

Evaluasi Desain Bejana Bertekanan pada Radiator Cooling System Menggunakan Material SPCC-SD

Sukarman^{1*}, Khoiruddin¹, Murtalim¹, Dodi Mulyadi¹, Nana Rahdiana¹

¹ Prodi Teknik Mesin Universitas Buana Perjuangan Karawang

Jln. Ronggo Waluyo Sirnabaya, Puseurjaya, Kec. Telukjambe Timur, Kabupaten Karawang

Jawa Barat 41361

*sukarman@ubpkarawang.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i1.9570>

ABSTRACT

This study discusses the analysis of a pressure vessel's design in the Radiator Cooling 1000 (RC-1000) system, which operates at a design temperature of 110°C. A pressure vessel is a container of gaseous, solid, or liquid material subjected to internal or external pressure and can withstand various other load variations. The pressure vessel on the RC-1000 system has a outer diameter of 87.8 mm or 3.46 inches and will experience an internal pressure of about 20.84 psi or 143.7 kPa, so it must be designed safely. This research method uses analytical and experimental methods. The analytical method is used to calculate the thickness of the pressure vessel material, the maximum allowable working pressure, and the hydrostatic test calculation. While the experimental method was carried out on the hydrostatic test process, the evaluation was based on the prevailing regulations in the Republic of Indonesia. Using the SPCC-SD material (JIS 3141), it was found that the minimum thickness of this pressure vessel is 0.0453 inches on the shell side and 0.0435 inches on the head/head side. The thickness of the material used on the shell side and head/head is 0.0472 inches in practice. This pressure vessel has passed the hydrostatic test at 232.1 psi or 1600 kPa.

Keywords : hydrostatic test, pressure vessel, radiator cooling system, working pressure

PENDAHULUAN

Penelitian analisis desain bejana tekan pada radiator cooling system ini merupakan bagian tak terpisahkan dari penelitian dengan tema besar "Analisis Energi dan Eksergi Radiator Sepeda Motor pada Temperatur Kerja Tinggi dengan Menggunakan Ethylene Glycol" yang menggunakan bejana tekan sebagai tangki pemanas (*heater tank*) berkapasitas total 2.3 Liter. Analisis dan perhitungan desain bejana tekan akan menggunakan material baja SPCC-SD (JIS 3141). Material SPCC-SD termasuk jenis baja carbon rendah karena kandungan carbonyanya dibawah 0.3% (Pasaribu, et al., 2019; Abdulah, et al., 2020). Bejana bertekanan ini bekerja pada temperatur fluida air maksimum 110 °C sehingga tekanan didalam bejana tekan mencapai 143.7 kPa atau 20.8 psi atau sekitar 0.144 bar (Cengel, 2008; Cengel & Boles, 2007). Kriteria pada pasal 5 ayat (2) pada Permenaker Republik

Indonesia Nomor 37 Tahun 2016 mengatur tentang keselamatan dan kesehatan kerja bejana tekan dan tangki timbun, menyebutkan adanya dua kriteria bejana tekan yaitu bejana bertekanan yang mempunyai tekanan lebih dari 1 kg/cm² (atau sekitar 98.07 kPa) dan volume lebih dari 2,25 liter (Kemenaker, 2016). ASME memberikan definisi berbeda mengenai bejana bertekanan. Bejana bertekanan (*pressure vessel*) menurut ASME adalah suatu wadah/tempat yang didesain dan dibangun untuk menampung gas atau cairan (fluida) bertekanan (*ISO 16528-1, 2007*). Berdasarkan kriteria-kriteria diatas maka bejana bertekanan yang terpasang pada *RC-1000 system* sudah memenuhi kriteria bejana bertekanan sehingga harus dianalisis agar memenuhi standar *safety* yang disyaratkan.

Bejana bertekanan banyak digunakan dalam industri komersial seperti tangki bahan bakar,

Cite this as:

Sukarman., Khoiruddin., Murtalim., Mulyadi, D & Rahdiana, N. (2021). Evaluasi Desain Bejana Bertekanan pada Radiator Cooling System Menggunakan Material SPCC-SD. *Rekayasa 14 (1)*. 10-16. doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i1.9570>

© 2021 Sukarman, Khoiruddin, Murtalim, Dodi Mulyadi, Nana Rahdiana

Article History:

Received: January, 15th 2021; **Accepted:** March, 29th 2021

Rekayasa ISSN: 2502-5325 has been Accredited by Ristekdikti (Arjuna) Decree: No. 23/E/KPT/2019 August 8th, 2019 effective until 2023

penyimpanan oksigen portabel, penyimpanan CO₂ untuk industri dan bejana tekan untuk gas alam terkompresi (CNG) pada kendaraan transportasi. Bejana ini biasanya terdiri dari dua bagian terpisah: bagian silinder dan dua kepala (*head*). Kepala biasanya merupakan bagian terpenting dalam desain bejana tekan. Parameter yang diinginkan untuk bentuk kepala yang baik adalah memiliki tekanan pecah (*burst*) dan volume internal yang lebih tinggi, serta bobot yang lebih rendah (Kholdi, et al., 2020).

Beberapa penelitian terkait bejana tekan antara lain dilakukan oleh Hardy (1990) dengan melakukan optimasi bejana bertekanan menggunakan penguat komposit. Optimasi dilakukan dengan pemodelan metode elmen hingga menggunakan material *E-Glass Epoxy + Steel* (EGS), *Kevlar-49 Epoxy + Titanium* (KET) dan *T300-5208 Graph Epoxy + Aluminium* (GRA). Penelitian ditujukan untuk mendapatkan bentuk geometri dan material yang paling optimum. Hasil penelitian mengkonfirmasi bahwa geometri material KET memiliki tekanan yang paling tinggi disusul EG dan GRA. Untuk efisiensi, material KET juga memiliki *pressure vessel efficiency* tertinggi dibandingkan dengan dua material lainnya (Hardy & Malik, 1990).

Penelitian juga dilakukan oleh Javadi (2013) dengan melakukan evaluasi residual stress pengelasan bejana tekan dengan material *stainless steel 304L*. *Residual stress* diukur dengan menggunakan metode ultrasonik. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa distribusi tegangan sisa aksial lebih seragam daripada tegangan melingkar yang ditunjukkan oleh distorsi permukaan bejana tekan. Posisi *wedge ring* lebih sulit daripada *wedge aksial* karena deformasi pengelasan permukaan yang diuji. Tegangan sisa melingkar lebih dipengaruhi oleh jalur pemindaian daripada tegangan aksial. Hal ini berarti bahwa perbedaan hasil 90 derajat dan 270 derajat sesuai dengan hasil *hope stress* lebih tinggi daripada hasil tegangan aksial (Javadi, et al., 2013).

Penelitian juga dilakukan oleh Ibrahim (2015) dengan menganalisis tegangan pada bejana tekan dengan dinding tipis. Kaleng soda dianalisis sebagai bejana bertekanan dinding tipis. Material kaleng soda menggunakan material aluminium. Dalam bejana bertekanan dinding tipis, terdapat dua tegangan: tegangan longitudinal dan tegangan melingkar. Tegangan *longitudinal* merupakan akibat dari tekanan internal yang bekerja pada ujung silinder dan regangan panjang silinder. Tegangan melingkar adalah hasil dari aksi radial dari tekanan internal yang cenderung

meningkatkan di seliling kaleng. Tekanan yang meningkat dalam soda dapat ditentukan dengan mengukur regangan elastis permukaan kaleng soda. Tekanan internal untuk soda bertekanan dapat diturunkan menggunakan hukum dasar *Hooke stres* dan hubungan regangan yang menghubungkan perubahan dalam lingkaran dan regangan aksial dengan tekanan internal. Dua pengukuran regangan (*Measurements Group-CEA series gages*) dipasang pada kaleng soda untuk mengukur perubahan regangan, yang diukur melalui *voltase* melintasi jembatan *Wheatstone* yang dikalibrasi. Perekat *M-bond 200* (*Measurements Group, Inc*) digunakan untuk merekatkan pengukur regangan ke permukaan kaleng soda. Regangan elastis dari permukaan luar kaleng soda ditentukan melalui pengukur regangan yang dipasang pada permukaan kaleng dan dihubungkan ke indikator regangan. Tegangan longitudinal, tegangan lingkaran, dan tekanan internal ditentukan dari persamaan umum hukum Hooke untuk tegangan dan regangan.

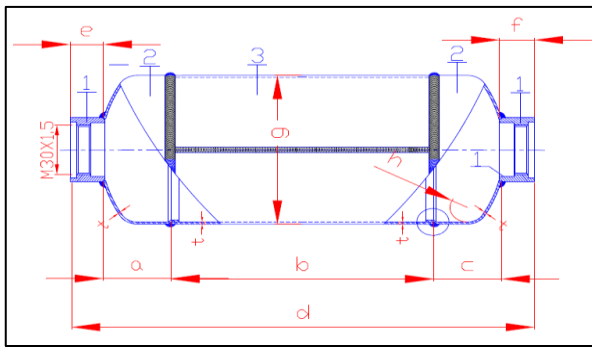
Variasi kecil yang dicatat dalam tekanan internal dihitung dari regangan longitudinal dan regangan lingkaran (Ibrahim, et al., 2015). Kim (2019) melakukan investigasi struktural bejana tekan CNG yang rusak karena adanya perlakuan panas dengan menggunakan metode analisis numerik. Bejana tekan yang diinvestigasi memiliki volume 122 L, 128 L, 154 L, 164 L, dan 188 L. Hasil investigasi menunjukkan bahwa umur kelelahan (*fatigue life*) dari kontainer dengan perlakuan panas yang buruk berkurang secara signifikan dibandingkan dengan kontainer normal. Oleh karena itu, bejana pecah sebelum mencapai *life time* yang ditentukan. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penurunan umur kelelahan merupakan penyebab utama kecelakaan pecahnya bejana tekan (Kim, 2019).

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan desain yang memenuhi standar keselamatan saat dioperasikan. Desain input pada penelitian ini adalah tekanan kerja 143.7 kPa dan volume 2.35 L. Penelitian ini menggunakan material baja karbon rendah (SPCC-SD). Metode penelitian menggunakan metode analisis dan experimental. Metode analisis digunakan untuk menghitung ketebalan material bejana tekan, tekanan kerja maksimum diizinkan (*maximum allowable working pressure*), perhitungan tegangan pada sambungan dan perhitungan uji hidrostatis. Sedangkan metode eksperimental digunakan untuk melakukan validasi desain bejana tekan.

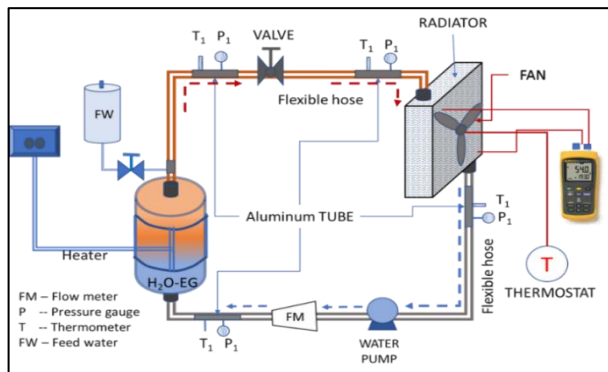
METODE PENELITIAN

Bejana Tekan dan RC-1000 System

RC-1000 System merupakan sistem pendingin radiator dengan menggunakan tangki pemanas untuk memanaskan campuran air (*water*) dan *ethiline glycol*. *Electric heater* yang dipasang pada tangki pemanas dengan menggunakan *band heater* berkapasitas 1000 W. Tangki pemanas memiliki kapasitas volume 2.35 L dengan temperatur yang diatur maksimum pada 110° C. Dengan mengacu peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia pada Nomor 37 Tahun 2016 mengatur tentang keselamatan dan kesehatan kerja bejana Tekan dan tangki timbun, maka tangki pemanas ini merupakan bagian tidak terpisahkan dari definisi dan kriteria bejana tekan telah ditetapkan. Bejana bertekanan pada RC-1000 system tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Bejana Bertekanan pada Skema RC-1000 system



Gambar 2. Desain Bejana Bertekanan pada Skema RC-1000 system

Desain input tekanan dihitung dengan memahami physical propertis dari air. Dengan tekanan maksimum 110°C, maka diketahui tekanannya adalah sekitar 143.7 kPa. Gambar desain berdasarkan desain input bejana bertekanan tersaji pada Gambar 2. Sedangkan dimensi/ukuran bejana bertekanan tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi Bejana Bertekanan Kapasitas 2.35L

Posisi	Dimensi standar	Dimensi dicapai
A	33.3 ± 0.4	33.4
B	129.0 ± 0.4	129.2
C	33.3 ± 0.4	33.4
D	227.0 ± 0.4	127.2
E	16.2 ± 0.4	16.3
F	16.2 ± 0.4	16.3
G	Φ 87.8 ± 0.4	Φ 87.8
H	R 8.6 ± 0.4	R 9.0

Material Bejana Tekan

Material yang akan digunakan untuk mendesain bejana tekan ini menggunakan baja SPCC-SD yang mengacu pada standar JIS 3141. Material SPCC-SD setara dengan material. Komposisi kimia SPCC-SD tersaji pada Tabel 2 dan 3 (*JIS G 3141, 2005*) (Abdulah, et al., 2020).

Tabel 2. Komposisi Kimia Material SPCC-SD

Elemen	Kandungan (%)
C	0.15 max.
Mn	0,05 max.
P	0,04 max.
S	0,04 max.

Tabel 3. Sifat Mekanik Material SPCC-SD

Sifat-sifat mekanik	Nilai	
	MPa	psi
YP maksimum	240	34809.0
TS minimum	270	39160.2
EL minimum	37%	

Beberapa material carbon steel sheet yang terdapat di standar ASME Section II part D dan mempunyai nilai *tensile strength* mendekati SPCC-SD (*JIS G 3141*) antara lain SA-1008 grad CS-A, SA 1008 grade SC-B, SA-283 grade A, SA-285 grade A, dan SA-414 grade A.

Tabel 4. Joint Efficiency pada Bejana Tekan

Tipe Pengelasan (UW-11)	Nilai Joint efficiency, E		
	Full radiographed	Spot Examined	Non Radiographed
Type 1	1.0	0.85	0.75
Type 2	0.90	0.80	0.65

Mengacu pada kode tipe pengelasan Code UW-11, tipe pengelasan pada longitudinal *shell* adalah tipe 1 yaitu butt joint, sedangkan pada pengelasan antara *shell* dengan top dan *bottom head* adalah tipe 2 yaitu butt joint with backing plate. Joint efficiency, E pada kondisi ini tersaji pada Tabel 4.

Mengacu pada Tabel 4 maka *joint efficiency* pada *shell* akan digunakan adalah, 0.65. *Top* dan *bottom head* menggunakan *seamless* sehingga *joint efficiency E* yang digunakan adalah 1.0.

Tabel 5. Data Desain Input Bejana Tekan

Parameter	Simbol	Nilai
Design pressure (Mpa psi)	<i>P</i>	22.92
Stress value (Mpa psi)*	<i>S</i>	78.6 11400
Joint Efficiency <i>shell</i>	<i>E</i>	0.65
Joint Efficiency <i>head</i>	<i>E</i>	1.0
Diameter luar (mm inch)	<i>D</i>	87.8 3.46
Radius dalam (mm inches)	<i>R</i>	43,9 1.73
Corrosion allowance inch (Sotoodeh, 2020)	<i>C.A</i>	0.04
Ketebalan material (mm inch)	<i>t</i>	?

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Perhitungan Ketebalan Material

Perhitungan ketebalan material top dan *bottom head* dihitung berdasarkan data pada tabel 4 dan tabel 5. Analisis ketebalan material menggunakan material SPCC-SD yang memiliki spesifikasi *tensile strength* minimum 10152.6 psi. Umumnya material SPCC-SD yang diproduksi memiliki *tensile strength* antara 270 MPa (39160.2 psi) sampai degan 345 MPa (50038.0 psi). Untuk perhitungan menggunakan diameter dalam, maka ketebalan material untuk sisi *shell* dihitung menggunakan persamaan 1 ditambah *corroction allowance* sebesar 0.04 *inchi*.

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

$$t = \frac{22.92 \times 3.36}{(2 \times 11400 \times 0.65) + (1.8 \times 22.92)} + 0.04$$

$$= 0.0435 \text{ inchi} = 1.10 \text{ mm}$$

Menyesuaikan ketersediaan material maka digunakan material 1.2 mm atau 0.0473 inchi sehingga maksimum *pressure* yang diizinkan dihitung dengan persamaan 4.

$$P = \frac{2SEt}{D - 1.8t} =$$

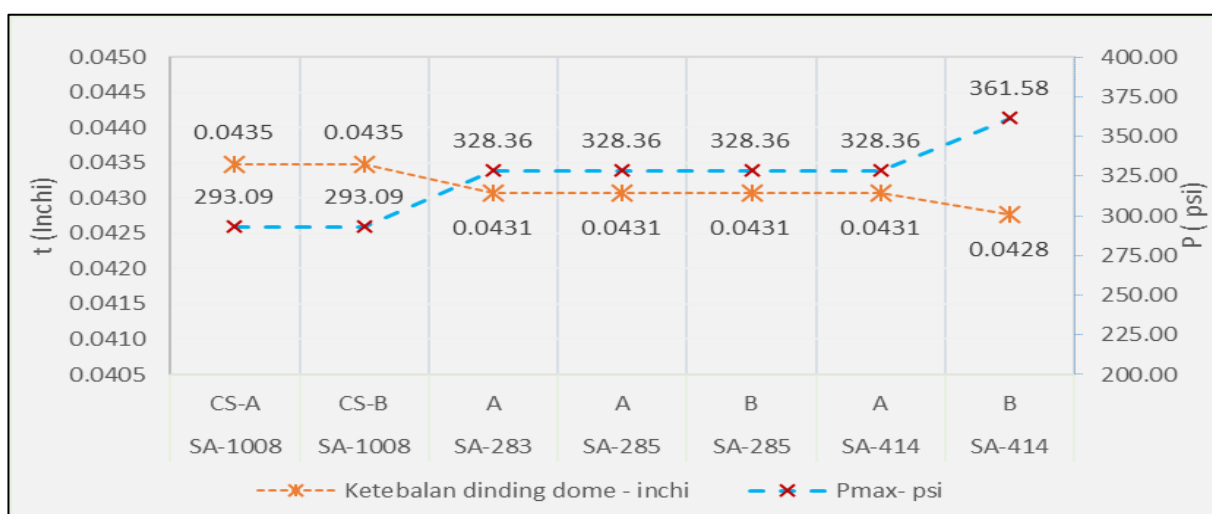
$$P = \frac{2 \times 11400 \times 0.65 \times 0.0473}{3.46 - 1.8 \times 0.0435} = 293.09 \text{ psi}$$

Data perhitungan ketebalan material *head* dan maksimum *pressure* yang diizinkan untuk 5 jenis material tersaji pada Gambar 3. Untuk perhitungan ketebalan *shell* juga dihitung menggunakan data input tabel 4 dan tabel 5. Analisis ketebalan material menggunakan material SPCC-SD yang memiliki spesifikasi *tensile strength* minimum 10152.6 psi. Umumnya material SPCC-SD yang diproduksi memiliki *tensile strength* antara 270 MPa (39160.2 psi) sampai degan 345 MPa (50038.0 psi). Untuk perhitungan menggunakan diameter dalam, maka ketebalan material untuk sisi *shell* dihitung menggunakan persamaan 3 ditambah *corotion allowance*, *CA* = 0.04 inchi.

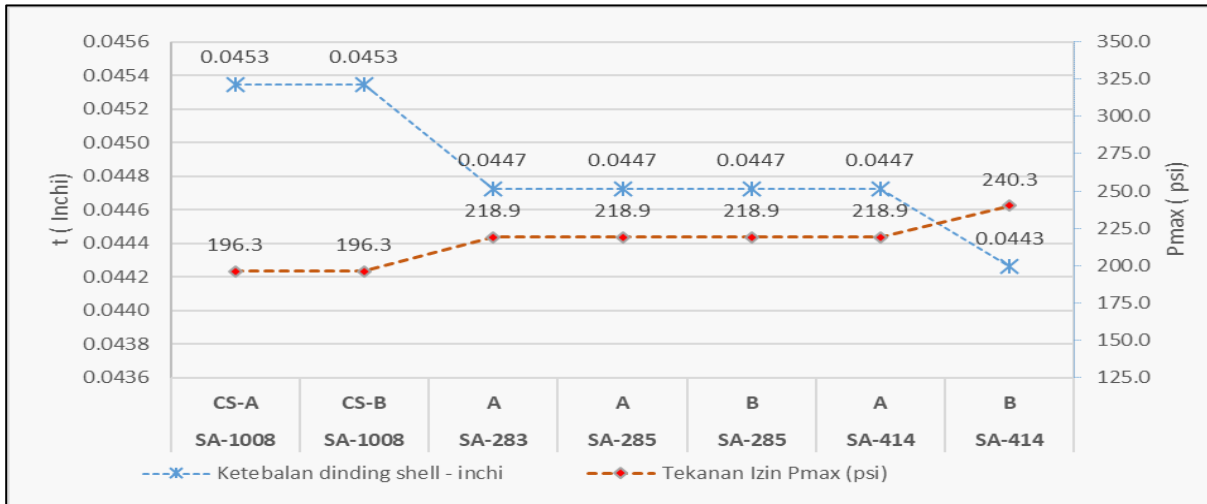
$$t = \frac{PR}{SE + 0.4P} + CA$$

$$t = \frac{22.92 \times 1.73}{11400 \times 0.65 + (0.4 \times 22.92)} + 0.04$$

$$= 0.0453 \text{ inchi} \approx 1.15 \text{ mm}$$



Gambar 3. Grafik Tebal Material Sisi *Head* dan Tekanan Maksimum yang Diizinkan untuk 5 Jenis Material yang Direkomendasikan



Gambar 4. Grafik Tebal Material Shell dan Tekanan Maksimum yang Diizinkan untuk 5 Jenis Material yang Direkomendasikan

Menyesuaikan ketersediaan material maka digunakan material 1.2 mm atau 0.0473 inchi sehingga tekanan kerja maksimum yang diizinkan (*maximum allowable working pressure*) dihitung dengan persamaan berikut. Data perhitungan ketebalan material shell untuk beberapa material lainnya tersaji pada Gambar 4.

$$P = \frac{SEt}{R - 0.4t}$$

$$P = \frac{11400 \times 0.65 \times 1.2}{1.73 - (0.4 \times 1.2)}$$

$$= 196.3 \text{ psi} = 1352.9 \text{ kPa}$$

Dari perhitungan *maximum allowable working pressure* (MAWP) pada sisi shell dan head terlihat bahwa nilai *maximum allowable working pressure* pada sisi shell lebih rendah dibandingkan pada sisi head. Melihat kondisi ini maka *maximum allowable working pressure* yang digunakan pada perhitungan hidrostatis adalah nilai MAWP pada sisi shell yaitu sebesar 196.23 psi atau 1352.96 kPa.

Analisis Stress pada Shell

Mengacu pada Gambar 1 dan perhitungan tebal material pada Gambar 3 dan 4, maka material SPCC-SD yang digunakan untuk membuat head dan shell pada bejana tekan menggunakan material 1.2 mm. Spesifikasi teknik terkait dengan sifat-sifat mekanik material ini tersaji pada Tabel 5. Karena *maximum allowable stress* pada baja carbon dengan *tensile strength* 283 Mpa tidak ada, maka, untuk material SPCC-SD dihitung dengan melakukan interpolasi pada data material SA-1008 grade CS-B dengan SA-

283. Interpolasi dilakukan dengan menggunakan matrik interpolasi sebagai berikut (Tabel 6).

Tabel 5. Sifat Mekanik Material SPCC-SD

Sifat-sifat mekanik	Standar (Japanese Standards Association, 2005)		CSW0520B*	
	MPa	psi	MPa	psi
YP _{max}	240	34809.0	146	21175.5
TS _{min}	270	39160.2	283	41045.7
EL _{min}		37%		53%

Tabel 6. Matrik Interpolasi

Type	TS (psi)	MAS psi*
SA-1008	39885.4	11399.97
SPCC-SD	41045.7	y
SA-283	44961.7	12893.85

Dimana y adalah *maximum allowable stress* untuk material SPCC-SD yang digunakan untuk mendesain bejana tekan. Nilai y dihitung dengan melakukan interpolasi sebagai berikut:

$$\frac{y - 11399.97}{12893.85 - 11399.97} = \frac{41045.7 - 39885.4}{44961.7 - 39885.4}$$

$$\frac{y - 11399.97}{1493.88} = \frac{1160.3}{5076.3} = 0.23$$

$$y - 11399.97 = 0.23 \times 341.46 = 78.0$$

$$y = 11399.97 + 78.05 = 11478.02 \text{ psi}$$

Nilai $y = 11478.02$ psi dan ketebalan material 1.2 mm digunakan untuk menghitung maksimum *compressive stress* yang diizinkan terjadi pada pada sisi *longitudinal* dan *circumferential joint*. Maksimum *compressive stress* yang diizinkan pada pada sisi longitudinal, S_l dihitung dengan persamaan 5:

$$S_l = \frac{PD}{2t} = \frac{11478.02 \times 3.36}{2 \times 1.2} = 16069.23 \text{ psi}$$

Sedangkan *compressive stress* pada pada sisi *circumferential joint*, S_c dihitung dengan persamaan 6:

$$S_c = \frac{PD}{4t} = \frac{11478.02 \times 3.36}{4 \times 1.2} = 8034.61 \text{ psi}$$

Dari perhitungan nilai *compressive stress* pada pada sisi longitudinal, S_l dan *circumferential*, S_c joint terlihat bahwa nilai $S_l = 2S_c$.

Analisis Uji Hidrostatik

Uji hidrostatik (*hydrostatic test*) bertujuan untuk mengevaluasi desain agar memenuhi persyaratan keamanan. Tekanan yang digunakan pada *hydrostatic* dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$P_h = 1.3 \cdot MAWP \times \frac{S_t}{S_d}$$

Dari data sebelumnya diperoleh bahwa MAWP yang didapatkan adalah 196.3 psi atau 1352.9 kPa. Karena nilai *maximum allowable stress* pada temperatur -30 sampai dengan 150 °C nilainya sama maka rasio $\frac{S_t}{S_d} = 1$. Pada kasus ini nilai $S_t = S_d = S_c = 16069.23 \text{ psi}$, sehingga besarnya tekanan hidrostatik yang akan digunakan adalah sebesar:

$$P_h = 1.3 \times 196.3 \text{ psi} \times \frac{16069.23 \text{ psi}}{16069.23 \text{ psi}} = 225.2 \text{ psi} = 1552.7 \text{ kPa}$$

Untuk mempermudah pembacaan skala tekanan maka pengujian dilakukan pada tekanan 1600 kPa. Evaluasi uji hidro test dilakukan dengan kriteria bahwa bejana tekanan tidak boleh berkeringsat, atau bocor, atau tidak boleh terjadi perubahan bentuk menetap yang menyebabkan volume bejana melebihi 0,2 % (nol koma dua persen) dari volume semula, dan dihitung dengan persamaan berikut (Kemenaker, 2016).

$$\% \Delta v = \left(\frac{v_t - v_0}{v_0} \right) \times 100\%$$

Dimana Δv adalah perubahan volume tetap, v_t adalah volume setelah pengujian dan v_0 adalah volume sebelum pengujian yang nilainya adalah 2.35 liter. Pengujian dilakukan menggunakan alat hidro test dengan kapasitas 6000 kPa. Sebelum dan

setelah pengujian hidrostatik dilakukan pengukuran volume untuk dilakukan evaluasi perubahan volume. Hasil pengujian hidrostatik pada tekanan 1600 kPa didapatkan nilai $v_t = 2.35 \text{ liter}$.

$$\% \Delta v = \left(\frac{v_t - v_0}{v_0} \right) \times 100\%$$

$$\% \Delta v = \left(\frac{2.3 - 2.3}{2.3} \right) \times 100\% = \left(\frac{0}{2.3} \right) \times 100\% = 0\%$$

Dengan mengacu pada Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2016 mengatur tentang keselamatan dan kesehatan kerja bejana Tekan dan tangki timbun, maka pengujian hidrostatik dianggap lulus karena deformasi tetap setelah pengujian adalah 0%.

KESIMPULAN

Desain bejana tekan pada RC-1000 dengan menggunakan desain input tekanan kerja 143.7 kPa atau 20.84 psi dengan temperatur kerja 110° C, diameter *shell* 85.4 mm atau 3.36 inchi telah memenuhi persyaratan keamanan operasional yang disyaratkan dalam Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2016 mengatur tentang keselamatan dan kesehatan kerja bejana Tekan dan tangki timbun. Indonesia tahun 2016. Bejana tekan ini menggunakan material SPCC-SD (JIS 3141) dengan *tensile strength* minimum 270 Mpa dan ketebalan minimum 1.15 mm. Penelitian akan dilanjutkan pada kinerja (analisis energi dan eksergi) *Radiator Cooling 1000 (RC-1000) System*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Buana Perjuangan Karawang yang telah mendukung dana penelitian ini secara penuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, A. Y. (2008). *Introduction to Thermodynamics and Heat Treansfer* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Cengel, A.Y & Boles, M. A. (2007). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (6th ed.). Singapore: McGraw-Hill.
- Abdulah, A., & Sukarman, S. (2020). Optimasi Single Response Proses Resistance Spot Welding. *Multitek Indonesia: Jurnal Ilmiah*, 6223(2), 69–79.
- Annarotone, D. (2007). *Pressure Vessel Design*. Berlin: Springer.

- ASME International. (2014). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels*. ASME.
- ASME Setting the Standard. (2010). *ASME Boiler & Pressure Vessel Code II Part D Properties (Matrix) Materials* (2010th ed.). New York: ASME.
- F. Megyesy, E. (2001). *Pressure Vessel Handbook* (12th ed.; P. Buthod, ed.). Oklahoma: Pressure Vessel Publishing, Inc.
- Hardy, S. J., & Malik, N. H. (1990). Optimum Design of Composite-Reinforced Pressure Vessels. *Applied Stress Analysis*, 429–438. https://doi.org/10.1007/978-94-009-0779-9_40
- Ibrahim, A., Ryu, Y., & Mir, S. (2015). Stress Analysis of Thin-Walled Pressure Vessels. *Modern Mechanical Engineering*, (5), 319–322.
- ISO 16528-1. *Boiler And Pressure Vessel: Performance Requirements*. (2007).
- Japanese Standards Association. (2005). *JIS G 3141 Cold-reduced carbon steel sheets and strips*.
- Javadi, Y., Pirzaman, H. S., Raeisi, M. H., & Najafabadi, M. A. (2013). Ultrasonic Evaluation of Welding Residual Stresses in Stainless Steel Pressure Vessel. *Journal of Pressure Vessel Technology, Transactions of the ASME*, 135(4), 1–6. <https://doi.org/10.1115/1.4023432>
- Khaldi, M., Lohman, A., Ashrafi, H., & Arefi, M. (2020). Analysis of Thick-Walled Spherical Shells Subjected to External Pressure: Elastoplastic and Residual Stress Analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 234(1), 186–197. <https://doi.org/10.1177/1464420719882958>
- Kim, E. S. (2019). Structural Integrity Evaluation of CNG Pressure Vessel With Defects Caused By Heat Treatment Using Numerical Analysis. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(11), 5297–5302. <https://doi.org/10.1007/s12206-019-1021-7>
- Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia. *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2016 mengatur tentang keselamatan dan kesehatan kerja bejana Tekan dan tangki timbun.* , (2016).
- Pasaribu, S. T., Sukarman, S., Shieddieque, A. D., & Abdulah, A. (2019). *Optimasi Parameter Proses Resistance Spot Welding pada Pengabungan Beda Material SPCC*. (September).
- Sotoodeh, K. (2020). Requirement and Calculation of Corrosion Allowance for Piping and Valves in the Oil and Gas Industry. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s40735-019-0319-4>
- Sukarman, S., Abdulah, A., Jatira, J., Rajab, D. A., Anwar, C., Rohman, R., ... Akbar, M. A. (2020). *Optimization of Tensile-Shear Strength in the Dissimilar Joint of Zn-Coated Steel and Low Carbon Steel*. 3(3), 115–125.