



Analisis Kekuatan Struktur Sistem Penyimpanan Syngas dengan Metode Finite Element Analysis

Diva Arief Erdianto, Sigit Mujiarto, Raka Mahendra Sulistiyo, Arif Rahman Saleh, Tri Retno Setiyawati

Universitas Tidar, Indonesia

Email: diva.arief.erdianto@students.untidar.ac.id, sigit.mujiarto@untidar.ac.id,

rakamahendras@untidar.ac.id, arifrahmansaleh@untidar.ac.id, setiyawati.retno@untidar.ac.id

Abstract

The use of fossil fuels such as diesel as the main source of energy for daily needs and industry faces its own challenges, along with increasing energy needs and depletion of existing fossil fuel reserves. A dual fuel diesel engine (DDF) with syngas from biomass gasification as a secondary fuel is a potential solution. This research aims to design and determine the structural strength of the syngas storage system using modelling methods with SolidWorks 2024 software and simulations based on finite element analysis (FEA). Based on the research, a cylindrical tank design with an ellipsoidal cover was obtained using SA516-70 material, with dimensions of 248 mm inner diameter, 2.22 mm wall thickness, and 340 mm length, and a frame made of A316 stainless steel with a size of $987.4 \times 384.8 \times 843.45$ mm. The simulation results showed von Mises stress of 94 MPa, displacement of 0.003869 mm, and safety factor of 2.8 for the tank, and von Mises stress of 5.882 MPa, displacement of 0.182 mm, and safety factor of 29 for the frame. Hydrostatic simulation of the tank resulted in a maximum von Mises stress of 69.91 MPa and displacement of 0.00719 mm. These results indicate that the tank and frame design is considered safe

Keywords: storage system, syngas, von mises stress, displacement, safety factor

Abstrak

Penggunaan bahan bakar fosil seperti diesel sebagai sumber energi utama untuk kebutuhan sehari-hari maupun industri menghadapi tantangan tersendiri, seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi dan menipisnya cadangan bahan bakar fosil yang ada. Mesin diesel dual fuel (DDF) dengan syngas dari gasifikasi biomassa sebagai bahan bakar sekunder merupakan solusi yang potensial. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengetahui kekuatan struktur sistem penyimpanan syngas menggunakan metode pemodelan dengan perangkat lunak SolidWorks 2024 dan simulasi berbasis analisis elemen hingga (FEA). Berdasarkan penelitian diperoleh desain tangki berbentuk silinder dengan penutup elipsoidal yang menggunakan material SA516-70, dengan dimensi diameter dalam 248 mm, ketebalan dinding 2,22 mm, dan panjang 340 mm, serta rangka dari baja tahan karat A316 dengan ukuran $987,4 \times 384,8 \times 843,45$ mm. Hasil simulasi menunjukkan tegangan von Mises sebesar 94 MPa, *displacement* sebesar 0,003869 mm, dan faktor keamanan sebesar 2,8 untuk tangki, serta tegangan von Mises sebesar 5,882 MPa, *displacement* sebesar 0,182 mm, dan faktor keamanan sebesar 29 untuk rangkanya. Simulasi hidrostatik pada tangki menghasilkan tegangan von Mises maksimum sebesar 69,91 MPa dan *displacement* sebesar 0,00719 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa desain tangki dan rangka dianggap aman.

Kata Kunci : sisten penyimpanan, *syngas*, *Von Mises Stress*, *displacement*, factor keamanan

PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil seperti bahan bakar diesel masih menjadi sumber energi dominan yang digunakan pada seluruh aspek kehidupan manusia, konsumsi bahan bakar minyak secara global pada tahun 2023 telah mencapai 101,855 juta barrel perhari (Administration, n.d.). Di Indonesia, konsumsi bahan bakar diesel baik untuk keperluan rumah tangga, transportasi, dan industri mencapai 37 juta kiloliter pada tahun 2023 (Bumi, 2023). Jumlah konsumsi tersebut diprediksi akan terus mengalami peningkatan hingga tahun 2020 (General, 2019). Tingginya

konsumsi bahan bakar fosil secara umum menimbulkan tantangan tersendiri mengingat cadangan minyak secara global yang semakin berkurang, pada tahun 2023 diketahui terdapat 1569.52 miliar barrel, Oleh karena itu diperlukan pengembangan dan inovasi untuk mengembangkan sumber energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar.

Biomassa dinilai dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar fosil, bahan bakar yang terbarukan dan berpotensi netral karbon. Saat ini, penggunaan biomassa menyumbang 10% dari energi yang dikonsumsi di dunia, dan memiliki prospek pertumbuhan yang menjanjikan sebesar 150×10^{19} kJ pada tahun 2050. Bahan bakar biomassa dapat berasal dari beberapa sumber seperti limbah kehutanan, limbah industri, dan limbah pertanian. Sifat-sifat penting termasuk nilai kalor dan kadar air; sifat-sifat ini penting untuk penggunaan bahan bakar ini dalam produksi energi. Salah satu pengolahan biomassa menjadi bahan bakar alternatif adalah melalui proses gasifikasi biomassa adalah dengan proses. Gasifikasi adalah proses termokimia yang mengubah bahan berkarbon (biomassa atau batu bara) menjadi bahan gas yang disebut syngas atau gas produsen, dengan memanfaatkan oksigen yang terbatas untuk mencegah terjadinya oksidasi/pembakaran sempurna, menghasilkan campuran gas yang kaya akan konsentrasi molar dan nilai kalor (Sharma & Sheth, 2016; Stiegel & Maxwell, 2001). Syngas hasil proses gasifikasi biomassa dapat digunakan dalam aplikasi seperti pembangkit listrik, produksi hidrogen dan sintesis kimia (metanol, amonia, dan bahan kimia lainnya), syngas umumnya terdiri atas zat mudah terbakar seperti CO, H₂, dan CH₄ serta kandungan lain seperti CO₂, N₂, dan sisa O₂ (AlNouss et al., 2020).

Aplikasi syngas yang mulai banyak digunakan antara lain penggunaan syngas sebagai bahan bakar sekunder pada sistem mesin diesel dual-fuel, penggunaan mesin diesel dual-fuel dengan kombinasi syngas-diesel dianggap dapat mengurangi penggunaan bahan bakar diesel secara signifikan, meningkatkan performa serta mengurangi kadar emisi yang dihasilkan oleh mesin diesel, hal tersebut disebabkan dengan penggunaan syngas pada mesin diesel dual-fuel menghasilkan pembakaran yang lebih cepat dan bersih. Adanya sistem penyimpanan khusus syngas dalam sistem mesin diesel dual fuel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi, kestabilan operasional serta keandalan sistem mesin diesel dual fuel. Produksi dari syngas dengan gasifier sangat bergantung dari proses gasifikasi serta bahan baku yang digunakan pada proses gasifikasi, sehingga seringkali produksi dari syngas mengalami inkonsistensi, dalam pengoperasian mesin diesel dual fuel dengan syngas diperlukan pasokan serta tekanan yang stabil agar mesin dapat bekerja secara optimal, dengan adanya sistem penyimpanan maka mesin diesel dual fuel akan mendapatkan suplai syngas yang stabil serta tekanan yang konstan. Penggunaan sistem penyimpanan syngas dapat meningkatkan fleksibilitas dari operasional mesin diesel karena dapat beroperasi tanpa terhubung secara langsung dengan gasifier.

Penelitian ini dilakukan untuk mendesain dan mengevaluasi kekuatan struktur sistem penyimpanan syngas hasil gasifikasi berkapasitas 10 kg dengan tekanan 10 bar untuk memastikan mesin diesel dual fuel mendapatkan pasokan syngas dengan debit serta tekanan syngas tetap stabil, sistem penyimpanan didesain dan dirancang dengan ukuran yang kompak dan portable untuk meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas dari penggunaan mesin diesel dual fuel. Sistem penyimpanan di desain dengan mengintegrasikan sistem penyimpanan dengan sistem filtrasi, sehingga syngas yang digunakan dapat terbebas dari zat pengotor seperti tar dan kandungan air.

Penggunaan bahan bakar fosil, khususnya diesel, sebagai sumber energi utama masih mendominasi berbagai sektor kehidupan, namun menghadapi tantangan serius seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi dan menipisnya cadangan global (Administration, n.d.). Di Indonesia, konsumsi diesel mencapai 37 juta kiloliter pada tahun 2023, sementara cadangan minyak dunia terus berkurang (Countries, 2024). Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan sumber energi alternatif yang berkelanjutan, salah satunya melalui pemanfaatan biomassa. Biomassa dinilai sebagai solusi potensial karena sifatnya yang terbarukan dan

berpotensi netral karbon (Tzelepi et al., 2020). Proses gasifikasi biomassa menghasilkan syngas, yang dapat digunakan sebagai bahan bakar sekunder dalam mesin diesel dual-fuel (DDF), mengurangi konsumsi diesel dan emisi. Namun, aplikasi syngas memerlukan sistem penyimpanan yang handal untuk menjamin pasokan yang stabil dan tekanan konstan.

Penelitian terdahulu telah mengkaji berbagai aspek terkait syngas, mulai dari produksi melalui gasifikasi, karakteristik kimia, hingga aplikasinya dalam mesin DDF (Guo et al., 2016; Sahoo et al., 2012). Namun, studi tentang desain dan analisis kekuatan struktural sistem penyimpanan syngas masih terbatas. Beberapa penelitian fokus pada penyimpanan gas alam terkompresi (CNG), tetapi syngas memiliki karakteristik unik seperti komposisi gas yang bervariasi dan risiko korosi akibat kandungan pengotor seperti tar. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya penelitian khusus untuk merancang sistem penyimpanan syngas yang aman, efisien, dan kompak, terutama untuk aplikasi mesin DDF.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk mengoptimalkan penggunaan syngas sebagai bahan bakar alternatif, yang dapat mengurangi ketergantungan pada diesel dan menurunkan emisi. Sistem penyimpanan yang dirancang dengan baik akan memastikan pasokan syngas yang stabil, meningkatkan efisiensi operasional mesin DDF, serta memperluas aplikasinya di industri dan transportasi (Apt et al., 2002; Cocco et al., 2013). Selain itu, integrasi sistem filtrasi dalam desain penyimpanan dapat mengatasi masalah pengotor seperti tar dan air, yang sering menjadi kendala dalam penggunaan syngas (Basu, 2018).

Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan komprehensif dalam merancang dan menganalisis kekuatan struktural sistem penyimpanan syngas menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA). Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih fokus pada aspek produksi atau aplikasi syngas, studi ini mengevaluasi parameter kritis seperti von Mises stress, displacement, dan safety factor untuk memastikan keamanan dan keandalan desain. Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan simulasi hidrostatik untuk memvalidasi ketahanan tangki terhadap tekanan operasional, yang jarang dibahas dalam literatur terkait.

Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem penyimpanan syngas berkapasitas 10 kg dengan tekanan 10 bar yang aman, efisien, dan portable. Melalui pemodelan dengan SolidWorks dan simulasi FEA, penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter kekuatan struktural tangki dan rangka, serta memastikan kesesuaiannya dengan standar keamanan. Manfaat penelitian mencakup peningkatan efisiensi mesin DDF, pengurangan emisi, serta kontribusi dalam pengembangan teknologi penyimpanan syngas yang dapat diaplikasikan secara luas di industri. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan energi terbarukan berbasis biomassa di masa depan.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian desain dan rekayasa sistem penyimpanan menggunakan dua metode yaitu metode pemodelan menggunakan *software Solidworks 2023* dan metode *Finite Element Analysis* (FEA) pada komponen sistem penyimpanan menggunakan *static analysis* dengan *software Solidworks 2023*. Secara garis besar penelitian terdiri atas 3 tahapan sebagai berikut:

a. Pre-Processing

Pada tahap ini, dilakukan perhitungan perencanaan elemen mesin, untuk kemudian diterapkan pada proses desain geometri Sistem Penyimpanan gas sintetis sebagai *virtual prototype*. Pembuatan desain geometri dilakukan dengan menggunakan *software Solidworks 2023*.

b. Solving

Pada tahap ini desain geometri *virtual prototype* dari sistem penyimpanan gas sintetis yang telah dibuat dilakukan simulasi menggunakan *static analysis* pada *software Solidworks 2023*. Hasil simulasi akan memberikan 3 parameter, yakni *von mises stress*, *displacement*, dan *safety factor*.

c. Post Processing

Pada tahap ini peneliti menyajikan data hasil simulasi *virtual prototype* dari sistem penyimpanan gas sintetis.

Dengan simulasi metode FEA juga akan diketahui hasil dari simulasi hidrostatik dari tabung penyimpanan untuk memastikan tidak terdapat kebocoran pada tabung Ketika diberikan tekanan tertentu.

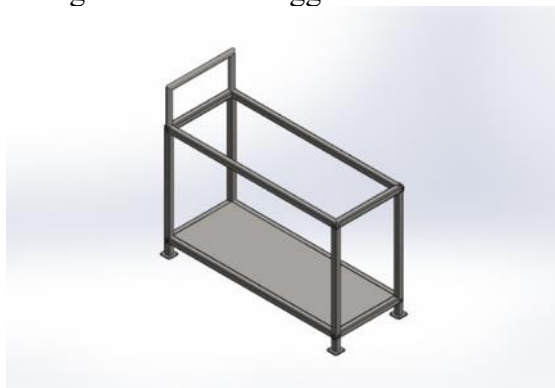
HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi Alat

Hasil dari proses desain pada sistem penyimpanan *syngas*, didapatkan desain tangki dan rangka dengan spesifikasi sebagai berikut

1. Rangka

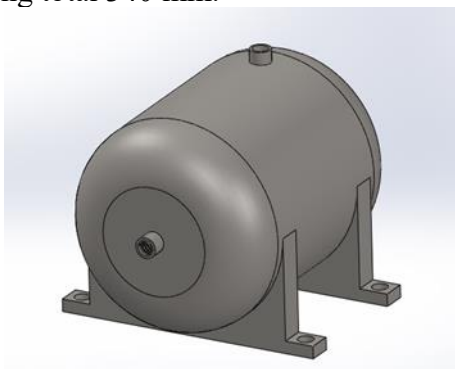
Desain dari rangka memiliki dimensi panjang 987.4 mm dengan lebar 384.8 mm serta tinggi 843.45 mm. Rangka memiliki bagian alas dengan panjang 940.40 mm dan lebar 340.40 mm dengan ketebalan 2 mm, bagian alas ini akan digunakan sebagai tempat tangki penyimpanan, kompresor. Rangka didesain menggunakan material ASTM A316 *Stainless steel*.



Gambar 1. Rangka Sistem Penyimpanan

2. Tangki Penyimpanan

Tangki didesain memiliki bentuk tabung untuk bagian silinder *shell* dan bentuk *ellipsoidal* untuk bagian penutupnya. *Shell* dari tangki penyimpanan memiliki ukuran diameter dalam 248 mm dengan ketebalan dinding *shell* sebesar 0.0874 in atau sebesar 2.219 mm, dengan panjang *shell* 220 mm, untuk bagian penutup atau *head* dari tangki memiliki diameter dalam yang sama dengan bagian *shell* yakni sebesar 248 mm dengan ketebalan dinding 2.219 mm. Tangki penyimpanan memiliki panjang total 340 mm.

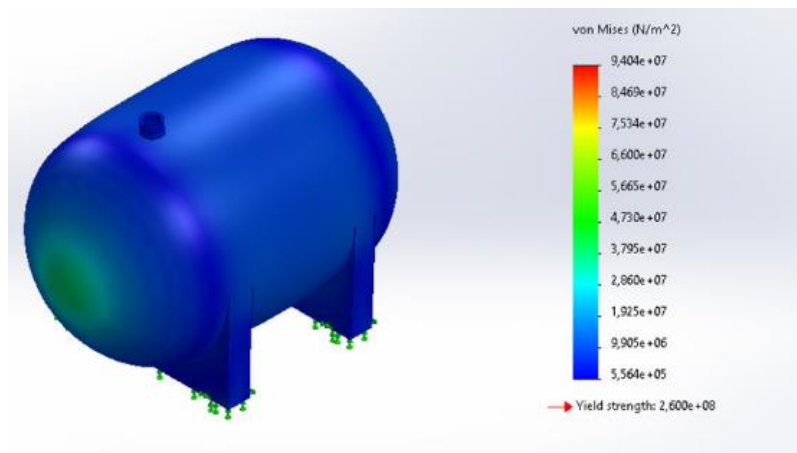


Gambar 2. Tangki Penyimpanan

Simulasi Kekuatan Struktur Tangki Penyimpanan

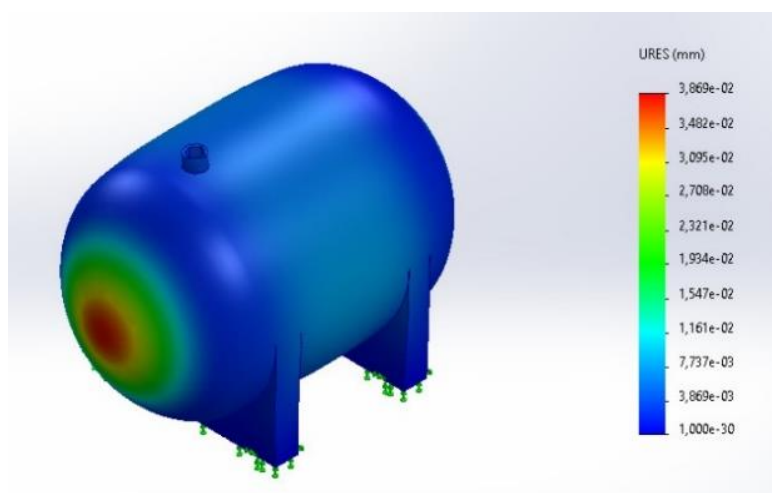
Simulasi statis pada tangki, dilakukan dengan memberikan pembebanan pada bagian dalam tangki. Pembebanan dilakukan dengan mengaplikasikan tekanan sebesar 10 bar pada bagian dalam tangki untuk mensimulasikan ketika tangki beroperasi. Berdasarkan simulasi,

diketahui bahwa nilai *von mistress stress* dari tangki penyimpanan adalah 94 MPa, angka tersebut menunjukkan bahwa nilai *von mises stress* masih lebih rendah dibandingkan nilai *yield strength* dari material sebesar 260 MPa, sehingga bisa dikatakan bahwa struktur dari tangki penyimpanan aman (Myung-Chang et al., 2011).



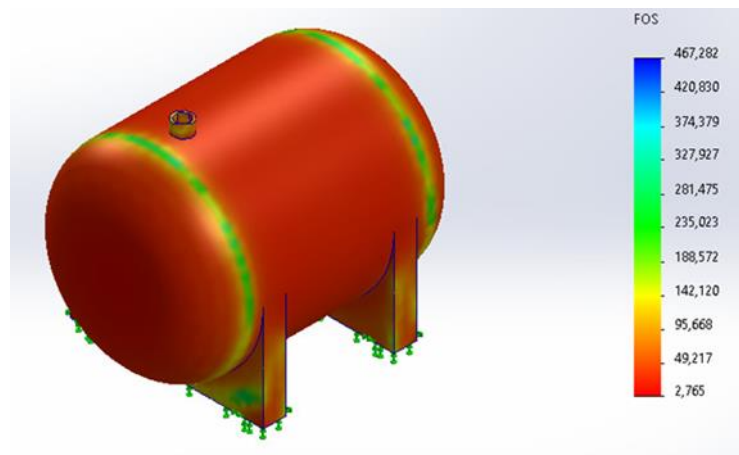
Gambar 3. Von Mises Stress Tangki penyimpanan

Berdasarkan hasil simulasi, diketahui bahwa struktur tangki penyimpanan mengalami deformasi sebesar 0,003869 mm. Nilai tersebut dianggap tidak terlalu signifikan sehingga struktur aman dan laik untuk digunakan (Patel & Rana, 2013).



Gambar 4. Displacement Tangki Penyimpanan

Dari simulasi yang sudah dilakukan, tangki dengan pembebanan 10 bar memiliki nilai *safety factor* 2,8, dari nilai tersebut maka bisa disimpulkan bahwa tangki penyimpanan dinilai aman, karena memiliki nilai *safety factor* diatas 1,5.

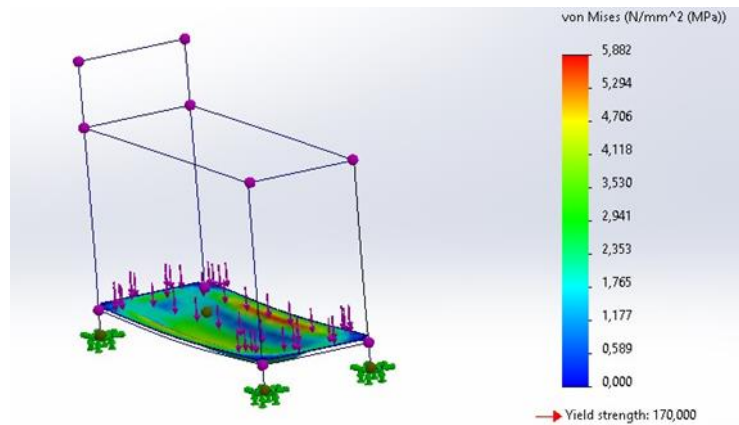


Gambar 5. Safety Factor Tangki Penyimpanan

Simulasi Kekuatan Struktur Rangka

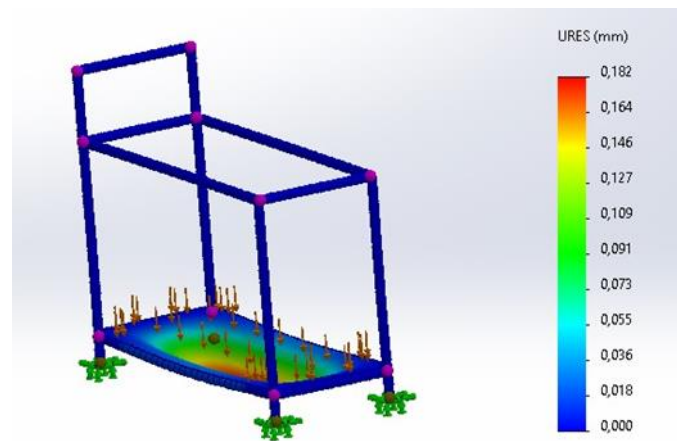
Simulasi statis pada rangka, dilakukan dengan memberikan pembebanan pada bagian atas alas dari rangka, karna pada bagian itu akan diletakkan komponen sistem penyimpanan seperti kompresor dan tangki penyimpanan. Pembebanan dilakukan dengan mengaplikasikan gaya sebesar 286,5 N pada bagian alas tangki

untuk mensimulasikan beban yang akan dialami oleh rangka. Berdasarkan hasil simulasi, diketahui bahwa struktur rangka mengalami deformasi sebesar 0,182 mm. Nilai tersebut menunjukkan nilai deformasi yang terjadi relatif kecil, sehingga desain dari rangka dinyatakan aman.



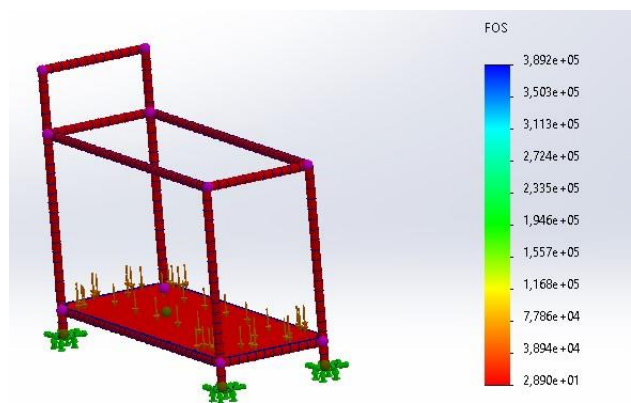
Gambar 6. Von Mises Stress Rangka

Berdasarkan hasil simulasi, diketahui bahwa struktur rangka mengalami deformasi sebesar 0,182 mm. Nilai tersebut menunjukkan nilai deformasi yang terjadi relatif kecil, sehingga desain dari rangka dinyatakan aman.



Gambar 7. Displacement Rangka

Dari simulasi yang sudah dilakukan, rangka dengan pembebanan 286,53 N memiliki nilai *safety factor* 29, dari nilai tersebut maka bisa disimpulkan bahwa rangka dinilai aman, karena memiliki nilai *safety factor* diatas 1,5 (Mott et al., 2018)

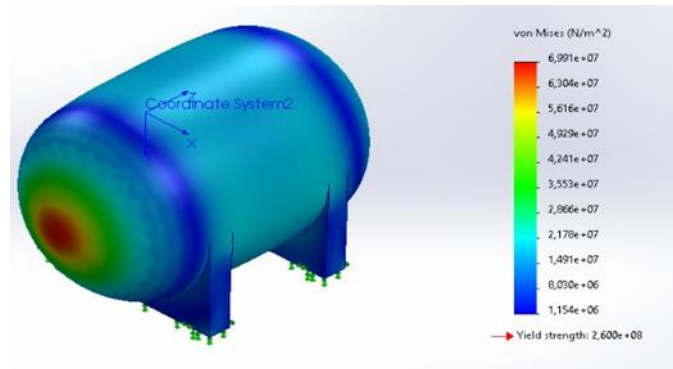


Gambar 8. Safety Factor Rangka

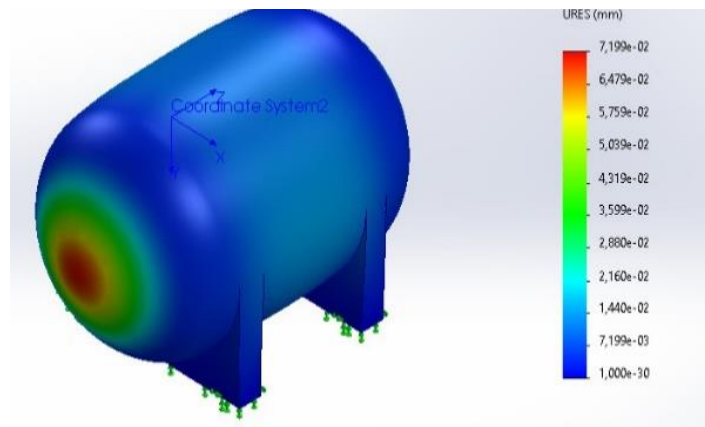
Simulasi Hidrostatik Tangki Penyimpanan

Pada simulasi hidrostatik, tangki akan diberikan pembebanan tekanan pada bagian dalam tangki, tekanan yang diaplikasikan pada pengujian ini tidak boleh kurang dari 1.5 kali tekanan desain dari tangki (ASME, 2019). Untuk simulasi ini tekanan yang diberikan pada tangki sebesar 2.5 kali tekanan desain atau sebesar 28 bar, dan tekanan diaplikasikan secara *non-uniform*, untuk menggambarkan tes hidrostatik yang sesungguhnya.

Berdasarkan simulasi, diketahui bahwa nilai *von mistress stress* dari tangki penyimpanan adalah 69,91 MPa, angka tersebut menunjukan bahwa nilai *von mises stress* masih lebih rendah dibandingkan nilai *yield strength* dari material sebesar 260 MPa. Selain itu, berdasarkan simulasi yang dilakukan diketahui juga bahwa tangki mengalami deformasi sebesar 0,00719 mm, angka ini dinilai cukup kecil dan tidak berdampak signifikan terhadap ketahanan tangki, sehingga bisa dikatakan bahwa struktur dari tangki aman dan memiliki ketahanan terhadap tekanan hidrostatik (ASME, 2019).



Gambar 9. Von Mises Stress Test Hidrostatik Tangki



Gambar 10. Displacement Test Hidrostatik Tangki

KESIMPULAN

Sistem penyimpanan *syngas* memiliki tangki penyimpanan dengan material SA516-70 memiliki ukuran diameter dalam 248 mm, ketebalan dinding 2,219 mm, dan panjang total 340 mm. Sistem ditopang rangka stainless steel ASTM A316 dengan dengan dimensi panjang 987,4 mm dengan lebar 384,8 mm serta tinggi 843,45 mm. Desain diuji dengan simulasi statis untuk keamanan, didapatkan hasil nilai *von miss stress* 94 MPa, *displacement* sebesar 0,003869 mm, dan *safety factor* 2,8 untuk tangki, serta nilai *von miss stress* 5,882 MPa, *displacement* 0,182 mm, dan *safety factor* 29 untuk rangka. Simulasi hidrostatik tangki menunjukkan nilai *von miss stress* 69,91 MPa dan *displacement* 0,00719 mm.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengeksplorasi pengembangan material alternatif seperti komposit atau lapisan pelindung yang lebih ringan dan tahan korosi guna meningkatkan ketahanan tangki penyimpanan *syngas*. Selain itu, perlu dilakukan optimasi desain untuk kapasitas dan tekanan yang lebih tinggi serta integrasi dengan sistem filtrasi dan pemurnian *syngas* secara real-time guna menjamin kualitas gas yang disimpan. Analisis dinamis seperti fatigue analysis dan pengujian eksperimental juga diperlukan untuk memvalidasi ketahanan sistem dalam kondisi operasional jangka panjang. Penelitian lebih lanjut juga dapat mencakup studi ekonomi dan kelayakan implementasi, termasuk analisis biaya produksi dan life cycle assessment, serta eksplorasi aplikasi sistem penyimpanan ini dalam konfigurasi energi terbarukan terintegrasi seperti sistem hibrid dengan panel surya atau turbin angin. Dengan demikian, pengembangan teknologi penyimpanan *syngas* dapat menjadi lebih komprehensif dan siap diaplikasikan secara luas di berbagai sektor industri.

REFERENSI

- Administration, U. S. E. I. (n.d.). *International - U.S. Energy Information Administration (EIA)*. <https://www.eia.gov/international/data/world/petroleum-and-other-liquids/annual-refined-petroleum-products-consumption>
- AlNouss, A., McKay, G., & Al-Ansari, T. (2020). Production of syngas via gasification using optimum blends of biomass. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118499>
- Apt, J., Newcomer, A., Lave, L., Douglas, S., & Dunn, L. (2002). *An Engineering-Economic Analysis of Syngas Storage*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1184/R1/6703679.V1>
- ASME, A. S. of M. E. (2019). *BPVC Section VIII Division I - Rules for Construction of Pressure Vessels - ASME*. https://www.asme.org/codes-standards/find_codes-standards/bpvc-viii-1-bpvc-section-viii-rules-construction-pressure-vessels-division-
- Basu, P. (2018). *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory*. Academic Press.
- Bumi, D. J. M. dan G. (2023). *Statistik Minyak dan Gas Bumi Tahun 2023*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Cocco, D., Serra, F., & Tola, V. (2013). Assessment of energy and economic benefits arising from syngas storage in IGCC power plants. *Energy*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2013.05.067>
- Countries, O. of the P. E. (2024). *OPEC Annual Statistical Bulletin 2024 (59th edition)*. <https://publications.opec.org/asb/chapter/show/123/2113>
- General, N. E. C. S. (2019). *Indonesia Energy Outlook 2019*. National Energy Council.
- Guo, H., Neill, W., & Liko, B. (2016). *The Combustion and Emissions Performance of a Syngas-Diesel Dual Fuel Compression Ignition Engine*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1115/ICEF2016-9367>
- Mott, R. L., Vavrek, E. M., & Wang, J. (2018). *Machine elements I mechanical design* (6th, Ed.). Pearson.
- Myung-Chang, K. A. N. G., Lee, H. W., & Chul, K. I. M. (2011). Optimal design considering structural efficiency of compressed natural gas fuel storage vessels for automobiles. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*.
- Patel, P. M., & Rana, J. (2013). Design & optimization of LNG-CNG cylinder for optimum weight. *IJSRD-International Journal for Scientific Research & Development*.
- Sahoo, B., Sahoo, N., & Saha, U. (2012). Effect of H₂:CO ratio in syngas on the performance of a dual fuel diesel engine operation. *Applied Thermal Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2011.08.021>
- Sharma, S., & Sheth, P. (2016). Air–steam biomass gasification: Experiments, modeling and simulation. *Energy Conversion and Management*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2015.12.030>
- Stiegel, G., & Maxwell, R. (2001). Gasification technologies: the path to clean, affordable energy in the 21st century. *Fuel Processing Technology*. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(01\)00138-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-3820(01)00138-2)
- Tzelepi, V., Zeneli, M., Kourkoumpas, D., Karampinis, E., Gypakis, A., Nikolopoulos, N., & Grammelis, P. (2020). Biomass Availability in Europe as an Alternative Fuel for Full Conversion of Lignite Power Plants: A Critical Review. *Energies*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en13133390>