

## PERANCANGAN *DRUM PROTOTYPE BOILER PIPA AIR* BERTENAGA LISTRIK KAPASITAS TEKANAN 4 BAR

Adi Syamsurizal<sup>1\*</sup>, Sumadi<sup>1</sup>, Budi Hartono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

\*e-mail: adisyamsurizal15@gmail.com

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang konstruksi *boiler* jenis *Horizontal water tube boiler* dengan mendapatkan rancangan ketel uap yang sesuai dengan kebutuhan industri kecil, maka perancangan konstruksi boiler ini menggunakan standar perancangan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*). Proses perancangan *water tube boiler* ini dilakukan dengan tahapan yaitu study literatur, desain, pemilihan material, perhitungan, perancangan dan penjelasan pada spesifikasi alat. Hasil yang di dapat pada *water tube boiler tipe horizontal* dengan tekanan perancangan 4 bar. Dimensi boiler berdiameter 250 mm, dengan panjang 500 mm dan didalamnya terdapat pipa air dengan diameter 20 mm dengan panjang pipa 400 mm yang berjumlah 25 buah. Boiler ini memanfaatkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan bahan bakarnya dan di dalam drum terdapat pipa-pipa, kapasitas untuk daya tampung pengisian air untuk boiler ini sebesar 37,4 liter. Material yang digunakan untuk kebutuhan plat dan pipa yaitu *stainless steel* ASTM 304L (A774). Dari hasil perhitungan boiler diperoleh tegangan yang terjadi dalam dinding *shell* sebesar 72,8 Mpa sedangkan untuk tegangan ijin sebesar 196 Mpa. Sehingga dari data tersebut tegangan yang terjadi di dalam shell lebih kecil di banding tegangan ijin maka konstruksi boiler dapat dikatakan aman.

**Kata kunci :** ASME; Boiler; Industry; Perancangan; Water Tube;

### ABSTRACT

*This study aims to design a horizontal water tube boiler type boiler construction by obtaining a steam boiler design that suits the needs of small industries, so the design of this boiler construction uses the ASME (American Society of Mechanical Engineers) design standard. The water tube boiler design process is carried out in stages, namely literature study, design, material selection, calculation, design and explanation of tool specifications. The results obtained on a horizontal type water tube boiler with a design pressure of 4 bar. The dimensions of the boiler are 250 mm in diameter, 500 mm in length and inside there are 25 water pipes with a diameter of 20 mm and a pipe length of 400 mm. This boiler utilizes electrical energy to meet its fuel needs and in the drum there are pipes, the capacity for water filling capacity for this boiler is 37.4 liters. The material used for the needs of plates and pipes is stainless steel ASTM 304L (A774). From the results of the boiler calculation, the stress that occurs in the shell wall is 72.8 Mpa while the allowable stress is 196 Mpa. So from these data the stress that occurs in the shell is smaller than the allowable stress, so the boiler construction can be said to be safe.*

**Keywords :** ASME; Boiler; Design; Industry; Water Tube;

### 1. PENDAHULUAN

Proses produksi ialah jantung dari suatu *industry*. salah satunya teknologi dalam bidang perancangan konversi tenaga yang menimbulkan banyak ide-ide kreatif dalam pemakaiannya pada dunia industri. Mesin - mesin konversi menjadi sumber tenaga yang hendak mengoperasikan bermacam mesin produksi dalam suatu industri. Salah satu mesin konversi tenaga yaitu boiler ataupun ketel uap. *Boiler* sanggup merubah air menjadi uap air yang bisa dimanfaatkan tekanan ataupun panas dari uap air. Industri kecil serta menengah banyak menggunakan *boiler* untuk

proses pengolahan serta pemanasan dengan menggunakan panas dari uap air yang dihasilkan. Penggunaan *boiler* pada dasarnya merupakan salah satu strategi untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi.

*Boiler* merupakan alat yang dimanfaatkan untuk menghasilkan uap air untuk sumber tenaga atau untuk proses pemanasan (Chattopadhyay, 2000). *Boiler* atau ketel uap merupakan sebuah alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan steam. Steam diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar (Yohana dan Askhabul yamin, 2012). *Boiler*

pada dasarnya terdiri dari bungkusan (*drum*) yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air.

Dari sebagian riset bahwa industri - industri kecil pangan masih banyak memakai perlengkapan simpel dalam proses produksinya. Konsumsi tenaga panas semacam uap pada industri tersebut banyak diperlukan. Sedangkan kebutuhan tersebut masih banyak memakai alat-alat simpel dimana biasanya boros tenaga, proses relatif lama serta tidak aman. Oleh karena itu perancangan bangun *boiler* ini diharapkan bisa di manfaatkan untuk kebutuhan industri kecil maupun menengah.

*Boiler* pipa air ini mempunyai konstruksi yang sederhana, mudah perawatannya, murah serta proses pembuatannya yang sederhana. *Boiler* direncanakan dalam mendatar (*horizontal*) sebab tidak memakan tempat, sehingga dapat ditempatkan pada ruangan yang relatif kecil. Kapasitas uap yang dihasilkan 300 kilogram/jam dalam bentuk uap basah. Skala kapasitas *boiler* ini mencakup kebutuhan industri kecil seperti industri tahu, industri pengolahan pangan produk buah manisan/asinan, serta sebagainya. (Rusnoto 2008: 32). Perancangan boiler ini menggunakan *software SolidWork*, yaitu salah satu perangkat lunak atau software yang sangat membantu dalam proses penyelesaian suatu desain 3D dalam melakukan perancangan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Waktu dan Tempat

Rencana penelitian dan waktu pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan April 2021 - September 2021 di lingkungan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Ibn Khaldun Bogor dan tempat untuk melaksanakan perancangan yaitu di Laboratorium Mekanika Struktur.

### 2.2 Alat dan Bahan

#### Alat

Adapun alat yang digunakan pada perancangan boiler riset pipa air brtenaga listrik kapasitas 4 bar dapat di lihat pada table berikut :

**Tabel 1.** Alat Perancangan *Prototype Boiler*

No.	Keterangan
1.	Komputer/Laptop
2.	<i>Software Solidwork</i>
3.	Calculator casio
4.	Mesin las GTAW ( <i>Gas Tungsten Arc Welding</i> )
5.	Gerinda
6.	Helm
7.	Palu
8.	Sikat Kawat ( <i>Wire Brush</i> )

#### Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada perancangan *boiler* pipa air brtenaga listrik kapasitas 4 bar dapat di lihat pada table berikut :

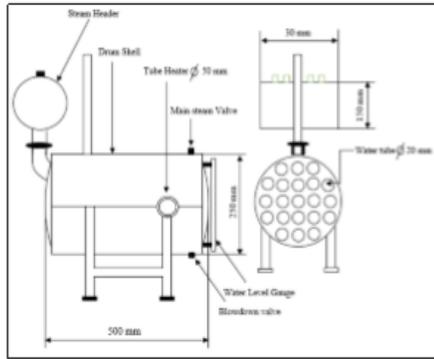
**Tabel 2.** Bahan Perancangan *Prototype Boiler*

No.	Keterangan
1.	Plat <i>Stainless Steel</i>
2.	Kawat Las (ER 308L)
3.	<i>Pressure Gauge</i>
4.	<i>Thermoter</i>
5.	<i>Water Level Gauge</i>
6.	<i>Safety Valve</i>
7.	<i>Main Steam Valve</i>
8.	<i>BlowDown Valve</i>
9.	<i>Heater</i>
10.	Pompa Air

### 2.3 Desain *Drum Protortype Boiler*

Desain *prototype Drum Boiler* ini merupakan langkah awal yang di lakukan sebelum merancang mesin boiler pipa air. Desain 3D *boiler* dengan beberapa instrumen penunjang seperti, *manometer*, *thermometer*, *pressure gauge*, *safety valve*, *Heater* jalur uap-air dan tempat penampungan air. Desain ini juga untuk mempermudah pengerjaan dalam proses perancangan mesin *boiler*.

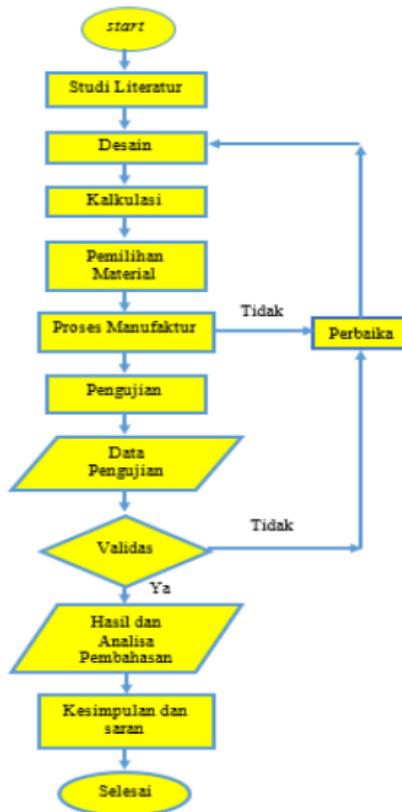
Referensi untuk perancangan boiler ini mengikuti kutipan dari standar, *ASME Section IV Boiler and Pressure Vessel*, *Pressure Vessel Handbook* dan lainnya. Tujuan studi Pustaka ini adalah terkumpulnya rumusan teori yang terkait dengan perumusan masalah, serta menjadikan dasar untuk perhitungan.



Gambar 1. Desain Boiler

2.4 Diagram Alir

Diagram alir penelitian di jelaskan seperti di jelaskan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain Drum Prototype Boiler

Desain drum prototype boiler yang telah didapat merupakan hasil dari pengumpulan data dari literatur, survei lapangan dan perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan. Berikut merupakan spesifikasi

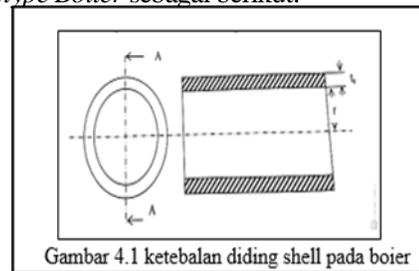
perancangan kontuksi dari drum prototype boiler didapatkan data sebagai berikut:

1. Tipe boiler : Horizontal
2. Diameter dalam badan boiler : 250 mm
3. Panjang badan boiler : 500 mm
4. Diameter pipa air : 20 mm
5. Jumlah pipa : 25 Batang
6. Panjang pipa air : 400 mm
7. Tekanan perancangan : 4 bar
8. Jenis uap : Uap jenuh
9. Temperatur operasi : 135°C - 200°C

Pada tahap ini perancangan kontruksi boiler menyesuaikan dengan ukuran-ukuran yang pasti dengan dimensi yang ada pada setiap bahan dan kompone yang ada pada kontruksi boiler.

3.2 Perhitungan Ketebalan Dinding (Shell) Drum Prototype Boiler

Boiler yang direncanakan tergolong ke dalam steam boiler kapasitas kecil digunakan pada industri kecil menengah selaku sistem perlengkapan proses pengolahan, pada standar perancangan untuk drum yang digunakan standar ASME. Adapun untuk perhitungan tebal minimum dinding (shell) dari Drum Prototype Boiler sebagai berikut:



Gambar 4.1 ketebalan dinding shell pada boiler

Gambar 3. Ketebalan Dinding Shell Boiler

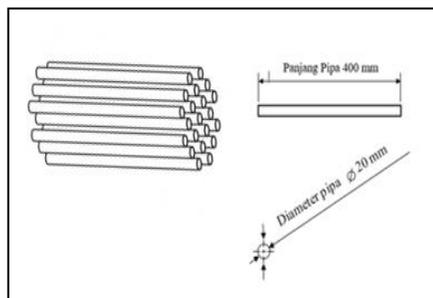
$$\begin{aligned}
 t_s &= \frac{PR}{SE - 0,6 P} \\
 &= \frac{58 \text{ lb/in}^2 \times 4,29 \text{ in}}{(15954 \text{ lb/in}^2 \times 0,85) - (0,6 \times 58 \text{ lb/in}^2)} \\
 &= \frac{248,82 \text{ lb/in}^2}{(13560,9 \text{ lb/in}^2 - 34,8 \text{ lb/in}^2)} \\
 t_s &= \frac{248,82 \text{ lb/in}}{13526,1 \text{ lb/in}^2} \\
 t_s &= 0,018 \text{ in} \Rightarrow 0,457 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan kebutuhan ketebalan minimum dinding (*shell*)  $t_s=0,018$  in (0,457 mm), untuk memudahkan pada saat proses produksi ketebalan dinding (*shell*) diambil 4 mm (0,157). Maka dengan ketebalan minimum shell yang telah di ketahui dapat menahan tekanan sebesar :

$$\begin{aligned}
 P_s &= \frac{SEt}{R + 0,6 t} \\
 &= \frac{15954 \text{ lb/in}^2 \times 0,85 \times 0,157 \text{ in}}{4,29 \text{ in} + (0,6 \times 0,157 \text{ in})} \\
 &= \frac{2129,06 \text{ lb/in}^2}{4,29 \text{ in} + 0,0942 \text{ in}} \\
 &= \frac{2129,06 \text{ lb/in}^2}{4,3842 \text{ in}} \\
 P_s &= 485,62 \text{ lb/in}^2 \Rightarrow 3,34 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

**3.3 Perhitungan Water Tube**

*Water tube* yang dirancang harus dapat menahan *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP) sebesar 58 lb/in. Material *water tube* menggunakan *Stainless Steel 304L*. *Water tube* pada boiler ini merupakan part yang mendapatkan *external pressure*. Pada perhitungan ketebalan tube direncanakan maka di lakukan perhitungan untuk mendapatkan ketebalan yang sesuai dengan rumus sebagai berikut :



Gambar 4. Pipa Air

$$\begin{aligned}
 t_p &= \frac{PR}{SE - 0,6 p} \\
 &= \frac{58 \text{ lb/in}^2 \times 0,39 \text{ mm}}{(13488 \text{ lb/in}^2 \times 0,85) - (0,6 \times 58 \text{ lb/in}^2)} \\
 &= \frac{22,62 \text{ lb/in}^2}{(11464,8 \text{ lb/in}^2) - (34,8 \text{ lb/in}^2)} \\
 &= \frac{22,62 \text{ lb/in}}{11430 \text{ lb/in}^2} \\
 t_p &= 0,0019 \text{ in} \Rightarrow 0,048 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi tebal minimum pipa air yang dibutuhkan adalah  $t_p = 0,0019$  in (0,048 mm) mampu menahan

tekanan sebesar 58 lb/in<sup>2</sup>. Untuk memudahkan pada saat proses produksi. maka dengan ketebalan 2 mm mampu menahan tekanan sebesar:

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{SEt}{D + 0,2 t} \\
 &= \frac{14199,19 \text{ lb/in}^2 \times 0,85 \times 0,0787 \text{ in}}{0,78 \text{ in} + (0,2 \times 0,0787 \text{ in})} \\
 &= \frac{949,85 \text{ lb/in}^2}{0,78 \text{ in} + 0,00038 \text{ in}} \\
 &= \frac{949,85 \text{ lb/in}^2}{0,79574 \text{ in}} \\
 P &= 1193,67 \text{ lb/in}^2 \Rightarrow 8,23 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

**3.4 Perhitungan Tubesheet**

*Tubesheet* adalah tempat untuk menopang pipa-pipa air pada boiler. *Tubesheet* merupakan bagian yang mendapatkan tekanan yang paling besar. Oleh karena itu *tubesheet* harus dapat menahan *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP) yang direncanakan. Material *tubesheet* menggunakan 304L merupakan material *Stainless Steel*. Perhitungan di lakukan dengan ketentuan ASME. Berikut merupakan langkah-langkah dan rumus perhitungan dari *Tubesheet* sebagai berikut:

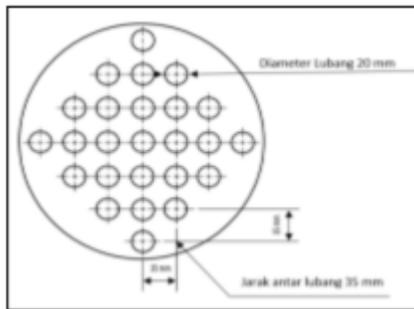
$$\begin{aligned}
 t &= \sqrt{\left(\frac{P}{CS}\right)\left(p^2 - \frac{\pi D^2}{4}\right)} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{58 \text{ lb/in}^2}{2,7 \times 15954 \text{ lb/in}^2}\right) \times \left((1,377 \text{ in})^2 - \frac{3,14 \times (0,78 \text{ in})^2}{4}\right)} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{58 \text{ lb/in}^2}{43075,8}\right) \times \left((1,89 \text{ in}) - \frac{1,91 \text{ in}}{4}\right)} \\
 &= \sqrt{0,0013 \times (1,89 \text{ in} - 0,48 \text{ in})} \\
 &= \sqrt{0,0013 \times 1,41} \\
 &= \sqrt{0,0018} \\
 &= 0,042 \text{ in} \Rightarrow 1,06 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan kebutuhan ketebalan *tubesheet* sebesar 0,042 in (1,06 mm), Maka untuk memudahkan pada saat proses produksi ketebalan *tubesheet* yang direncanakan diambil 4 mm atau 0,157 in. Maka dengan ketebalan plat 4 mm dan *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP) 58 lb/in<sup>2</sup> dapat menahan tekanan sebesar :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{CSt^2}{p^2 - \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} \\
 &= \frac{2,7 \times 15954 \text{ lb/in}^2 \times (0,157 \text{ in})^2}{(1,377 \text{ in})^2 - \left(\frac{3,14 \times (0,78)^2}{4}\right)} \\
 &= \frac{1061,77 \text{ lb/in}^2}{1,89 \text{ in} - 0,48 \text{ in}} \\
 &= 1061,77 \text{ lb/in}^2 \Rightarrow 7,32 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

**3.5 Perhitungan Efisiensi Ligamen**

Ligament adalah jarak plat antar lubang pipa pada *tubesheet*. Ligament menggunakan pola jarak yang sama pada setiap baris. Efisiensi ligament ditentukan dengan menggunakan rumus:



**Gambar 5.** Liamen Boiler

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{P - D}{P} \\
 E &= \frac{1,377 \text{ in} - 0,79 \text{ in}}{1,377 \text{ in}} \\
 E &= \frac{0,59 \text{ in}}{1,38 \text{ in}} \\
 E &= 0,43 \Rightarrow 43\%
 \end{aligned}$$

Jadi efisiensi ligament adalah 43%. Efisiensi ligament dipengaruhi oleh besarnya diameter pipa dan juga jarak antar pipa air. Pertimbangan perancangan ligament pada perancangan ini yaitu dengan diameter pipa yang relatif kecil yaitu 20 mm dan berjumlah 25, maka akan mendapatkan permukaan penghasil panas yang lebih luas sehingga api yang ada disekitar pipa air nanti dapat mendidihka air yagn ada pada pipa.

**3.6 Perhitungan tegangan boiler pada dua pelana (two saddle)**

Berikut persamaan untuk mendapatkan nilai Q atau berat beban pada satu pelana (*saddle*) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) L \\
 V &= 0,785 \times (260^2 - 250^2) \times 0,4 \\
 V &= 0,785 \times (5100) \times 0,4 \\
 V &= 4003,5 \times 0,4 \\
 V &= 1601,4 \text{ kg} \Rightarrow 1,60 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai V yaitu sebesar 1,60 m<sup>3</sup> maka akan di cari nilai dari massa jenis (*m*) dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 m &= V \times \text{berat jenis baja} \\
 &= 1,60 \times 7,85 \\
 &= 12,56 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka didapatkan nilai dari massa jenis (*m*) yaitu sebesar 12,56 kg, selanjutnya akan dicari nilai berat beban pada boiler (*Q*) dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{Total} &= B_{baja} + B_{air} + B_{pipa} + B_{header} \\
 &= 12,56 + 37,4 + 37,5 + 7,64 \\
 &= 95,1 \text{ kg} \\
 \frac{Q_{Total}}{2} &= \frac{95,1}{2} \\
 &= 47,55 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jadi nila dari berat beban pada boiler yaitu Q = 47,55 kg

**3.7 Tegangan lentur memanjang (Longitudinal bending stress)**

Tegangan yang menghitung pada *saddle* dan midspan bejana dengan arah posisi boiler *longitudinal bending stress*, maka akan terjadinya suatu tegangan. Untuk menghitung tegangan lentur memanjang pada *boiler* dapat menggunkana rumus dengan persamaan sebagai berikut :

a. Tegangan (*stress*) pada pelana (*saddle*) :

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{QA \left( 1 - \frac{1 - \frac{A}{L} + \frac{R^2 - H^2}{2AL}}{1 + \frac{4H}{3L}} \right)}{K_1 R^2 t_s} \\
 S_1 &= \frac{47,55 \times 80 \left( 1 - \frac{1 - \frac{80}{500} + \frac{125^2 - 50^2}{2 \times 80 \times 500}}{1 + \frac{4 \times 50}{3 \times 500}} \right)}{0,335 \times 125^2 \times 4} \\
 S_1 &= \frac{3804 \left( 1 - \frac{1 - 0,16 + 0,16}{1 + 0,13} \right)}{20937,5}
 \end{aligned}$$

$$S_1 = \frac{3804 \left(1 - \frac{1}{2,3}\right)}{20937,5}$$

$$S_1 = \frac{3804 (1 - 0,43)}{20937,5}$$

$$S_1 = \frac{3804 (0,57)}{20937,5}$$

$$S_1 = \frac{2168,3}{20937,5}$$

$$S_1 = 0,104 \text{ Mpa}$$

b. Tegangan (stress) ditengah (midspan) :

$$S_1 = \pm \frac{\frac{QL}{4} \left( \frac{1 + 2 \frac{A}{L} + \frac{R^2 - H^2}{L^2}}{1 + \frac{4H}{3L}} - \frac{4}{AL} \right)}{\pi R^2 t_s}$$

$$S_1 = \frac{\frac{47,55 \times 500}{4} \left( \frac{1 + 2 \frac{80}{500} + \frac{125^2 - 50^2}{500^2}}{1 + \frac{4 \times 50}{3 \times 500}} - \frac{4}{80 \times 500} \right)}{3,14 \times 125^2 \times 4}$$

$$S_1 = \frac{5943 \left( \frac{3(0,16) + 0,05}{1 + 0,14} - 0,0001 \right)}{196250}$$

$$S_1 = \frac{5943 \left( \frac{0,53}{1,14} - 0,0001 \right)}{196250}$$

$$S_1 = \frac{5943 (0,46)}{196250}$$

$$S_1 = \frac{2733,78}{196250}$$

$$S_1 = 0,014 \text{ Mpa}$$

### 3.8 Tegangan (stress) Tangensial (Tangential) shear

Tegangan melingkar dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_2 = \frac{K_2 Q}{R t_s} = \left( \frac{L - 2A}{L + \frac{3}{4} H} \right)$$

$$S_2 = \frac{1,171 \times 47,55}{125 \times 4} = \left( \frac{500 - 2 \times 80}{500 + \frac{4}{3} \times 50} \right)$$

$$S_2 = \frac{55,68}{500} = \left( \frac{340}{566,7} \right)$$

$$S_2 = 0,11 (0,6)$$

$$S_2 = 0,066 \text{ Mpa}$$

### 3.9 Tegangan melingkar (circumferential stress)

Tegangan melingkar dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

a. Tegangan di tanduk pelana (horn of saddle)

$$S_4 = \frac{Q}{4 t_s (b + 1,56 \sqrt{R t_s})} - \frac{3 K_6 Q}{2 t_s^2}$$

$$S_4 = \frac{47,55}{4 \times 4 (50 + 1,56 \sqrt{125 \times 4})} - \frac{3 \times 0,036 \times 47,55}{2 \times 4^2}$$

$$S_4 = \frac{47,55}{1358,12} - \frac{5,14}{32}$$

$$S_4 = 0,035 - 0,16$$

$$S_4 = -0,125 \text{ Mpa}$$

b. Tegangan dibagian bawah dinding (stress at bottom of shell)

$$S_5 = \frac{K_7 Q}{t_s (b + 1,56 \sqrt{R t_s})}$$

$$S_5 = \frac{0,760 \times 47,55}{4 (50 + 1,56 \sqrt{125 \times 4})}$$

$$S_5 = \frac{36,13}{339,53}$$

$$S_5 = 0,106 \text{ Mpa}$$

### 3.10 Analisa Tegangan Ijin pada Dinding (shell)

Faktor yang perlu di perhatikan dalam kontruksi boiler adalah faktor keamanan, sesuai dengan tujuan penelitian yaitu menghasilkan kontruksi boiler aman sesuai dengan standar aASME (American Society Of Mechanical Engineers). Adapun bahan yang di gunakan stainless steel 304 yang dimana data hasil uji dapat di lihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Hasil Uji Tarik

Kode Sample Sample Code	Dimensi Ukur Size Dimension (mm)	Luas Area (mm <sup>2</sup> )	Panjang Ukur Gauge Length (mm)	Kuat Tarik Tensile Stress (Kg/mm <sup>2</sup> ) (MPa)	Batas Luluh Yield Stress (Kg/mm <sup>2</sup> ) (MPa)
Stainless Steel	t = 3.85 w = 12.30	47.36	50	65 [637]**	40 [392]**

Adapun untuk perhitungan tegangan tarik ijin dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_r = \text{Kuat Tarik} = 637 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{yield} = \text{Batas Lulus} = 392 \text{ Mpa}$$

$$Sf = \text{Kuat Tarik} = 637 \text{ Mpa}$$

Ditanya: Tegangan ijin =.....?

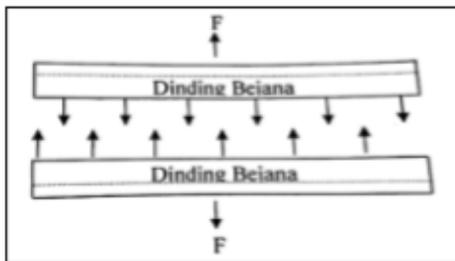
Penyelesaian:

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_{yield}}{2}$$

$$\sigma_{ijin} = \frac{392}{2} = 196 \text{ Mpa}$$

### 3.11 Analisa Gaya yang membelah dinding (shell) bejana

Pada tahap kali ini terdapat gaya yang bekerjapada dinding sheel sehingga dengan adanya gaya maka mengakibatkan tekanan dari dalam dinding shell (internal pressure), oleh karena itu di lakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya gaya dan tegangan yang yang terjadi dalam dinding shell, untuk menghitungnya dapat di lakukan dengan persamaan seperti berikut ini:



Gambar 6. Membelah Dinding Shell

1. Gaya yang membelah dinding (shell) bejana (F) :

$$F = L \times D_i \times P_i$$

$$F = (500 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} \times 0,4 \text{ MPa})$$

$$F = 50.000 \text{ N}$$

2. Gaya sebesar (F) yang ditahan oleh dinding (shell) bejana, dengan luas irisan (A1) adalah :

$$A_1 = \{ (2 \times L \times t_s) + 2 \times t_s (D_i + 2 \times t_s) \}$$

$$A_1 = \{ (2 \times 500 \times 0,457) + 2 \times 0,457 (250 + 2 \times 0,457) \}$$

$$A_1 = 686 \text{ mm}$$

Dengan terjadinya tegangan didalam dinding bejana (shell) sebesar  $\sigma_s$  yaitu:

$$A_1 \times \sigma_s = L \times D_i \times P_i$$

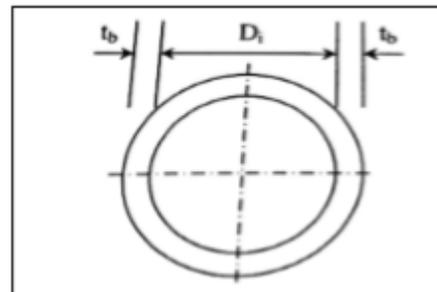
$$\sigma_s = \frac{F}{A_1}$$

$$\sigma_s = \frac{50.000}{686} = 72,8 \text{ MPa}$$

Tegangan yang terjadi di dalam dinding (shell) berdasarkan analisa dengan data yang ada pada bejana , maka hasil yang di dapat yaitu:  $\sigma_s = 72,8$  MPa, maka dapat di ketahui tegangan yang terjadi di dalam dinding shell lebih kecil di banding tekanan ijin 196 Mpa. Oleh karena itu badan boiler di nyatakan aman untuk menahan tegangan yang terjadi di dalam dinding shell.

### 3.12 Analisa Kekuatan Pelat Kemungkinan Belah

Pada bagian analisa kekuatan pelat ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui Kekuatan pelat.



Gambar 7. Ketebalan Pelat Kemungkinan Belah

$$t_b = \frac{P_i \times D_i}{2 \left( 1 + \frac{D_i}{L} \right) S}$$

$$t_b = \frac{0,4 \times 250}{2 \left( 1 + \frac{250}{500} \right) 115}$$

$$t_b = \frac{100}{345} = 0,29 \text{ mm}$$

Berdasarkan Analisa dan perhitungan diatas maka didapatkan hasil yaitu :  $t_s = 0,457 \text{ mm} > t_b = 0,29 \text{ mm}$ , sehingga dapat di simpulkan bahwa ketebalan dinding (shell) lebih tebal dibandingkan dengan ketebalan pelat kemungkinan belah, oleh karena itu dinding (shell) bejana tersebut mampu menahan tekanan yang terdapat pada bejana tekan dan dinyatakan aman.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap ini perancangan kontruksi boiler menyesuaikan dengan ukuran-ukuran yang pasti dengan dimensi yang ada pada setiap bahan dan kompone yang ada pada kontruksi boiler.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang di dapatkan dari penelitian ini adalah

- Hasil perhitungan drum prototype boiler menggunakan STANDAR ASME di dapat
  - Badan boiler : Ø 250 mm, panjang 500 mm, tebal plat 4 mm, dengan bahan *Stainless Steel* ASTM 304 (A774), mampu menahan tekanan sebesar 3,34 Mpa
  - Pipa air (Water Tube) : Ø 20 mm, Panjang 400 mm, tebal Plate 2 mm dengan bahan *Stainless Steel* ASTM 304 (A774), mampu menahan tekanan sebesar 7,45 Mpa
  - Tube sheet* : Ø 20 mm, tebal Plat 4 mm dengan bahan *Stainless Steel* ASTM 304 (A774), mampu menahan tekanan sebesar 7,32 MPa
  - Efisiensi ligament adalah sebesar 43%
  - Joint Coefficient* : 85 %
- Longitudinal bending stress* (tegangan lentur memanjang)
  - Tegangan (*stress*) pada pelana (*saddle*) adalah sebesar = 0,104 Mpa
  - Tegangan (*stress*) ditengah (*midspan*) adalah sebesar = 0, 014 Mpa
- Tegangan (*stress*) Tangensial (*Tangential*) shear adalah sebesar 0,066
- Tegangan melingkar (*circumferential stress*)
  - Tegangan di tanduk pelana (*horn of saddle*) adalah sebesar -0,125 Mpa
  - Tegangan dibagian bawah dinding (*stress at bottom of shell*) adalah sebesar 0,106 Mpa
- Analisa tegangan izin pada dinding (*shell*) adalah sebesar 196 Mpa.
- Analisa Gaya yang membelah dinding (*shell*) adalah sebesar 686 mm<sup>2</sup> dengan tegangan yang bekerja di dalam *shell* = 72,8 Mpa.
- Analisa Kekuatan Pelat Kemungkinan Belah adalah sebesar 0,29 mm.

Dari data yang telah diperoleh pada analisa dan perhitungan untuk boiler yang sudah di rancang telah memenuhi standar ASME (*American Society Of Mechanical Engineers*) sehingga dapat di nyatakan aman dan dapat di gunakan.

### Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah:

- Untuk *Pressure switch* harus memberikan tekan diatas tekanan yang telah di tentukan

agar kontrol terhadap pompa air berjalan dengan maksimal

### DAFTAR PUSTAKA

- Agung Prabowo, Sigit, 2010, *Easy To Use Solidworks 2009*, Penerbit Andi Publisher, Yogyakarta.
- ASME. 2004. *Boiler & Pressure Vessel Code IV, Rules For Construction fo Heating Boiler*. New York : Three Park Avenue
- Chattopadhyay P. 2001. *Boiler Operation Engineering Questions and Answers* (second edition). New Delhi: Tata McGraw-Hill
- Desai C. S. 1996. *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Translated by Wirjosoedirdjo S. J. 1979. Jakarta : Penerbit Erlangga
- E. F. Megyesy, *Pressure Vessel Handbook Thirteenth Edition*, Tulsa, Oklahoma: Pressure Vessel Publishing, Inc, 1972-2004.
- Giasecke, Frederick E., et al. 2001. *Gambar Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Harsokoemo, D. 1999. *Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk)*. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Tinggi. Jakarta.
- Muin, Syamsir A. 1988. *Pesawat- Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Raharjo, W. D dan Karnowo. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Universitas Negeri Semarang Press: Semarang
- Rusnoto. 2008. *Perancangan Ketel Uap Tekanan 6 Atm dengan Bahan Bakar Kayu untuk Industri Sederhana*. Oseatek, Edisi 4. Hal. 32-35.
- Singer F.L dan A. Pytel. 1985. *Kekuatan Bahan (Teori Kokoh – Strenght of Materials)*. Jakarta : Erlangga
- Tatasudira and Shinroku Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- 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.