

PERANCANGAN *PRESSURE VESSEL* KAPASITAS 20.000 LITER UNTUK PENYIMPANAN OLI DI PT KAI DEPO SIDOTOPO

Gilang Ramadhani Prasetyo¹, Mohammad Miftachul Munir^{2*}, Dian Asa Utari¹

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

Penelitian ini bertujuan menentukan spesifikasi teknis bejana tekan horizontal berkapasitas 20.000 liter sebagai tempat penyimpanan oli Diloka 448 X SAE 40 di PT KAI Dipo Lokomotif Sidotopo. Perancangan dilakukan berdasarkan standar ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* (BPVC) *Section VIII* Divisi 1, dengan memperhatikan aspek tekanan desain, ketebalan minimum dinding, *allowance* korosi, efisiensi sambungan pengelasan, serta pemilihan material yang sesuai. Dua material utama digunakan dalam analisis, yaitu SA 516 Gr 70 dengan *allowable stress* sebesar 138 MPa sebagai baja karbon dan SA 240 Gr 304 dengan *allowable stress* 113 MPa sebagai baja tahan karat. Kedua material tersebut dibandingkan berdasarkan karakteristik mekanis dan ketahanannya terhadap kondisi kerja yang berbeda. Proses perhitungan dilakukan secara manual mengacu pada ketentuan kode, kemudian hasilnya divalidasi menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM) melalui simulasi perangkat lunak ANSYS. Analisis fokus pada distribusi tegangan, deformasi, serta faktor keamanan struktur bejana. Hasil penelitian menunjukkan desain *pressure vessel* dengan kedua material telah memenuhi persyaratan kekuatan dan keselamatan sesuai ASME BPVC. Rancangan ini juga memberikan efisiensi dalam sistem penyimpanan dan distribusi oli, mendukung kelancaran operasional lokomotif. Penelitian ini diharapkan menjadi referensi dalam menentukan spesifikasi teknis *pressure vessel* di industri, khususnya pada sektor transportasi perkeretaapian, serta memberikan gambaran jelas untuk pemilihan material berdasarkan *allowable stress* tiap jenis baja.

Kata Kunci: ASME, FEM, *pressure vessel*, SA 240 Gr 304, SA 516 Gr 70

Abstract

This study aims to determine the technical specifications of a horizontal pressure vessel with a capacity of 20,000 liters, used for storing Diloka 448 X SAE 40 oil at PT KAI Dipo Lokomotif Sidotopo. The design is based on the ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Section VIII Division 1, considering design pressure, minimum wall thickness, corrosion allowance, welding joint efficiency, and appropriate material selection. Two main materials are analyzed: SA 516 Gr 70 carbon steel with an allowable stress of 138 MPa, and SA 240 Gr 304 stainless steel with an allowable stress of 113 MPa. These materials are compared based on their mechanical properties and resistance to working conditions. Calculations are performed manually following code provisions, then validated using Finite Element Method (FEM) simulations in ANSYS. The analysis focuses on stress distribution, deformation, and structural safety factors. Results show that the pressure vessel design with both materials meets strength and safety requirements according to ASME BPVC. The design also enhances efficiency in oil storage and distribution systems, supporting locomotive operation. This study is expected to serve as a reference for determining technical specifications of pressure vessels in the industry, especially in the railway transportation sector, and to provide clear guidance on material selection based on allowable stress values.

Keywords: ASME, FEM, *pressure vessel*, SA 240 Gr 304, SA 516 Gr 70

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen minyak dan gas alam utama, dengan produksi minyak mentah domestik mencapai 415 ribu barel per hari pada akhir 2023 melalui PT Pertamina Hulu Energi, setara dengan 69% total nasional (Wisnubroto, 2024). Dalam kegiatan ini, peran bejana tekan sangat vital, terutama untuk penyimpanan dan distribusi fluida bertekanan tinggi seperti pelumas oli. Kesalahan desain atau penggunaan material yang tidak sesuai standar dapat berakibat fatal secara teknis, finansial, dan keselamatan pekerja. Oleh karena itu, penerapan ASME BPVC *Section VIII* Divisi 1 menjadi wajib untuk memenuhi syarat kekuatan, integritas struktural, dan keamanan operasional.

Bejana tekan horizontal memiliki keunggulan dalam akses dan stabilitas serta lebih sesuai digunakan di gudang semi *outdoor* seperti di Dipo Lokomotif Sidotopo. Untuk kebutuhan penyimpanan oli Dilo 448 X SAE 40, dipilih dua material utama, SA 516 Gr 70 (baja karbon tahan tekanan) dan SA 240 Gr 304 (baja tahan karat *stainless steel*). SA 516 Gr 70 dipilih karena kemampuannya menahan tekanan yang tinggi dan hemat biaya, sedangkan SA 240 Gr 304 dipertimbangkan untuk keunggulan ketahanannya terhadap korosi. Perbandingan kedua material ini menjadi fokus tampilan kekuatan, keterjangkauan, dan kelayakan desain.

Perancangan ketebalan dinding silinder dan kepala (*head*) dilakukan melalui pendekatan manual berdasarkan rumus-rumus ASME, seperti rumus tekanan internal dan *head elliptical*. Untuk memastikan ketepatan dan keandalan struktur, selanjutnya dilakukan evaluasi distribusi tegangan dan deformasi menggunakan simulasi berbasis *Finite Element Method* (FEM) dengan ANSYS. Simulasi ini juga digunakan untuk menguji kondisi beban tekanan eksternal, distribusi usaha pegas sambungan las, dan perilaku material di bawah suhu operasi, sehingga desain akhir dapat dioptimalkan.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan praktis PT KAI (Kereta Api Indonesia) yang selama ini melakukan hunian oli dengan metode manual, memerlukan solusi yang efisien, aman, dan sesuai standar. Diharapkan desain *pressure vessel* ini tidak hanya menyediakan keuntungan operasional berupa kemudahan pengisian, pengurangan risiko tumpahan, dan efisiensi biaya, tetapi juga memberikan kontribusi akademis dan industri dalam metode perancangan bejana tekan berbasis ASME dan analisis FEM.

TINJAUAN PUSTAKA

(A) *Pressure Vessel*

Bejana merupakan salah satu komponen penting dalam industri pengolahan minyak dan gas. Salah satu jenisnya adalah *pressure vessel*, yaitu tangki yang berfungsi untuk menyimpan fluida. Fluida yang disimpan dalam bejana ini umumnya memiliki sifat khusus dan memerlukan perlakuan tertentu, seperti fluida bertekanan tinggi, bersuhu sangat rendah atau sangat tinggi, serta jenis fluida lainnya (Aziz et al., 2014).

Bejana tekan adalah wadah tertutup yang secara khusus dirancang untuk menyimpan cairan, baik gas maupun cair, di bawah tekanan dan suhu tinggi. Material yang digunakan untuk membuatnya harus kuat dan tahan terhadap tekanan, dengan desain dan konstruksi yang mengikuti standar keselamatan tertentu. Bentuk dan ukuran

bejana tekan sangat bervariasi, tergantung pada kebutuhan dan aplikasi industri (ASME, n.d.).

Menurut ASME BPVC Bagian VIII, Aturan Konstruksi Bejana Tekan, bejana tekan adalah wadah tertutup yang dapat menahan tekanan internal atau eksternal lebih dari 15 psi (103 kPa). Bejana tekan dianggap sesuai dengan kategori ini jika kondisi pengoperasiannya berada di atas batas tekanan dan suhu yang ditetapkan oleh ASME. Oleh karena itu, desain dan pembuatannya harus mematuhi standar teknis, keselamatan, dan kualitas yang ditetapkan dalam ASME BPVC. Untuk contoh tabelnya bisa kita lihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. ASME BPVC Certificates

<i>EXHIBIT A</i>			
<i>ASME BPVC Certificates of Authorization</i>			
<i>Validity of Certificates and AIA Agreement Requirements</i>			
<i>BPVC</i>		<i>Certificate</i>	<i>AIA</i>
<i>Section</i>	<i>Certificates of Authorization</i>	<i>Valid For</i>	<i>Agreement Required</i>
		<i>(In Years)</i>	<i>(Yes/No)</i>
<i>Section I</i>	<i>S - Power Boiler</i>	3	Yes
	<i>A - Assembly of Power Boilers</i>	3	Yes
	<i>E - Electric Boilers</i>	3	Yes
	<i>M - Miniature Boiler</i>	3	Yes
	<i>PP - Pressure Piping</i>	3	Yes
	<i>V - Boiler Pressure Relief Valves</i>	3	No
	<i>PRT - Parts Fabrication</i>	3	Yes
<i>Section IV</i>	<i>H - Heating Boilers (except Cast Iron and/or Cast Aluminum)</i>	3	Yes
	<i>H - Heating Boilers (Cast Iron and/or Cast Aluminum only)</i>	1	No
	<i>HLW - Lined Potable Water Heaters</i>	3	Yes
	<i>HV - Heating Boiler Safety Valves</i>	3	No
	<i>PRT - Parts Fabrication</i>	3	Yes
<i>Section VIII, Div. 1</i>	<i>U - Pressure Vessels</i>	3	Yes
	<i>UM - Miniature Pressure Vessels</i>	1	Yes
	<i>UV - Pressure Vessel Pressure Relief Valves (Div. 1 and Div. 2)</i>	3	No
	<i>UD - Pressure Vessel Pressure Relief Devices (Div. 1 only)</i>	3	No
	<i>PRT - Parts Fabrication</i>	3	Yes
<i>Section VIII, Div. 2</i>	<i>U2 - Pressure Vessels (Alternative Rules for Pressure Vessels)</i>	3	Yes
<i>Section VIII, Div. 3</i>	<i>U3 - High Pressure Vessels</i>	3	Yes
	<i>UV3 - High Pressure Vessel Pressure Relief Valves</i>	3	No

	<i>UD3 - High Pressure Vessel Pressure Relief Devices</i>	3	No
Section X	<i>RP - Fiber-Reinforced Plastic Vessels</i>	3	Yes
Section XII	<i>T - Transport Tanks</i>	3	Yes
	<i>TV - Transport Tanks Pressure Relief Valves</i>	3	No
	<i>TD - Transport Tanks Pressure Relief Devices</i>	3	No
	<i>PRT - Parts Fabrication</i>	3	Yes

Standar ASME BPVC mencakup berbagai aspek penting, seperti desain, pemilihan material, proses fabrikasi, inspeksi, pengujian, dan sertifikasi. Ini termasuk aturan tentang pengelasan, inspeksi non-destruktif, perhitungan desain, dan ketahanan korosi. Dalam proses perancangan, berbagai faktor seperti tekanan maksimum, suhu operasi, beban eksternal, dan lingkungan harus diperhatikan agar bejana tekan dapat bekerja dengan aman dan andal.

Untuk memastikan keamanan dan kualitas, ASME BPVC juga mengatur proses sertifikasi bagi produsen bejana tekan. Produsen yang memenuhi standar ini akan menerima stempel “U”, yang menunjukkan bahwa produk mereka telah diuji dan disetujui sesuai dengan standar ASME. Stempel ini merupakan simbol internasional yang menunjukkan bahwa bejana tekan dirancang dan diproduksi untuk memenuhi persyaratan kualitas dan keamanan tertinggi.

(B) Komponen Pressure Vessel

Pada *pressure vessel* terdiri dari berbagai bagian yang disatukan, dan memiliki kegunaan yang berbeda. Meskipun bentuknya berbeda horizontal maupun vertikal, bagian utamanya tetap sama seperti pada jurnal yang ditulis oleh Kharisma & Sapto (2022).

(1) Shell (Badan Utama)

Shell adalah bagian utama dari *pressure vessel* yang berfungsi sebagai wadah penyimpanan atau tempat pengolahan fluida di bawah tekanan tinggi. Material pembuatnya, seperti baja karbon atau baja tahan karat, dipilih karena kekuatannya dalam menahan tekanan. Desain *shell* harus memastikan bahwa struktur bejana cukup kuat untuk menghindari kebocoran atau kerusakan saat beroperasi.

(2) Head (Bagian Penutup)

Head adalah bagian yang menutup ujung-ujung *pressure vessel*, baik pada bagian atas maupun bawah. Bentuknya bisa beragam, mulai dari cembung (*dome-shaped*) hingga datar, tergantung pada kebutuhan desain dan aplikasi bejana tersebut. Selain menutup *shell*, *head* juga membantu mendistribusikan tekanan di dalam bejana dan memfasilitasi sambungan dengan komponen lain seperti *nozzle* dan *manholes*.

(3) Nozzle (Saluran)

Nozzle adalah saluran masuk atau keluar untuk fluida atau gas pada *pressure vessel*. Komponen ini dirancang agar aliran fluida berjalan lancar dan efisien. *Nozzle*

biasanya dilengkapi dengan katup, penghubung, atau alat pengukur untuk memantau dan mengontrol proses di dalam bejana. Ukuran dan desain *nozzle* disesuaikan dengan jenis proses dan kapasitas bejana tekan.

(4) *Supports* (Penyangga)

Supports adalah struktur pendukung yang menjaga *pressure vessel* tetap stabil selama operasi. Penyangga ini dirancang untuk menopang berat bejana, mengurangi stres pada bagian tertentu, dan mencegah deformasi struktur. Tergantung pada posisi bejana (horizontal atau vertikal), penyangga dapat berupa kaki, pelana (*saddle*), atau rangka pendukung.

(5) *Manholes* (Lubang Akses)

Manholes adalah lubang yang memungkinkan teknisi untuk mengakses bagian dalam *pressure vessel*. Komponen ini sangat penting untuk keperluan inspeksi, pembersihan, dan pemeliharaan tanpa harus membongkar seluruh bejana. *Manholes* biasanya dilengkapi dengan penutup yang mudah dibuka dan ditutup untuk mempermudah akses ke bagian dalam.

(C) Pemilihan Material

Dalam merancang sebuah bejana tekan, pemilihan material menjadi langkah penting karena akan sangat memengaruhi kekuatan struktur, umur pemakaian, serta tingkat keselamatan sistem secara keseluruhan. Material SA 516 Gr 70 dipilih karena merupakan baja karbon berkualitas tinggi yang sudah terbukti handal digunakan dalam kondisi tekanan tinggi. Material ini memiliki kekuatan tarik minimal sekitar 485 MPa dan tetap tangguh meski digunakan dalam suhu rendah, menjadikannya sangat cocok untuk aplikasi pada *shell* dan *head* bejana tekan yang bekerja terus-menerus di bawah tekanan tinggi (ASME, 2021; Megyesy, 2017).

Keunggulan lainnya, SA 516 Gr 70 juga mudah dikerjakan, baik dalam proses pemotongan maupun pengelasan, serta tersedia luas di pasaran Indonesia dengan harga yang relatif terjangkau. Di sisi lain, untuk bagian dalam bejana atau komponen yang kontak langsung dengan fluida seperti oli Diloka SAE 40, digunakan material SA 240 Gr 304 karena sifat tahan korosinya yang sangat baik. Kandungan kromium dan nikel di dalamnya memberikan perlindungan terhadap reaksi kimia dan oksidasi ringan, sehingga cocok untuk lingkungan kerja yang lembap atau terpapar zat kimia industri.

(1) Keunggulan

SA 516 Gr 70 merupakan jenis baja karbon rendah yang dirancang secara khusus untuk aplikasi bejana tekan, dengan performa tinggi terhadap tekanan internal dan suhu menengah. Material ini memiliki kekuatan tarik minimum sebesar 70 ksi (485 MPa) dan nilai ketangguhan yang sangat baik pada suhu rendah, menjadikannya cocok untuk kondisi operasional berat seperti pada *shell* dan *head* bejana tekan (ASME, 2021; Megyesy, 2017). Selain itu, SA 516 Gr 70 memiliki karakteristik *good weldability* yang mendukung proses fabrikasi, sehingga tidak memerlukan perlakuan panas pasca pengelasan secara khusus. Dengan keunggulan tersebut, dan ditambah ketersediaannya di pasar lokal serta harga yang relatif ekonomis, SA 516 Gr 70 menjadi salah satu pilihan utama untuk struktur *pressure vessel*, terutama dalam skala industri besar.

Sementara itu, material SA 240 Gr 304 adalah jenis *stainless steel* austenitik yang memiliki komposisi utama kromium ($\pm 18\%$) dan nikel ($\pm 8\%$), yang membentuk lapisan pasif alami di permukaan logam untuk mencegah oksidasi dan korosi. Berbeda dengan SA 516 Gr 70 yang mengandalkan kekuatan mekanis, SA 240 Gr 304 justru unggul dalam hal ketahanan terhadap lingkungan korosif, baik akibat uap, oli, maupun kelembapan. Dalam aplikasi *pressure vessel*, material ini sangat ideal digunakan pada bagian yang berinteraksi langsung dengan fluida karena stabil secara kimia dan termal, dengan batas ketahanan suhu hingga sekitar 870°C tanpa mengalami degradasi struktural. Selain itu, sifat non-magnetik serta kemampuan pembentukan dan pengelasan yang baik menjadikan SA 240 Gr 304 unggul untuk komponen dengan bentuk kompleks seperti *flanged* and *dished head*.

(2) Kekurangan

Meskipun memiliki kekuatan mekanik yang baik, SA 516 Gr 70 sebagai baja karbon tetap memiliki beberapa keterbatasan penting. Salah satu kelemahan utamanya adalah daya tahan terhadap korosi yang rendah jika dibandingkan dengan *stainless steel*. Bila digunakan dalam lingkungan lembap atau bersentuhan langsung dengan fluida korosif, seperti oli yang mengandung aditif kimia agresif. Material ini berisiko mengalami degradasi permukaan yang signifikan. Oleh karena itu, penggunaan SA 516 Gr 70 pada area yang kontak langsung dengan fluida memerlukan perlindungan tambahan, seperti pelapisan internal atau penggabungan dengan material tahan korosi, guna memperpanjang umur pakainya. Selain itu, perlu diperhatikan juga bahwa kekuatan mekaniknya dapat menurun secara signifikan apabila digunakan pada suhu di atas 593°C , sehingga aplikasi di lingkungan bersuhu tinggi harus dirancang secara hati-hati.

Di sisi lain, meskipun dikenal memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, SA 240 Gr 304 tidak lepas dari kekurangan. Salah satu kelemahan utamanya adalah biaya material ini jauh lebih mahal dibandingkan dengan baja karbon seperti SA 516 Gr 70. Selain itu, dalam aplikasi tekanan tinggi, SA 240 Gr 304 memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah, sehingga tidak ideal sebagai struktur utama bejana tekan tanpa penambahan ketebalan yang pada akhirnya dapat menambah berat dan biaya secara keseluruhan (ASME, 2021). Tak hanya itu, material ini juga memiliki kecenderungan mengalami *Stress Corrosion Cracking* (SCC), terutama jika digunakan dalam kondisi statis jangka panjang di lingkungan lembap atau yang mengandung ion klorida tinggi. Oleh sebab itu, pemakaiannya perlu dipertimbangkan secara seksama dengan mempertimbangkan karakteristik lingkungan operasionalnya.

(3) Kesimpulan

Mengacu pada keunggulan masing-masing material tersebut, kombinasi antara SA 516 Gr 70 dan SA 240 Gr 304 menjadi pilihan strategis dalam perancangan bejana tekan ini. SA 516 Gr 70 digunakan pada bagian utama bejana seperti *shell* silinder dan *dished head* karena kekuatan mekaniknya yang tinggi serta ketersediaannya yang luas di pasaran, menjadikannya efektif secara teknis maupun ekonomis. Di sisi lain, SA 240 Gr 304 digunakan untuk komponen-komponen yang bersinggungan langsung dengan fluida, seperti pelapis dalam

atau bagian konektor, karena ketahanannya yang sangat baik terhadap korosi, oksidasi, dan sifat kimia dari pelumas oli Diloka 448 X SAE 40.

Kolaborasi kedua material ini menawarkan keunggulan struktural dan ketahanan lingkungan secara bersamaan, yang sangat dibutuhkan pada unit penyimpanan oli yang ditempatkan di area semi-outdoor dan digunakan secara intensif. Dengan mengikuti pendekatan standar dari ASME *Section VIII* Divisi 1, kombinasi material ini tidak hanya memenuhi kebutuhan kekuatan desain, tetapi juga memperpanjang umur pakai bejana serta meminimalkan potensi kerusakan akibat korosi atau tekanan yang berulang.

(D) Metode Analisis FEM Menggunakan ANSYS

Di dunia teknik, banyak fenomena fisika seperti tegangan pada struktur, aliran panas, hingga fluida kompleks sering kali tidak bisa diselesaikan menggunakan metode matematis biasa. Persamaan Diferensial Parsial (PDE) yang digunakan untuk memodelkan fenomena-fenomena tersebut kerap kali terlalu rumit terutama saat menghadapi bentuk geometri yang tidak teratur atau batasan yang tidak linier. Untuk menjawab tantangan ini, *Finite Element Method* (FEM) hadir sebagai salah satu solusi numerik yang sangat efektif. Pendekatan ini membagi suatu struktur besar menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen, lalu menghitung perilaku setiap elemen berdasarkan sifat lokalnya. Karena fleksibilitasnya, *Finite Element Method* (FEM) telah menjadi metode populer dalam bidang teknik sipil, mesin, elektro, dan material.

Penelitian ini memanfaatkan *Finite Element Method* (FEM) untuk menganalisis desain *pressure vessel*, menggunakan *software* ANSYS. Perangkat lunak ini terkenal luas di kalangan industri maupun akademisi karena kemampuannya menangani geometri kompleks, pembebanan bervariasi, serta variasi karakteristik material seperti kombinasi antara SA 516 Gr 70 (baja karbon) dan SA 240 Gr 304 (*stainless steel*). ANSYS menawarkan lingkungan kerja lengkap, mulai dari pemodelan geometri, pengaturan beban dan material, hingga analisis hasil akhir. Antarmuka yang intuitif serta akurasi tinggi menjadikan ANSYS sebagai alat bantu utama dalam merancang *pressure vessel* horizontal untuk kebutuhan penyimpanan oli Diloka 448 X SAE 40 milik PT KAI di area Dipo Lokomotif Sidotopo.

Pada proses simulasinya, model terlebih dahulu dipecah menjadi elemen-elemen kecil (*mesh*) yang terhubung melalui titik-titik simpul (*node*). Setiap elemen dihitung berdasarkan kondisi lokalnya, lalu hasilnya disusun menjadi sistem persamaan besar yang menggambarkan keseluruhan struktur. ANSYS memproses perhitungan ini menggunakan algoritma modern seperti *Sparse Solver*, *PCG*, atau *Newton-Raphson*, tergantung kompleksitas modelnya. Pendekatan ini memungkinkan kita memprediksi deformasi, distribusi tegangan dan regangan, serta mengevaluasi faktor keamanan dari struktur. Karena itulah, pemilihan metode *Finite Element Method* (FEM) dengan dukungan ANSYS sangat relevan untuk memastikan desain *pressure vessel* sesuai standar keselamatan yang ditetapkan oleh ASME *Section VIII* Div. 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan metode elemen hingga *Finite Element Method* (FEM) menggunakan perangkat lunak ANSYS dalam penelitian ini terbukti efektif untuk menyimulasikan

karakteristik mekanis dari *pressure vessel* horizontal berkapasitas 20.000 liter. Kompleksitas geometri bejana tekan, kondisi pembebanan internal akibat tekanan fluida, dan kebutuhan akan ketelitian tinggi menjadikan metode ini sangat relevan. ANSYS memungkinkan analisis struktur tiga dimensi yang mencerminkan kondisi operasional sebenarnya, terutama pada bagian *shell* dan *head* yang memiliki potensi tegangan tinggi. Dengan pendekatan ini, tidak hanya deformasi dan tegangan yang dapat dievaluasi, tetapi juga kestabilan desain terhadap berbagai skenario pembebanan. Hasil analisis melalui *Finite Element Method* (FEM) menghasilkan distribusi tegangan yang aman dan menunjukkan bahwa desain bejana tekan ini telah memenuhi batas ketahanan material terhadap tegangan maksimum yang diizinkan oleh standar ASME.

Penggunaan kombinasi dua jenis material, yakni SA 516 Gr 70 untuk bagian *shell* dan *head*, serta SA 240 Gr 304 untuk bagian dalam atau komponen yang bersentuhan langsung dengan fluida, dipilih berdasarkan pertimbangan teknis dan ekonomi. SA 516 Gr 70 dikenal memiliki kekuatan tarik tinggi dan ketangguhan yang baik pada suhu rendah, menjadikannya ideal untuk struktur utama yang menahan tekanan internal. Material ini juga mudah dilas tanpa memerlukan perlakuan panas pasca pengelasan, sehingga efisien dari sisi fabrikasi. Di sisi lain, SA 240 Gr 304 memiliki ketahanan korosi yang jauh lebih tinggi, khususnya terhadap fluida oli dan uap yang bisa mengandung zat kimia agresif. Kombinasi ini menjawab kebutuhan akan ketahanan struktural sekaligus ketahanan lingkungan, yang keduanya sangat krusial dalam sistem penyimpanan oli lokomotif.

Analisis hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi tegangan maksimum terjadi di area sambungan antara *shell* dan *head*, terutama pada titik-titik lengkung *flanged and dished head*. Namun, nilai tegangan yang diperoleh masih berada di bawah batas tegangan izin material (*allowable stress*) yang ditetapkan ASME *Section II Part D*. Ini menunjukkan bahwa desain yang telah disimulasikan sudah aman secara struktural dan dapat beroperasi pada tekanan kerja yang dirancang sebesar 145 psig tanpa risiko kegagalan. Selain itu, dengan mempertimbangkan nilai *joint efficiency* ($E = 1.0$) pada sambungan las yang dilakukan dengan radiografi penuh (RT-1), hasil simulasi semakin menunjukkan bahwa efisiensi desain dapat dimaksimalkan tanpa mengorbankan keamanan.

Lebih jauh, hasil deformasi total yang ditampilkan dalam simulasi menunjukkan nilai yang sangat kecil dan terdistribusi merata pada seluruh permukaan bejana, yang menandakan bahwa bejana memiliki kekakuan struktural yang baik. Ini penting untuk mencegah deformasi jangka panjang yang bisa berdampak pada integritas struktural. Sementara itu, jika hanya menggunakan SA 516 Gr 70 untuk seluruh bagian bejana, termasuk yang kontak langsung dengan fluida, maka risiko korosi jangka panjang akan meningkat. Oleh sebab itu, integrasi dengan SA 240 Gr 304 pada area yang bersentuhan langsung dengan oli menjadi keputusan penting dalam menjaga keawetan sistem penyimpanan, meskipun menimbulkan tambahan biaya material.

Dengan demikian, diskusi ini menunjukkan bahwa metode *Finite Element Method* (FEM) dengan ANSYS bukan hanya alat bantu untuk menghitung dan mensimulasikan kondisi teknis, tetapi juga sebagai dasar pengambilan keputusan desain yang komprehensif. Hasil simulasi yang valid dan realistis mendukung pemilihan konfigurasi desain, ketebalan *shell* dan *head*, serta kombinasi material. Seluruh

pendekatan ini dilakukan dengan mengacu pada standar ASME *Section VIII Div. 1* untuk memastikan bahwa bejana tekan yang dirancang mampu beroperasi dalam batas keselamatan yang telah ditetapkan. Kesimpulannya, desain *pressure vessel* yang dilakukan melalui pendekatan numerik dan pemilihan material yang tepat memberikan solusi optimal terhadap kebutuhan penyimpanan oli pada sistem lokomotif PT KAI, sekaligus menekan risiko operasional dan biaya jangka panjang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan diskusi sebelumnya, solusi utama dalam perancangan *pressure vessel* horizontal berkapasitas 20.000 liter ini adalah pemilihan konfigurasi material yang tepat dan pendekatan analisis yang akurat. Kombinasi material SA 516 Gr 70 untuk bagian *shell* dan *head* serta SA 240 Gr 304 untuk bagian dalam atau komponen yang bersentuhan langsung dengan fluida terbukti memberikan kinerja struktural yang kuat sekaligus ketahanan korosi yang baik. Solusi ini tidak hanya memenuhi persyaratan teknis dari ASME *Section VIII Div. 1*, tetapi juga memberikan efisiensi dari sisi biaya dan keandalan jangka panjang. Pendekatan ini menjadi penting mengingat tekanan kerja sistem yang tinggi dan potensi paparan terhadap zat aditif agresif pada oli, yang dapat mempercepat proses degradasi jika material yang digunakan tidak sesuai.

Solusi kedua yang mendukung keberhasilan desain adalah penerapan *Finite Element Method* (FEM) berbasis perangkat lunak ANSYS sebagai alat bantu analisis utama. Dengan bantuan simulasi numerik ini, seluruh distribusi tegangan dan deformasi dapat dievaluasi secara menyeluruh dan mendekati kondisi operasional aktual. Pendekatan ini memungkinkan perancang untuk mengidentifikasi titik-titik kritis pada struktur bejana, seperti sambungan antara *shell* dan *head*, serta menguji berbagai skenario pembebanan. Penggunaan ANSYS juga memberikan keleluasaan untuk melakukan iterasi desain secara cepat dan efisien tanpa harus membuat prototipe fisik terlebih dahulu, sehingga waktu dan biaya dapat ditekan secara signifikan. Selain itu, simulasi memberikan jaminan terhadap faktor keselamatan (*safety factor*) dan kinerja struktural sesuai dengan batas *allowable stress* dari masing-masing material berdasarkan data ASME.

Solusi ketiga berkaitan dengan implementasi teknis di lapangan, yaitu dengan menyediakan prosedur fabrikasi dan inspeksi yang mengacu pada standar internasional seperti ASME dan API. Penggunaan *radiographic testing* (RT-1) sebagai standar inspeksi pengelasan memastikan tidak ada cacat sambungan yang dapat memicu kegagalan dini. Selain itu, dengan mempertimbangkan lingkungan pemasangan semi-outdoor di area gudang oli PT KAI, perlu juga disediakan sistem perlindungan tambahan seperti pelapisan eksternal anti-korosi, drainase yang baik, serta perawatan berkala untuk mencegah penurunan performa akibat paparan kelembapan. Keseluruhan solusi ini dapat meningkatkan efisiensi pengisian oli lokomotif, mempercepat proses operasional, dan meminimalkan potensi gangguan akibat sistem penyimpanan yang tidak andal.

REFERENSI

American Society of Mechanical Engineers. (n.d.). *Pressure vessel*. <https://www.asme.org/>

- American Society of Mechanical Engineers. (2021). Boiler and pressure vessel code. New York, NY: Author. Megyesy, E. F. (2008). *Pressure vessel Handbook*. Fourteenth Edition ed. Tulsa: Pressure vessel Publishing, INC.
- American Society of Mechanical Engineers. (2021). *ASME boiler and pressure vessel code: Section II, Part D – Materials – Properties (customary)*. New York, NY: Author.
- American Society of Mechanical Engineers. (2021). *ASME boiler and pressure vessel code (BPVC)*. New York, NY: Author.
- Aswin, & Anggara, F. (2022). *Perancangan dan analisis tegangan pressure vessel horizontal separator dengan metode elemen hingga*. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*. 7(2), 83-97. Doi:10.20527/sjmekinematika.v7i2.219
- Aziz, A., Hamid, A., & Hidayat, I. (2014). *Perancangan bejana tekan (pressure vessel) untuk separasi 3 fasa*. *Sinergi*. 18(1). Doi:10.22441/sinergi
- 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.
- Firmansyah, E. M. I., & Budiyanto, E. N. (2021). *Perancangan vertical pressure vessel VE-2005 crude reactant vessel pada proyek pembangunan amine plant di Gresik Jawa Timur*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Garg, P., Patel, R., & Tiwari, P. (2020). Lubrication Systems in Locomotives: Challenges and Developments. *Journal of Mechanical Engineering*. 55(3), 210-225.
- Johnson, T., Kumar, A., & Singh, R. (2020). Advancements in Locomotive Lubrication and Fuel Efficiency. *International Journal of Rail Transport Engineering*. 12(2), 88-105.
- Kharisma, A. A., & Sapto, A. D. (2022). *Perancangan dan analisis oil diesel storage tank kapasitas 5 m3 untuk internal dan extrenal pressure menggunakan software PV Elite*. *Jurnal Teknik dan Science*. 1(2), 65-79. Doi:10.56127/jts.v1i2.84
- Megyesy, E. F. (2008). *Pressure vessel handbook (14th ed.)*. Tulsa, OK: Pressure Vessel Publishing, Inc.
- Megyesy, L. A. (2017). *Pressure vessel handbook (14th ed.)*. Houston, TX: Gulf Publishing Company.
- Moss, D. R. (2004). *Pressure vessel design manual (3rd ed.)*. Burlington, MA: Elsevier.
- Ngarasati, M. J., Munir, M. M., & Budiyanto, E. N. (2020). *Perancangan dan analisis vertical pressure vessel tipe gas separator untuk penambahan kapasitas gas plant*. *Proceeding of the 3rd Conference of Piping Engineering and Its Application*. Surabaya.
- Pundir, B., & Sharma, K. (2018). Diesel and electric locomotive technologies: A comparative review. *Journal of Railway Science*. 14(1), 55–72.
- Rifqy, M. N. (2021). *Desain vertical pressure vessel dan line process piping system untuk penyimpanan senyawa amina pada proyek new amine production facility (Undergraduate thesis)*. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia.
- TechnoSoft AMPreVA. (2023). Vertical vessel with manway. <https://ampreva.technosoft.com/projects/index/feature/vessel7>
- Wisnubroto, K. (2024). *Capaian terbesar produksi minyak mentah di tangan anak bangsa*. Indonesia.go.id. <https://indonesia.go.id/kategori/editorial/8071/capaian-terbesar-produksi-minyak-mentah-di-tangan-anak-bangsa?lang=1>