

Perhitungan Pressure Vessel Pada Tangki Penyimpanan Kapasitas 1500L Dengan Tekanan 0,3 MPa

Moh. Imam Alfi¹, Rudi Rusdiyanto²

^{1,2} Sekolah Tinggi Teknologi Duta Bangsa
muhamadalv19@gmail.com¹, rudirusdiyanto95@gmail.com²

Abstrak— *Pressure vessel* merupakan bejana tekan yang banyak digunakan dalam industri proses untuk menyimpan fluida bertekanan. Kegagalan dalam perancangan dapat menimbulkan risiko keselamatan serta kerugian ekonomi yang signifikan. Penelitian ini bertujuan melakukan kajian desain *pressure vessel* berkapasitas 1500 liter dengan tekanan 0,3 MPa guna memastikan ketebalan minimum, tekanan kerja maksimum yang diizinkan (MAWP), serta kebutuhan penguatan pada area *nozzle*. Metode analitis digunakan berdasarkan standar ASME Sec. VIII Div. 1 (2023), dengan perhitungan manual mengacu pada pasal UG-27, UG-32, UG-37, UG-40, dan Appendix 1-4(d). Hasil menunjukkan bahwa seluruh ketebalan aktual (misalnya, *shell* = 5 mm) lebih besar dibandingkan ketebalan minimum yang disyaratkan (1,6 mm). Nilai MAWP setiap komponen berada di atas tekanan desain, dan seluruh *nozzle* dinyatakan aman tanpa memerlukan tambahan *reinforcement pad*. Dengan demikian, desain *pressure vessel* ini memenuhi persyaratan ASME dan layak untuk dioperasikan secara aman.

Keywords— *Pressure Vessel*, ASME Sec. VIII Div. 1, Ketebalan Minimum.

I. PENDAHULUAN

Pressure vessel merupakan bejana tekan yang berfungsi menyimpan *fluida* pada kondisi bertekanan tertentu yang berbeda dari tekanan atmosfer (baik *internal* maupun *external*) dan banyak digunakan dalam industri kimia, makanan, farmasi, *oil & gas*, serta energi. Sebagai elemen penting dalam proses industri, *pressure vessel* harus mampu menahan tekanan yang diciptakan oleh jenis *fluida* yang disimpan.

Salah satu material yang umum digunakan adalah stainless steel 316L dalam bentuk *plate* sesuai spesifikasi ASME SA-240, yang memiliki ketahanan korosi tinggi dan kekuatan mekanik memadai, serta diakui penggunaannya dalam ASME Sec. VIII Div. 1. Penelitian ini menganalisis *pressure vessel* berkapasitas 1500 liter dengan tekanan 0,3 MPa dan suhu 144°C menggunakan standar ASME Sec. VIII Div. 1 (2023), dengan tujuan memastikan ketebalan komponen serta nilai MAWP memenuhi persyaratan standar sehingga desain dinyatakan aman dan layak dioperasikan.

II. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan data desain *pressure vessel* yang berasal dari *actual project* di perusahaan tempat penulis bekerja. Data tersebut meliputi spesifikasi teknis seperti *inside diameter*, *length shell*, bentuk *head*, *thickness* plat yang digunakan, *design pressure*, *design temperature*, serta jenis material yang digunakan.

Metode yang digunakan adalah perhitungan analitis berdasarkan ASME Sec. VIII Div. 1 (2023). Data desain seperti pada tabel,

TABLE 1
DATA DESAIN PENELITIAN

Design Data	
Design Code	ASME Sec. VIII Div. 1
Position Vessel	Vertical
Design Pressure (Internal)	0,3 MPa

Design Temperature	144 °C
Shell	
Inside Diameter	1200 mm
Length	1345 mm
Thickness	5 mm
Top Head	Torispherical DIN 28011
Thickness	8 mm
Bottom Head	Torispherical DIN 28011
Thickness	5 mm
Material	SA240-316L
Corrosion Allowance	0
Radiography Test	Spot
Joint Efficiency	0,85

TABLE 2
DATA NOZZLE SCHEDULE

Nozzle Schedule				
Mark	Size	Description	O.D. (mm)	Thickness (mm)
M1	ø450	Manhole	ø458	4
N1	3" Sch40s	Liquid Inlet	ø88,9	5,49
N2	1,5" Sch40s	Vent	ø48,3	3,68
N3	4" Sch40s	Pressure Sensor	ø114,3	6,02
N4	4" Sch40s	Cleaning Device	ø114,3	6,02
N5	2" Sch40s	Spare	ø60,3	3,91
N6	1" Sch40s	Temp. Sensor	ø33,4	3,38
N7	2" Sch40s	Liquid Outlet	ø60,3	3,91

TABLE 3
MAX. ALLOWABLE STRESS VALUES (S), TABEL 1A

Spec. No.	Type/Grade	Min. T. Strength (MPa)	Min. Y. Strength (MPa)	Max. Allow. Stress (MPa) 150°C
SA-240	316L	485	170	115
SA-312	TP316L	485	170	87,4

Perhitungan dilakukan menggunakan rumus

➤ Axial stress

$$S_1 = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

➤ Hoop stress

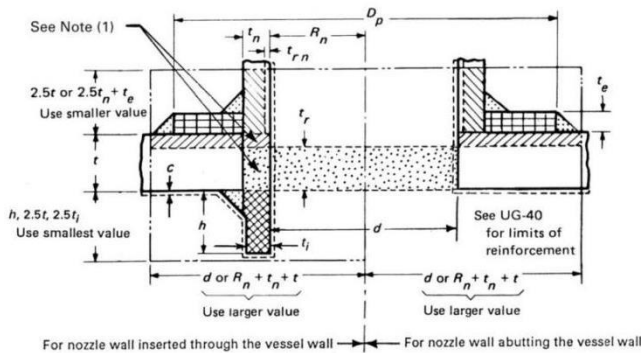
$$S_2 = \frac{P \cdot D}{2 \cdot t}$$

➤ UG-27

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

$$P_{max} = \frac{SEt}{R_i + 0,6t}$$

➤ UG-37



GAMBAR 1 PANDUAN UNTUK RUMUS OPENING UG-37

Rumus untuk kompensasi opening tanpa penguat

$$A = A$$

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = A_1$$

$$A_1 = d(E_1 t - F t_r) - 2t_n(E_1 t - F t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 2(t - t_n)(E_1 t - F t_r) - 2t_n(E_1 t - F t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_2 = A_2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t_n$$

$$A_3 = A_3$$

$$A_3 = 5t t_i f_{r2}$$

$$A_3 = 5t t_i f_{r2}$$

$$A_3 = 2h t_i f_{r2}$$

$$A_{41} = A_{41}$$

$$A_{43} = A_{43}$$

$$A_{41} = \text{Outward nozzle weld} = (leg)^2 f_{r2}$$

$$A_{43} = \text{Inward nozzle weld} = (leg)^2 f_{r2}$$

Jika $A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \geq A$, maka bukaan dianggap memiliki penguatan yang memadai.

Jika $A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} < A$ maka bukaan tidak memiliki penguatan yang memadai, sehingga elemen penguat perlu ditambahkan dan/atau ketebalan harus ditingkatkan.

Rumus untuk kompensasi opening dengan penguat

$$A_2 = A_2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn})(2,5t_n - t_e)f_{r2}$$

$$A_{41} = A_{41}$$

$$A_{42} = A_{42}$$

$$A_{43} = A_{43}$$

$$A_{41} = \text{Outward nozzle weld} = (leg)^2 f_{r3}$$

$$A_{42} = \text{Outer element weld} = (leg)^2 f_{r4}$$

$$A_{43} = \text{Inward nozzle weld} = (leg)^2 f_{r2}$$

$$A_5 = A_5$$

$$A_5 = (D_p - d - 2t_n)t_e f_{r4}$$

Jika $A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + A_5 \geq A$, maka bukaan dianggap memiliki penguatan yang memadai.

➤ Appendix 1-4(a)

$$t_{rn} = \frac{PR_o}{S_n E_n + 0,4P}$$

➤ Appendix 1-4(d)

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0,2P}$$

$$P_{max} = \frac{2SEt}{LM + 0,2t}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

➤ Axial stress

$$S_1 = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

$$S_1 = \frac{0,3 \text{ MPa} \cdot 1200 \text{ mm}}{4 \cdot 5 \text{ mm}}$$

$$S_1 = 18 \text{ MPa}$$

➤ Hoop stress

$$S_2 = \frac{P \cdot D}{2 \cdot t}$$

$$S_2 = \frac{0,3 \text{ MPa} \cdot 1200 \text{ mm}}{2 \cdot 5 \text{ mm}}$$

$$S_2 = 36 \text{ MPa}$$

➤ Perhitungan Ketebalan Minimum Shell (UG-27)

$$t_{min} = \frac{PR_i}{SE - 0,6P}$$

$$t_{min} = \frac{0,313 MPa \cdot 600 mm}{115 MPa \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 0,313 MPa}$$

$$t_{min} = 1,925 mm$$

➤ Perhitungan MAWP Shell (UG-27)

$$P_{max} = \frac{SEt}{R_i + 0,6t}$$

$$P_{max} = \frac{115 MPa \cdot 0,85 \cdot 5 mm}{600 mm + 0,6 \cdot 5 mm}$$

$$P_{max} = 0,811 MPa$$

Perhitungan tegangan menunjukkan nilai *hoop stress* sebesar 36 MPa dan *axial stress* sebesar 18 MPa, masih jauh di bawah tegangan ijin material (115 MPa). Ketebalan minimum *shell* yang dibutuhkan adalah 1,925 mm, sedangkan yang digunakan adalah 5 mm. MAWP *shell* mencapai 0,811 MPa, jauh lebih tinggi dari tekanan desain.

➤ Perhitungan Ketebalan Minimum Torispherical Head Bottom (Appendix 1-4(d))

$$t_{min} = \frac{PLM}{2SE - 0,2P}$$

$$t_{min} = \frac{0,316 MPa \cdot 1210 mm \cdot 1,54}{2 \cdot 115 MPa \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 0,316 MPa}$$

$$t_{min} = 3,013 mm$$

➤ Perhitungan MAWP Torispherical Head Bottom (Appendix 1-4(d))

$$P_{max} = \frac{LM + 0,2t}{2SEt}$$

$$P_{max} = \frac{1210 mm \cdot 1,54 + 0,2 \cdot 5 mm}{2 \cdot 115 MPa \cdot 0,85 \cdot 5 mm}$$

$$P_{max} = 0,524 MPa$$

➤ Perhitungan Ketebalan Minimum Torispherical Head Top (Appendix 1-4(d))

$$t_{min} = \frac{PLM}{2SE - 0,2P}$$

$$t_{min} = \frac{0,3 MPa \cdot 1216 mm \cdot 1,54}{2 \cdot 115 MPa \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 0,3 MPa}$$

$$t_{min} = 2,87 mm$$

➤ Perhitungan MAWP Torispherical Head Top (Appendix 1-4(d))

$$P_{max} = \frac{LM + 0,2t}{2SEt}$$

$$P_{max} = \frac{1216 mm \cdot 1,54 + 0,2 \cdot 8 mm}{2 \cdot 115 MPa \cdot 0,85 \cdot 8 mm}$$

$$P_{max} = 0,834 MPa$$

Pada *bottom head*, ketebalan minimum yang dibutuhkan adalah 3,013 mm, dengan ketebalan aktual 5 mm dan MAWP 0,524 MPa. Untuk *top head*, ketebalan minimum yang dibutuhkan 2,87 mm dan MAWP 0,834 MPa. Seluruh nilai MAWP lebih besar dari tekanan desain.

➤ Perhitungan Nozzle M1

○ Perhitungan Ketebalan Minimum Torispherical Head Top (t_r) (Appendix 1-4(d))

$$t_r = \frac{PLM}{2S_v E - 0,2P}$$

$$t_r = \frac{0,3 MPa \cdot 1216 mm \cdot 1,54}{2 \cdot 115 MPa \cdot 1 - 0,2 \cdot 0,3 MPa}$$

$$t_r = 2,443 mm$$

○ Perhitungan Ketebalan Minimum Nozzle (t_m) (Appendix 1-4(a))

$$t_m = \frac{PR_i}{S_n E - 0,6P}$$

$$t_m = \frac{0,3 MPa \cdot 225 mm}{115 MPa \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,3 MPa}$$

$$t_m = 0,588 mm$$

○ Weld Strength Reduction Factor

$$f_{r1} = \frac{S_n}{S_v} = \frac{115 MPa}{115 MPa} = 1$$

$$f_{r2} = f_{r1} = 1$$

○ Area yang Dibutuhkan (A)

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$$

$$A = 450 mm \cdot 2,443 mm \cdot 1 + 2 \cdot 4 mm \cdot 2,443 mm \cdot 1 \cdot (1 - 1)$$

$$A = 1099,35 mm^2$$

○ Area Yang Tersedia Dari Dinding Head (A_1)

$$A_1 = d(E_1 t - F t_r) - 2t_n(E_1 t - F t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 450 mm \cdot (1 \cdot 8 mm - 1 \cdot 2,443 mm) - 2 \cdot 4 mm \cdot (1 \cdot 8 mm - 1 \cdot 2,443 mm) \cdot (1 - 1)$$

$$A_1 = 2500,65 mm^2$$

○ Area Yang Tersedia Dari Dinding Nozzle (A_2)

$$A_2 = 5(t_n - t_m)f_{r2}t_n$$

$$A_2 = 5 \cdot (4 mm - 0,588 mm) \cdot 1 \cdot 4 mm$$

$$A_2 = 68,24 mm^2$$

○ Area Yang Tersedia Dari Pengelasan (A_{41})

$$A_{41} = (leg)^2 f_{r2}$$

$$A_{41} = (4 mm)^2 \cdot 1$$

$$A_{41} = 16 mm^2$$

○ Hasil

$$A \leq A_1 + A_2 + A_{41}$$

$$1099,35 mm^2 \leq 2500,65 mm^2 + 68,24 mm^2 + 16 mm^2$$

$$1099,35 mm^2 \leq 2584,89 mm^2$$

➤ Perhitungan Nozzle N1

○ Perhitungan Ketebalan Minimum Torispherical Head Top (t_r) (Appendix 1-4(d))

$$t_r = \frac{PLM}{2S_v E - 0,2P}$$

$$t_r = \frac{0,3 MPa \cdot 1216 mm \cdot 1}{2 \cdot 115 MPa \cdot 1 - 0,2 \cdot 0,3 MPa}$$

$$t_r = 1,587 mm$$

○ Perhitungan Ketebalan Minimum Nozzle (t_m) (Appendix 1-4(a))

$$t_m = \frac{PR_i}{S_n E - 0,6P}$$

$$t_m = \frac{0,3 MPa \cdot 44,45 mm}{87,4 MPa \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,3 MPa}$$

$$t_m = 0,152 mm$$

○ Weld Strength Reduction Factor

$$f_{r1} = \frac{S_n}{S_v} = \frac{87,4 MPa}{115 MPa} = 0,76$$

$$f_{r2} = f_{r1} = 0,76$$

- Area yang Dibutuhkan (A)

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$$

$$A = 77,92 \text{ mm} \cdot 1,587 \text{ mm} \cdot 1 + 2 \cdot 5,49 \text{ mm} \cdot 1,587 \text{ mm} \cdot 1 \cdot (1 - 0,76)$$

$$A = 127,84 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Dinding Head (A₁)

$$A_1 = d(E_1 t - F t_r) - 2t_n(E_1 t - F t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 77,92 \text{ mm} \cdot (1 \cdot 8 \text{ mm} - 1 \cdot 1,587 \text{ mm}) - 2 \cdot 5,49 \text{ mm} \cdot (1 \cdot 8 \text{ mm} - 1 \cdot 1,587 \text{ mm}) \cdot (1 - 0,76)$$

$$A_1 = 482,8 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Dinding Nozzle (A₂)

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t_n$$

$$A_2 = 5 \cdot (5,49 \text{ mm} - 0,152 \text{ mm}) \cdot 0,76 \cdot 5,49 \text{ mm}$$

$$A_2 = 111,36 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Pengelasan (A₄₁)

$$A_{41} = (leg)^2 f_{r2}$$

$$A_{41} = (5,49 \text{ mm})^2 \cdot 0,76$$

$$A_{41} = 22,9 \text{ mm}^2$$

- Hasil

$$A \leq A_1 + A_2 + A_{41}$$

$$127,84 \text{ mm}^2 \leq 482,8 \text{ mm}^2 + 111,36 \text{ mm}^2 + 22,9 \text{ mm}^2$$

$$127,84 \text{ mm}^2 \leq 617,06 \text{ mm}^2$$

➤ Perhitungan Nozzle N2

- Perhitungan Ketebalan Minimum Torispherical Head Top (t_r) (Appendix 1-4(d))

$$t_r = \frac{PR_i}{2S_v E - 0,2P}$$

$$t_r = \frac{0,3 \text{ MPa} \cdot 1216 \text{ mm} \cdot 1}{2 \cdot 115 \text{ MPa} \cdot 1 - 0,2 \cdot 0,3 \text{ MPa}}$$

$$t_r = 1,587 \text{ mm}$$

- Perhitungan Ketebalan Minimum Nozzle (t_m) (Appendix 1-4(a))

$$t_m = \frac{PR_i}{S_n E - 0,6P}$$

$$t_m = \frac{0,3 \text{ MPa} \cdot 24,15 \text{ mm}}{87,4 \text{ MPa} \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,3 \text{ MPa}}$$

$$t_m = 0,083 \text{ mm}$$

- Weld Strength Reduction Factor

$$f_{r1} = \frac{S_n}{S_v} = \frac{87,4 \text{ MPa}}{115 \text{ MPa}} = 0,76$$

$$f_{r2} = f_{r1} = 0,76$$

- Area yang Dibutuhkan (A)

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$$

$$A = 40,94 \text{ mm} \cdot 1,587 \text{ mm} \cdot 1 + 2 \cdot 3,68 \text{ mm} \cdot 1,587 \text{ mm} \cdot 1 \cdot (1 - 0,76)$$

$$A = 67,78 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Dinding Head (A₁)

$$A_1 = d(E_1 t - F t_r) - 2t_n(E_1 t - F t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 40,94 \text{ mm} \cdot (1 \cdot 8 \text{ mm} - 1 \cdot 1,587 \text{ mm}) - 2 \cdot 3,68 \text{ mm} \cdot (1 \cdot 8 \text{ mm} - 1 \cdot 1,587 \text{ mm}) \cdot (1 - 0,76)$$

$$A_1 = 251,22 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Dinding Nozzle (A₂)

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t_n$$

$$A_2 = 5 \cdot (3,68 \text{ mm} - 0,083 \text{ mm}) \cdot 0,76 \cdot 3,68 \text{ mm}$$

$$A_2 = 50,3 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Pengelasan (A₄₁)

$$A_{41} = (leg)^2 f_{r2}$$

$$A_{41} = (3,68 \text{ mm})^2 \cdot 0,76$$

$$A_{41} = 10,29 \text{ mm}^2$$

- Hasil

$$A \leq A_1 + A_2 + A_{41}$$

$$67,78 \text{ mm}^2 \leq 418,36 \text{ mm}^2 + 50,3 \text{ mm}^2 + 10,29 \text{ mm}^2$$

$$67,78 \text{ mm}^2 \leq 478,95 \text{ mm}^2$$

➤ Perhitungan Nozzle N3 & N4

- Perhitungan Ketebalan Minimum Torispherical Head Top (t_r) (Appendix 1-4(d))

$$t_r = \frac{PR_i}{2S_v E - 0,2P}$$

$$t_r = \frac{0,3 \text{ MPa} \cdot 1216 \text{ mm} \cdot 1}{2 \cdot 115 \text{ MPa} \cdot 1 - 0,2 \cdot 0,3 \text{ MPa}}$$

$$t_r = 1,587 \text{ mm}$$

- Perhitungan Ketebalan Minimum Nozzle (t_m) (Appendix 1-4(a))

$$t_m = \frac{PR_i}{S_n E - 0,6P}$$

$$t_m = \frac{0,3 \text{ MPa} \cdot 57,15 \text{ mm}}{87,4 \text{ MPa} \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,3 \text{ MPa}}$$

$$t_m = 0,196 \text{ mm}$$

- Weld Strength Reduction Factor

$$f_{r1} = \frac{S_n}{S_v} = \frac{87,4 \text{ MPa}}{115 \text{ MPa}} = 0,76$$

$$f_{r2} = f_{r1} = 0,76$$

- Area yang Dibutuhkan (A)

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$$

$$A = 102,26 \text{ mm} \cdot 1,587 \text{ mm} \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \text{ mm} \cdot 1,587 \text{ mm} \cdot 1 \cdot (1 - 0,76)$$

$$A = 166,87 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Dinding Head (A₁)

$$A_1 = d(E_1 t - F t_r) - 2t_n(E_1 t - F t_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 102,26 \text{ mm} \cdot (1 \cdot 8 \text{ mm} - 1 \cdot 1,587 \text{ mm}) - 2 \cdot 6,02 \text{ mm} \cdot (1 \cdot 8 \text{ mm} - 1 \cdot 1,587 \text{ mm}) \cdot (1 - 0,76)$$

$$A_1 = 637,26 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Dinding Nozzle (A₂)

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t_n$$

$$A_2 = 5 \cdot (6,02 \text{ mm} - 0,196 \text{ mm}) \cdot 0,76 \cdot 6,02 \text{ mm}$$

$$A_2 = 133,23 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Pengelasan (A_{41})

$$A_{41} = (leg)^2 f_{r2}$$

$$A_{41} = (6,02 \text{ mm})^2 \cdot 0,76$$

$$A_{41} = 27,54 \text{ mm}^2$$

- Hasil

$$A \leq A_1 + A_2 + A_{41}$$

$$166,87 \text{ mm}^2 \leq 637,26 \text{ mm}^2 + 133,23 \text{ mm}^2 + 27,54 \text{ mm}^2$$

$$166,87 \text{ mm}^2 \leq 798,03 \text{ mm}^2$$

➤ Perhitungan Nozzle N5

- Perhitungan Ketebalan Minimum *Torispherical Head Top* (t_r) (Appendix 1-4(d))

$$t_r = \frac{P R_i}{2 S_v E - 0,2 P}$$

$$t_r = \frac{0,3 \text{ MPa} \cdot 1216 \text{ mm} \cdot 1}{2 \cdot 115 \text{ MPa} \cdot 1 - 0,2 \cdot 0,3 \text{ MPa}}$$

$$t_r = 1,587 \text{ mm}$$

- Perhitungan Ketebalan Minimum *Nozzle* (t_m) (Appendix 1-4(a))

$$t_m = \frac{P R_i}{S_n E - 0,6 P}$$

$$t_m = \frac{0,3 \text{ MPa} \cdot 30,15 \text{ mm}}{87,4 \text{ MPa} \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,3 \text{ MPa}}$$

$$t_m = 0,103 \text{ mm}$$

- *Weld Strength Reduction Factor*

$$f_{r1} = \frac{S_n}{S_v} = \frac{87,4 \text{ MPa}}{115 \text{ MPa}} = 0,76$$

$$f_{r2} = f_{r1} = 0,76$$

- Area yang Dibutuhkan (A)

$$A = dt_r F + 2 t_n t_r F (1 - f_{r1})$$

$$A = 52,48 \text{ mm} \cdot 1,587 \text{ mm} \cdot 1 + 2 \cdot 3,91 \text{ mm} \cdot 1,587 \text{ mm} \cdot 1 \cdot (1 - 0,76)$$

$$A = 86,26 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Dinding *Head* (A_1)

$$A_1 = d(E_1 t - F t_r) - 2 t_n (E_1 t - F t_r) (1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 52,48 \text{ mm} \cdot (1 \cdot 8 \text{ mm} - 1 \cdot 1,587 \text{ mm}) - 2 \cdot 3,91 \text{ mm} \cdot (1 \cdot 8 \text{ mm} - 1 \cdot 1,587 \text{ mm}) \cdot (1 - 0,76)$$

$$A_1 = 324,52 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Dinding *Nozzle* (A_2)

$$A_2 = 5(t_n - t_m) f_{r2} t_n$$

$$A_2 = 5 \cdot (3,91 \text{ mm} - 0,103 \text{ mm}) \cdot 0,76 \cdot 3,91 \text{ mm}$$

$$A_2 = 56,56 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Pengelasan (A_{41})

$$A_{41} = (leg)^2 f_{r2}$$

$$A_{41} = (3,91 \text{ mm})^2 \cdot 0,76$$

$$A_{41} = 11,62 \text{ mm}^2$$

- Hasil

$$A \leq A_1 + A_2 + A_{41}$$

$$86,26 \text{ mm}^2 \leq 324,52 \text{ mm}^2 + 56,56 \text{ mm}^2 + 11,62 \text{ mm}^2$$

$$86,26 \text{ mm}^2 \leq 392,7 \text{ mm}^2$$

➤ Perhitungan Nozzle N6

- Perhitungan Ketebalan Minimum *Torispherical Head Top* (t_r) (Appendix 1-4(d))

$$t_r = \frac{P R_i}{2 S_v E - 0,2 P}$$

$$t_r = \frac{0,316 \text{ MPa} \cdot 1210 \text{ mm} \cdot 1}{2 \cdot 115 \text{ MPa} \cdot 1 - 0,2 \cdot 0,316 \text{ MPa}}$$

$$t_r = 1,663 \text{ mm}$$

- Perhitungan Ketebalan Minimum *Nozzle* (t_m) (Appendix 1-4(a))

$$t_m = \frac{P R_i}{S_n E - 0,6 P}$$

$$t_m = \frac{0,316 \text{ MPa} \cdot 16,7 \text{ mm}}{87,4 \text{ MPa} \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,316 \text{ MPa}}$$

$$t_m = 0,06 \text{ mm}$$

- *Weld Strength Reduction Factor*

$$f_{r1} = \frac{S_n}{S_v} = \frac{87,4 \text{ MPa}}{115 \text{ MPa}} = 0,76$$

$$f_{r2} = f_{r1} = 0,76$$

- Area yang Dibutuhkan (A)

$$A = dt_r F + 2 t_n t_r F (1 - f_{r1})$$

$$A = 26,64 \text{ mm} \cdot 1,663 \text{ mm} \cdot 1 + 2 \cdot 3,38 \text{ mm} \cdot 1,663 \text{ mm} \cdot 1 \cdot (1 - 0,76)$$

$$A = 47 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Dinding *Head* (A_1)

$$A_1 = d(E_1 t - F t_r) - 2 t_n (E_1 t - F t_r) (1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 26,64 \text{ mm} \cdot (1 \cdot 5 \text{ mm} - 1 \cdot 1,663 \text{ mm}) - 2 \cdot 3,38 \text{ mm} \cdot (1 \cdot 5 \text{ mm} - 1 \cdot 1,663 \text{ mm}) \cdot (1 - 0,76)$$

$$A_1 = 83,48 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Dinding *Nozzle* (A_2)

$$A_2 = 5(t_n - t_m) f_{r2} t_n$$

$$A_2 = 5 \cdot (3,38 \text{ mm} - 0,06 \text{ mm}) \cdot 0,76 \cdot 3,38 \text{ mm}$$

$$A_2 = 42,64 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Pengelasan (A_{41})

$$A_{41} = (leg)^2 f_{r2}$$

$$A_{41} = (3,38 \text{ mm})^2 \cdot 0,76$$

$$A_{41} = 8,68 \text{ mm}^2$$

- Hasil

$$A \leq A_1 + A_2 + A_{41}$$

$$47 \text{ mm}^2 \leq 83,48 \text{ mm}^2 + 42,64 \text{ mm}^2 + 8,68 \text{ mm}^2$$

$$47 \text{ mm}^2 \leq 134,8 \text{ mm}^2$$

➤ Perhitungan Nozzle N7

- Perhitungan Ketebalan Minimum *Torispherical Head Top* (t_r) (Appendix 1-4(d))

$$t_r = \frac{P R_i}{2 S_v E - 0,2 P}$$

$$t_r = \frac{0,316 \text{ MPa} \cdot 1210 \text{ mm} \cdot 1}{2 \cdot 115 \text{ MPa} \cdot 1 - 0,2 \cdot 0,316 \text{ MPa}}$$

$$t_r = 1,663 \text{ mm}$$

- Perhitungan Ketebalan Minimum *Nozzle* (t_m) (Appendix 1-4(a))

$$t_m = \frac{PR_i}{S_n E - 0,6P}$$

$$t_{rn} = \frac{0,316 \text{ MPa} \cdot 30,15 \text{ mm}}{87,4 \text{ MPa} \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,316 \text{ MPa}}$$

$$t_{rn} = 0,109 \text{ mm}$$

- *Weld Strength Reduction Factor*

$$f_{r1} = \frac{S_n}{S_v} = \frac{87,4 \text{ MPa}}{115 \text{ MPa}} = 0,76$$

$$f_{r2} = f_{r1} = 0,76$$

- Area yang Dibutuhkan (A)

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$$

$$A = 52,48 \text{ mm} \cdot 1,663 \text{ mm} \cdot 1 + 2 \cdot 3,91 \text{ mm} \cdot 1,663 \text{ mm} \cdot 1 \cdot (1 - 0,76)$$

$$A = 90,4 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Dinding *Head* (A_1)

$$A_1 = d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1})$$

$$A_1 = 52,48 \text{ mm} \cdot (1 \cdot 5 \text{ mm} - 1 \cdot 1,663 \text{ mm}) - 2 \cdot 3,91 \text{ mm} \cdot (1 \cdot 5 \text{ mm} - 1 \cdot 1,663 \text{ mm}) \cdot (1 - 0,76)$$

$$A_1 = 168,86 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Dinding *Nozzle* (A_2)

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t_n$$

$$A_2 = 5 \cdot (3,91 \text{ mm} - 0,109 \text{ mm}) \cdot 0,76 \cdot 3,91 \text{ mm}$$

$$A_2 = 56,48 \text{ mm}^2$$

- Area Yang Tersedia Dari Pengelasan (A_{41})

$$A_{41} = (leg)^2 f_{r2}$$

$$A_{41} = (3,91 \text{ mm})^2 \cdot 0,76$$

$$A_{41} = 11,62 \text{ mm}^2$$

- Hasil

$$A \leq A_1 + A_2 + A_{41}$$

$$90,4 \text{ mm}^2 \leq 168,86 \text{ mm}^2 + 56,48 \text{ mm}^2 + 11,62 \text{ mm}^2$$

$$90,4 \text{ mm}^2 \leq 236,96 \text{ mm}^2$$

Seluruh *nozzle* termasuk manhole telah dihitung kebutuhan penguatannya. Berdasarkan hasil perhitungan luas area penguatan yang tersedia, semuanya mencukupi tanpa perlu tambahan elemen penguat (*reinforcement pad*) ($A_1 + A_2 + A_{41} \geq A$). Hal ini menunjukkan desain *nozzle* sudah memenuhi standar penguatan dari ASME.

TABLE 4
ANALISIS PERHITUNGAN NOZZLE

	A (mm ²)	A ₁ (mm ²)	A ₂ (mm ²)	A ₄₁ (mm ²)
M1	1099.35	2500.65	68.24	16
N1	127.84	482.8	111.36	22.91
N2	67.78	251.22	50.3	10.29
N3	166.87	637.26	133.23	27.54

N4	166.87	637.26	133.23	27.54
N5	86.26	324.52	56.56	11.62
N6	47	83.48	42.64	8.68
N7	90.4	168.86	56.48	11.62

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan analitis terhadap *pressure vessel* 1500L dengan tekanan 0,3 MPa menggunakan standar ASME Sec. VIII Div. 1, dapat disimpulkan bahwa:

1. Ketebalan seluruh komponen memenuhi syarat ketebalan minimum.
2. MAWP setiap komponen lebih besar dari tekanan desain.
3. Seluruh *nozzle* dinyatakan aman tanpa membutuhkan *reinforcement pad*.

Dengan demikian, *pressure vessel* ini layak dan aman untuk dioperasikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

- [1] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sec. VIII Div. 1, American Society of Mechanical Engineers, 2023.
- [2] ASME Section II Part D – Materials, 2023.
- [3] Megyesy, E. F., "*Pressure Vessel Handbook*", 14th ed., Pressure Vessel Publishing, 2008.
- [4] Dennis R. Moss, "*Pressure Vessel Design Manual*", 4th ed., Elsevier, 2012.