t_p, L_P, D_op, B, P_p	Tebal & panjang pipa api (mm); diameter luar pipa (mm); koefisien faktor tebal pipa; tekanan yang diizinkan pipa (Pa) – Pers. (2)
t_t, p, C	Tebal plat tubesheet (mm); jarak maks. antar pipa api (mm); C = 2,7 (las <11 mm) / 2,8 (las >11 mm) – Pers. (3)
t_pn, R_in	Tebal pipa nosel (mm); radius dalam nosel (mm) – Pers. (4)
t_h, d_odb	Tebal head (mm); diameter luar dinding boiler (mm) – Pers. (5)
t_f, L_f, D_of	Tebal & panjang furnace (mm); diameter luar furnace (mm) – Pers. (6)

2. Pipa Api (Fire Tube)

$$P = \frac{D_{op}}{t_p} \quad (2)$$

Menentukan „L-P.-,D-op.. dan melakukan trial error dari asumsi „D-op.-,t-p.. sehingga nilai Pp dari persamaan „P-p.=,B-„,D-o.-t.. lebih dari dan mendekati nilai tekanan perancangan [9].

3. Tubesheet

$$t_t = \sqrt{\left(\frac{P}{CS}\right) \times \left(p^2 - \frac{\pi D_{op}^2}{4}\right)} \quad (3)$$

Pipa Nosel

Tebal pipa nosel yang akan digunakan untuk main valve, blowdown, safety valve, manometer, dan thermometer tidak boleh kurang dari 1,5 [10].

$$t_{pn} = \frac{P \times R_{in}}{SE - 0,6P} + 1 \quad (4)$$

Head

Dalam perancangan ketel uap ini menggunakan tipe ellipsoidal head maka rumus yang digunakan adalah sebagai berikut [9]:

$$t_h = \frac{P \times d_{odb}}{2SE - 0,2P} \quad (5)$$

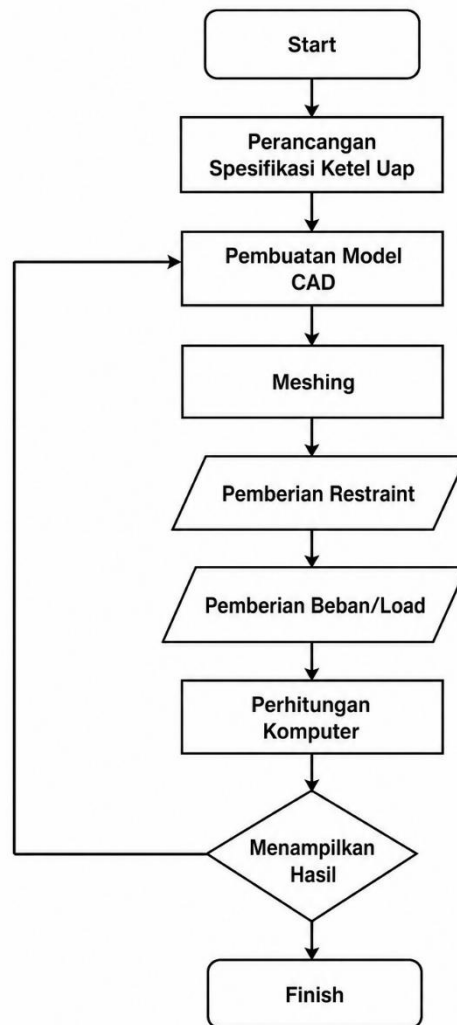
4. Furnace

$$P = \frac{D_{of}}{t_r} \quad (6)$$

Menentukan „*L-f.-Dof.* dan melakukan trial error dari asumsi „*D-of.-,t-f.*.. sehingga nilai *Pf* dari persamaan „*P-f.=,B-,D-o.-t.*.. lebih dari dan mendekati nilai tekanan perancangan [9]. Selain bentuk ketebalan ketel uap ada pula faktor penting dalam merancang ketel uap yaitu perhitungan fabrikasi dan pemilihan bahan [11]

METODE

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir

1. Perancangan Spesifikasi *Boiler*

Pemodelan didasarkan pada pengamatan dan perhitungan yang telah dilakukan untuk struktur ketel uap. Spesifikasi awal perancangan ketel uap sebagai berikut:

- Tipe ketel uap : *vertical fire tube boiler*
- Diameter dalam ketel uap : 1200 mm
- Diameter pipa api : 68 mm
- Tekanan perancangan : 6 bar
- Jenis hasil uap : Uap jenuh
- Temperatur operasi : 100 °C-120 °C
- Tekanan uap operasi : 2 bar
- Bahan bakar : Padat

Desain struktur ketel uap dibuat sesuai dengan material-material yang akan digunakan

serta menggunakan standar ASME.

2. Pembuatan Model CAD

Pembuatan model CAD menggunakan software Autodesk Inventor sesuai dengan desain yang telah ditentukan sebelumnya sesuai literatur. Dibagian ini pula material akan diinput. Pemasukan data material didalam ANSYS dapat diakses melalui Engineering Data [6].

3. Meshing

Disini model CAD akan dibagi-bagi ke dalam beberapa bagian sesuai prinsip Finite Element Method . Pada era modern ini metode elemen hingga digunakan untuk menguji suatu kekuatan maupun keamanan desain. Metode ini dilakukan dengan menganalisa suatu benda kerja yang dibagi dalam bagian-bagian kecil. pembagian dimaksudkan agar dapat membuat rekaan dari keseluruhan bagian [6].

4. Pemberian Beban

Beban yang bekerja pada struktur berupa beban tetap. Beban tetap yaitu beban dengan besar yang konstan dengan kedudukan yang tetap. Beban tetap yang diasumsikan adalah beban maksimal. Beban tetap di sini adalah beban dari air pengisian maksimal serta beban uap pada ketel uap [6].

5. Perhitungan Komputer

Komputasi dijalankan terhadap model yang sudah jadi dan dilengkapi dengan data material serta asumsi-asumsi yang menyertainya. Perhitungan yang dilakukan adalah stresses, deformasi, perpindahan panas, safety factor. Komputasi dilakukan dengan pendekatan metode elemen hingga [6].

6. Menampilkan Hasil

Setelah dilakukan perhitungan maka hasil ditampilkan oleh ANSYS. Data yang akan ditampilkan meliputi stresses, deformasi, perpindahan panas, safety factor. Jika hasil sudah sesuai standar yang ditetapkan maka proses selesai, namun jika hasil perhitungan tidak sesuai yang diharapkan maka proses diulang dari pembuatan model CAD [6].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Material yang akan digunakan pada perancangan adalah stainless steel 18Cr-8Ni tipe 304 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Karakteristik material *stainless steal 304*.

Paramater	Nilai
<i>Tensile Strength Tube</i>	515 Mpa
<i>Yield Strength</i>	205 Mpa
<i>Thermal Expansion</i>	$2,4 \times 10^{-6} ^\circ\text{C}$
<i>Modulus Young</i>	65×10^3 Mpa
<i>Poisson's Ratio</i>	0,31

1. Perhitungan Kebutuhan Industri Tahu dan Bahan Bakar

Jika memasak bubur kedelai dalam satu tempat sebanyak 75 liter bubur kedelai atau terdiri dari 50 kg air dan 25 kg kedelai kering. Dari data tersebut maka dapat diketahui massa uap air yang dibutuhkan dalam satu kali memasak hingga bubur kedelai mendidih dengan perhitungan berikut [12]:

$$50\text{kg} \times 4200\text{J/kg}^\circ\text{C} \times 70^\circ\text{C} = m_{\text{um}} \times 2100\text{J/kg}^\circ\text{C} \times 50^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{um}} = 140\text{kg}$$

Proses pemasakan direncanakan berlangsung 1 jam, kapasitas ketel uap sebesar:

$$\dot{m} = \frac{m_{\text{um}}}{t_{\text{masak}}} = \frac{140\text{ kg}}{0,5\text{ jam}}$$

$$\dot{m}=280 \text{ kg/jam}$$

Jadi kebutuhan uap air setiap 2 kali pemasakan adalah 280 kg uap air. Dari hal tersebut maka dapat diketahui berapa uap yang terbentuk pada waktu 30 menit pemanasan awal dan berapa air umpan yang harus tersedia, sebagai berikut:

$$280 \text{ kg/jam} \times (2756,2-419,06) \text{ kJ/kg} \times 0,5 \text{ jam} = m_{\text{air}} \times 4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times 90^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{air}} = 865,6 \text{ kg} = 865,6 \text{ L}$$

Dari massa air umpan yang telah didapat maka dapat dicari massa uap fire tube yang dihasilkan:

$$Q_{\text{air-uap}} = 865,6 \text{ kg} \times 4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times 90^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{air-uap}} = 327.196.800 \text{ J}$$

$$m_{\text{uap}} = \frac{Q_{\text{air-uap}}}{u}$$

$$m_{\text{uap}} = \frac{290.841.600 \text{ J}}{2,26 \times 10^6 \text{ J/kg}}$$

$$m_{\text{uap}} = 144,77 \text{ kg}$$

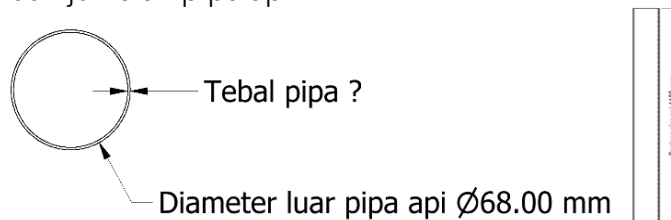
Bahan bakar yang digunakan untuk proses pemasakan adalah kayu bakar. Kebutuhan bahan bakar dapat diketahui dari perhitungan berikut:

$$m_{\text{uap}} = \frac{280 \text{ kg/jam} \times (2756,2 \text{ kJ/kg} - 419,06 \text{ kJ/kg})}{19,551 \text{ MJ/kg} \times 0,70}$$

$$M_{\text{bb}} = 47,8 \text{ kg/jam}$$

2. Perhitungan Konstruksi Ketel Uap

a. Menentukan tebal dan jumlah pipa api



Gambar 2. Pipa api

Untuk perancangan tekanan di 6 bar atau 88 lb/in². Perhitungan tebal pipa api mengacu tahapan penentuan tebal pipa boiler [9]

$$\frac{L}{D_o} = \frac{1100 \text{ mm}}{68 \text{ mm}} = 16,17$$

$$\text{Diasumsikan } \frac{D_o}{t} = 50$$

Dari tabel ASME Section II Part D 2010 Table G hal 791 dan ASME Section II Part D 2010 Table CS-2 hal 794 didapatkan [13]:

Tabel 2. ASME Section II Part D 2010 Asumsi 50

D_o/t	L/D_o	Faktor A	T (°C)	Faktor A	Faktor B (MPa)	Faktor B (lb/in ²)
50	12,000	$4,49 \times 10^{-4}$	150	$2,84 \times 10^{-4}$	27,90	4046,55
50	14,430	$4,46 \times 10^{-4}$	150	$4,46 \times 10^{-4}$	43,81	6354,10
50	16,000	$4,44 \times 10^{-4}$	150	$8,0 \times 10^{-4}$	78,60	11109,89

Dari Tabel 2 digunakan untuk mencari nilai P, dengan syarat $P > P_1$

$$\frac{D_o}{t} = 50$$

$$P = \frac{B}{D_o/t}$$

Pada ASME section IV 2004, HG-312.3 hal 10 [9]

$$P = \frac{6354,10 \text{ lb/in}^2}{50}$$

$$P = 127,08 \text{ lb/in}^2$$

$P > P_1$

$$127,08 \text{ lb/in}^2 > 88 \text{ lb/in}^2$$

Jadi $\frac{D_o}{t} = 50$ dapat digunakan

$$t = \frac{D_o}{50}$$

$$t = \frac{68 \text{ mm}}{50}$$

$$t = 1,36 \text{ mm}$$

Dari perhitungan didapatkan ketebalan sebesar 1,36 mm, maka ketebalan tube yang digunakan adalah 1,4 mm, dengan diameter luar *firetube* adalah 68 mm, sehingga diameter dalam *firetube* adalah 65,2 mm.

$$L_p = \frac{Q_{\text{boiler}}}{U \cdot \pi \cdot D_{ip} \Delta T_{lm}}$$

$$L_p = \frac{182290 \text{ J/s}}{32,134 \text{ W/m}^2\text{°K} \cdot 3,14 \cdot 61,4 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot 498,375 \text{ °K}}$$

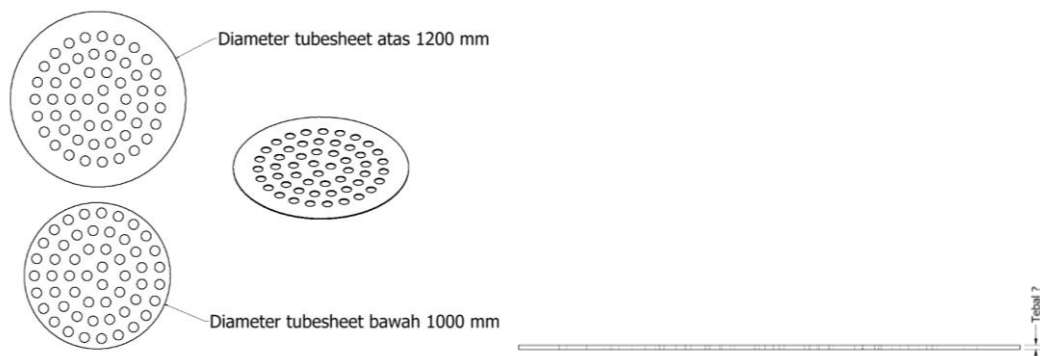
$$L_p = 59 \text{ mm}$$

Dari panjang pipa yang telah diketahui maka dapat didapatkan jumlah pipa sebagai berikut:

$$n_p = \frac{59 \text{ m}}{1,1 \text{ m}}$$

$$n_p = 53 \text{ pipa}$$

b. Menghitung ketebalan *tubesheet*



Gambar 3. Sketsa *tubesheet*

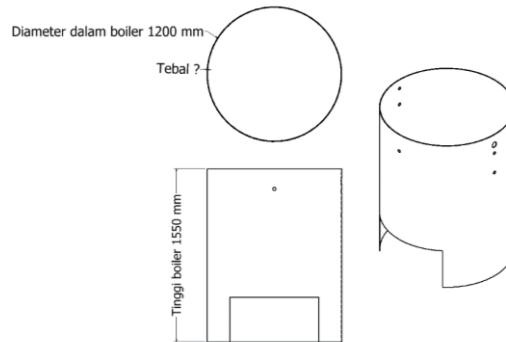
$$t_t = \sqrt{\left(\frac{P}{CS}\right) \times \left(p^2 - \frac{\pi D_{op}^2}{4}\right)}$$

$$t_t = \sqrt{\left(\frac{6 \times 10^5 \text{ Pa}}{2,7 \times 10^3 \times 10^6}\right) \times \left(120 \text{ mm}^2 - \frac{3,14 \times 65,2 \text{ mm}^2}{4}\right)}$$

$$t_t = 5,56 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan menunjukkan kebutuhan ketebalan tubesheet sebesar 5,56 mm, untuk memudahkan pada saat proses produksi ketebalan tubesheet dibuat 6 mm.

c. Perancangan dinding ketel uap



Gambar 4. Sketsa badan ketel uap

Ketel uap yang dirancang tergolong ke dalam steam boiler kapasitas kecil karena kurang dari 10 ton/jam dan bertekanan rendah yaitu kurang dari 10 atm, sehingga standar perancangan yang digunakan yaitu ASME section IV [9].

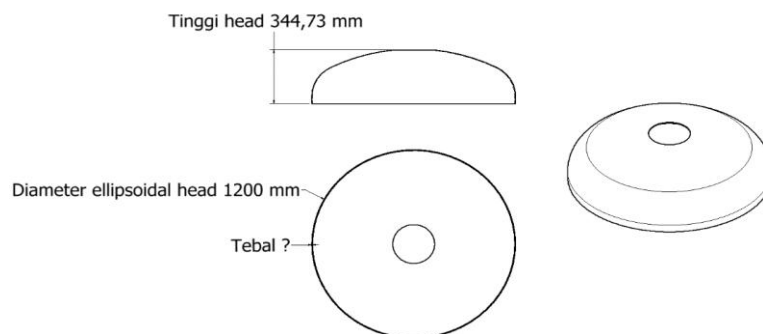
$$t_{db} = \frac{P \times R_{ib}}{SE - 0,6P}$$

$$t_{db} = \frac{6 \times 10^5 \text{ Pa} \times 600 \text{ mm}}{103 \times 10^6 \text{ Pa} \times 0,85 - 0,6 \times 6 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

$$t_{db} = 4,12 \text{ mm}$$

Dari perhitungan didapatkan tebal 4,12 mm, agar memudahkan pembuatan maka perancang membuat ketebalan badan boiler 4,5 mm. Dan didapatkan diameter luar badan ketel uap sebesar 1209 mm

d. Perancangan head



Gambar 5. Sketsa ellipsoidal head

$$t_h = \frac{P \times d_{odb}}{2SE - 0,2P}$$

$$t_h = \frac{6 \times 10^5 \text{ Pa} \times 1209 \text{ mm}}{2 \times 103 \times 10^6 \text{ Pa} \times 0,85 - 0,2 \times 6 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

$$t_h = 4,14 \text{ mm}$$

Ketebalan head minimal 4,14 mm, perancang menentukan 4,5 mm untuk memudahkan pembuatan.

e. Perancangan pipa nosel

Pipa nosel terdapat 2 ukuran yaitu 1 inchi dan 2 inchi. Perhitungan sebagai berikut:

$$t_{pn} = \frac{P \times R_{in}}{SE - 0,6P} + 1$$

$$t_{pn} = \frac{6 \times 10^5 \text{ Pa} \times 12,7 \text{ mm}}{103 \times 10^6 \text{ Pa} \times 0,85 - 0,6 \times 6 \times 10^5 \text{ Pa}} + 1$$

$$t_{pn} = 1,088 \text{ mm}$$

Nilai ketebalan dibawah 1,5 mm, menurut ASME 2013 section IV penulis dapat menentukan sendiri ketebalan dengan minimum tebal 1,5 mm [8]. Tabel 3 menunjukkan kegunaan dan ketebalan pipa nosel.

Tabel 3. Kegunaan dan tebal pipa nosel

Ukuran pipa	Kegunaan	Tebal
2 Inchi	<i>Main steam valve dan feed water valve</i>	2 mm
1 Inchi	<i>Water level gauge, safety valve, Pressure gauge dan thermometer</i>	2 mm

3. Perancangan Sambungan pada Ketel Uap

a. Las *butt joint*

Pengelasan *butt joint* memiliki tebal leher sesuai tabel

Tabel 4. Minimum ketebalan las *butt joint*

Ketebalan Plat (mm)	3-5	6-8	10-16	18-24	26-55	>58
Ukuran las minimum (mm)	3	5	6	10	14	20

Las *butt joint* digunakan pada dinding silinder/badan *boiler* dengan *ellipsoidal head* dan atas dapur dengan samping *tubesheet*. Badan *boiler* dan *ellipsoidal head* mempunyai ketebalan 4,5mm. Sehingga ukuran las minimal 5mm, sedangkan bagian *tubesheet* dengan dapur memiliki tebal las 5mm.

b. Las *lap joint*

Pengelasan *lap joint* memiliki skema seperti pada Gambar 6.

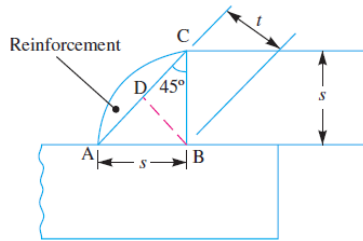
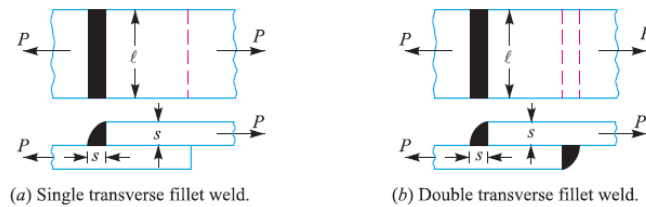


Fig. 10.7. Enlarged view of a fillet weld.



Gambar 6. Skema pengelasan *lap joint*

- t = Tebal leher (BD) $= s \times \sin 45^\circ = 0,707 \times s$
 s = Ukuran las $=$ Tebal plat (mm)
 l = Panjang las (mm)

Hasil sebagai berikut:

c. Perancangan elemen mesin mur dan baut

- Mur dan baut untuk nosel 2 inchi

$$P_e = P_{\text{baut}}$$

$$\frac{\pi}{4} D^2 P = \frac{\pi}{4} d_c^2 S n_{\text{baut}}$$

$$\frac{\pi}{4} (50,8 \text{ mm})^2 \times 6 \times 10^5 \text{ Pa} = \frac{\pi}{4} d_c^2 103 \times 10^6 \text{ Pa} \times 5$$

$$d = 1,73 \text{ mm}$$

Major diameter minimal 1,73 mm, perancang menggunakan M5

- Mur dan baut untuk nosel 1 inchi

$$P_e = P_{\text{baut}}$$

$$\frac{\pi}{4} D^2 P = \frac{\pi}{4} d_c^2 S n_{\text{baut}}$$

$$\frac{\pi}{4} (50,8 \text{ mm})^2 \times 6 \times 10^5 \text{ Pa} = \frac{\pi}{4} d_c^2 103 \times 10^6 \text{ Pa} \times 4$$

$$d = 0,78 \text{ mm}$$

Major diameter minimal 0,78 mm, perancang menggunakan M5

Hasil Perhitungan

Dari perhitungan diatas didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil perancangan ketel uap

No	Parameter	Hasil
1.	Badan ketel uap	Ø 1200 mm, tinggi 1550 mm, tebal 4,5 mm bahan SA-213/TP 304/ Tube
2.	Pipa api	Ø 68 mm, tinggi 1100 mm, tebal 1,4 mm bahan SA-312/TP 304/ Pipe
3.	Tubesheet atas	Ø 1200 mm, tebal 6 mm bahan SA-204/304/Plate
4.	Tubesheet bawah	Ø 1000 mm, tebal 6 mm bahan SA-204/304/Plate

No	Parameter	Hasil
5.	<i>Ellipsoidal head</i>	Ø 1200 mm, tinggi 344,73 mm, tebal 4,5 mm bahan SA-213/TP 304/ <i>Tube</i>
6	<i>Furnace</i>	Ø 1000 mm, tinggi 400 mm, tebal 4,5 mm bahan SA-213/TP 304/ <i>Tube</i>
7.	Pipa nosel <i>mainsteam</i>	Ø 50,8 mm, tinggi 75 mm, tebal 2 mm bahan SA-312/TP 304/ <i>Pipe</i>
8.	Pipa nosel <i>feed water</i>	Ø 50,8 mm, tinggi 75 mm, tebal 2 mm bahan SA-312/TP 304/ <i>Pipe</i>
9.	Pipa nosel <i>water level</i>	Ø 25,4 mm, tinggi 45 mm, tebal 2 mm bahan SA-312/TP 304/ <i>Pipe</i>
10.	Pipa nosel <i>safety valve</i>	Ø 25,4 mm, tinggi 45 mm, tebal 2 mm bahan SA-312/TP 304/ <i>Pipe</i>
11.	Pipa nosel <i>thermometer</i>	Ø 25,4 mm, tinggi 45 mm, tebal 2 mm bahan SA-312/TP 304/ <i>Pipe</i>
12.	Pipa nosel <i>manometer</i>	Ø 25,4 mm, tinggi 45 mm, tebal 2 mm bahan SA-312/TP 304/ <i>Pipe</i>
13.	<i>Joint Coefficient</i>	85 % (<i>Double welding</i>)



Gambar 7. Desain boiler.

Pemberian Beban Pada Struktur Ketel Uap

Pembebanan yang didapat untuk pengujian analisis statis ketel uap ini menggunakan beban dan tekanan dari air dan uap maksimal yang dapat ditampung ketel uap.

Tabel 6. Load ketel uap untuk analisis statis

No	Load	Besar Load	Bagian
1	Gravitasi	9,81 m/s	Seluruh bagian ketel uap
2	Temperatur	120 °C	Dinding, <i>Tubesheet</i> atas, <i>Tubesheet</i> bawah, Pipa api, <i>Furnace</i>
3	Beban air	8722 N	<i>Furnace</i> , <i>Tubesheet</i> bawah
4	Beban uap	1,626 N	<i>Tubesheet</i> atas
5	Tekanan air	588,52 N/m ²	Permukaan pipa api, Permukaan dalam ketel uap, Permukaan <i>furnace</i> , Permukaan <i>tubesheet</i> bawah
6	Tekanan uap	0,205 N/m ²	Permukaan pipa api, Permukaan dalam ketel uap, Permukaan <i>tubesheet</i> atas

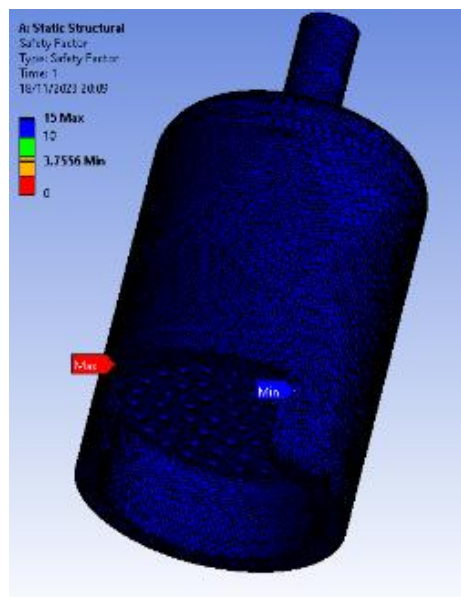
Hasil Analisis

Setelah dilakukan analisis menggunakan software Ansys, maka dapat diketahui bahwa tegangan dan temperatur maksimal pada struktur setelah diberikan load.

Tabel 7. Perbandingan sebelum dan setelah penyelarasan.

No	Karakteristik	Hasil Analisis
1	Tegangan Von Mises maksimum	$5,4586 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
2	Tegangan Von Mises minimum	$5,3848 \times 10^2 \text{ N/m}^2$
3	Displacement maksimal	0,40364 mm
4	Displacement minimum	0 mm
5	Temperatur maksimal	120,22 °C
6	Safety factor	3,75562

Validasi perancangan memastikan hasil rancangan mempunyai kualitas keamanan melalui analisis statis. Rancangan dinyatakan aman apabila nilai maksimal tegangan von mises lebih rendah dari nilai tensile strength material. Nilai tegangan Von Mises terbesar $5,4586 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ dan yield strength material sebesar $2,05 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ [2].



Gambar 7. Safety factor

Angka keamanan pada desain boiler dengan nilai maksimal adalah 3,75562. Variabel yang digunakan untuk mewakili strength adalah tensile strength. Pada formula atau rumus-rumus perancangan ASME sebelumnya telah ditentukan standar keamanan pada joint coefficient yaitu sebesar 85% (ASME Section IV, 2004). Sementara nilai minimal safety factor yang dimiliki pressure vessels adalah 3,5-5 untuk pressure vessels non bolting Sehingga dari data tersebut maka konstruksi boiler dapat dikatakan aman [14].

KESIMPULAN

Hasil perancangan konstruksi ketel uap jenis vertical fire tube dengan spesifikasi jenis uap jenuh, temperatur operasi 100 oC-120 oC, tekanan internal 6 bar, tekanan operasi 2 bar, berbahan bakar kayu, volume air maksimal 890 liter, berat kosong 545,07 kg. Hasil perhitungan konstruksi ketel uap sesuai standar perancangan ASME section IV didapatkan data badan Ø 1200 mm, tinggi 1550 mm, tebal 4,5 mm bahan SA-213/TP 304/ Tube, pipa api Ø 68 mm, tinggi 1100 mm, tebal 1,4 mm bahan SA-312/TP 304/ Pipe, head Ø 1200 mm, tinggi 344,73 mm, tebal 4,5 mm bahan SA-213/TP 304/ Tube. Serta memiliki tinggi total 2394,73 mm. Hasil analisis statis konstruksi ketel uap menggunakan software ANSYS didapatkan data tegangan stresses maksimal $5,4586 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, tegangan stresses minimal $5,3848 \times 10^2 \text{ N/m}^2$, displacement maksimal 0,40364 mm, displacement minimal 0 mm, temperatur maksimal 120,22 oC, Safety factory value 3,75562. Dari safety factor yang

didapatkan sesuai standar ASME section VIII div I mengatakan bahwa standar safety factor untuk bejana tekan adalah 3,5-5, maka desain yang telah dirancang dapat dikatakan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sudarman, Suwahyo, and Sunyoto, "Penerapan Ketel Uap (Steam Boiler) Pada Industri Pengolahan Tahu Untuk Meningkatkan Efisiensi Dan Kualitas Produk," *Saintekno*, vol. 13, no. 1, pp. 71-78, 2015.
- [2] M. Shofiudin and D. H. Al-janan, "Perancangan dan validasi horizontal water tube boiler industri kecil tahu menggunakan software solidworks," pp. 189-210, 2019.
- [3] R. Fitriana and I. P. Sari, "Peningkatan Kualitas Proses Produksi Tahu Menggunakan Metode FMEA dan FTA (Studi Kasus: Pabrik Tahu DN)," *J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 33, no. 3, pp. 277-289, 2023, doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2023.33.3.277.
- [4] S. Sakuri, H. Hartono, N. Supriyana, Y. Nurfaizal, and R. A. N. Al Hakim, "Rancangan dan penerapan teknologi boiler vertikal fire tube untuk perebusan bubur kedelai tahu Kalisari Banyumas," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 39-46, 2023, doi: 10.24127/trb.v12i1.2284.
- [5] J. Syalsabila, Hendradinata, F. Putri, Safe'i, Siproni, and I. HB, "Analisa Efisiensi Thermal Boiler Tipe Circulation Fluidized Bed di PLTU 3x10MW," *Mach. J. Teknol. Terap.*, vol. 4, no. 3, pp. 159-166, 2023.
- [6] D. Kodayya, "Structural and Thermal Analysis of a Boiler Using Finite Element Analysis," vol. 4, no. 2, pp. 1-5, 2016.
- [7] P. Hari, "Perancangan Dan Validasi Vertical Fire Tube Boiler Untuk Industri Tahu Menggunakan Software Solidworks," pp. 1-82, 2019.
- [8] ASME, "Rules for construction of heating boilers," *ASME Boil. Press. Vessel Code*, 2013.
- [9] ASME, "Rules for Construction of Heating Boilers Section IV." ASME, New York, 2004.
- [10] G. & E. N. Halley, *Rules for Construction of Heating Boilers*. New York: American Society of Mechanical Engineers, 2004.
- [11] L. Hakim and P. Subekti, "Rancang Bangun Ketel Uap Mini Dengan Pendekatan Standar Sni Berbahanbakar Cangkang Sawit," *Aptek*, vol. 7, no. 1, pp. 1-8, 2015.
- [12] D. A. Effendy, "Rancang bangun Boiler untuk proses pemanasan sistem uap pada industri tahu dengan menggunakan CATIA V5," pp. i-91, 2013.
- [13] ASME, "ASME Section ii Part D," vol. 1, 2010.
- [14] ASME Boiler and Pressure Vessel Code Div 1, "Section III, division 1: rules for construction of pressure vessels," *ASME Boil. Press. Vessel Code*, vol. 1, 2008.