

ANALISIS DESAIN AIR PRESSURE TANK UNTUK RIG UJI GENERATOR PLASMA

*Hafizh Falih Fadhlurrohman¹, Susilo Adi Widyanto², Mochammad Ariyanto²

¹Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275, Telp +62247460059

e-mail: falihfadhlurrohman06@gmail.com

Abstrak

Penerapan sistem pembakaran berbasis plasma pada pembangkit listrik tenaga panas merupakan strategi repowering yang bertujuan meningkatkan efisiensi, menekan emisi, dan mengurangi sisa bahan bakar yang tidak terbakar. Dalam sistem ini, bejana tekan berperan penting sebagai *air pressure tank* yang menyalurkan udara bertekanan guna menjaga kestabilan nyala plasma dan mengatur aliran bahan bakar. Mengingat potensi risikonya, desain bejana tekan harus mengikuti standar keselamatan internasional seperti ASME BPVC Section VIII Division 1. Penelitian ini merancang dan menganalisis tangki bertekanan berdasarkan spesifikasi teknis menggunakan simulasi *SolidWorks Static* dengan pembebanan tekanan, massa fluida, dan temperatur desain. Hasil simulasi menunjukkan *displacement* maksimum 0,196 mm, tegangan Von Mises 117,510 MPa, dan *factor of safety* minimum 2,1. Perbandingan antara hasil numerik dan analitik menunjukkan error di bawah 5%, menandakan bahwa desain tangki memenuhi batas *stress allowance* serta memiliki keandalan struktural sesuai standar.

Kata Kunci : asme; bejana tekan; *finitie element method*; keandalan struktur

Abstract

The implementation of plasma-based combustion systems in thermal power plants serves as a repowering strategy to enhance combustion efficiency, reduce emissions, and minimize unburned fuel residues. Pressure vessels are essential components in various industrial applications, including plasma combustion systems, where they function as air pressure tanks supplying compressed air to stabilize plasma flames and control fuel flow. Given their safety risks, the design and fabrication of pressure vessels must adhere to international standards such as the ASME BPVC Section VIII Division 1. This study focuses on the design and structural analysis of a pressure tank based on specific technical parameters. The developed geometry was evaluated using SolidWorks Static simulations under design pressure, fluid mass load, and design temperature conditions. The results indicate a maximum displacement of 0.196 mm, a Von Mises stress of 117.510 MPa, and a minimum safety factor of 2.1. The comparison between numerical and analytical stress results, including hoop, longitudinal, and radial stresses, shows an error below 5%. These findings confirm that the designed air pressure tank satisfies the allowable stress limits and demonstrates reliable structural performance in accordance with applicable standards

Keywords : asme; finite element method; pressure vessel; structural reliability

1. Pendahuluan

Batu bara masih menjadi sumber energi utama di berbagai negara karena ketersediaannya yang melimpah dan perannya dalam mendukung sektor industry [1]. Namun, penggunaannya perlu diarahkan menuju teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Sejalan dengan hal itu, maka kecendrungan penggunaan minyak meningkat. Untuk mengurangi kecendrungan tersebut dan menggantikan pembakaran dengan bahan bakar minyak, maka konsep pembakar modern berbasis generator plasma diperkenalkan [2]. Sistem ini memerlukan suplai udara bertekanan yang stabil, yang diperoleh melalui bejana tekan. Bejana tekan berfungsi menampung dan menyalurkan fluida bertekanan, serta dalam konteks *plasma combustion*, berperan sebagai *air pressure tank* untuk menjaga kestabilan nyala plasma dan mengatur aliran bahan bakar [3].

Tangki udara bertekanan merupakan jenis bejana tekan yang berfungsi menampung udara pada tekanan tertentu dan menyalurnya kembali sesuai kebutuhan sistem. Komponen ini berperan sebagai penyeimbang (*buffer*) yang menjaga kestabilan aliran udara dari kompresor menuju peralatan pengguna. Selain itu, bejana tekan berperan dalam menstabilkan suplai udara, meningkatkan efisiensi kerja kompresor, serta mengurangi fluktuasi tekanan yang berpotensi mengganggu kestabilan proses industri [4].

Penggunaan bejana tekan memiliki potensi risiko keselamatan yang tinggi, karena kegagalan strukturnya dapat menyebabkan kebocoran atau ledakan yang membahayakan pekerja serta fasilitas industri. Tantangan utama dalam pembuatannya meliputi tahap perancangan, produksi, transportasi, dan instalasi [5]. Oleh sebab itu, desain dan fabrikasi bejana tekan harus memenuhi standar internasional seperti *ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Section VIII Division 1* yang diakui secara global [6]. Dalam praktik umumnya orientasi bejana tekan dibagi menjadi bentuk vertikal

dan horizontal [7], dan secara umum setiap bejana tekan harus memiliki komponen utama berupa head, shell, air inlet, dan air outlet [8].

Dalam penerapannya, perancangan bejana tekan dilakukan melalui perhitungan analitik sesuai standar dengan mempertimbangkan tekanan desain, tegangan ijin material, efisiensi sambungan las, serta *corrosion allowance*, *corrosion allowance* yang ditambahkan ini nantinya menjadi salah satu parameter dalam perhitungan analisis statis [9]. Untuk material baja karbon dan baja paduan rendah, *corrosion allowance* umumnya ditetapkan minimal 2,0 mm pada kondisi dengan risiko korosi ringan, dan dapat ditingkatkan hingga 4,0 mm untuk lingkungan yang lebih korosif. Sebagian besar standar perancangan juga mensyaratkan nilai *allowance* minimum sebesar 1,0 mm [10]. Untuk memastikan keakuratan hasil desain, diperlukan validasi numerik menggunakan *Finite Element Method (FEM)*. Melalui simulasi numerik seperti *Ansys Structural*, dapat divisualisasikan distribusi tegangan, deformasi, dan *safety factor* pada kondisi operasi. Hasil perhitungan analitik model 3D kemudian divalidasi melalui simulasi numerik *Ansys Structural* dengan mempertimbangkan pengaruh efisiensi sambungan dan *corrosion allowance* terhadap ketebalan akhir bejana.

2. Metode Eksperimen

2.1 Perancangan Desain Air Pressure Tank

Perancangan desain tangki bertekanan diawali dengan pengumpulan data untuk spesifikasi teknis tangki. Data ini diperoleh dari suplai udara bertekanan dari mesin kompresor dan kebutuhan udara untuk mesin plasma. Setelah mengetahui spesifikasi mesin kompresor maka dapat diketahui untuk kebutuhan proses pada uji rig generator plasma. Potensi terhadap deformasi plastis dan degredasi permukaan menjadi penting akibat korosi, maka penting untuk memilih material yang sesuai dan perhitungan untuk tebal head dan shell menjadi penting. Persamaan untuk memenuhi kebutuhan desain dijelaskan pada persamaan-persamaan sebagai berikut. Pertama untuk volume udara bebas yang dibutuhkan.

$$V_{free} = V_{tank} \times (P_2 - P_1) \quad (1)$$

Di mana P_2 dan P_1 merupakan besaran tekanan operasi dan tekanan atmosfer, sedangkan persamaan untuk waktu pengisian udara dihitung dari rasio antara volume udara bebas terhadap kapasitas FAD kompresor.

$$t = \frac{V_{free}}{Q_{FAD}} \quad (2)$$

Untuk menentukan laju alir volumetrik aktual dan laju alir massa ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut.

$$\dot{m} = \rho_g \times Q_{FAD} \quad (3)$$

Di mana untuk laju alir volumetrik sendiri didapat dari persamaan.

$$Q_{aktual} = \frac{\dot{m}}{\rho_g} \quad (4)$$

Nilai laju alir massa didapat dari persamaan 3. Kemudian untuk proses perancangan tangki dilakukan dengan metode perhitungan desain bejana tekan dalam. Persamaan yang digunakan dijelaskan sebagai berikut, untuk menghitung dimensi tangki didapatkan dari persamaan volume tangki sebagai berikut.

$$V_{tangki} = V_{shell} + 2(V_{Head}) \quad (5)$$

$$V_{shell} = \frac{\pi}{4} D^2 L \quad (6)$$

$$V_{head} = 0.0778D^3 \quad (7)$$

Dengan rasio perbandingan untuk diameter dan panjang tangki pada tangki bertekanan rendah sampai menengah sebesar $L/D = 3$. Kemudian untuk perhitungan tebal shell dan head dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$t_{shell} = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (8)$$

$$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P} \quad (9)$$

Keterangan :

t = tebal minimum *shell* dan *head* (mm)

P = tekanan desain internal (MPa)

R = jari – jari dalam shell (mm)

S = allowable stress (diambil dari ASME Sec II, Part D)

E = joint efficiency

L = diameter dalam head

Kemudian untuk menentukan dimensi dari head meliputi knuckle radius, crown radius, depth head, dan straight flange dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut

$$Kr = 0.6D \quad (10)$$

$$Cr = D \quad (11)$$

$$D_h = 0.1935D_o - 0.455t \quad (12)$$

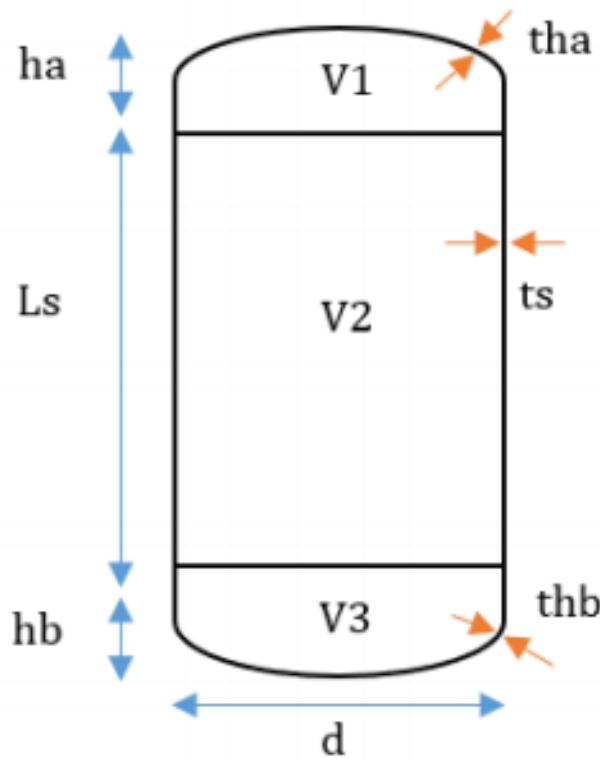
Dan untuk nilai straight flange sendiri besarnya dari tebal head dikali tiga $Sf = 3t$. Kemudian untuk menghitung nilai nozzle feed didapatkan dari persamaan sebagai berikut.

$$d_{opt} = (q)^{0.45}(\rho)^{0.13} \quad (13)$$

Di mana nilai q dan ρ adalah laju alir volumetrik dan densitas fluida. Setelah didapatkan nilai diameter optimal maka dapat ditentukan dimensi dari *flange* untuk *nozzle* yang diatur pada ASME B16. Standar tersebut mengatur tentang *class* sesuai material dan dimensi dari *flange*.

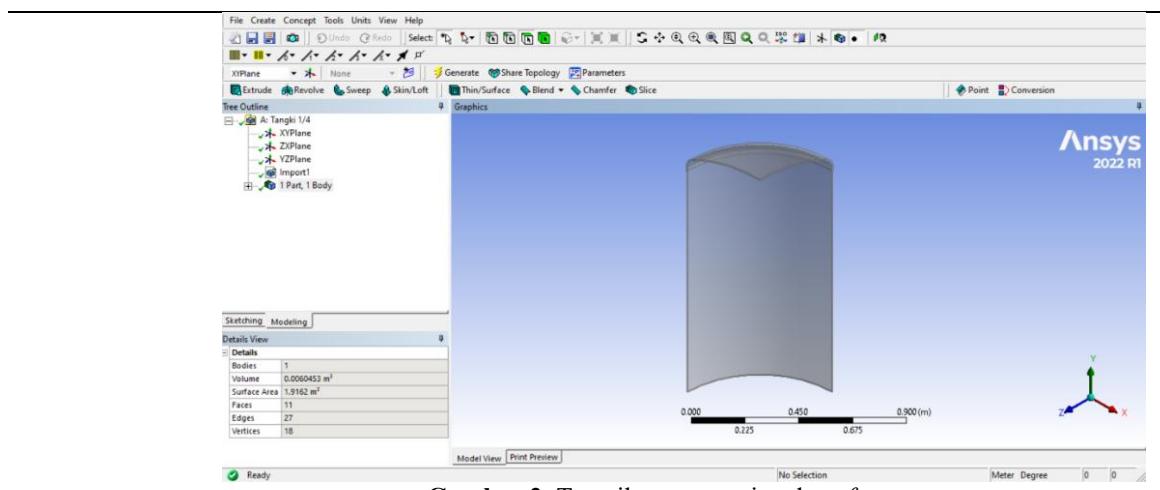
2.2 Pembuatan Model 3D dan Simulasi Desain

Proses pemodelan dari keseluruhan struktur *air pressure tank* dilakukan menggunakan perangkat lunak *computer aided design* Solidworks 2022. Perangkat lunak ini memiliki berbagai fitur yang membantu dalam hal pemodelan struktur dari *air pressure tank* dan proses simulasi desain dengan fitur ansys structural. Setelah didapatkan data untuk perancangan desain maka dibuat rancangan model dari tangki, rancangan model dapat dilihat pada Gambar 1.



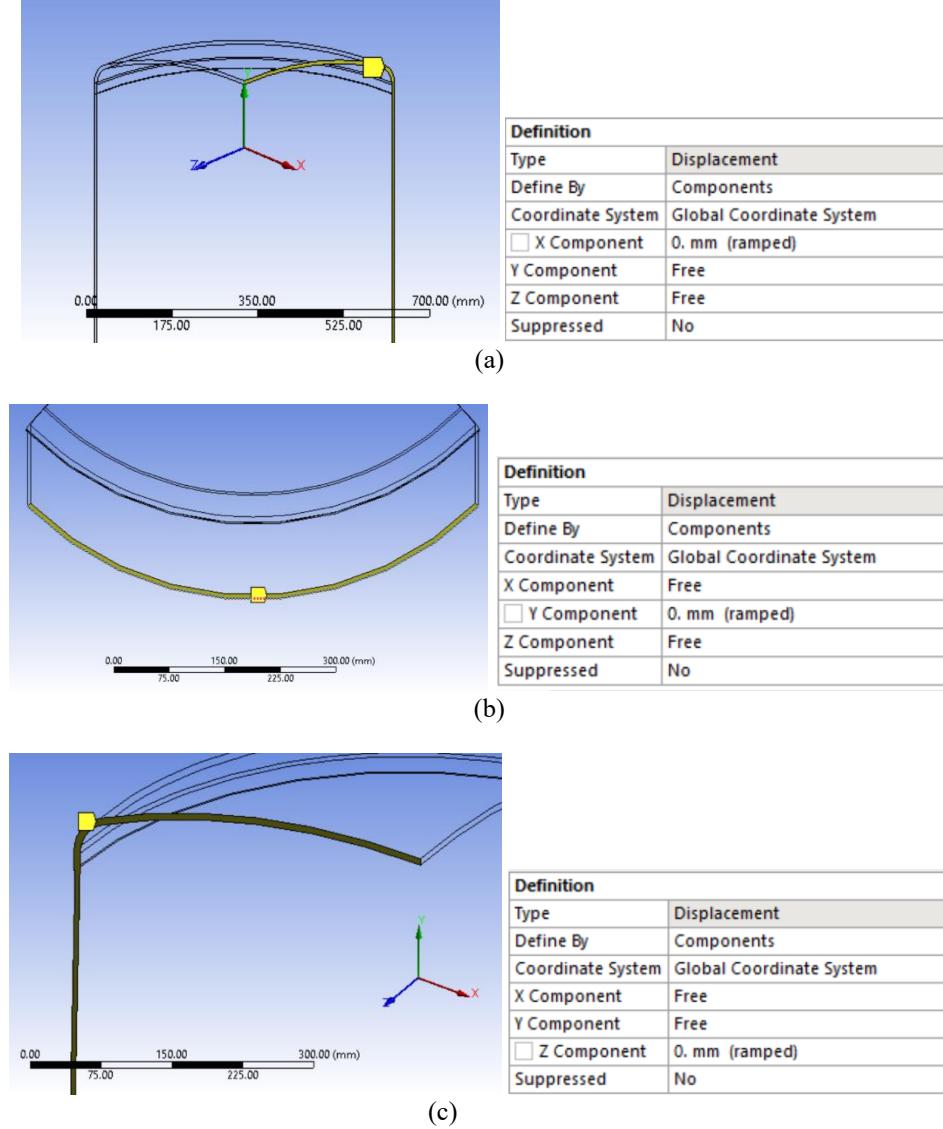
Gambar 1. Rancangan model tangki

Kemudian dari model tersebut dilakukan simulasi menggunakan software Ansys dengan fitur ansys static structural. Proses simulasi diawali dengan import geometri yang telah dibuat pada software solidworks ke software ansys. Import geometri dapat dilihat pada Gambar 2.



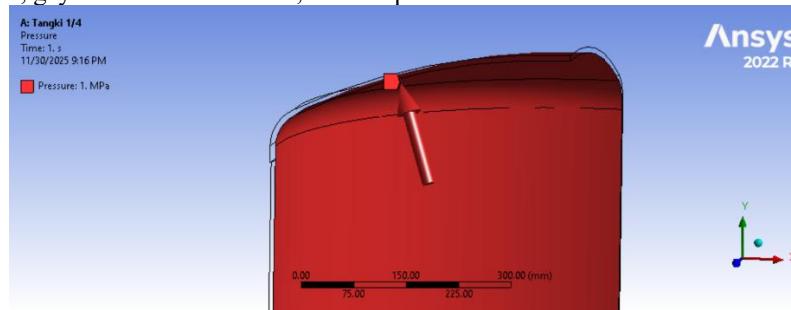
Gambar 2. Tampilan geometri pada software ansys

Kemudian dilanjutkan dengan penentuan constrain, pembebanan, proses meshing. Pemberian constrain beracu pada ketiga sumbu, yaitu sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. Constrain pada tangki ditunjukkan pada Gambar 3.

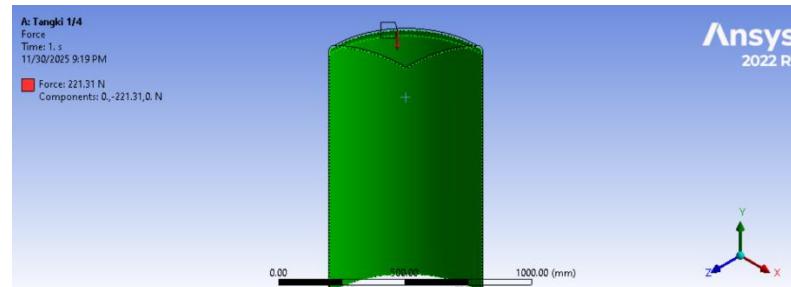


Gambar 3. (a) constrain sumbu X, (b) constrain sumbu Y, (c) constrain sumbu Z

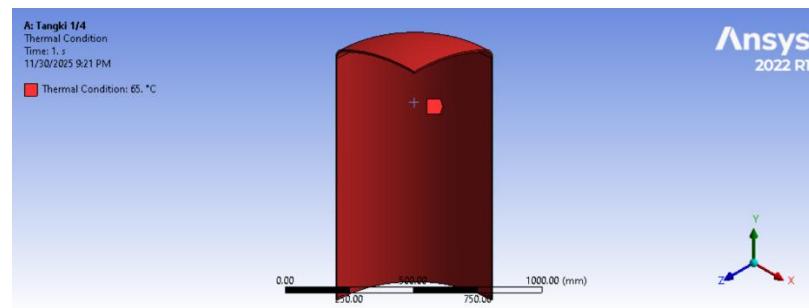
Pembebaan yang didefinisikan pada *air pressure tank* sesuai dengan spesifikasi teknis tangki, pembebaan yang diberikan meliputi tekanan, gaya akibat massa fluida, dan temperatur desain.



Gambar 4. Pembebaan tekanan desain



Gambar 5. Pembebaan loads berupa gaya massa fluida

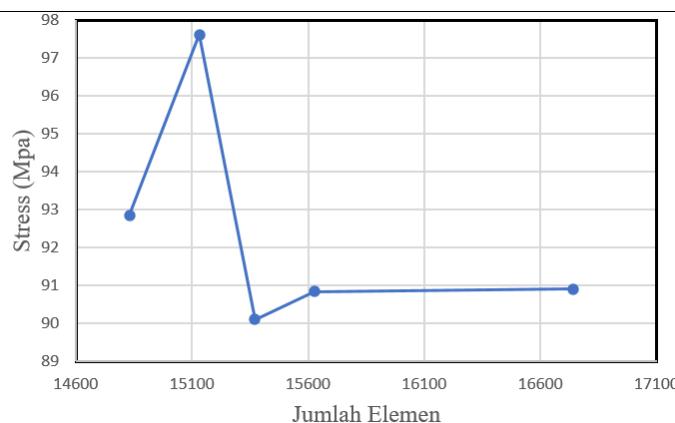


Gambar 6. Pembebaan temperature desain

Proses selanjutnya merupakan pembagian domain geometri menjadi bagian yang lebih kecil atau meshing. Proses meshing diawali dengan variasi mesh untuk independence grid. Proses meshing ditunjukkan pada Gambar dan Tabel di bawah.

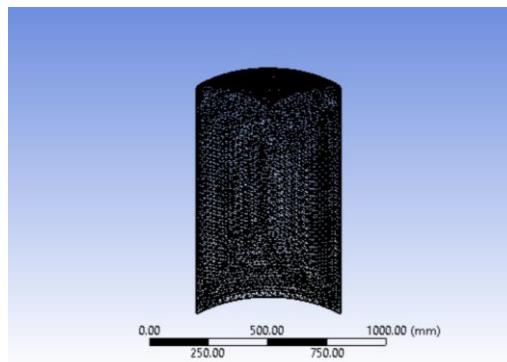
Tabel 1. Variasi Mesh Independence Grid

Mesh (mm)	Jumlah Elemen	Stress (Mpa)
20	17109	93,417
19,6	14830	92,851
19,5	15131	97,612
19	15370	90,101
18,9	15625	90,842
18,5	16740	90,899



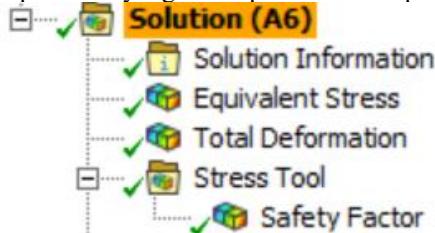
Gambar 7. Grafik independence grid mesh tangka

Setelah dilakukan variasi mesh untuk independe grid, maka didapatkan hasil meshing yang dapat ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Hasil meshing untuk air pressure tank

Hasil yang ingin didapatkan dari pengujian kaki penyangga untuk air pressure tank adalah *total deformation*, tegangan *Von-Misses*, dan *Safety factor*. Adapun hasil yang dicari pada model dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil yang dicari pada simulasi tangki

3. Pembahasan Hasil Pengujian

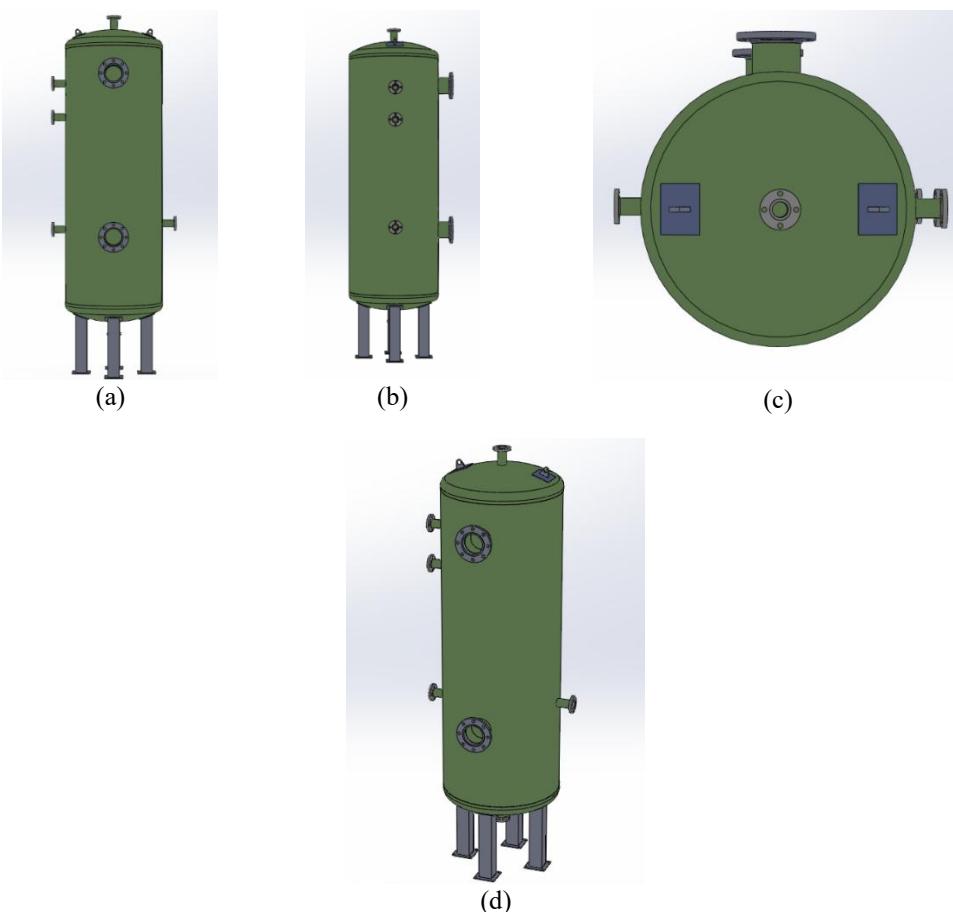
Perancangan tangki bertekanan menggunakan perhitungan kebutuhan suplai udara dan metode perhitungan desain bejana tekan dijelaskan hasilnya dengan ditunjukkan pada Tabel 2. Rancangan tangki bertekanan ini menggunakan material Carbon Steel SA-516 Gr.70 dengan orientasi tangki vertikal dan bentuk head jenis torispherical, pemilihan orientasi dan jenis head ini berdasar dari spesifikasi teknis tangki dengan tekanan operasi 8 bar, tekanan desain 10 bar, dan temperature desain sebesar 65°C.

Tabel 2. Hasil Perhitungan

No.	Keterangan	Nilai
1.	Volume udara bebas a. Kondisi kosong (1 bar(a)) – tekanan operasi (9 bar(a)) b. Tekanan operasional <i>rig</i> uji generator plasma (9 bar(a) – 7 bar (a))	a. 12000 L b. 3000 L

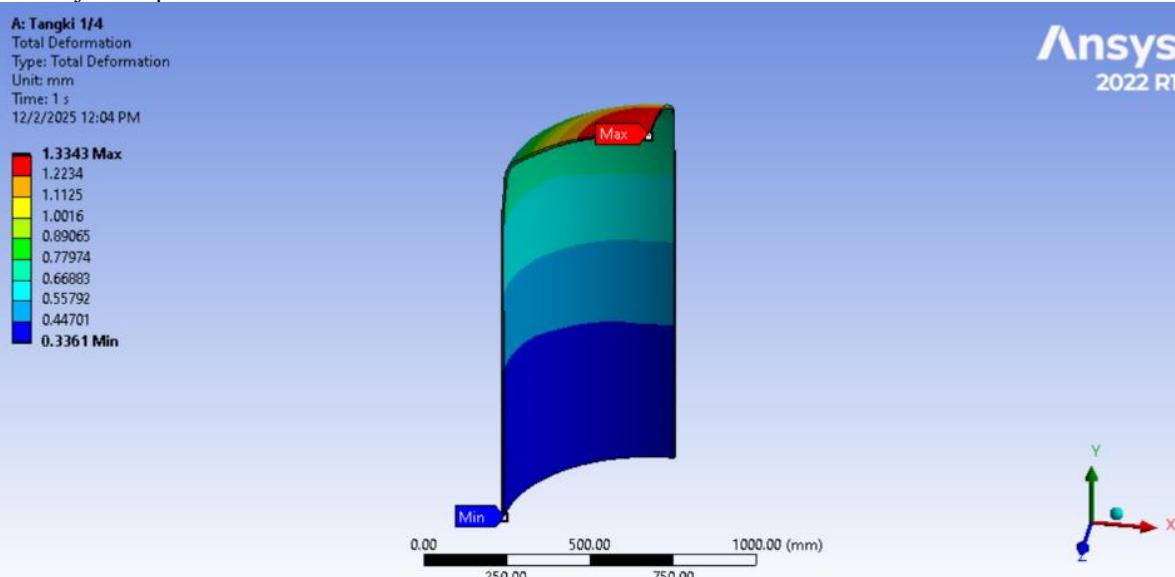
2.	Lama waktu pengisian a. Kondisi kosong (1 bar(a)) – tekanan operasi (9 bar(a)) b. Tekanan operasional <i>rig</i> uji generator plasma (9 bar(a) – 7 bar (a))	a. 45,3 menit b. 11,3 menit
3.	Laju alir massa	$19,1436 \frac{kg}{jam}$
4.	Laju alir volumetrik	$2,03 \frac{kg}{jam}$
5.	Panjang tangki	2550 mm
6.	Diameter tangki	850 mm
7.	Tebal <i>shell</i>	$t_{minimum} = 2 \text{ mm}$ $t_{aktual} = 6 \text{ mm}$
8.	Tebal <i>head</i>	$t_{minimum} = 3,2 \text{ mm}$ $t_{aktual} = 8 \text{ mm}$
9	Dimensi head - Knuckle radius - Crown radius - Straight flange	- 51,96 mm - 866 mm - 24 mm
10.	Doptimal Nozzle Feed	1,38781 mm - NPS : 1 $\frac{1}{2}$

Setelah didapat semua informasi yang diperlukan, dapat dibuatlah model tiga dimensi dari rancangan tangki penyimpanan atau *air pressure tank* untuk *rig* uji generator plasma secara keseluruhan dengan menggunakan *software computer aided design* Solidworks 2022. Hasil pemodelan tiga dimensi tersebut dapat dilihat pada Gambar 10.



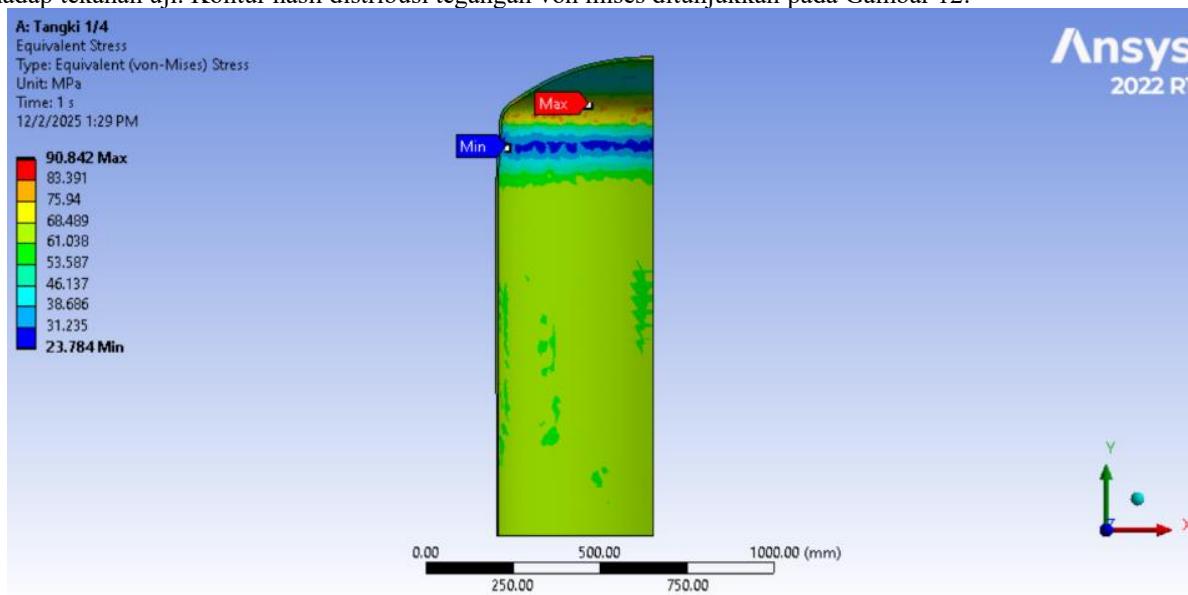
Gambar 10. (a) Hasil pemodelan tiga dimensi tampak depan, (b) Hasil pemodelan tiga dimensi tampak samping, (c) Hasil pemodelan tiga dimensi tampak atas, (d) Hasil pemodelan tiga dimensi isometri

Metode simulasi berbasis *Finite Element Method (FEM)* digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis respon struktural *air pressure tank* terhadap tekanan desain, dengan parameter utama meliputi *displacement*, tegangan Von Mises, dan *Factor of Safety*. Hasil simulasi menghasilkan data kuantitatif berupa nilai tegangan, deformasi, dan faktor keamanan yang disajikan dalam bentuk tabel, serta data kualitatif berupa kontur distribusi tegangan, deformasi, dan *safety factor* guna mengidentifikasi area kritis akibat pembebahan. Kombinasi kedua jenis data tersebut memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap perilaku struktur di bawah kondisi operasi yang dianalisis. Kontur hasil total deformation tangki ditunjukkan pada Gambar 11.



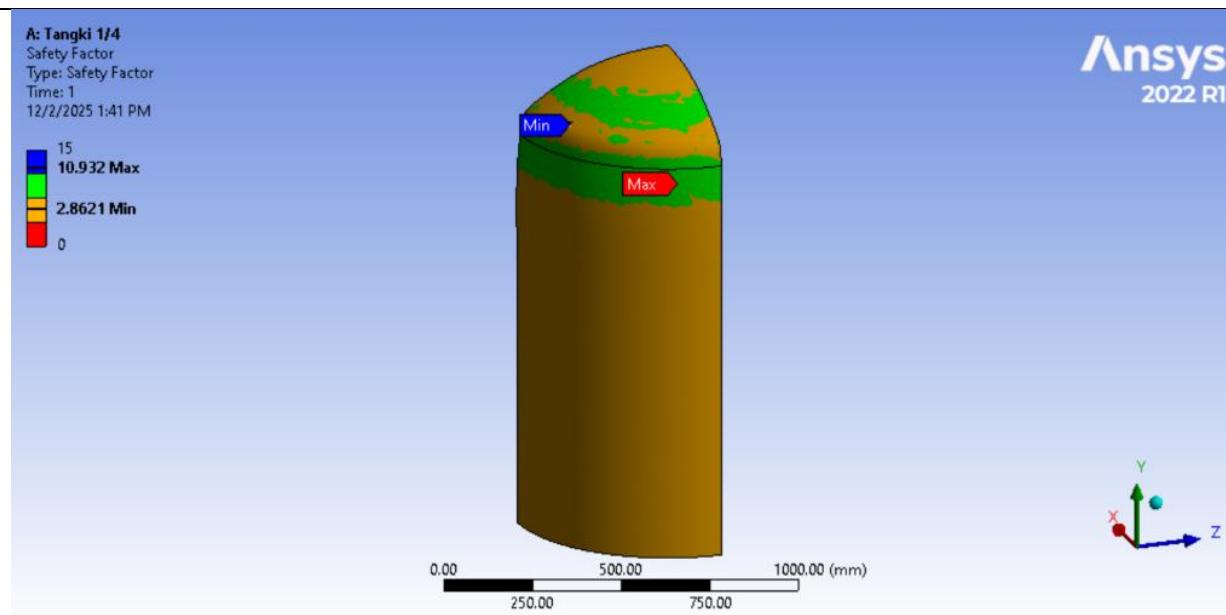
Gambar 11. Kontur hasil total deformation pada tangki akibat pembebahan

Gambar 11 menunjukkan kontur deformation pada *air pressure tank* akibat pembebahan internal. Terlihat deformation maksimum 1,3343 mm pada *head* atas karena menerima beban langsung, sedangkan minimum 0,3361 mm berada pada area *shell*. Pola deformasi yang kecil menandakan bahwa tangki memiliki kekakuan struktural yang baik terhadap tekanan uji. Kontur hasil distribusi tegangan von mises ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Kontur hasil tegangan von mises pada tangki akibat pembebahan

Hasil simulasi menunjukkan tegangan Von Mises maksimum sebesar 90,842 MPa pada *head* atas akibat konsentrasi tegangan dari bentuk melengkung dan tekanan internal, sedangkan nilai minimum 23,884 MPa terdapat pada bagian atas *shell*. Karena nilai tersebut masih di bawah *stress allowance* material SA-516 Gr.70 sebesar 138 MPa, maka desain tangki dinyatakan aman. Distribusi *factor of safety* ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 13. Kontur hasil factor of safety

Gambar 13 memperlihatkan distribusi *safety factor* pada permukaan tangki, dengan nilai minimum 2,8621 terletak pada lengkungan *head* atas yang menerima beban internal terbesar. Nilai *safety factor* pada *shell* mencapai 10,932.

4. Kesimpulan

Penelitian kali dimulai dari perancangan desain air pressure tank, pembuatan model 3D, dan simulasi desain. Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penentuan rancangan tangki seperti orientasi tangki vertikal dan jenis head torispherical, berdasar pada spesifikasi teknis tangki, dengan spesifikasi teknis tangki seperti tekanan operasi 8 bar, tekanan desain 10 bar, dan temperature 65°C.
2. Hasil perhitungan dari kebutuhan udara, dimensi tangki, dimensi head, dan ketebalan shell dan head menjadi acuan untuk pembuatan geometri.
3. Hasil simulasi pada software solidworks static menunjukkan hasil distribusi tegangan dengan batas aman dari allowable stress Carbon Steel SA-516 Gr.70 sebesar 90,842 Mpa, dan besar nilai Factor of Safety yang menandakan struktur tangki dapat dikatakan aman.

5. Daftar Pustaka

- [1] Messerle, V. E., & Ustimenko, A. B. (2024). Thermodynamic and kinetic modeling and experiment on plasma ignition of pulverized high-ash coal. *Applications in Energy and Combustion Science*, 17.
- [2] Messerle, V. E., Karpenko, E. I., & Ustimenko, A. B. (2014). Plasma assisted power coal combustion in the furnace of utility boiler: Numerical modeling and full-scale test. *Fuel*, 126, 294–300.
- [3] M, S. P., M, T., T, M., & M, V. R. (2025). Optimization of tail beam configurations in pressure vessel skirts for enhanced structural integrity. *Results in Engineering*, 27.
- [4] Niranjana, S. J., Patel, S. V., & Dubey, A. K. (2018). Design and Analysis of Vertical Pressure Vessel using ASME Code and FEA Technique. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 376(1).
- [5] Chapai, S. (2023). Local stress analysis of tailing lugs in a vertical pressure vessel. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 203.
- [6] SECTION VIII Rules for Construction of Pressure Vessels 2015 ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code. (2015).
- [7] Agustiawan, Iwan., Firmansjah .E., & Sugiri. (2022). Perancangan Air Pressure Tank dengan Bantuan PVElite Software Untuk Kebutuhan Praktikum Hidrolik dan Pneumatik. *Jurnal Rekayasa Energi dan Mekanika*, 106-117.
- [8] Toudehdehghan, A., & Hong, T. W. (2019). A critical review and analysis of pressure vessel structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 469(1).
- [9] Krivý, V. (2012). Design of corrosion allowances on structures from weathering steel. *Procedia Engineering*, 40, 235–240.
- [10] Dwijayanti, A., Kolmetz, K., Box, P. O., Bahru, B. J., Bahru, J., & Malaysia, W. (n.d.). *PRESSURE VESSEL SELECTION, SIZING AND TROUBLESHOOTING* Kolmetz Handbook Of Process Equipment Design KLM

Technology Group Practical Engineering Guidelines for Processing Plant Solutions Solutions, Standards and Software Kolmetz Handbook Of Process Equipment Design PRESSURE VESSEL SELECTION, SIZING AND TROUBLESHOOTING(ENGINEERINGDESIGNGUIDELINE).