

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Data Perancangan

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

4.2 Pemilihan Material

Material yang digunakan pada perancangan ini adalah SA-455. Pemilihan material berdasarkan ASME Section VIII Part UCS. SA-455 termasuk jenis material yang memiliki sifat *ductile*. Kriteria dari material SA-455 ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut ini adalah :

Tabel 4.1 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

Data data pada tabel 4.1 berdasarkan ASME Section VIII. Berdasarkan data pada tabel 4.1 tegangan melingkar pada bejana dapat dihitung sebagai berikut:

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

Berdasarkan ASME Section II Part D tegangan maksimum yang diijinkan dari material SA-455 dapat dihitung :

$$S = \frac{St}{3,5}$$

Siti Mutmainah, 2020

Rancangan "Air Compressor Tank" Kapasitas 500 Dm³ Dan Tekanan Maksimum 10 Kg/Cm² Dengan Pendekatan Optimasi Secara Teoritis, Empirik Dan Simulasi

UPN Veteran Jakarta, Fakultas Teknik, S-1 Teknik Mesin

[www.upnvj.ac.id – www.library.upnvj.ac.id – www.repository.upnvj.ac.id]

Dimana besar tensile strength berdasarkan temperatur kerjanya dapat dilihat pada tabel P-100, yaitu 70 Ksi (482,63 MPa). Sehingga tegangan maksimum yang diijinkan :

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

4.3 Kriteria Tebal Dinding

Langkah pertama yang dilakukan sebelum menentukan tebal *shell* adalah menentukan kriteria dari *shell* silinder itu sendiri, termasuk kategori dinding tebal atau dinding tipis. Hal ini dipengaruhi oleh tekanan internal yang bekerja pada dinding silinder dan tegangan yang diijinkan (σ). Berdasarkan pengaruh tegangan yang diijinkan dan tekanan internal maka persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{\sigma}{P} > 6 \quad \text{atau} \quad \frac{\sigma}{P} < 6$$

Dengan memasukkan nilai tegangan yang diijinkan $\sigma = 138 \text{ MPa}$ dan tekanan internal yang bekerja pada dinding silinder $P = 10 \text{ Kg/Cm}^2$ (0,980665 MPa) pada persamaan di atas maka hasilnya :

$$\frac{138 \text{ MPa}}{0,980665 \text{ MPa}} = 140,72$$

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 tangki kompresor yang dirancang dikategorikan dalam silinder dinding tipis.

4.4 Tebal *Shell* Dengan Pendekatan Teoritis

Setelah diketahui kriteria dari dinding silinder maka tebal silinder dapat dihitung dengan persamaan sesuai dari kriteria dinding tersebut. Pada silinder dinding tipis besarnya nilai tegangan longitudinal setengah dari tegangan melingkar atau tegangan melingkar dibagi dua. Untuk itu dalam menrancang silinder dinding tipis didasarkan dengan tegangan maksimum, yaitu tegangan

Siti Mutmainah, 2020

Rancangan "Air Compressor Tank" Kapasitas 500 Dm³ Dan Tekanan Maksimum 10 Kg/Cm² Dengan Pendekatan Optimasi Secara Teoritis, Empirik Dan Simulasi

UPN Veteran Jakarta, Fakultas Teknik, S-1 Teknik Mesin

[www.upnvj.ac.id – www.library.upnvj.ac.id – www.repository.upnvj.ac.id]

melingkar. Dimensi ini dapat ditentukan dengan pertimbangan tekanan internal silinder, yaitu 10 Kg/Cm^2 ($0,980665 \text{ MPa}$). Tangki ini akan dirancang dengan diameter 600 mm . Sedangkan tegangan longitudinal dari material yang digunakan adalah 188 MPa . Dengan persamaan yang terdapat pada bab sebelumnya maka tebal shell dapat dihitung sebagai berikut :

$$t = \frac{PD}{2\sigma t}$$

$$t = \frac{(0,980665 \text{ MPa})(600 \text{ mm})}{188 \text{ MPa}}$$

$$t = 1,56 \text{ mm}$$

Dengan mempertimbangkan efisiensi sambungan sebesar $0,75$ dan *corrosion allowance* = 3 mm maka tebal shell :

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

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

$$t = 5,08 \text{ mm}$$

Setelah tebal *shell* diketahui maka diameter luar silinder dapat dihitung dengan menjumlahkan diameter dalam silinder dengan tebal *shell* :

$$D_o = D_i + t$$

$$D_o = 600 \text{ mm} + 5,08 \text{ mm} = 605,08 \text{ mm}$$

4.5 Tebal *Shell* Dengan Pendekatan Empirik

Tebal ini dapat dicari berdasarkan tekanan yang bekerja pada dinding silinder melalui persamaan tebal berdasarkan tegangan yang diijinkan oleh material yang digunakan. Tegangan yang diijinkan oleh material yang digunakan sebesar 138 MPa . Pertimbangan korosi diabaikan. Berdasarkan ASME 2017 Section VIII Divisi 1 tebal *shell* dapat dihitung :

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

Siti Mutmainah, 2020

Rancangan "Air Compressor Tank" Kapasitas 500 Dm^3 Dan Tekanan Maksimum 10 Kg/Cm^2 Dengan Pendekatan Optimasi Secara Teoritis, Empirik Dan Simulasi

UPN Veteran Jakarta, Fakultas Teknik, S-1 Teknik Mesin

[www.upnvj.ac.id – www.library.upnvj.ac.id – www.repository.upnvj.ac.id]

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

$$t = 5,88 \text{ mm}$$

Kemudian disesuaikan dengan tebal plat yang ada dipasaran maka tebal *shell* pada dinding silinder adalah 6 mm.

4.6 Tebal *Head* Dengan Pendekatan Teoritis

Berdasarkan teoritis tebal head dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

Nilai tensile stress = 360 MPa dapat dilihat pada tabel 4.1, maka tebal head :

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

$$t = 3,4 \text{ mm}$$

4.7 Tebal *Head* Dengan Pendekatan Empirik

Ketebalan dari head juga merupakan parameter utama yang perlu diperhatikan agar bejana dapat bekerja pada tekanan operasinya yang aman. Dalam perancangan ini jenis head yang dipilih adalah tipe ellipsoidal dan berdasarkan ASME 2017 Section VIII Divisi.1 tebal head dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

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

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

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

Kemudian disesuaikan dengan tebal plat yang ada di pasaran maka tebal *head* pada dinding silinder adalah 6 mm.

4.8 Tinggi Bejana

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

Siti Mutmainah, 2020

Rancangan "Air Compressor Tank" Kapasitas 500 Dm³ Dan Tekanan Maksimum 10 Kg/Cm² Dengan Pendekatan Optimasi Secara Teoritis, Empirik Dan Simulasi

UPN Veteran Jakarta, Fakultas Teknik, S-1 Teknik Mesin

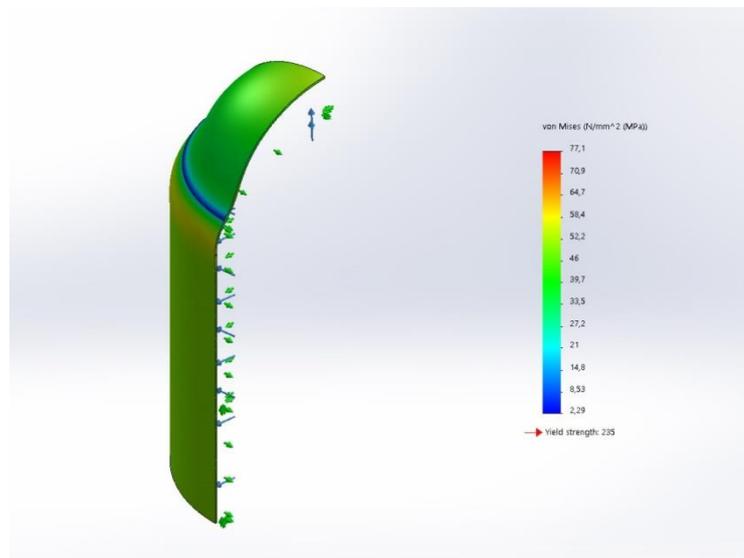
[www.upnvj.ac.id – www.library.upnvj.ac.id – www.repository.upnvj.ac.id]

$$\begin{aligned}
\text{Volume} &= \text{Volume silinder} + \text{Volume head} \\
500 \text{ Dm}^3 &= (\pi r^2 t) + \left(\frac{\pi D^3}{12}\right) \\
500 \times 10^6 \text{ mm}^3 &= (\pi(300 \text{ mm})^2 t) + \left(\frac{\pi(600 \text{ mm})^3}{12}\right) \\
500 \times 10^6 \text{ mm}^3 &= (9 \times 10^4 \pi t) \text{mm}^2 + (18 \times 10^6 \pi) \text{mm}^3 \\
(500 \times 10^6) \text{mm}^3 - (18 \times 10^6 \pi) \text{mm}^3 &= (9 \times 10^4 \pi t) \text{mm}^2 \\
\text{Tsilinder} &= 1530 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Sehingga total tinggi dari bejana tekan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\text{Tinggi total bejana} &= \text{Tinggi silinder} + 2 \text{ dish} \\
&= 1530 \text{ mm} + 2(150 \text{ mm}) \\
&= 1830 \text{ mm}
\end{aligned}$$

4.9 Analisis Pendekatan Teoritis Dan Empirik



Gambar 4.1 Hasil Simulasi Pendekatan Teoritis

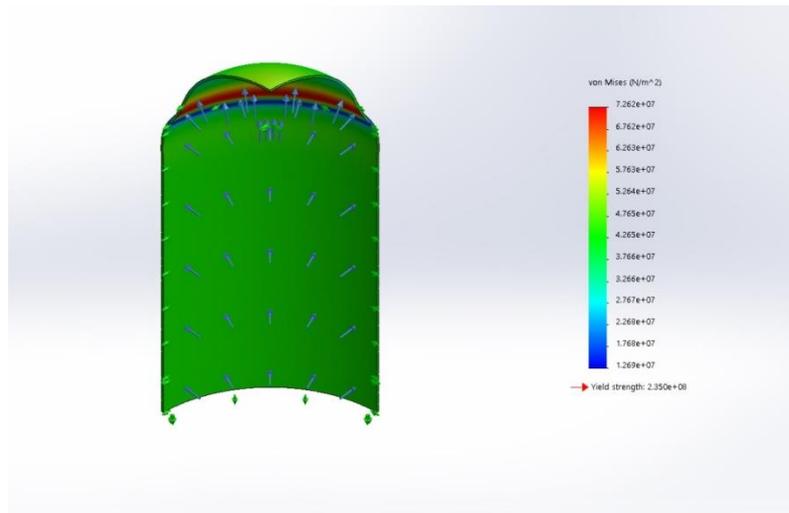
Simulasi dibuat berdasarkan dimensi dari hasil perhitungan teoritis. Tebal *shell* 4 mm dan tebal *head* 6 mm. Pada gambar 4.1 ditunjukkan tegangan maksimum yang terjadi sebesar 77.1 MPa. Tegangan maksimum yang terjadi kurang dari tegangan maksimum yang diijinkan oleh material tersebut.

Siti Mutmainah, 2020

Rancangan "Air Compressor Tank" Kapasitas 500 Dm³ Dan Tekanan Maksimum 10 Kg/Cm² Dengan Pendekatan Optimasi Secara Teoritis, Empirik Dan Simulasi

UPN Veteran Jakarta, Fakultas Teknik, S-1 Teknik Mesin

[www.upnvj.ac.id – www.library.upnvj.ac.id – www.repository.upnvj.ac.id]



Gambar 4.2 Hasil Simulasi Pendekatan Empirik

Simulasi dibuat berdasarkan dimensi dari hasil perhitungan empirik (ASME Section VIII Div.1). Tebal shell 6 mm dan tebal head 6 mm. Pada gambar 4.2 ditunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi sebesar 72,62 MPa. Tegangan maksimum yang terjadi kurang dari tegangan maksimum yang diijinkan oleh material tersebut.

Berdasarkan pendekatan teoritis dan empirik tegangan maksimum yang terjadi kurang dari tegangan maksimum yang diijinkan oleh material tersebut, artinya kedua kondisi tersebut masih berada dibatas aman. Namun nilai tegangan maksimum dengan pendekatan empirik lebih kecil dibandingkan tegangan maksimum dengan pendekatan teoritis, sehingga yang akan digunakan dalam perancangan ini adalah pendekatan empirik.

4.10 Pemodelan Bejana Tekan



Gambar 4.3 Pemodelan Geometri 3 Dimensi

Pada gambar 4.3 ditunjukkan model geometri 3D keseluruhan objek. Pemodelan geometri ini berdasarkan dimensi awal dan hasil perhitungan empirik.

Siti Mutmainah, 2020

Rancangan "Air Compressor Tank" Kapasitas 500 Dm³ Dan Tekanan Maksimum 10 Kg/Cm² Dengan Pendekatan Optimasi Secara Teoritis, Empirik Dan Simulasi

UPN Veteran Jakarta, Fakultas Teknik, S-1 Teknik Mesin

[www.upnvj.ac.id – www.library.upnvj.ac.id – www.repository.upnvj.ac.id]

Diameter tangki 600 mm dan tinggi tangki 1530 mm. Tebal *shell* 6 mm sedangkan tebal *head* 6 mm.

4.11 Perhitungan Deformasi

Bejana tekan yang diberi atau diisi oleh tekanan maka akan terjadi tegangan pada dinding silinder. Tegangan terjadi dua arah dan saling tegak nya lurus. Berdasarkan hubungan tegangan- regangan maka besarnya regangan yang terjadi pada sumbu x dan y dapat dihitung sebagai berikut

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \frac{\sigma}{E}(1-\mu)$$

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \frac{188MPa}{210000MPa}(1-0,28) = 0,000645$$

Sedangkan regangan yang terjadi pada sumbu z dapat dihitung sebagai berikut :

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

$$\varepsilon_z = -\frac{2(0,28)}{210000MPa} (188 MPa) = - 0,0005$$

Peningkatan jari jari dapat dihitung sebagai berikut :

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

$$r = 300 mm(1 + 0,000645)$$

$$r = 300,193 mm$$

Penambahan tebal dinding silinder dapat dihitung sebagai berikut ini:

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

$$t = 5,086 mm(1 + 0,00064) = 5,083 mm$$

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

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

$$l = 1530 mm(1 + (-0,0005))$$

$$= 1529,23 mm$$

Perubahan volume silinder dapat dihitung sebagai berikut ini :

$$\text{volume akhir} = \pi r^2 l (1 + \varepsilon_z + 2\varepsilon_x)$$

Siti Mutmainah, 2020

Rancangan "Air Compressor Tank" Kapasitas 500 Dm³ Dan Tekanan Maksimum 10 Kg/Cm² Dengan Pendekatan Optimasi Secara Teoritis, Empirik Dan Simulasi

UPN Veteran Jakarta, Fakultas Teknik, S-1 Teknik Mesin

[www.upnvj.ac.id – www.library.upnvj.ac.id – www.repository.upnvj.ac.id]

$$\begin{aligned} \text{volume akhir} &= 500 \text{ Dm}^3 (1 + (-0,0005) + 2(0,00064)) \\ &= 500,394 \text{ Dm}^3 \end{aligned}$$

Besarnya nilai deformasi volume dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

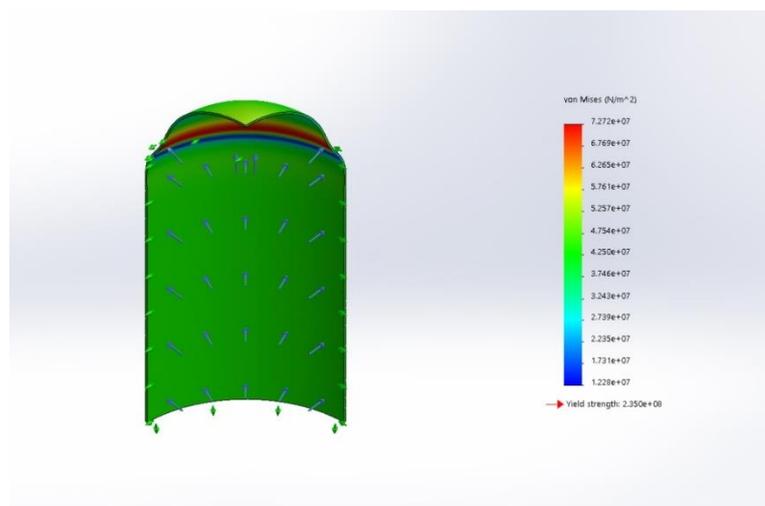
$$\begin{aligned} \frac{\Delta V}{V} &= \varepsilon_z + 2\varepsilon_x \\ \frac{\Delta V}{V} &= (-0,0005) + 2(0,00064) \\ &= 0,00078781 \end{aligned}$$

4.12 Proses Analisa Beban Statis

Proses yang dilakukan pada bejana tekan vertikal ini merupakan analisa beban statis yang merupakan jenis pembebanan yang bersifat tetap, dalam hal ini adalah pembebanan yang diberikan oleh berat total dari bejana tekan vertikal.

a. Tegangan

Tegangan merupakan kumpulan dari gaya (force) pada suatu permukaan benda. Semakin sempit suatu permukaan dan gaya tetap, maka permukaan tegangan semakin besar. Tegangan menunjukkan area tegangan material maksimal dan minimum yang diterima *part* dari beban yang diberikan. Tegangan bejana tekan terbesar ditunjukkan pada gradiasi warna merah, sedangkan tegangan pada bejana tekan terkecil ditunjukkan pada gradiasi warna paling biru. Area dengan tegangan dengan sedang adalah area dengan gradiasi warna kuning-hijau-biru muda. Tegangan bejana tekan maksimal ditunjukkan oleh *von mises stress*, yaitu sebesar 72,72 MPa.



Gambar 4.4 Hasil Simulasi Von Misses Stress

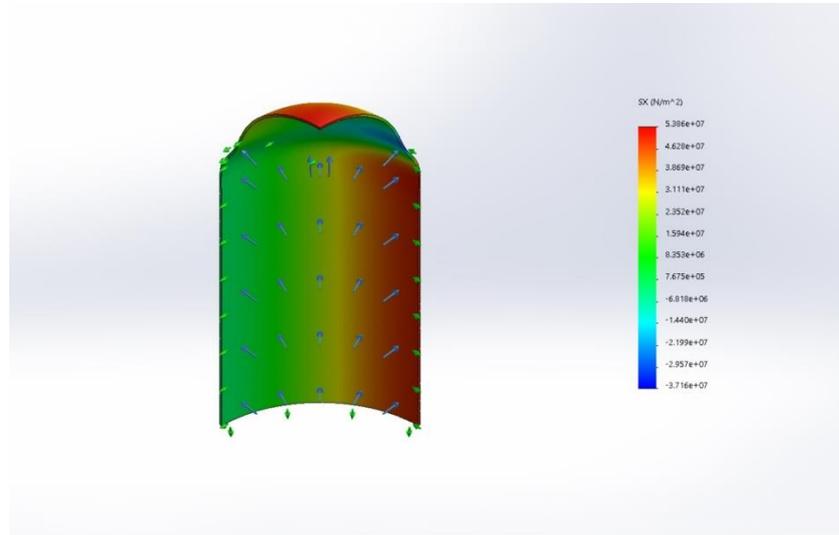
Siti Mutmainah, 2020

Rancangan "Air Compressor Tank" Kapasitas 500 Dm³ Dan Tekanan Maksimum 10 Kg/Cm² Dengan Pendekatan Optimasi Secara Teoritis, Empirik Dan Simulasi

UPN Veteran Jakarta, Fakultas Teknik, S-1 Teknik Mesin

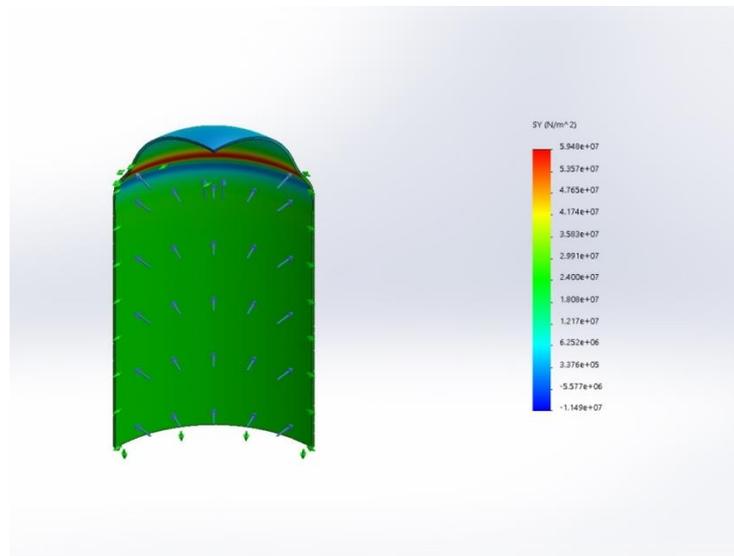
[www.upnvj.ac.id – www.library.upnvj.ac.id – www.repository.upnvj.ac.id]

Pada gambar 4.4 ditunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada von mises stress sebesar 72,72 MPa dengan lokasi di node : 52353.



Gambar 4.5 Hasil Simulasi Tegangan Terhadap Sumbu-X

Pada gambar 4.5 ditunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada tegangan normal sumbu-x sebesar 53,86 MPa dengan lokasi di node : 2644.



Gambar 4.6 Hasil Simulasi Tegangan Terhadap Sumbu-Y

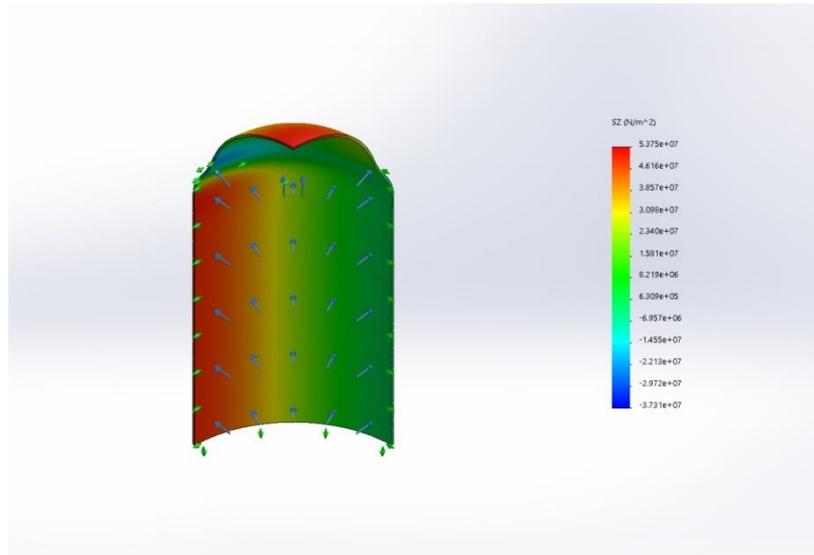
Pada gambar 4.6 ditunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada tegangan normal sumbu-y sebesar 59,48 MPa dengan lokasi di node : 50195.

Siti Mutmainah, 2020

Rancangan "Air Compressor Tank" Kapasitas 500 Dm³ Dan Tekanan Maksimum 10 Kg/Cm² Dengan Pendekatan Optimasi Secara Teoritis, Empirik Dan Simulasi

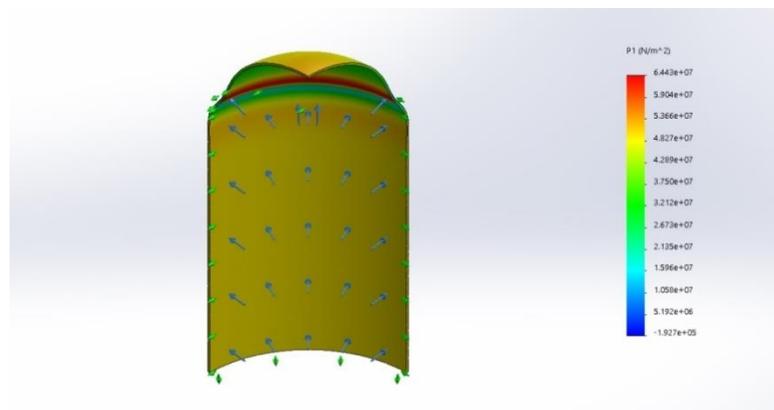
UPN Veteran Jakarta, Fakultas Teknik, S-1 Teknik Mesin

[www.upnvj.ac.id – www.library.upnvj.ac.id – www.repository.upnvj.ac.id]



Gambar 4.7 Hasil Simulasi Tegangan Terhadap Sumbu-Z

Pada gambar 4.7 ditunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada tegangan normal sumbu-z sebesar 53,75 MPa dengan lokasi di node : 2772 .



Gambar 4.8 Hasil Simulasi 1st Principal Stress

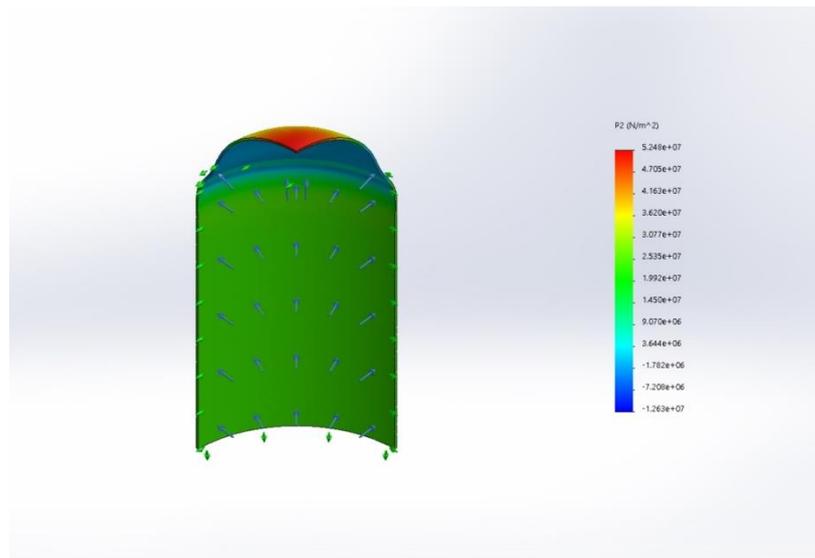
Pada gambar 4.8 ditunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada tegangan *circumferential* sebesar 64,43 MPa dengan lokasi di node : 49785.

Siti Mutmainah, 2020

Rancangan "Air Compressor Tank" Kapasitas 500 Dm³ Dan Tekanan Maksimum 10 Kg/Cm² Dengan Pendekatan Optimasi Secara Teoritis, Empirik Dan Simulasi

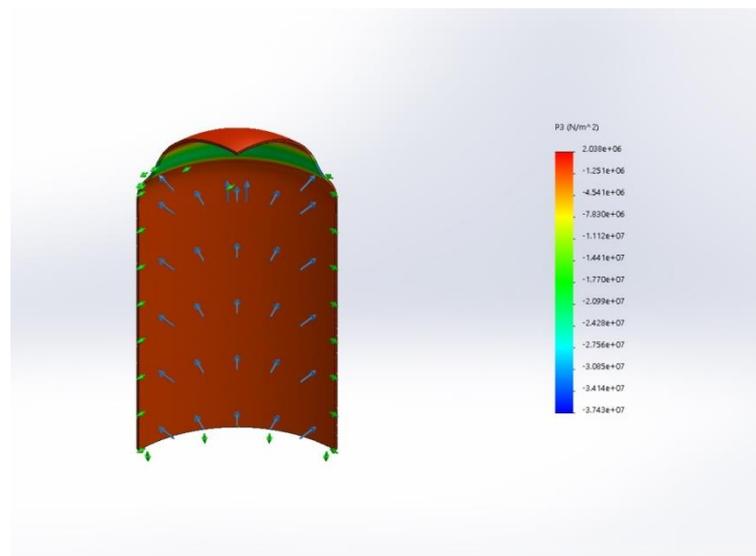
UPN Veteran Jakarta, Fakultas Teknik, S-1 Teknik Mesin

[www.upnvj.ac.id – www.library.upnvj.ac.id – www.repository.upnvj.ac.id]



Gambar 4.9 Hasil Simulasi 2nd Principal Stress

Pada gambar 4.9 ditunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada tegangan *longitudinal* sebesar 52,48 MPa dengan lokasi di node : 90.



Gambar 4.10 Hasil Simulasi 3rd Principal Stress

Pada gambar 4.10 di tunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi sebesar 20,38 MPa dengan lokasi di node : 52263.

b. Perubahan Bentuk (*Displacement*)

Perubahan bentuk merupakan perubahan yang terkena gaya, dalam hal ini adalah deformasi. Bagian yang paling terdeformasi dari desain ini adalah

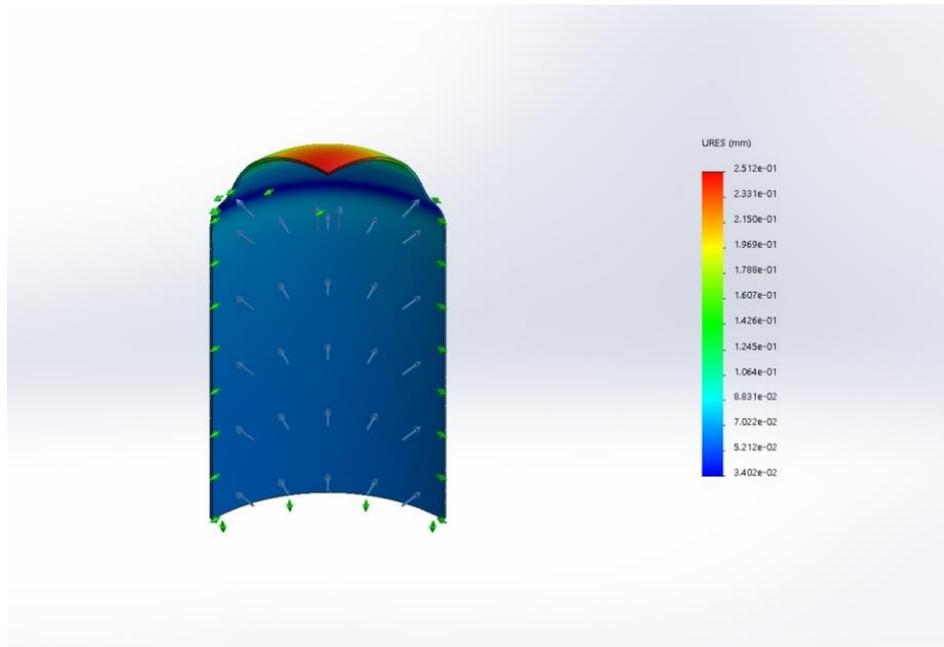
Siti Mutmainah, 2020

Rancangan "Air Compressor Tank" Kapasitas 500 Dm³ Dan Tekanan Maksimum 10 Kg/Cm² Dengan Pendekatan Optimasi Secara Teoritis, Empirik Dan Simulasi

UPN Veteran Jakarta, Fakultas Teknik, S-1 Teknik Mesin

[www.upnvj.ac.id – www.library.upnvj.ac.id – www.repository.upnvj.ac.id]

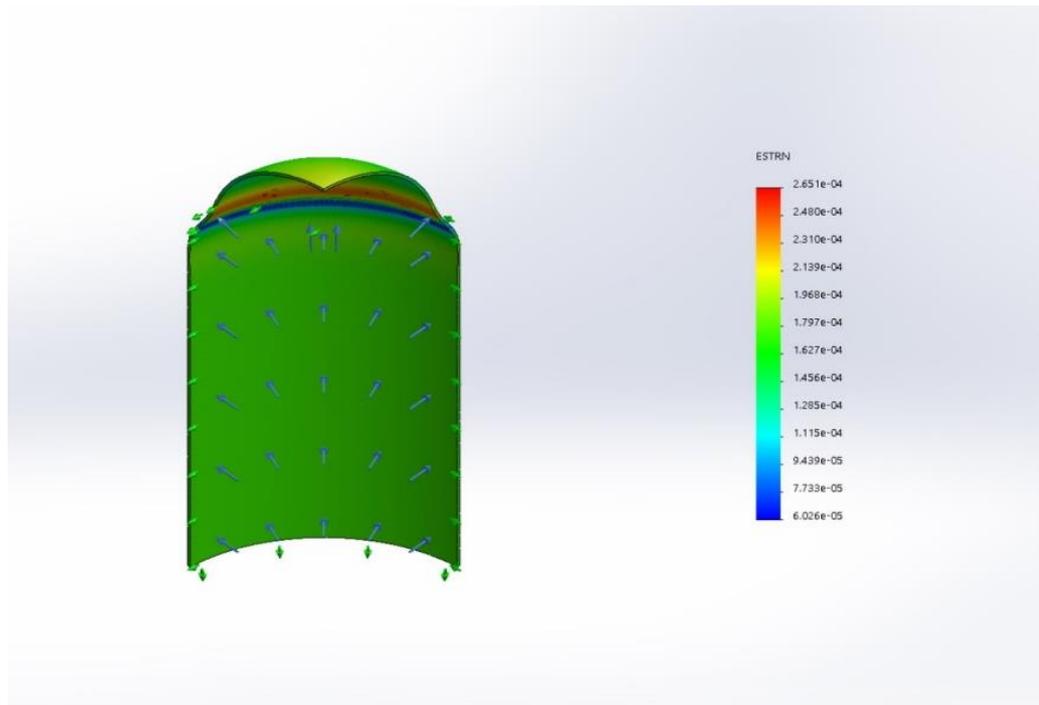
bagian *head* dari bejana tekan yang warna merah dengan nilai 0,251 mm dan bagian yang tidak terdeformasi adalah bagian yang berdegradasi warna biru tua. Besar regangan yang terjadi adalah deformasi dibagi panjang awal yaitu $\frac{0,251 \text{ mm}}{1830 \text{ mm}} = 0,000137$. Perubahan bentuk dari bejana tekan (*displacement*) ditunjukkan pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil Perubahan Bentuk Dari Bejana Tekan

c. *Strain* (Laju Perubahan)

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 4.12.



Gambar 4.12 Hasil Strain Pada Bejana Tekan

d. Faktor Keamanan (*factor of safety*)

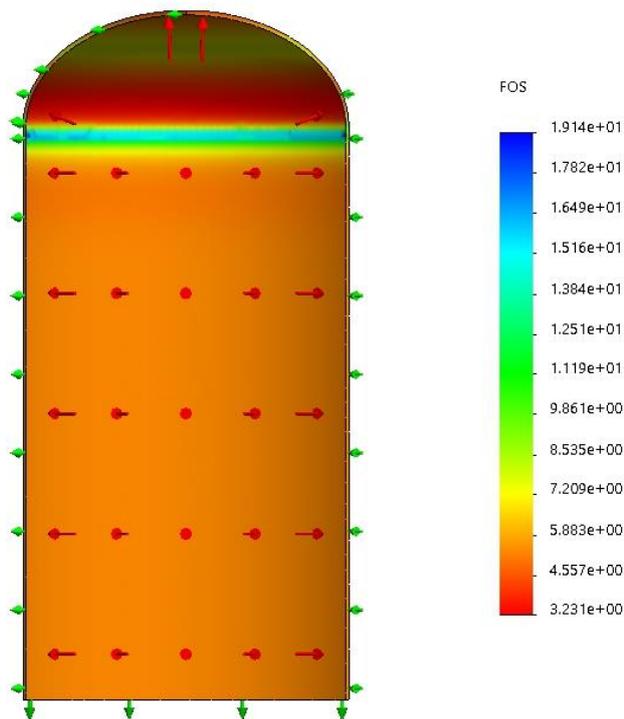
Faktor keamanan adalah patokan yang paling utama yang digunakan dalam menentukan kualitas dari suatu desain. Acuanannya adalah jika nilai FOS minimal kurang dari 1 maka desain tersebut kualitasnya jelek dan tidak layak untuk digunakan dan cenderung membahayakan, sebaliknya jika nilai FOS lebih dari 1 dan biasanya antara 1-3 maka desain tersebut berkualitas baik, aman dan layak digunakan. 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 4.1

Siti Mutmainah, 2020

Rancangan "Air Compressor Tank" Kapasitas 500 Dm³ Dan Tekanan Maksimum 10 Kg/Cm² Dengan Pendekatan Optimasi Secara Teoritis, Empirik Dan Simulasi

UPN Veteran Jakarta, Fakultas Teknik, S-1 Teknik Mesin

[www.upnvj.ac.id – www.library.upnvj.ac.id – www.repository.upnvj.ac.id]



Gambar 4.13 Hasil (factor of safety) Faktor Keamanan

4.13 Umur Operasi

Untuk mengetahui umur operasi dari suatu produk yang dirancang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini ;

$$\text{Umur operasi} = \frac{\text{corrosion allowance}}{\text{corrosion rate}}$$

Dengan memasukkan nilai corrosion allowance = 3mm sesuai standar ASME 2017 Section VIII Divisi 1 dan corrosion rate = $100\mu\text{m}/\text{year} = 0,1\text{mm}/\text{year}$ dapat dilihat pada tabel 2.2, karena bejana tekan akan digunakan pada lingkungan industri. Maka umur operasi bejana tekan :

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

Siti Mutmainah, 2020

Rancangan "Air Compressor Tank" Kapasitas 500 Dm³ Dan Tekanan Maksimum 10 Kg/Cm² Dengan Pendekatan Optimasi Secara Teoritis, Empirik Dan Simulasi

UPN Veteran Jakarta, Fakultas Teknik, S-1 Teknik Mesin

[www.upnvj.ac.id – www.library.upnvj.ac.id – www.repository.upnvj.ac.id]