

PERANCANGAN DAN ANALISIS PRESSURE VESSEL UNTUK OLI MEDITRAN SX PLUS 15W-40 MENGGUNAKAN ANSYS

Rizqila Atika Wulandari¹, Mohammad Miftachul Munir^{2*}, Rizal Indrawan¹

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

²Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik
 Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Email: m.munir@ppns.ac.id

Abstrak

Pressure vessel adalah alat teknik yang mengandung risiko bahaya tinggi karena adanya tegangan tinggi di dalamnya. Material yang paling cocok untuk *pressure vessel* adalah baja karbon. Baja karbon memiliki kekuatan struktur yang lebih tinggi dan juga lebih rentan terhadap korosi. Baja karbon yang umum digunakan untuk *pressure vessel* adalah tipe A516 Grade 70 dan A516 Grade 55. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan menganalisis *pressure vessel* khusus untuk Oli Meditran SX Plus 15W- 40, yang memiliki viskositas tinggi dan membutuhkan penyimpanan yang aman dan efisien sesuai standar ASME Section VIII. Perancangan *pressure vessel* ini menggunakan *software* Fusion 360. Sedangkan metode yang digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur pada *pressure vessel* ini adalah metode elemen hingga. Simulasi yang digunakan dari metode elemen hingga adalah secara virtual dengan menggunakan *software* ANSYS. Material yang efektif dan efisien menurut nilai standar ASME yaitu material A516 Grade 70. Material ini memiliki spesifikasi nilai total maksimal *stress* yaitu 108 MPa dan mendapatkan nilai 78,966 MPa. Sedangkan untuk nilai deformati mendapatkan 0,45 mm dari 0,0138 mm nilai maksimal *allowable*-nya. Selain itu, Rencana Anggaran Biaya (RAB) dibuat untuk mengukur biaya produksi. Biaya produksi meliputi estimasi biaya bahan baku utama, estimasi biaya proses fabrikasi dan juga estimasi biaya *finishing* dan juga pengujian. Dari hasil perhitungan estimasi biaya total didapatkan untuk material A516 Grade 70 sebesar 27,8 juta sedangkan untuk material A516 Grade 55 sebesar 26,8 juta.

Kata kunci: ANSYS, ASME, material, meditran, *pressure vessel*

Abstract

Pressure vessels are engineering tools that contain high risk of danger due to the high stress inside. The most suitable material for pressure vessels is carbon steel. Carbon steel has higher structural strength and is also more susceptible to corrosion. Commonly used carbon steels for pressure vessels are A516 Grade 70 and A516 Grade 55. The purpose of this study is to design and analyze a pressure vessel specifically for Meditran SX Plus 15W-40 Oil, which has high viscosity and requires safe and efficient storage according to ASME Section VIII standards. The design of this pressure vessel uses fusion software. While the method used to analyze the structural strength of this pressure vessel is the finite element method. The simulation used from the finite element method is virtual using ANSYS software. The effective and efficient material according to ASME standard values is A516 Grade 70 material. This material has a specification of a maximum total stress value of 108 MPa and gets a value of 78.966 MPa. While the deformation value gets 0.45 mm from 0.0138 mm, the maximum allowable value. In addition, a cost budget plan (RAB) is created to measure production costs. Production costs include estimates of the main raw material costs, fabrication costs, finishing costs, and testing costs. The estimated total cost for A516 Grade 70 material is IDR 27.8 million, while for A516 Grade 55 material, it is IDR 26.8 million.

Keywords: ANSYS, ASME, material, meditran, *pressure vessel*

PENDAHULUAN

Pressure vessel merupakan alat yang digunakan untuk menyimpan cairan atau gas pada tekanan tinggi, dan memiliki potensi bahaya tinggi akibat stres besar di dalamnya. Dengan demikian, desain *pressure vessel* perlu memenuhi standar keselamatan seperti ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* untuk mencegah terjadinya kegagalan struktural yang dapat membahayakan keselamatan karyawan dan menyebabkan kerugian (Setiawan, 2018). Wadah tekan banyak diterapkan di berbagai sektor industri, termasuk minyak dan gas, petrokimia, pembangkit listrik, serta manufaktur (Ngarasati et al., 2020). Dalam studi ini dipilih *pressure vessel* berbentuk vertikal karena sesuai dengan kebutuhan industri dan faktor lingkungan.

Salah satu fluida yang terdapat dalam *pressure vessel* adalah oli Meditran SX Plus 15W-40, yaitu pelumas berkualitas tinggi yang umum digunakan pada mesin diesel, termasuk KRDI (Kereta Rel Diesel Indonesia). Minyak ini memiliki viskositas tinggi yang membutuhkan penyimpanan dalam keadaan tertentu agar karakter fisik dan kimianya tetap terjaga. Oleh karena itu, pemilihan material untuk *pressure vessel* sangat krusial, dan baja karbon dipilih karena dianggap sesuai dalam mendukung kekuatan struktural serta serasi dengan karakteristik fluida oli tersebut.

Agar memastikan integritas struktural dan efisiensi material, desain *pressure vessel* dalam penelitian ini dilaksanakan dengan bantuan simulasi ANSYS. Cara ini diterapkan untuk mengevaluasi tekanan, penyebaran tegangan, dan perubahan bentuk, serta meningkatkan desain agar aman dan efisien tanpa mengorbankan keselamatan (Ngarasati et al., 2020; Setiawan, 2018). Hasil studi diharapkan dapat dijadikan panduan dalam perancangan *pressure vessel* untuk kebutuhan industri serupa di masa yang akan datang.

TINJAUAN PUSTAKA

(A) *Pressure Vessel*

Pressure vessel adalah sebuah wadah sebagai penyimpan bahan padat, dan fluida dengan tekanan internal atau eksternal, juga mampu menahan dari berbagai muatan lainnya (Megyesy, 2008). Bejana adalah komponen yang sangat diperlukan untuk industri pengilangan minyak dan gas. *Pressure vessel* merupakan tangki yang digunakan untuk penyimpanan fluida. Biasanya fluida yang disimpan dalam *pressure vessel* adalah fluida yang memiliki karakteristik maupun perlakuan khusus, misalnya fluida bertekanan, fluida dalam temperatur rendah maupun temperatur tinggi dan lain-lain. *Pressure vessel* dirancang berdasarkan dengan berbagai data masukan, diantaranya informasi dari *piping* dan *instrument diagram* (P&ID), *data sheet*, *work instruction* atau aturan khusus yang berlaku pada sebuah proyek, dan lain sebagainya. Dalam merancang *pressure vessel* dapat dihitung dengan cara manual (*hand calculation*) dengan formula dari standar ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) maupun analisa komputer.

(B) Penentuan Kapasitas dan Pemilihan Material

Dalam perancangan *pressure vessel*, penentuan diameter dan kapasitas merupakan langkah krusial yang mempengaruhi efisiensi dan keamanan operasional. Berikut

adalah rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung diameter dan kapasitas *pressure vessel*:

Kapasitas atau volume *pressure vessel* dapat dihitung dengan rumus:

$$V = 0,7854 \cdot D^2 \cdot L \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

Di mana:

V : volume bejana (m^3)

D : diameter dalam bejana (m)

L : panjang bejana (m)

Rumus ini digunakan untuk menentukan kapasitas produksi yang dapat ditampung secara terus menerus oleh *pressure vessel* dengan asumsi diameter dan panjang tertentu (Aziz et al., 2014).

Pilihan material harus didasarkan pada kondisi layanan dan MDMT/temperatur desain. Dalam kebanyakan kasus, bahan *pressure vessel* didasarkan pada spesifikasi lembar data dengan nama umum, menggunakan komposisi nominal atau nama komersial. Dalam lembar data mekanik, bahan-bahan generik ini perlu diproduksi menggunakan material yang sesuai dengan ASME/ASTM. Dalam dunia industri pemilihan material sangat penting untuk memastikan ketahanan suatu produk atau struktur. Pada penelitian ini material yang dipilih adalah baja karbon (*carbon steel*) karena memiliki keunggulan unik sehingga dapat sesuaikan dengan kebutuhan yang spesifik pada suatu aplikasi. Adapun beberapa alasan dalam pemilihan material baja karbon, sebagai berikut:

- (1) Baja karbon memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibanding material yang lainnya
- (2) Baja karbon lebih rentan terhadap korosi
- (3) Baja cocok untuk struktur yang membutuhkan daya tahan tinggi

Selain itu, dalam perancangan *pressure vessel*, pemilihan lokasi harus memperhitungkan faktor keamanan dan regulasi yang berlaku. Gudang oli yang terletak di sisi D memiliki jarak yang cukup dari area utama perawatan, yang dapat mengurangi risiko kontaminasi dan meningkatkan perlindungan terhadap kebocoran atau potensi bahaya lainnya. Mengacu pada standar ASME *Section VIII* Divisi 1, setiap *pressure vessel* harus dipasang dengan sistem ventilasi yang baik dan perlindungan terhadap tekanan berlebih untuk memastikan keandalan serta keamanan dalam operasionalnya.

METODE

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah salah satu teknik numerik yang sering dimanfaatkan dalam rekayasa untuk menganalisis struktur, transfer panas, aliran cairan, dan medan elektromagnetik. FEM beroperasi dengan memecah objek atau sistem menjadi segmen-segmen kecil yang dikenal sebagai elemen, yang terhubung satu sama lain melalui titik-titik yang disebut simpul. Dengan memecah struktur menjadi elemen-elemen ini, perhitungan pada geometri kompleks dan material heterogen bisa dilakukan dengan lebih mudah dan teratur.

FEM menyelesaikan tantangan teknik dengan mendekati solusi untuk persamaan diferensial parsial (PDE) yang sulit diselesaikan secara analitis, terutama pada struktur dengan bentuk tidak teratur atau material campuran. Persamaan lokal untuk setiap elemen digabungkan menjadi sistem persamaan global, lalu diselesaikan menggunakan

metode numerik seperti eliminasi *Gaussian* atau iterasi *Gauss-Seidel*. Hasilnya adalah distribusi stres, *strain*, deformasi, temperatur, atau parameter lain di seluruh sistem.

Dalam studi ini, FEM digunakan untuk mengevaluasi distribusi tegangan dan deformasi pada *pressure vessel* dengan bantuan perangkat lunak ANSYS. Metode ini memungkinkan gambaran tanggapan struktur terhadap tekanan internal dan eksternal dengan lebih tepat, sambil mengecek apakah desain telah mematuhi kriteria keselamatan yang ditentukan dalam standar ASME *Section VIII*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai *pressure vessel* telah banyak dilakukan untuk mendukung perkembangan desain dan analisis struktur penyimpanan fluida bertekanan. Seperti penganalisisan ketebalan optimum, *Maximum Allowable Working Pressure* (MAWP), tegangan, dan umur pakai *gas dryer* berbahan A516M Gr.70 dengan metode perhitungan manual dan perangkat lunak PV Elite. Hasilnya menunjukkan kesesuaian antara perhitungan manual dan perangkat lunak dengan *error* kecil di bawah 1% untuk ketebalan dan MAWP, serta memberikan gambaran penting mengenai toleransi perhitungan desain. Ada juga merancang dan menganalisis *pressure vessel* horizontal menggunakan metode elemen hingga (ANSYS). Mereka menemukan bahwa distribusi tegangan *von mises* pada area kritis (seperti *manway*, *inlet*, dan *drain*) masih di bawah tegangan izin, sehingga desain dinyatakan layak diproduksi. Selain itu juga, merancang *vertical pressure vessel* tipe *gas separator* untuk meningkatkan kapasitas *gas plant*. Perancangan mengacu pada ASME *Section VIII* Divisi 1 dan ASCE 7-10 dengan PV Elite dan ANSYS. Hasil perhitungan teoretis dan simulasi menunjukkan nilai defleksi dan tegangan *von mises* yang aman sesuai standar desain.

Perancangan *pressure vessel* untuk oli Meditran SX Plus 15W-40 berkapasitas 8.000liter dilakukan dengan mempertimbangkan parameter desain utama seperti tekanan desain 1 MPa, suhu operasi, serta karakteristik fisik dan kimia oli. Bahan yang digunakan adalah ASTM A516 *Grade 70* dan *Grade 50*, yang dipilih karena *tensile strength* yang tinggi dan ketersediannya dalam industri. Pemilihan material ini telah disesuaikan dengan standar ASME *Section VIII* Divisi 1 guna memastikan struktur dapat menahan tekanan internal dan eksternal selama proses operasional.

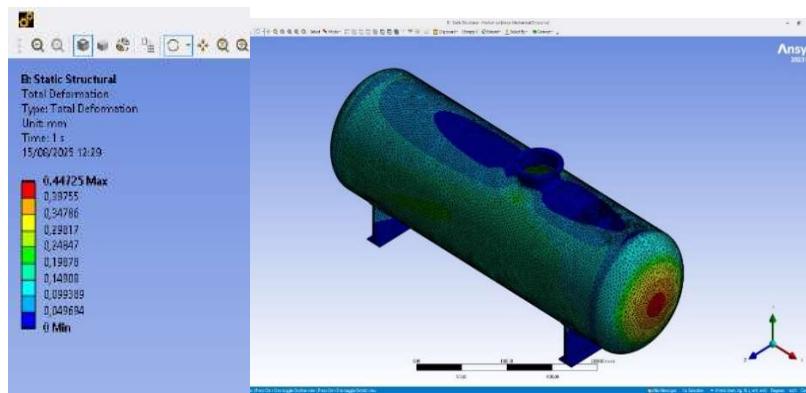
Hasil perhitungan tangan untuk ketebalan *shell* dan *head* merujuk pada rumus ASME *serta Pressure Vessel Handbook* oleh Megyesy. Penghitungan ini memberikan ilustrasi awal mengenai ketebalan minimum yang diperlukan untuk mempertahankan integritas struktural dari bejana tekan. Simulasi ANSYS selanjutnya dimanfaatkan untuk mengonfirmasi distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan. Dari hasil simulasi, tampak bahwa tegangan maksimum yang terjadi tetap di bawah batas izin tegangan material, baik dalam kondisi baru maupun setelah memperhitungkan *allowance korosi*. Ini menunjukkan bahwa desain telah memenuhi standar aspek keamanan.

Analisis MAWP (*Maximum Allowable Working Pressure*) dan MAEP (*Maximum Allowable External Pressure*) menunjukkan bahwa tekanan kerja maksimum dan tekanan eksternal yang diizinkan dalam desain tetap dalam batas yang diizinkan oleh standar. Penting untuk menjamin bahwa *pressure vessel* tidak mengalami kerusakan karena tekanan yang terlalu tinggi atau beban vakum.

Desain bejana tekan berbentuk silinder horizontal dipilih karena lebih cocok untuk lokasi penempatan di gudang oli Dipo Lokomotif Sidotopo, serta menawarkan efisiensi ruang dan kemudahan distribusi fluida. Pemilihan posisi horizontal juga meningkatkan stabilitas saat *pressure vessel* beroperasi dan mempermudah akses untuk pemeliharaan.

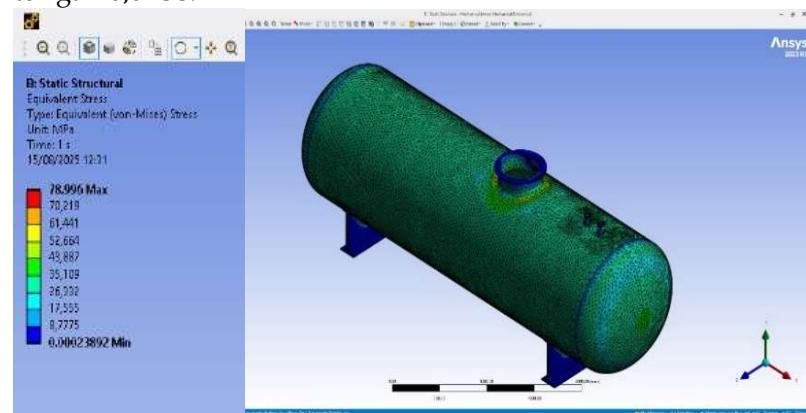
(A) Hasil Analisis

(1) Material A516 Grade 55



Gambar 1. Analisis ANSYS Material SA 516 Grade 55 (Total Max Deformasi)

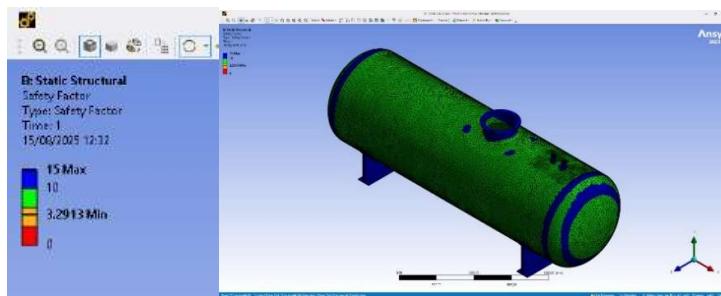
Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa nilai deformasi total maksimum yang terjadi pada struktur adalah sebesar 0,45 mm. Nilai ini menunjukkan besarnya perubahan bentuk yang dialami komponen akibat beban yang diberikan, di mana deformasi dapat diartikan aman. Karena minimum dari nilai deformasi adalah berdasarkan perhitungan 0,0138.



Gambar 2. Analisis ANSYS Material SA 516 Grade 55 (Total Max Stress)

Pada Gambar 2 didapatkan nilai total *stress* maksimum yang terjadi pada struktur adalah sebesar 78,996 MPa. Nilai ini menggambarkan besarnya tegangan yang timbul pada komponen akibat beban yang diberikan, di mana distribusi tegangan tersebut dapat dikatakan aman. Karena nilai maksimum dari total maksimum *stress* adalah 108 MPa. Nilai ini didapatkan dari hasil *allowable stress* materialnya

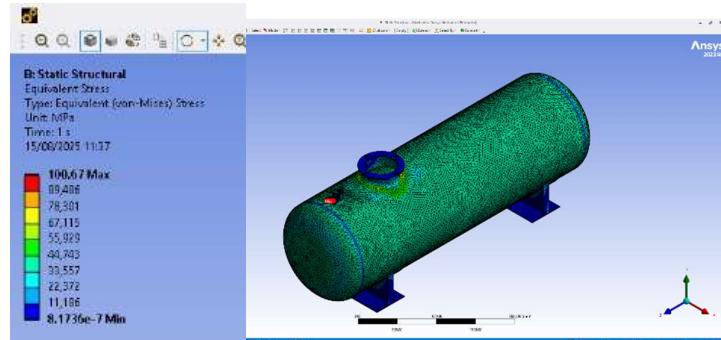
menjadi indikator utama untuk menilai kekuatan serta keamanan desain *pressure vessel*.



Gambar 3. Analisis ANSYS Material SA 516 Grade 55 (*Safety Factor*)

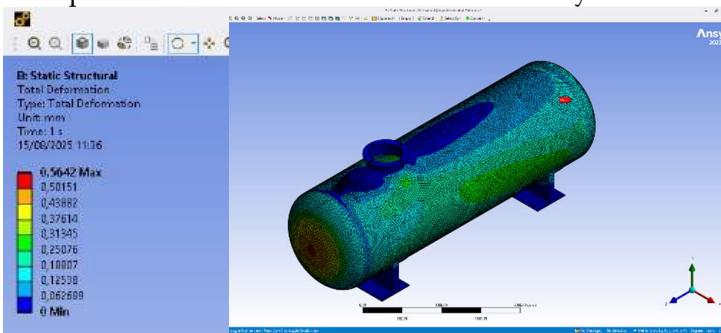
Pada Gambar 3 di atas didapatkan nilai *safety factor* yang diperoleh dari hasil simulasi adalah sebesar 3,29. Nilai ini menunjukkan bahwa desain *pressure vessel* memiliki tingkat keamanan yang baik dari maksimum batas tegangan izin material. Nilai batas izin tegangan berdasarkan perhitungan *safety factor von mises* 4,41503. Dengan *safety factor* sebesar ini, rancangan telah memenuhi standar keselamatan yang dipersyaratkan dan layak digunakan dalam aplikasi industri.

(2) Material A516 Grade 70



Gambar 4. Analisis ANSYS Material SA 516 Grade 70 (*Maximum Stress*)

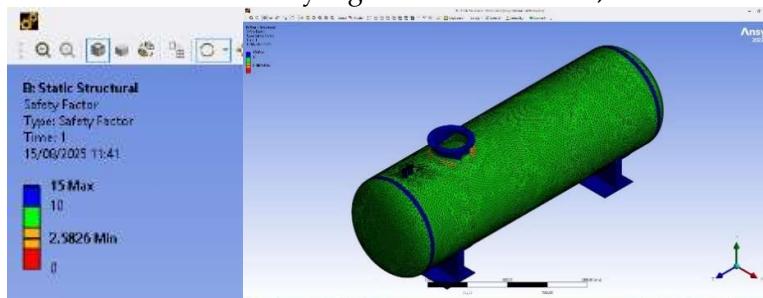
Pada Gambar 4 dilakukan simulasi pada *software ANSYS* yang menunjukkan hasil simulasi *stress* dengan menunjukkan angka maksimal 100,67 MPa. Nilai ini dapat disimpulkan aman. Karena nilai maksimum allowable *stress* nya adalah 138 MPa. Nilai ini didapatkan dari nilai *allowable stress* materialnya.



Gambar 5. Analisis ANSYS Material SA 516 Grade 70 (*Total Deformasi*)

Hasil analisis pada Gambar 5 di atas ini menunjukkan bahwa total deformasi maksimum yang terjadi pada struktur adalah sebesar 0,56 mm. Nilai ini

merepresentasikan perubahan bentuk tertinggi yang dialami komponen akibat pembebanan, dan masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan sesuai kriteria desain. Batas toleransi yang diizinkan adalah 0,0092 mm.



Gambar 6. Analisis ANSYS Material SA 516 Grade 70 (*Safety Factor*)

Pada Gambar 6 di atas, nilai *safety factor* yang diperoleh dari hasil analisis menunjukkan angka 2,58. Hal ini berarti struktur memiliki kemampuan menahan beban sebesar 2,58 kali lipat dari beban rencana sebelum mencapai batas kegagalan. Nilai batas izin tegangan berdasarkan perhitungan *safety factor von mises* 3,53723. Nilai ini masih berada di atas batas minimum yang disyaratkan, margin keamanannya relatif kecil sehingga perlu dipertimbangkan optimasi desain atau peningkatan faktor keselamatan untuk mengantisipasi kondisi beban tak terduga.

Penelitian ini berhasil merancang serta menganalisis *pressure vessel* untuk menyimpan oli Meditan SX Plus 15W-40 dengan kapasitas 8.000 liter menggunakan standar ASME Section VIII dan metode analisis elemen hingga (FEM) dengan perangkat lunak ANSYS. Desain bejana tekan berbentuk silinder horizontal ini memperhatikan sejumlah parameter penting seperti tekanan kerja, temperatur, jenis material (ASTM A516 Grade 70 dan Grade 55), serta efisiensi pengelasan sambungan. Analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa rancangan *pressure vessel* yang dihasilkan memenuhi kriteria kekuatan struktural dan keselamatan kerja berdasarkan sebaran tegangan, perubahan bentuk, serta perhitungan MAWP dan MAEP. Di samping itu, pembuatan Rencana Anggaran Biaya (RAB) juga dilaksanakan sebagai pedoman biaya produksi. Rancangan ini diharapkan menjadi acuan dalam desain *pressure vessel* serupa di masa depan untuk industri perkeretaapian atau sektor lain yang memerlukan penyimpanan fluida bertekanan. Secara keseluruhan, analisis menunjukkan bahwa *pressure vessel* yang dirancang aman, efisien dalam penggunaan material, dan dapat diproduksi dengan baik. Desain ini bisa menjadi referensi untuk pengembangan *pressure vessel* serupa di masa yang akan datang, baik dalam sektor kereta api maupun industri lain yang membutuhkan penyimpanan oli atau fluida bertekanan. Untuk *pressure vessel* yang digunakan dalam jangka panjang dan mengalami tekanan siklik, perlu dilakukan kajian *fatigue* (kelelahan material) untuk mengetahui masa pakai bejana sebelum mengalami kegagalan.

KESIMPULAN

Perancangan *pressure vessel* horizontal berkapasitas 8000 liter dilakukan berdasarkan standar ASME Section VIII Divisi 1 menggunakan material baja karbon

A516 *Grade 70* dan juga A516 *Grade 55*. Berdasarkan material A516 *Grade 70* didapatkan diameter dalam sekitar 1,366 meter dan *head* berbentuk *elipsoidal head*, dengan panjang *shell* 4 meter, serta ketebalan plat 8 mm. Sedangkan untuk Material A516 *Grade 55* didapatkan diameter dalam sekitar 1,370 meter dan *head* berbentuk *elipsoidal head*, dengan panjang *shell* 4 meter, serta tebal plat 10 mm. Dapat disimpulkan bahwa material yang lebih efektif dan efisien berdasarkan standar ASME adalah material A516 *Grade 70*. Dikarenakan material A516 *Grade 70* lebih baik dari segala aspek dibandingkan A516 *Grade 55*.

REFERENSI

- ASME. (2019). "Boiler and *Pressure vessel* Code Section II Material Part D". New York: American Society of Mechanical Engineers.
- ASME. (2021). "Rule for Construction of *Pressure vessel* Section VIII Division 1" New York: American Society of Mechanical Engineers.
- ASME. (2021). "Rule for Construction of *Pressure vessel* Section VIII Division 2" New York: American Society of Mechanical Engineers.
- Aziz, Hamid, A., & Hidayat, I. A. (2014). Perancangan *Pressure vessel* (*Pressure vessel*) Untuk Separasi 3 Fasa. *Sinergi*. 18(1), 31–38. <https://ejurnal.unsrat.ac.id/index.php/poros/article/view/13785>
- Azmi, M. Mustaghfirin. Tamimah. (2022). "Desain *Pressure vessel* Vertikal VE 3003 (Filtered Product Tank) untuk Menampung Senyawa Amina". Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Chattopadhyay, S. (2005). *Pressure vessel* Design and Practice. CRC Press, Inc., Florida.
- Committee, A. B. a. P. V. (2015). ASME Boiler and *Pressure vessel* Code Section II Material Part D.. New York: American Society of Mechanical Engineering.
- Committee, A. B. a. P. V. (2021). ASME Section VIII div. 1. 2021 ed. New York: The American Society Of Mechanical Engineers.
- Herfianto, L. P., Effendi, M., & Subagyo, T. (2023). ANALISA KECEPATAN ALIRAN FLUIDA HIDROLIK TERHADAP PEFORMA KAPASITAS PRODUKSI MESIN PLONG KULITAN MENGGUNAKAN METODE CFD (Computational Fluid Dynamic). *Journal Mechanical and Manufacture Technology (JMMT)*. 4(1), 08–17. Doi:10.35891/jmmt.v4i1.3811
- Megyesy, E. F. (2008). *Pressure vessel* Handbook. Fourteenth Edition ed. Tulsa: *Pressure vessel* Publishing, INC.
- Moss, D. (2004). "Pressure vessel Design Manual (Third ed.)". Amsterdam: Gulf Professional Publishing.
- Ngarasati, M. J., Munir, M. M., & Budiyanto, E. N. (2020). Perancangan dan Analisis Vertical *Pressure vessel* Tipe Gas Separator untuk Penambahan Kapasitas Gas Plant. Surabaya. Proceeding 3rd Conference of Piping Engineering and Its Application.
- Rifqy, M. N. (2021). Desain Vertical *Pressure vessel* dan Line Process Piping System untuk Penyimpanan Senyawa Amina pada Proyek New Amine Production Facility. Tugas Akhir, NRP:0817040012, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Surabaya.
- Septiawan, M. L., Munir, M. M., & Ari, M. (2023). *Perancangan Pressure vessel Vertikal Akibat Beban Angin dan Gempa Terhadap Tegangan dan Defleksi Menggunakan PV Elite dan Metode Elemen Hingga*.

Setiawan, A. B. (2018). Perancangan dan Analisa Tegangan Separator Produksi Menggunakan Software PV Elite dan Solidworks. *Jurnal Teknik Mesin.* 7(2), 97.
Doi:10.22441/jtm.v7i2.3432

TechnoSoft AMPreVA. (2023) Vertical Vessel with manway.
<https://ampreva.technosoft.com/projects/index/feature/vessel7>