

RANCANGAN “AIR COMPRESSOR TANK” KAPASITAS 500 Dm³ DAN TEKANAN MAKSIMUM 10 Kg/Cm² DENGAN PENDEKATAN OPTIMASI SECARA TEORITIS, EMPIRIK DAN SIMULASI

Siti Mutmainah¹, Ir. M. Galbi Bethalembah, MT²., Dr. Damora Rhakasywi ST.,MT.,IPP.³

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta, Jakarta Selatan^{1 2 3}

email¹ : mutmainahsiti54@gmail.com

email² : galbi_m@yahoo.com

email³ : rhakasywi@upncj.ac.id

Abstrak

Bejana tekan adalah wadah yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan fluida bertekanan. Over desain pada bejana tekan mengakibatkan harga yang melambung tinggi sedangkan desain yang tidak memenuhi syarat standar keamanan akan berakibat fatal. Pada penelitian dilakukan perancangan bejana tekan dengan pendekatan secara teoritis, empirik dan simulasi dengan *software* CAE. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan desain bejana dengan pendekatan teoritis, empirik dan simulasi berdasarkan klasifikasi dinding silinder dan memenuhi syarat standar perancangan (ASME 2017 Section VII Div.1) untuk umur operasi 30 tahun. Dari hasil perhitungan teoritis dan empirik tidak terdapat perbedaan tebal yang signifikan sehingga tebal dinding sebesar 6 mm dan tebal head sebesar 6mm sudah aman sesuai standar. Dari hasil analisis menggunakan *software* CAE pada tekanan 0,980665 MPa didapatkan tegangan maksimum yang terjadi sebesar 72,72 MPa kurang dari tegangan maksimum yang diijinkan oleh material, yaitu 138 MPa. Untuk memastikan ukuran tebal dari hasil uji simulasi menunjukkan regangan yang terjadi sebesar 0,000137 kurang dari regangan yang diijinkan oleh material, yaitu 0,00112. Dari penjelasan di atas menunjukkan bahwa konstruksi bejana tekan aman digunakan dan sesuai standar.

Kata kunci : *Bejana tekan, teoritis, empirik, CAE*

Abstract

A pressure vessel is a closed container that functions as a storage of pressurized fluid. Over design on the pressure vessel causes the price to soar high while the design that does not meet the safety standard requirements will be fatal. In this research, the design of pressure vessels is carried out with theoretical, empirical and simulation approaches with CAE software. The purpose of this study is to produce a pressure vessel design with a theoretical, empirical and simulation approach based on cylinder wall classification and meet the design standard requirements (ASME 2017 Section VII Div.1) for operating life of 30 years. From the results of theoretical and empirical calculations there is no significant difference in thickness so the wall thickness of 6 mm and head thickness of 6 mm are safe according to the standard. From the analysis using CAE software at a pressure of 0.980665 MPa, the maximum stress that occurs is 72.72 MPa, which is less than the maximum stress allowed by the material, which is 138 MPa. To ensure the thickness of the simulation test results show the strain that occurs at 0,000137 less than the strain permitted by the material, which is 0.00112. From the explanation above shows that the construction of pressure vessels is safe to use and according to standards.

Keywords : *Pressure vessels, theoretical, empirical, CAE*

Dinding Silinder (Shell)

Dalam merancang bejana tekan, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan dimensi dinding bejana berdasarkan tekanan internal dan tegangan yang diijinkan oleh material. Untuk menentukan ketebalan dinding bejana dapat menggunakan persamaan berikut ini :

- 1) Jika diameter dalam yang digunakan, maka :

$$t = \frac{P R}{S E - 0.6 P}$$

- 2) Jika diameter luar yang digunakan maka :

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

Dimana : t = tebal bejana, mm

P = tekanan internal, MPa

S = tegangan yang diizinkan material, MPa

R = jari jari dalam silinder, mm

E = efisiensi sambungan

Head

Ujung-ujung bejana tekan dan penutup sebuah dinding silinder. Untuk ketebalan dinding kepala bejana berbentuk setengah lingkaran (*Sphere dan Hermispher*) dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

- 1) Jika diameter dalam yang digunakan maka :

$$t = \frac{P R}{2 S E - 0.2 P}$$

- 2) Jika diameter luar yang digunakan maka :

$$t = \frac{P R}{2 S E + 1.8 P}$$

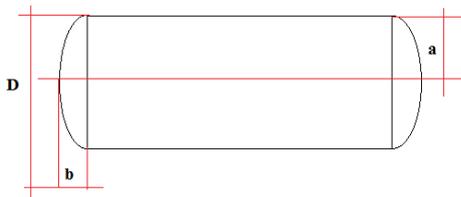
Untuk ketebalan dinding kepala bejana bentuk setengah lingkaran (*Ellipsoidal*) dimana perbandingan axis mayor dan axis minor adalah 2:1 dapat dilihat pada gambar 4. Adapun ketebalan dari *elliptical head* dapat kita cari dengan persamaan berikut ini :

- 1) Jika diameter dalam yang digunakan maka :

$$t = \frac{P D}{2 S E - 0.2 P}$$

- 2) Jika diameter luar yang digunakan maka :

$$t = \frac{P D}{2 S E + 1.8 P}$$



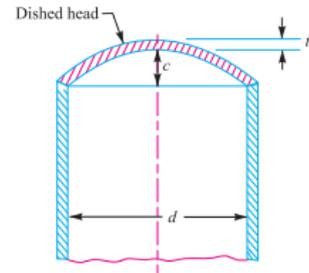
Gambar 4. Ellipsoidal Head

Dimana : a = 1/2 D

b = 1/4 D

Sehingga volume head yang berbentuk ellipsoidal dengan perbandingan axis mayor dan axis minor 2:1 adalah sebagai berikut :

$$V = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \left(\frac{D}{6} \right) 2 = \frac{\pi D^3}{12}$$



Gambar 5. Kepala Silinder Dilas

Ketika plat dished dipasang secara integral atau dilas ke silinder seperti yang ditunjukkan pada gambar 5, maka ketebalan plat dished yang diberikan adalah :

$$t = \frac{p d}{4 \sigma t}$$

Dimana : p = tekanan internal, MPa

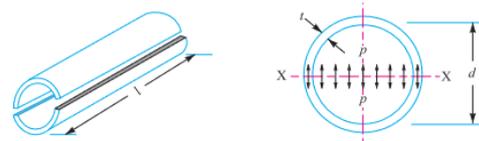
d = diameter dalam, mm

σt = tensile stress yang diijinkan, MPa

Nossel

Lubang yang menembus dinding atau kepala bejana tekan. Nossel mempunyai beberapa fungsi yaitu menyambungkan pipa untuk mengalirkan fluida dari atau menuju bejana tekan, tempat masuk operator unuk memudahkan *maintenance*, tempat akses langsung ke peralatan lain (*heat exchanger*) dan lain lain

Tegangan Normal



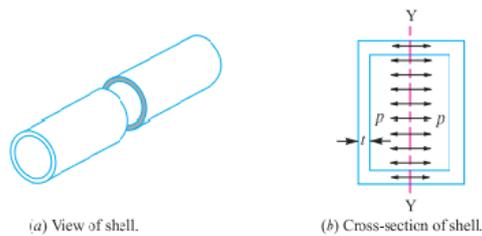
Gambar 6. Tegangan Melingkar (Circumferential)

Tegangan tarik yang bekerja dalam arah tangensial secara melingkar disebut tegangan melingkar atau *circumferential*. Berdasarkan gambar 6 tegangan melingkar ditulis sebagai persamaan berikut :

$$\sigma t l = \frac{P \times d}{2t} \quad \text{atau} \quad t = \frac{P \times d}{2 \sigma t l}$$

Untuk *ductile* material, besar tegangan melingkar atau *circumferential* (σt) nilainya 0,8 kali tegangan titik leleh (σ_y) dan untuk *brittle* material σt besarnya 0,125 kali tegangan tarik *ultimate* (σ_u).

Tegangan tarik yang bekerja secara melintang atau keliling bagian Y-Y (atau di ujung silinder) dinamakan tegangan longitudinal.



Gambar 7. Tegangan Longitudinal

Berdasarkan gambar 7 tegangan longitudinal ditulis sebagai persamaan berikut :

$$\sigma_l t = \frac{p \times d}{4t} \quad \text{atau} \quad t = \frac{p \times d}{4\sigma_l t}$$

Jika η_c merupakan efisiensi sambungan paku keling maka dapat ditulis persamaan sebagai berikut:

$$t = \frac{p \times d}{4\sigma_l t \times \eta_c}$$

σ_l = tegangan longitudinal, MPa

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa tegangan longitudinal adalah tegangan melingkar dikalikan satu per dua atau setengah dari tegangan melingkar (*circumferential*). Maka dari itu, desain bejana tekan harus didasarkan pada tegangan maksimum, yaitu tegangan melingkar (*circumferential*).

Beban Yang Bekerja Pada Bejana

Bejana tekan memiliki berbagai pembebanan yang berbeda-beda pada setiap komponennya. Jenis dan intensitas gaya-gaya ini menjadi fungsi dari pembebanan dan geometri serta konstruksi dari komponen bejana :

1) Bobot Bejana Mati

Berat bejana itu sendiri dan elemen-elemen yang sudah terpasang secara permanen.

2) Beban Angin

Beban angin yang dimaksud adalah angin dengan aliran turbulen dipermukaan bumi dengan kecepatan yang beraneka ragam.

3) Beban Karena Gempa

Hal yang sangat penting untuk mengatasi kekuatan gempa pada sebuah struktur adalah mendesain struktur untuk menahan gaya geser horizontal minimum yang diterima oleh bagian dasar bejana pada segala arah, agar mengurangi risiko kegagalan terhadap pengaruh seismik gempa.

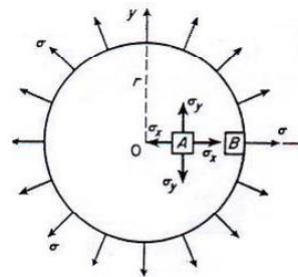
4) Tekanan Desain

Tekanan yang digunakan untuk menentukan nilai ketebalan dinding atau shell minimum yang diperlukan bejana dinamakan tekanan desain..

Deformasi

Jika suatu benda diberikan atau dikenai gaya akan terjadi perubahan bentuk dan ukuran yang dinamakan deformasi. Sebuah Silinder dengan jari-jari r dan tebal t mendapat tegangan radial σ terdistribusi merata pada sembarang elemen diseluruh kelilingnya sebagaimana ditunjukkan oleh

gambar 8. Ketika terjadi tegangan-tegangan σ_x dan σ_y pada dua arah x dan y , regangan pada kedua arah ini bukan dipengaruhi oleh tegangan pada arah itu saja tapi juga dipengaruhi oleh tegangan pada arah orthogonal karena perbandingan poisson.



Gambar 8. Tegangan Radial Pada Dinding Silinder

Berdasarkan hubungan tegangan-regangan maka besarnya tegangan yang terjadi pada sumbu- x dan sumbu- y dapat ditulis sebagai berikut ini :

$$\sigma_x = \frac{(\epsilon_x + \mu\epsilon_y)E}{1 - \mu^2} \quad \text{dan} \quad \sigma_y = \frac{(\epsilon_y + \mu\epsilon_x)E}{1 - \mu^2}$$

Untuk menentukan nilai regangan persamaannya ditulis sebagai berikut ini:

$$\epsilon_x = \epsilon_y = \frac{\sigma}{E}(1 - \mu)$$

Pada arah z normal nilai regangan dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\epsilon_y = -\frac{2\mu}{E} \sigma$$

Dimana : σ = tegangan radial

μ = perbandingan poisson

E = modulus elastisitas

Peningkatan jari-jari silinder dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$r = r(1 + \epsilon_x)$$

Penambahan tebal dinding silinder dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$t = t(1 + \epsilon_x)$$

Perubahan dimensi panjang atau tinggi silinder (memendek) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$l = l(1 + \epsilon_z)$$

Sehingga volume silinder menjadi :

$$V_{\text{akhir}} = \pi r^2 l (1 + \epsilon_z + 2\epsilon_x)$$

Perbandingan selisih volume ΔV dengan volume mula-mula dinamakan deformasi volume. dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\frac{\Delta V}{V} = \epsilon_z + 2\epsilon_x$$

Faktor Keamanan

Angka keamanan yang harus dipenuhi dalam mendesain tegangan struktur. Faktor keamanan harus diasumsikan ke dalam desain melalui *ultimate stress*, *endurance limit*, *yield limit*, atau kriteria kekuatan lainnya. Tujuan dari faktor keamanan

adalah, pembebanan maksimum yang terjadi pada struktur atau mesin, memprediksi kekuatan dari materi yang digunakan dan penentuan dimensi dari suatu struktur yang akan dirancang.

Korosi

Korosi berasal dari bahas latin “*corroder*” yang artinya perusakan logam atau berkarat. Korosi adalah penurunan kualitas logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antar logam dengan lingkungan sekitarnya. Korosi terdiri dari beberapa jenis yaitu *uniform corrosion*, *pitting corrosion*, *stress corrosion cracking*, *erosion corrosion*, *galvanic corrosion*, *crevice corrosion*, dan *selective leaching*. Untuk mengetahui umur operasi dari suatu produk dengan asumsi kondisi lingkungan korosi dapat dihitung sebagai berikut :

$$Umur\ operasi = \frac{CA}{CR}$$

Dimana : CA = *corrosion allowance*, mm
CR = *corrosion rate*, mpy

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Pada umumnya, kondisi lingkungan sangat berpengaruh dalam menetapkan besarnya laju korosi suatu material. Laju korosi umum baja karbon di atmosfer tertera pada tabel berikut ini :

Tabel 1. Laju korosi Baja Karbon di Atmosfer

Atmosphere	Corrosion Rate ($\mu\text{m}/\text{year}$)
Rural	4 – 60
Urban	30 – 70
Industrial	40 – 160
Marine	60 – 170

Sumber : galvanizeit.org

Finite Element Analysis

Metode numerik menyediakan alat umum untuk menganalisis geometri arbitrer dan kondisi pemuatan. Di antara metode numerik, *Finite Element Analysis* (FEA) telah banyak digunakan. Namun, analisis semacam ini membutuhkan pembuatan set data dalam jumlah besar untuk mendapatkan hasil yang cukup akurat dan menghabiskan banyak waktu dan sumber daya teknik komputer. FEA adalah pilihan yang baik untuk menganalisis karena membantu menghilangkan kebutuhan akan eksperimen yang menghabiskan waktu untuk mengoptimalkan parameter proses. Simulasi FEA semakin banyak digunakan untuk menyelidiki dan mengoptimalkan proses *blanking*. Banyak percobaan yang menghabiskan waktu dapat digantikan oleh simulasi komputer. Oleh karena itu, hasil analisis

yang sangat akurat dapat diperoleh dengan menggunakan simulasi FEA. FEA memberikan solusi perkiraan dengan akurasi yang tergantung terutama pada jenis elemen dan kehalusan elemen mesh hingga.

METODOLOGI PENELITIAN

Studi Literatur

Sumber literatur yang digunakan sebagai bahan acuan untuk melakukan penelitian adalah berupa wawancara dengan dosen pembimbing, buku buku panduan dan jurnal jurnal yang terkait tentang perancangan tangki kompresor, perancangan bejana tekan dan perhitungannya. Buku panduan dan jurnal yang digunakan sebagai acuan telah memiliki data data yang akurat.

Konsep Perancangan

Dalam menentukan konsep rancangan, spesifikasi suatu produk perlu ditetapkan sesuai kebutuhan. Spesifikasi yang ditentukan penulis diambil berdasarkan dari hasil studi literatur yang telah dilakukan dan bimbingan dengan dosen. Berikut ini spesifikasi dan ketentuan dari bejana tekan :

Tabel 2. Spesifikasi Bejana Tekan

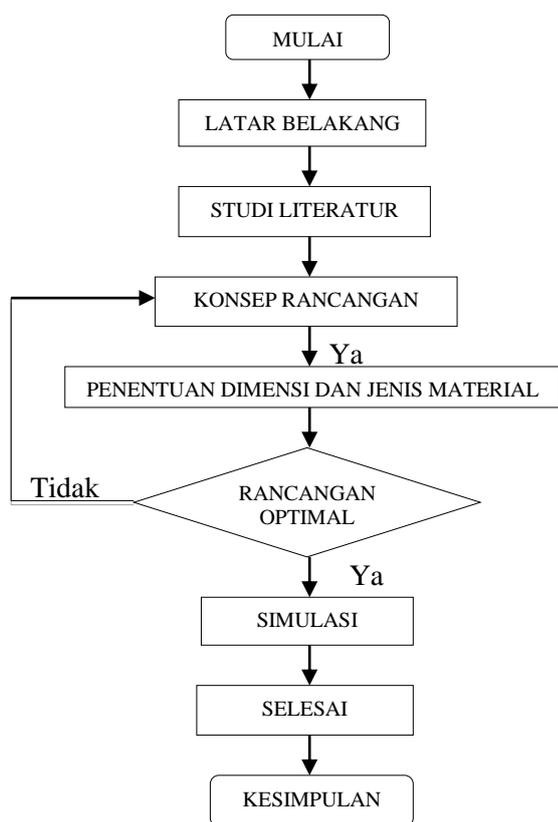
Fluida	Udara
Jenis Bejana Tekan	Vertikal
Kapasitas Bejana	500 Dm ³
Tekanan Internal	10 Kg/cm ²
Diameter	600 mm

Penentuan Dimensi Dan Jenis Material

Setelah menentukan konsep sebuah rancangan maka langkah selanjutnya adalah menentukan dimensi dari silinder yang akan dirancang menggunakan persamaan persamaan yang diambil dari buku panduan dan standar. Pemilihan material yang akan digunakan sesuai persyaratan ASME Section II Part D.

Simulasi Menggunakan software

Pada tahap ini dilakukan simulasi dengan bantuan software CAE (*Computer Aided Engineering*). CAE adalah program komputer yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan-persoalan *engineering* dalam menganalisa maupun mengoptimasi suatu produk.



PEMBAHASAN

Data Rancangan

Diameter dalam	: 600 mm
Kapasitas / Volume	: 500 Dm ³
Tekanan Internal	: 10 Kg/Cm ²
Fluida	: Udara
Efisiensi sambungan	: 0,75
Corrosion Allowance	: 3 mm

Pemilihan Material

Material yang digunakan pada perancangan ini adalah SA-455 berdasarkan ASME Section VIII Part UCS. SA-455 termasuk jenis material yang memiliki sifat *ductile*. Kriteria dari material SA-455 ditunjukkan pada tabel 3 berikut ini adalah :

Tabel 3 Spesifikasi Material SA-455

Yield Strength	235 MPa
Tensile Strength	360 MPa
Poisson's Ratio	0,28
Young's Modulus	2100000 MPa
Yield Strain	0,00112

Sumber : ASME, 2017

$$otl = 0,8 \sigma_y = 0,8(235 \text{ MPa}) = 188 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{St}{3,5} = \frac{482,63 \text{ MPa}}{3,5} = 138 \text{ Mpa}$$

Kriteria Dinding

Hasil dari perbandingan tegangan yang diijinkan oleh material dengan tekanan internal yang terjadi pada dinding silinder adalah lebih dari enam $\frac{\sigma}{P} > 6$, artinya bejana tekan yang dirancang dikategorikan dalam silinder dinding tipis.

Teoritis

Tebal *shell* berdasarkan tegangan maksimumnya, yaitu tegangan melingkar :

$$T_{shell} = \frac{PD}{2\sigma t \cdot \eta} + CA$$

$$T_{shell} = \frac{(0,980665 \text{ MPa})(600 \text{ mm})}{188 \text{ MPa}(0,75)} + 3 \text{ mm}$$

$$T_{shell} = 5,08 \text{ mm}$$

Tebal *head* yang digunakan berdasarkan persamaan berikut :

$$T_{head} = \frac{PD}{4\sigma t} + CA$$

$$T_{head} = \frac{(0,980665 \text{ MPa})(600 \text{ mm})}{4(360 \text{ MPa})} + 3 \text{ mm}$$

$$T_{head} = 3,4 \text{ mm}$$

Empirik

Berdasarkan ASME 2017 UG.27 tebal *shell* :

$$T_{shell} = \frac{PD}{SE - 0,6P} + CA$$

$$T_{shell} = \frac{(0,980665 \text{ MPa})(605,08 \text{ m})}{(138 \text{ MPa} \times 0,75) - 0,6(0,980665 \text{ MPa})} + 3 \text{ mm}$$

$$T_{shell} = 5,88 \text{ mm}$$

Berdasarkan ASME 2017 UG.27 tebal *head*:

$$T_{head} = \frac{PD}{2,5E - 0,2P} + CA$$

$$T_{head} = \frac{(0,980665 \text{ MPa})(605,08 \text{ mm})}{(2 \times 138 \text{ MPa} \times 0,75) - (0,2 \times 0,980665 \text{ MPa})} + 3 \text{ mm}$$

$$= 5,869 \text{ mm}$$

Tinggi Bejana

Berdasarkan perbandingan kapasitas bejana dengan luas bidang isi bejana, tinggi bejana dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Volume} = \text{Volume silinder} + \text{Volume head}$$

$$500 \text{ Dm}^3 = (\pi r^2 t) + \left(\frac{\pi D^3}{12}\right)$$

$$500 \times 10^6 \text{ mm}^3 = (\pi(300 \text{ mm})^2 t) + \left(\frac{\pi(600 \text{ mm})^3}{12}\right)$$

$$T_{silinder} = 1530 \text{ mm}$$

Sehingga total tinggi dari bejana tekan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Tinggi total bejana} = \text{Tinggi silinder} + 2 \text{ dish}$$

$$= 1530 \text{ mm} + 2(150 \text{ mm})$$

$$= 1830 \text{ mm}$$

Pemodelan Bejana Tekan

Pada gambar 4.3 ditunjukkan model geometri 3D keseluruhan objek. Pemodelan geometri ini berdasarkan dimensi awal dan hasil perhitungan empirik. Diameter tangki 600 mm dan tinggi tangki 1530 mm. Tebal *shell* 6 mm sedangkan tebal *head* 6 mm.



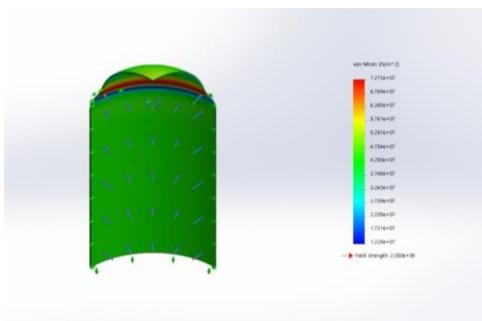
Gambar 10. Pemodelan Geometri Bejana Tekan

Perhitungan Deformasi

Berdasarkan hubungan tegangan- regangan maka besarnya regangan yang terjadi pada sumbu x dan y adalah 0,000645. Regangan yang terjadi pada sumbu-x menyebabkan peningkatan jari-jari menjadi 300,193 mm dan penambahan tebal dinding silinder menjadi 5,083 mm.

Regangan yang terjadi pada sumbu z adalah - 0,0005, sehingga terjadi perubahan dimensi panjang atau tinggi silinder menjadi 1529,23 mm. Dengan adanya perubahan dimensi jari-jari, tebal dan tinggi menyebabkan perubahan volume silinder menjadi 500,394 Dm³. Perbandingan selisih volume akhir dan awal dengan volume mula-mula (deformasi) sebesar 0,00078781.

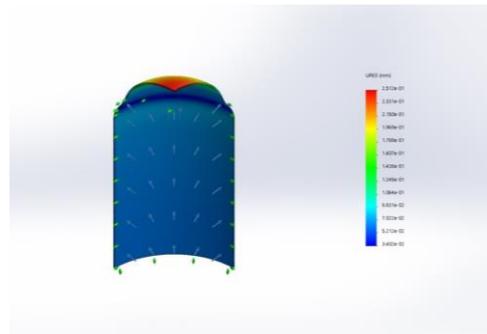
Analisa Beban Statis



Gambar 11. Hasil Simulasi Tegangan

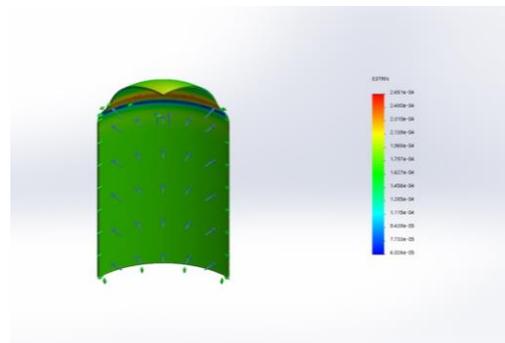
Pada gambar 11 ditunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada von mises stress sebesar 72,72 MPa dengan lokasi di node : 52353.

Besar regangan yang terjadi adalah deformasi dibagi panjang awal yaitu $\frac{0,251 \text{ mm}}{1830 \text{ mm}} = 0,000137$. Perubahan bentuk dari bejana tekan (*displacement*) ditunjukkan pada gambar 12.



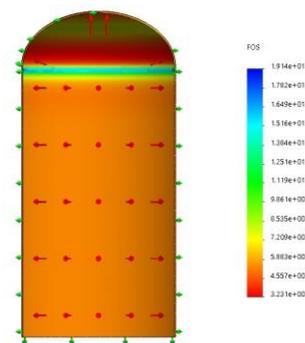
Gambar 12. Hasil Perubahan Bentuk (*displacement*)

Dapat dilihat, strain terbesar terjadi di sekitar sambungan. Strain maksimal bejana tekan ditunjukkan pada degradasi warna merah menunjukkan nilai $2,651 \times 10^{-4}$. Laju perubahan displacement pada bejana tekan ditunjukkan oleh gambar 13



Gambar 13. Hasil Strain Pada Bejana

Faktor keamanan juga menunjukkan tingkat kemampuan suatu material untuk menerima beban dari luar dalam hal ini adalah beban tekan. Pada analisa bejana tekan ini didapatkan nilai keselamatan sebesar 3,23 yang ditunjukkan pada gambar 14.



Gambar 14. Hasil Faktor Keamanan

Umur Operasi

$$\text{Umur operasi} = \frac{3 \text{ mm}}{0,1 \text{ mm/year}} = 30 \text{ year}$$

SIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa

- 1) Dari hasil perhitungan teoritis dan empirik tidak terjadi perbedaan tebal yang signifikan, sehingga dengan tebal *shell* yang digunakan sebesar 6 mm dan tebal *head* yang digunakan sebesar 6 mm dengan bentuk head tipe *ellipsoidal* sudah aman sesuai standar.
- 2) Untuk memastikan ukuran tebal yang ditetapkan dan melalui hasil uji simulasi menunjukkan bahwa regangan yang terjadi sebesar 0,000137 dibandingkan dengan regangan yang diijinkan oleh material sebesar 0,00112, hasilnya kurang dari regangan yang diijinkan oleh material sehingga apabila terjadi peningkatan temperatur di sekitar dinding silinder masih tetap dalam kondisi aman.
- 3) Dari hasil analisis menggunakan *software* CAE pada tekanan 0,980665 MPa didapatkan tegangan maksimum yang terjadi sebesar 72,72 MPa dibandingkan dengan tegangan yang diijinkan oleh material sebesar 138 MPa, tegangan maksimum yang terjadi kurang dari tegangan maksimum yang diijinkan oleh material, artinya konstruksi bejana tekan cukup kuat dan aman digunakan.

3,5 M' *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Satrijo, Djoeli. dan Habsya, S.A. (2012) 'Perancangan Dan Analisa Tegangan Pada Bejana Tekan Horizontal Dengan Metode Elemen Hingga', *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* Vol. 14 No. 3 Juli 2012 : 32-40.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Mechanical Engineers, (2017) 'Rules for Construction of Pressure Vessels', Sec. VIII Div. 1, United State of America.
- Aziz, A., Hamid, A. and Hidayat, I. (2014) 'Perancangan Bejana Tekan (Pressure Vessel) Untuk Separasi 3 Fasa', *Jurnal Ilmiah SINERGI*.
- Bethalembah, M.G. (2015) '*Mekanika Kekuatan Bahan*', Jilid 1, Jakarta.
- Cahyono, Edi. (2004) 'Perancangan Bejana Tekan Vertikal Berisi Udara Untuk Peralatan Pneumatik Kapasitas 8,25 m³ Dengan Tekanan kerja 5,7 kg/cm²', *Skripsi*, Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Mukhlisin. (2016) 'Analisa Bejana Tekan Tipe Spherical Untuk Penggunaan di Kapal LNG', *Tesis*, Teknik Perkapalan, Institute Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Putra, R.C. 'Perancangan Bejana Tekan Kapasitas 5 m³ Dengan Tekanan Desain 10 Bar Berdasarkan Standar ASME 2007 Section VIII Div 1', Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah, Tangerang.
- R.S. Khurmi (2005) 'Machine design', *Handbook of Machinery Dynamics*.
- Rukmana, Ryandhika. (2017) 'Analisa Laju Korosi pada Baja SS 304 Dengan Variasi Material Pelapis Pada Lingkungan Satlintas Tinggi NaCl