

DESAIN PROTOTIPE BEJANA TEKAN (*PRESSURE VESSEL*) ALAT PEMBUAT TELUR ASIN DENGAN *MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE (MAWP) 5 BAR*

Muhamad Adam Maulana¹, Sumadi¹, Budi Hartono¹

¹Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor
e-mail: madammaulana27@gmail.com

ABSTRAK

Bejana tekan adalah suatu wadah yang digunakan untuk penyimpanan fluida baik gas maupun cairan yang bertekanan. Perancangan prototipe bejana tekan *horizontal* ini dapat membantu produksi telur asin agar mempercepat dan mempermudah pada saat proses pengolahan. Tujuan dari alat penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai ketebalan pelat bejana tekan serta mengetahui kekuatan konstruksi Bejana Tekan (*Pressure Vessel*) pada posisi horizontal yang berjudul “Desain Prototipe Bejana Tekan (*Pressure Vessel*) alat pembuat telur asin dengan *Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) 5 Bar*”. Dalam perhitungan dan perancangan menggunakan formula dari standar *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Division 1*. Perancangan *pressure vessel* menggunakan material untuk dinding (*shell*) bejana, kepala (*head*) bejana dan *nozzle ASTM 304L (A774)* mempunyai nilai tegangan izin material *vessel S = 115 MPa*. Dengan tekanan perancangan = 0,5 MPa, dimensi panjang bejana tekan = 400 mm, tebal pelat *shell* dan *head* = 4 mm, tebal *nozzle* = 4 mm, diameter dalam (D_i) = 250 mm. Dan dari perhitungan *ASME Section VIII Division I* ketebalan *shell* yang didapat untuk bejana tersebut adalah 0,6778 mm, ketebalan dinding kepala (*head*) bagian sisi kanan dan kiri didapat 0,6760 mm, dan ketebalan *nozzle* yang didapat adalah 0,2726. *Pressure Vessel* dinyatakan aman karena tekanan kerja yang terjadi pada saat pengujian adalah 0,5 MPa < 2,90 MPa tekanan kerja maksimum yang di iijinkan.

Kata kunci : *Bejana tekan; Head; Nozzle; Prototipe; Shell; Tebal;*

ABSTRACT

Pressure vessel is a container used for fluid storage, both gas and liquid under pressure. The design of this horizontal pressure vessel prototype can help the production of salted eggs to speed up and simplify the processing process. The purpose of this research tool is to determine the value of the pressure vessel plate thickness and to determine the construction strength of the Pressure Vessel in a horizontal position entitled "Pressure Vessel Prototype Design for salted egg maker with Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) 5 Bar". In the calculation and design using the formula from the standard ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Division 1. The design of the pressure vessel uses material for the vessel wall, the vessel head and the ASTM 304L (A774) nozzle having the allowable stress value of the vessel material $S = 115 \text{ MPa}$. With design pressure = 0.5 MPa, pressure vessel length = 400 mm, shell and head plate thickness = 4 mm, nozzle thickness = 4 mm, inside diameter (D_i) = 250 mm. And from the calculation of ASME Section VIII Division I the shell thickness obtained for the vessel is 0.6778 mm, the head wall thickness on the right and left sides is 0.6760 mm, and the nozzle thickness obtained is 0.2726. Pressure Vessel is declared safe because the working pressure that occurs during the test is 0.5 MPa < 2.90 MPa the maximum allowable working pressure.

Keywords : *Pressure Vessel; Head; Nozzle; Prototype; Shell; Thickness;*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan zaman yang semakin maju oleh ilmu pengetahuan dan teknologi menuntut manusia pada zaman ini harus semakin aktif menggunakan produk-produk hasil teknologi. Didalam dunia industri terutama dalam bidang fluida bertekanan, pengolahannya membutuhkan

perhatian lebih dari peran alat didalamnya karena fluida merupakan senyawa yang kompleks [1]. Bejana bertekanan berfungsi sebagai untuk memproses dan menyimpan material fluida sehingga dapat mengkonversikan fluida yang setelahnya dapat digunakan sesuai kebutuhan dan berdasarkan buku panduan *American Society Mechanical Engineering (ASME) CODE Section*

VIII Division 1.

Bejana tekan adalah suatu wadah yang digunakan untuk penyimpanan fluida baik gas maupun cairan yang bertekanan. Bejana tekan memiliki tekanan pada bagian *internal* akibat tingginya suhu sehingga adanya perbedaan tekanan antara *internal* dengan luar bejana yang menghasilkan tekanan *eksternal*. Selain akibat perbedaan tekanan dengan *internal*, bejana bertekanan juga sangat sensitif terhadap keadaan dari luar seperti korosi, angin dan gempa yang merupakan beberapa faktor yang sangat berpengaruh dalam perencanaan pembuatan dan pemasangan bejana tekan. Tingginya tekanan dan temperatur mengakibatkan perancangan desain bejana tekan sangat penting harus cermat dan hati-hati agar tidak terjadi kecelakaan (tabung meledak) dan kegagalan produk. Bejana tekan jenis ini banyak digunakan didalam dunia industri-industri seperti *power plant*, eksploitasi migas, proses pengilangan minyak dan banyak lagi industri yang menggunakan bejana tekan sebagai salah satu alat penampung tekanan, adapun tipe posisi pada bejana tekan yaitu *vertical* dan *horizontal*. Bejana tekan *horizontal* banyak ditemukan dan digunakan pada ladang sumur minyak dan berbagai lainnya didaratan karena mempunyai kapasitas produksi yang lebih besar.

Telur asin adalah sebuah makanan tradisional masyarakat Indonesia dan paling digemari banyak orang, yang tentunya tak asing lagi bagi pecinta kuliner, rasanya berbagai macam, mulai dari telur asin rasa bawang, telur asin bawang pedas dan lain-lain. Adapun cara membuat telur asinpun berbagai macam cara, mulai dari dengan cara metode abu gosok, metode batu bata (Brilio.Net), metode dengan cara merendam telur di dalam air garam didalam toples (Titin Rayner), waktu rata-rata proses pembuatan telur asin adalah 10 hari sampai 14 hari. Lamanya proses pembuatan telur asin ini melatar belakangi pembuatan prototipe bejana tekan alat pembuat telur asin [2].

Dalam penelitian ini, Bejana Tekan (*Pressure Vessel*) *horizontal* membantu produksi dalam pembuatan telur asin agar mempercepat dan mempermudah pada saat proses pengolahan. Dimana masyarakat dan para pengusaha masih banyak yang menggunakan metode manual yang dalam proses pengolahan. Maka dengan itu kami mencari solusi dalam pembuatan telur asin ini lebih sangat mudah, praktis dan cepat dalam

proses pengolahan. Untuk itu dalam proses perancangan awal perlu dilakukan dengan teori, data-data maupun buku-buku referensi yang digunakan. Dalam proses perancangan bejana tekan dapat dihitung dengan cara manual dari standar ASME (*American Society of Mechanical Engineering*) *Code Section VIII Division I*.

Adapun dari tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai ketebalan pelat bejana tekan serta mengetahui kekuatan konstruksi Bejana Tekan (*Pressure Vessel*) pada posisi *horizontal* yang berjudul "Desain Prototipe Bejana Tekan (*Pressure Vessel*) alat pembuat telur asin dengan Maximum Allowable Working Pressure (*MAWP*) 5 Bar". Dalam perhitungannya menggunakan formula dari standar ASME *Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Division 1*.

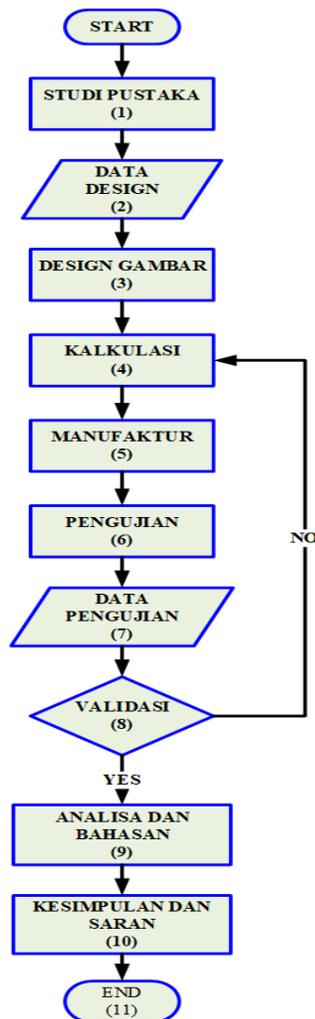
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada sebuah bejana tekan *horizontal* dengan *MAWP* 5 Bar (0,5 MPa). Penelitian ini dilakukan dengan melakukan perhitungan secara manual menggunakan acuan standar *Code ASME Section VIII Division 1*.

Pada perancangan bejana tekan alat dan bahan yang digunakan yaitu Pelat *Stainless Steel* 304 L (A774) tebal pelat 4 mm dengan metode pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) kawat las (ER 308L).

Diagram Alir (*Flow Chart*) Penelitian

Berikut dibawah ini Diagram alir (*Flowchart*) penelitian perancangan bejana tekan (*pressure vessel*).



Gambar 1 Flowchart Penelitian Perancangan Bejana Tekan (Pressure Vessel)

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan beberapa tahapan penelitian, yaitu sebagai berikut :

Studi Pustaka

Informasi tentang pengujian dan penelitian banyak diambil dari *Pressure Vessel Handbook, ASME Section VIII Boiler and Pressure Vessel* dan lainnya.

Data Desain Bejana Tekan

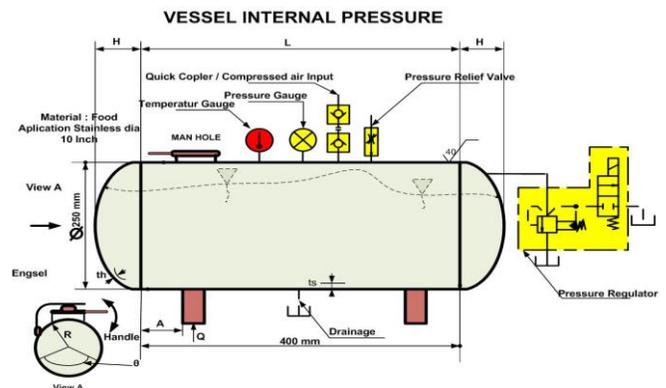
Data desain pada tabel 1 dibawah ini yaitu mengetahui spesifikasi pada bejana tekan diantaranya adalah :

Tabel 1. Parameter Perancangan *Pressure Vessel Horizontal*

Description	Symbol	Satuan	
		US	SI
Diameter dalam	DI	9,8"	250 mm
Panjang	L	15"	400 mm
Design Pressure	P	72 PSi	5 Bar
Design Temperature	T	150 °F	65 °C
Material Bejana Tekanan		ASTM 304L (A774)	

Desain Bejana Tekan

Dalam penelitian ini dibuat desain bejana tekan seperti dilihat pada gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2 Perancangan *Vessel Internal Pressure*

Proses Manufaktur Bejana Tekan (Pressure Vessel) Horizontal

Persiapan melakukan perancangan dengan pemilihan materi dan manufaktur, Langkah pertama yaitu dengan penandaan pelat, pelat dipotong dengan panjang dan lebar, Langkah kedua pengerolan yaitu dengan pelat yang sudah dipotong sesuai dengan ukurannya setelah itu dilakukannya pengerolan pada pelat sehingga berbentuk tabung atau silinder sesuai diameter perancangan,, Langkah ketiga pengelasan (*welding*) yaitu dengan mengelas pada bagian *shell* dan *head* bejana dan mengelas pada bagian sisinya. Langkah ke empat *finishing* yaitu dengan dilakukannya *polesh* atau penghalusan pada bejana dengan menggunakan gerinda halus dan sikat kawat. Langkah ke lima pemeriksaan yaitu

dengan mengecek seluruh setiap bagian *shell*, *head*, dan *saddle*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Teknis Bejana Tekan (*Pressure Vessel*)

Bejana tekan *horizontal* sebuah alat yang berfungsi sebagai proses pembuatan telur asin yang menggunakan metode *pneumatic* dan menggunakan bertekanan udara (*compressed air*). Proses pengasinan telur tersebut melalui bejana tekan yang diberikan sebuah tekanan udara dari sebuah kompressor.

Gambar 3. dibawah ini merupakan perancangan *vessel internal pressure horizontal*.



Gambar 3. *Design Vessel Internal Pressure Horizontal*

Tabel 2. adalah penjelasan data-data teknis pendukung yang diperoleh untuk perancangan bejana tekan *horizontal* sebagai berikut :

Tabel 2. Data Teknis Bejana Tekan

Uraian	Symbol	Spesifikasi
Material bejana tekan		ASTM 304L (A774)
Diameter dalam	D_i	250 mm
Diameter luar	D_o	260 mm
Panjang bejana	L	400 mm
Tekanan perancangan	P	5 bar (72 Psi) (0,5 MPa)
Jenis bejana		Horizontal
Kawat las		ER 308L
<i>Design Temperature</i>		65 °C (150°F)
Kedalaman piring kepala (<i>head</i>) bejana	H_h	50 mm
Tebal plat material dinding (<i>Shell</i>)	t_s	4 mm
Volume		1,2 m ³
Tinggi kaki ke dinding bejana (<i>saddle</i>)	H_s	130 mm
Panjang bejana keseluruhan	L_{all}	500 mm
Lebar penyangga (<i>width of saddle</i>)	b	50 mm
Berat beban pada satu bejana (<i>load on one saddle</i>)	Q	6,85 kg
Sudut kontak (<i>Contact angle</i>)	\emptyset	120°
<i>Corrosion Allowance</i>	CA	0.063 in (0,1 mm)
Nilai tegangan yang diijinkan (<i>allowable stress value</i>)		115 MPa (16679 psi)
Jarak dari garis kepala ke pusat pelana (<i>distance from tangent line of head to the center of saddle</i>)	A	30 mm
Effisiensi Join (<i>Efficiency Joint</i>)	E	0,8
Radius dinding (<i>shell</i>)	R	125 mm
Tegangan <i>Yield point</i>		170 MPa (24656 Psi)

**Perhitungan Bejana Tekan (*Pressure Vessel*)
Horizontal**

Bejana Tekan (*Pressure Vessel*) horizontal yaitu suatu tabung tertutup silinder berbentuk horizontal sebagai penampung tekanan. Dalam perhitungan bejana tekan ini mengacu kepada Code ASME Section VIII Divison 1.

**Circumferential Stress dan Longitudinal Stress
Circumferential stress (tegangan keliling)**

Circumferential stress atau tegangan keliling yang terjadi pada dinding (*shell*) bejana yang diakibatkan oleh tekanan desain dapat dihitung dengan persamaan 2.3 sebagai berikut :

$$S_1 (\sigma_1) = \frac{P \times D}{4t}$$

$$S_1 = \frac{0,5 \text{ MPa} \times 250 \text{ mm}}{4 \times 4 \text{ mm}} = 7,81 \text{ MPa}$$

Longitudinal stress (tegangan membujur)

Longitudinal Stress atau tegangan membujur yang terjadi pada dinding (*shell*) bejana dapat dihitung dengan persamaan 2.4 sebagai berikut :

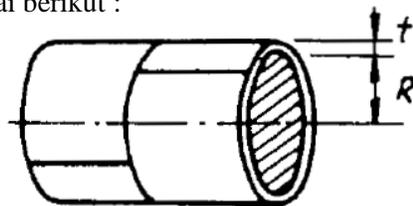
$$S_2 (\sigma_2) = \frac{P \times D}{2t}$$

$$S_2 = \frac{0,5 \text{ MPa} \times 250 \text{ mm}}{2 \times 4 \text{ mm}} = 15,62 \text{ MPa}$$

Ketebalan Dinding (*Shell*) Bejana Tekan (*Pressure Vessel*) dan Tekanan Kerja Maksimum yang di Izinkan pada *Shell* Bejana

Perhitungan tebal minimum dinding (*shell*) bejana tekan (*pressure vessel*)

Berikut perhitungan tebal minimum dinding (*shell*) bejana tekan (*pressure vessel*) dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini sebagai berikut :



Gambar 4. Ketebalan Dinding Bejana

Keterangan :

P = Tekanan Desain (*Design Pressure*) (MPa)

S = *Stress Value of Shell Material* (Nilai untuk material ASTM 304L (A774) adalah 16679 psi = 115 MPa)

E = Efisiensi sambungan (*Joint efficiency*)

R = Radius (mm)

t_s = Tebal dinding (*Wall Thickness*) (mm)

$$t_s = \frac{PR}{SE+0.4P}$$

$$t_s = \frac{0,5 \text{ MPa} \times 125 \text{ mm}}{(115 \text{ MPa} \times 0,8) + (0,4 \times 0,5 \text{ MPa})}$$

$$t_s = 0,6778 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka diperoleh tebal minimum dinding (*shell*) bejana tekan sebesar $t_s = 0,6778 \text{ mm}$.

Tekanan kerja maksimum yang diizinkan pada *Shell* bejana

Berikut menghitung tekanan kerja maksimum yang diizinkan pada *head vessel* dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

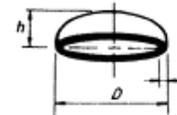
$$P = \frac{S.E.t}{R-0.4t}$$

$$P = \frac{115 \text{ MPa} \times 0,8 \times 4 \text{ mm}}{125 \text{ mm} + (0,4 \times 4 \text{ mm})} = 2,90 \text{ MPa}$$

Perhitungan ketebalan dinidng kepala (*head*) bejana

Ketebalan *Head Vessel* sisi kanan

Ketebalan dinding kepala (*head*) pada bagian sisi kanan bejana ini berbentuk *ellipsoidal* dapat dihitung persamaan sebagai berikut :



Gambar 5. Ketebalan *Ellipsoidal* Head Bejana

$$t = \frac{PD}{2SE + 1.8P}$$

$$t_h = \frac{(0,5 \text{ MPa} \times 250 \text{ mm})}{(2 \times 115 \text{ MPa} \times 0,8) + (1,8 \times 0,5 \text{ MPa})}$$

$$t_h = 0,6760 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka didapat ketebalan dinding kepala (*head*) bejana pada bagian sisi kanan sebesar $t_h = 0,6760 \text{ mm}$.

Tekanan kerja maksimum yang diizinkan pada *head* bejana

Tekanan kerja maksimum yang diizinkan dalam kondisi baru dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$P = \frac{2 \times S \times E \times t}{D - 1,8t}$$

$$P = \frac{2 \times 115 \text{ MPa} \times 0,8 \times 4 \text{ mm}}{250 \text{ mm} - (1,8 \times 4 \text{ mm})} = 3,03 \text{ MPa}$$

Ketebalan Head Vessel sisi kiri

Ketebalan dinding kepala (*head*) pada bagian sisi kiri bejana yang juga merupakan tipe *Ellipsoidal head* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$t_{right} = \frac{P \times D}{2SE + 1,8 \times P}$$

$$t_{right} = \frac{(0,5 \text{ MPa} \times 250 \text{ mm})}{(2 \times 115 \text{ MPa} \times 0,8) + (1,8 \times 0,5 \text{ MPa})}$$

$$t_{right} = 0,6760 \text{ mm}$$

Tekanan kerja maksimum yang diizinkan untuk ketebalan head bejana

Tekanan kerja maksimum yang diizinkan dalam kondisi baru dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$P = \frac{2 \times S \times E \times t}{D - 1,8 \times t}$$

$$P = \frac{2 \times 115 \text{ MPa} \times 0,8 \times 4 \text{ mm}}{250 \text{ mm} - (1,8 \times 4 \text{ mm})} = 3,03 \text{ MPa}$$

Perhitungan tebal Nozzle

Nozzle adalah saluran dari sebuah vessel dengan pipa, berfungsi sebagai ruang pemasukan. *Nozzle* ini menggunakan pipa ASTM 304 (A774) dengan nilai *stress* 16679 psi (115 MPa). Ketebalan *nozzle* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

Dimana :

P = 0,5 MPa

d = 100 mm

R = 50 mm

S = 115 MPa

E = 0,8

$$t_n = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P}$$

$$t_n = \frac{0,5 \text{ MPa} \times 50 \text{ mm}}{(115 \text{ MPa} \times 0,8) - (0,6 \times 0,5 \text{ MPa})}$$

$$t_n = 0,2726 \text{ mm}$$

Jadi tebal minimum *nozzle* yang dibutuhkan adalah $t_n = 0,2726 \text{ mm}$.

Tekanan kerja maksimum yang diizinkan pada nozzle

Perhitungan tekanan kerja maksimum yang diizinkan pada *nozzle* dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$P = \frac{S \times E \times t}{D + 0,2t}$$

$$P = \frac{115 \text{ MPa} \times 0,8 \times 4 \text{ mm}}{100 \text{ mm} + (0,2 \times 4 \text{ mm})}$$

$$P = 3,6 \text{ MPa}$$

Perhitungan tegangan pada bejana tekan horizontal pada dua penyangga (*two saddle*)

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

$$V = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) L$$

$$V = 0,785 \times (260^2 - 252^2) \times 0,4$$

$$V = 1,28 \text{ m}^3$$

m = v x berat jenis baja

m = 1,28 x 7,85 = 10,0 kg

Q (berat total) = berat baja + berat telur + berat air

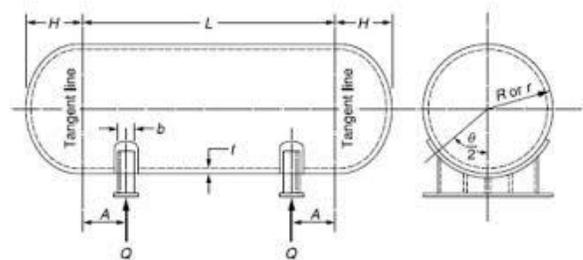
Q = 10 kg + 1,5 kg + 2,2 kg = 13,7 kg

$\frac{Q}{2} = \frac{13,7}{2} = 6,85 \text{ kg}$

Dari hasil persamaan diatas untuk mencari nilai Q atau berat beban pada satu penyangga (*saddle*) adalah Q = 6,85 kg.

Tegangan lentur memanjang (*Longitudinal bending stress*)

Tegangan yang menghitung pada penyangga (*saddle*) dan ditengah (*midspan*) bejana dengan arah posisinya bejana tekan *longitudinal bending stress*, maka akan terjadinya suatu tegangan. Penjelasan mengenai tegangan (*stresses*) dalam (*in*) bejana (*vessel*) on pada pelana atau penyangga (*two saddle*) dapat dilihat pada Gambar dibawah ini dan dengan persamaan sebagai berikut :



Gambar 6. *Stress in Large Horizontal Vessel by Two Saddle*

Keterangan :

S = tegangan

A = Jarak dari garis kepala ke pusat pelana (mm)

b = Lebar pelana (mm)

H = Kedalaman atau tinggi piring kepala (mm)

L = Panjang bejana (mm)

P = tekanan perancangan (MPa)

Q = berat beban pada satu penyangga (*one saddle*) (kg)

R = radius luar dinding
 t_s = ketebalan dinding (mm)
 ϕ = sudut kontak

- Tegangan (*stress*) pada penyangga (*saddle*) :

$$S_1 = \frac{QA \left(1 - \frac{1 - \frac{A}{L} + \frac{R^2 - H^2}{2AL}}{1 + \frac{4H}{3L}} \right)}{K_1 R^2 t_s}$$

$$S_1 = \frac{6,85 \times 30 \left(1 - \frac{1 - \frac{30}{400} + \frac{125^2 - 50^2}{2 \times 30 \times 400}}{1 + \frac{4 \times 50}{3 \times 400}} \right)}{0,335 \times 125^2 \times 4}$$

$$S_1 = 0,1337 \text{ MPa}$$

- Tegangan (*stress*) ditengah (*midspan*) :

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

$$S_1 = \frac{\frac{6,85 \times 400}{4} \left(\frac{1 + 2 \frac{125^2 - 50^2}{400^2} - \frac{4 \times 30}{400}}{1 + \frac{4 \times 50}{3 \times 400}} \right)}{3,14 \times 125^2 \times 4}$$

$$S_1 = 0,02467 \text{ MPa}$$

Tegangan (*stress*) Tangensial (*Tangential shear*)

Tegangan *tangential shear* dapat dicari dengan persamaan berikut :

- Tegangan *saddle* didalam (*in*) dinding (*shell*) :

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

$$S_2 = \frac{1,171 \times 6,85}{125 \times 4} \left(\frac{400 - 2 \times 30}{400 + 4/3 \times 50} \right)$$

$$S_2 = 0,115 \text{ MPa}$$

- Tegangan *saddle to head* :

$$S_2 = \frac{K_4 Q}{R t_h}$$

$$S_2 = \frac{0,88 \times 6,85}{125 \times 4}$$

$$S_2 = 0,118 \text{ MPa}$$

S_2 : tegangan tidak boleh lebih dari 0,8 x nilai tegangan izin material = 115 x 0,8 = 92 MPa

Tegangan melingkar (*circumferential stress*)

Tegangan melingkar dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

- Tegangan *horn of saddle* (ditanduk penyangga)

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

$$S_4 = \frac{6,85}{4 \times 4 (50 + 1,56 \sqrt{125 \times 4})} - \frac{3 \times 0,036 \times 6,85}{2 \times 4^2}$$

$$S_4 = 0,1313 \text{ MPa}$$

S_4 : tegangan tidak boleh lebih dari 1,5 x tegangan yang diizinkan dari material *shell* = 115 x 1,5 = 172,5 MPa

- Tegangan dibagian bawah dinding (*stress at bottom of shell*)

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

$$S_5 = - \frac{0,760 \times 6,85}{4 (50 + 1,56 \sqrt{125 \times 4})}$$

$$S_5 = - 0,1503 \text{ MPa}$$

S_5 : tegangan tidak boleh melebihi 0,5 x dengan tegangan *yield* dari material : 170 x 0,5 = 85 MPa.

Hasil Perhitungan Bejana Tekan (*Pressure Vessel*)

Berikut ini validasi hasil perhitungan pada bejana tekan *horizontal* adalah :

- **Pembahasan Hasil Analisa Perhitungan Bejana Tekan (*Pressure Vessel*)**

Berikut hasil Analisa perhitungan yang telah dibuat untuk perancangan bejana tekan (*pressure vessel*) diperoleh hasil :

1. *Circumferential stress* (tegangan keliling) yang terjadi pada dinding (*shell*) bejana yang diakibatkan oleh tekanan desain yaitu (7,81MPa) < 115 MPa tegangan yang diijinkan, jadi cukup aman.
2. *Longitudinal stress* (tegangan membujur) yang terjadi pada dinding (*shell*) bejana yaitu (15,62 MPa) < 115 MPa tegangan yang diijinkan, jadi cukup aman.

3. Ketebalan pelat *shell* yang terjadi 4 mm > 0,6778 mm ketebalan minimum dinding (*shell*) yang di ijin, jadi cukup aman.
4. Tekanan *shell vessel* yang terjadi 0,5 MPa < 2,90 MPa tekanan *vessel shell* maksimum yang di ijin, jadi cukup aman.
5. Tekanan pada tebal minimum 0,6778 mm adalah 0,5 MPa.
6. Tekanan tebal maksimum 4 mm adalah 2,90 MPa.
7. Ketebalan dinding kepala (*head ellipsoidal*) sisi kanan dan sisi kiri yang terjadi 4 mm > 0,6760 mm ketebalan *head ellipsoidal* yang di ijin, jadi cukup aman.
8. Tekanan *head vessel* yang terjadi 0,5 MPa < 3,03 MPa tekanan *head vessel* dengan dua bagian (kanan dan kiri) maksimum yang di ijin, jadi cukup aman.
9. Ketebalan *nozzle* yang terjadi 4 mm > 0,2726 mm ketebalan minimum *nozzle* yang di ijin, jadi cukup aman.
10. Tekanan *nozzle* yang terjadi 0,5 MPa < 3,6 MPa tekanan ijin *nozzle* maksimum yang di ijin, jadi cukup aman.
11. *Longitudinal Bending Stress*, tegangan pada penyangga (*saddle*) adalah (0,1337 MPa).
12. *Longitudinal Bending Stress*, tegangan pada bagian tengah (*midspan*) yang terjadi adalah (0,02467 MPa).
13. Tegangan *Tangential Shear*, tegangan *saddle* didalam (*in shell*) yang terjadi adalah (0,115 MPa), sedangkan nilai tegangan S_2 : tegangan tidak boleh lebih, dari 0,8 x nilai tegangan izin material = 115 x 0,8 = 92 MPa, jadi cukup aman.
14. Tegangan *Tangential Shear*, tegangan *saddle to head* adalah (0,118 MPa) sedangkan nilai tegangan S_2 : tegangan tidak boleh lebih dari 0,8 x nilai tegangan izin material = 115 x 0,8 = 92 MPa, jadi cukup aman.
15. Tegangan melingkar (*circumferential stress*), tegangan ditanduk penyangga (*horn of saddle*) yang terjadi adalah (0,1313 MPa) sedangkan nilai tegangan S_4 : tegangan tidak

boleh lebih dari 1,5 x tegangan yang diizinkan dari material *shell* = 115 x 1,5 = 172,5 MPa, jadi cukup aman.

16. Tegangan melingkar (*circumferential stress*), tegangan dibagian bawah dinding (*stress at bottom of shell*) yang terjadi adalah (-0,1503 MPa) sedangkan nilai tegangan S_5 : tegangan tidak boleh melebihi 0,5 x dengan tegangan *yield* dari material : 170 x 0,5 = 85 MPa, jadi cukup aman.

Berikut hasil perhitungan pada tabel 3 dan 4 berdasarkan ASME Section VIII Division I didapat data-data ukuran ketebalan, tekanan dan tegangan pada bejana tekan, yang dapat digunakan dalam penelitian ini dengan data-data sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Perhitungan Ketebalan Bejana Tekan

Bagian Vessel	Bahan	Ketebalan
<i>Shell</i>	ASTM 304 (A774)	0,6778 mm namun yang dipakai dan yang ada dipasaran memakai pelat (4 mm)
<i>Head (Ellipsoidal) Kanan</i>	ASTM 304 (A774)	0,6760 mm namun yang dipakai dan yang ada dipasaran memakai pelat (4 mm)
<i>Head (Ellipsoidal) Kiri</i>	ASTM 304 (A774)	0,6760 mm, namun yang dipakai dan ada dipasaran pelat (4 mm)
<i>Nozzle</i>	ASTM 304 (A774)	0,2726 mm, namun yang dipakai dan yang ada dipasaran memakai pelat (4 mm)

Tabel 4. Hasil Perhitungan Tegangan

Tegangan	Hasil
Tegangan (<i>stress</i>) <i>circumferential</i> σ_1	7,8125 Mpa
Tegangan (<i>stress</i>) <i>longitudinal</i> σ_2	15,625 Mpa
Tekanan kerja maksimum yang diizinkan pada <i>shell</i> bejana	2,90 MPa
Tekanan kerja maksimum yang diizinkan pada <i>head vessel</i> pada bagian sisi kanan	3,03 MPa
Tekanan kerja maksimum yang diizinkan pada <i>head vessel</i> pada bagian sisi kiri	3,03 MPa
Tekanan kerja maksimum yang diizinkan pada <i>nozzle</i>	3,6 MPa
<i>Longitudinal bending stress</i> , tegangan pada penyangga (<i>saddle</i>)	(0,1337 MPa)
<i>Longitudinal bending stress</i> , tegangan pada bagian tengah (<i>midspan</i>)	(0,02467 MPa)
<i>Tangential shear</i> , tegangan <i>in shell</i>	(0,115 MPa)
<i>Tangential shear</i> , tegangan <i>saddle to head</i>	(0,118 MPa)
<i>Circumferential stress</i> , tegangan ditanduk penyangga (<i>horn of saddle</i>)	(0,1313 MPa)
<i>Circumferential stress</i> , tegangan dibagian bawah dinding (<i>stress at of bottom shell</i>)	(-0,1503 MPa)

Hasil perhitungan tekanan & tegangan yang terjadi pada bejana tekan baik tegangan (*stress*) *circumferential* dan *longitudinal stress* masih dibawah dari tekanan dan tegangan maksimum yang di ijinakan karena tekanan dan tegangan yang terjadi di dalam bejana lebih kecil dibandingkan dengan tekanan dan tegangan maksimum yang diijinkan, maka bejana tekan dinyatakan aman.

Gambar 7. menjelaskan tentang dokumentasi proses manufaktur bejana tekan *horizontal* sebagai berikut :



Gambar 7. Dokumentasi Proses Manufaktur

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

- Hasil perhitungan bejana tekan *horizontal* berdasarkan *ASME Section VIII Division I* :
 - Tebal dinding (*shell*) bejana tekan : 0,6778 mm, namun pelat yang dipakai dan yang ada dipasaran memakai pelat tebal = 4 mm.
 - Tebal dinding kepala (*head ellipsoidal*) kanan : 0,6760 mm, namun pelat yang dipakai dan yang ada dipasaran memakai pelat dengan tebal = 4 mm.
 - Tebal dinding kepala (*head ellipsoidal*) kiri : 0,6760 mm, namun pelat yang dipakai dan yang ada dipasaran memakai pelat dengan tebal = 4 mm.
 - Tebal *nozzle* terletak pada posisi *shell* : 0,2726 mm, namun pelat yang dipakai dan yang ada dipasaran memakai pelat dengan tebal = 4 mm.
- Tegangan keliling (*Circumferential stress*) yang terjadi pada dinding (*shell*) bejana dari perhitungan yaitu $S_1 = 7,1825$ MPa.

- Sedangkan tegangan maximum yang diizinkan adalah $\sigma_s = 115$ MPa, jadi cukup aman.
3. Tegangan membujur (*Longitudinal stress*) yang terjadi pada dinding (*shell*) bejana dari perhitungan yaitu $S_2 = 15,625$ MPa. Sedangkan tegangan maximum yang diizinkan adalah $\sigma_s = 115$ MPa, jadi cukup aman.
 4. *Pressure Vessel* dinyatakan aman karena tekanan kerja yang terjadi pada saat pengujian adalah $0,5 \text{ MPa} < 2,90 \text{ MPa}$ tekanan kerja maksimum yang di ijinakan.

Saran

Berikut ini adalah saran yang dapat digunakan untuk tahap pengembangan penelitian ini agar lebih baik lagi antara lain :

1. Untuk mencegah agar tidak ada kebocoran pada *nozzle* dengan digantinya *packing nozzle* yang jauh lebih bagus dan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. F. Megyesy, *Pressure Vessel Handbook Thirteenth Edition*, Tusla, Oklahoma: Pressure Vessel Publishing, Inc, 1972-2004.
- [2] T. Lyman, *Metals Handbook*, 8th ed., vol. 1, T. Lyman, Ed., Metal Park Ohio: American Society For Metal, 1990-1, 2005-2.
- [3] R. C. Putra, "Perancangan Bejana Tekan Kapasitas 5 m3 dengan tekanan desain 10 bar berdasarkan standar ASME 2007 Section VIII Div 1".
- [4] M. Rodiawati, A. Y. E. Risano and A. Su'udi, "Perancangan Bejana Tekan (Pressure Vessel) untuk Pengolahan Limbah Kelapa Sawit dengan Variabel Kapasitas Produksi 10.000 Ton/Bulan," *Jurnal FEMA, Volume 1, Nomor 4, Oktober 2013*, vol. 1, pp. 26-41, 2013.
- [5] ASME, *ASME Boiler and Pressure Vessel CODE*, Three Park Avenue, New York : The American Society Of Mechanical Engineers, July 1, 2001.
- [6] S. Cahyo and H. W. , "PERANCANGAN PRESSURE VESSEL KAPASITAS 0,017 M3 TEKANAN 1 MPa UNTUK MENAMPUNG AIR KONDENSASI BOGE SCREW COMPRESSOR," *SINTEK VOL 5 NO 2*, vol. 5, pp. 16-26, 2011.
- [7] ASTM, *ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS 2001*, WEST CONSHOHOCKEN, PA.: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2001.
- [8] A. Aziz, A. H. and I. H. , "PERANCANGAN BEJANA TEKAN (PRESSURE VESSEL) UNTUK SEPARASI 3 FASA," *SINERGI Vol. 18, No. 1, Februari 2014*, vol. 18, pp. 31-38, 2014.
- [9] E. Yohana and A. F. Maulana, "Analisis Kekuatan Material Air Receiver Drum Berdasarkan ASME Section VIII Division I," *Yohana, dkk./ ROTASI*, vol. 21 No. 1, pp. 43-48, Januari 2019.
- [10] Sumadi, B. H. and R. w. , "DESIGN KONSEP PROTOTYPE ALAT PEMBUAT TELUR ASIN MENGGUNAKAN OPTIMALISASI COMPRESSED AIR," *AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 7 Nomor 1, pp. 16-20, 2021.