ANALISIS KRITIS PEMILIHAN MATERIAL PADA *PRESSURE VESSEL* SA-106 *GRADE* B DAN SA-516-70N

Zahra Threesna Diva Khalid[1], Vizira Rizkia[2], Aldillah Herlambang[3], Oki Alfernando[4], Rizka Shafira[5]

[1,2,3,4,5]*Universitas Jambi*
E-mail : zahratrsnk@gmail.com[1], Vizirarizkia22@gmail.com[2], aldillah.herlambang@unja.ac.id[3], alfernandooki@unja.ac.id[4], rizka.shafira@unja.ac.id[5]

ABSTRAK

Pemilihan material *pressure vessel* merupakan aspek penting dalam industri kimia karena menyangkut keselamatan, umur pakai, dan biaya. Studi utama membandingkan **SA-106 *Grade* B** dan **SA-516-70N** dengan acuan **ASME Section VIII Div.1** serta simulasi *SolidWorks*. Hasil menunjukkan SA-516-70N lebih unggul dalam kekuatan (MAWP 34,10 bar; FOS 2,2), sedangkan SA-106 *Grade* B lebih ekonomis (Rp6,53 juta per pipa 10 m vs Rp35,19 juta untuk SA-516-70N). *Critical review* menilai penelitian masih terbatas pada aspek mekanik dan ekonomi, belum mencakup **korosi, *weldability, fatigue, creep,* dan umur pakai.** Re-evaluasi menunjukkan **316L *stainless steel*** dan **2205 duplex stainless steel** lebih optimal untuk lingkungan kimia korosif, sementara ***Titanium Grade* 2** menjadi pilihan premium untuk kondisi ekstrem. Kesimpulannya, pemilihan material *pressure vessel* tidak cukup hanya berdasarkan kuat dan murah, tetapi harus mempertimbangkan **lingkungan operasi dan keandalan jangka panjang.**

Kata Kunci : *Pressure Vessel, Material Kontruksi, Review Critical, Re-Evaluasi*

ABSTRACT

Material selection for pressure vessels is an important aspect in the chemical industry because it concerns safety, service life, and cost. The main study compared SA-106 Grade B and SA-516-70N with reference to ASME Section VIII Div.1 and SolidWorks simulation. The results showed that SA-516-70N was superior in strength (MAWP 34.10 bar; FOS 2.2), while SA-106 Grade B was more economical (Rp6.53 million per 10 m pipe vs Rp35.19 million for SA-516-70N). The critical review assessed that the research was still limited to mechanical and economic aspects, without covering corrosion, weldability, fatigue, creep, and service life. Re-evaluation indicated that 316L stainless steel and 2205 duplex stainless steel are more optimal for corrosive chemical environments, while Titanium Grade 2 is a premium choice for extreme conditions. In conclusion, the selection of pressure vessel materials should not be based solely on strength and cost, but must also consider operating environment and long-term reliability.

Keywords : *Pressure Vessel, Construction Material, Critical Review, Re-Evaluation*

PENDAHULUAN

Pemilihan material merupakan salah satu tahap paling kritis dalam perancangan peralatan proses di industri kimia karena komponen seperti *pressure vessel* harus mampu bekerja pada kombinasi tekanan, temperatur, beban, dan lingkungan operasi yang dapat berubah selama masa pakai. Sharma dan Pachauri (2023) menyatakan bahwa desain *pressure vessel* harus mempertimbangkan faktor material, tekanan, dan standar keselamatan, parameter desain utama tidak hanya mencakup tekanan dan temperatur desain, tetapi juga tegangan desain, *corrosion allowance*, metode manufaktur, inspeksi, dan pengujian agar integritas peralatan tetap terjaga selama operasi.



Gambar 1. *Pressure Vessel*

Dalam lingkungan industri kimia, tuntutan terhadap material menjadi lebih kompleks karena fluida proses sering bersifat korosif, bertekanan, dan berpotensi menimbulkan konsekuensi besar apabila terjadi kegagalan. Cerit (2019) menjelaskan bahwa korosi *pitting* dapat meningkatkan stress concentration pada *pressure vessel* berbentuk bola, desain bejana tekan sangat dipengaruhi oleh tekanan, temperatur, material yang dipilih, korosi, dan kondisi pembebanan. Pada *vessel* untuk aplikasi industri juga menunjukkan bahwa material dengan ketahanan korosi yang baik menjadi sangat penting ketika keselamatan operasi dan kontinuitas produksi harus dijaga.

Pada artikel Lubis et al. (2021), yang menjadi studi kasus ini, penulis membandingkan dua material, yaitu SA-106 *Grade* B dan SA-516-70N, untuk bagian *shell pressure vessel* dengan ketebalan sama 12,7 mm. Pengujian dilakukan dengan dasar perancangan ASME *Section* VIII *Division* 1 dan simulasi *SolidWorks*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua material masih aman terhadap tegangan desain, tetapi SA-106 *Grade* B dinilai jauh lebih ekonomis karena tidak memerlukan proses *rolling* pelat seperti SA-516-70N.

Walaupun demikian, hasil studi tersebut masih lebih kuat pada aspek kekuatan struktur dan biaya awal, tetapi belum sepenuhnya menggambarkan kebutuhan pemilihan material dalam rekayasa modern. Pada praktik rekayasa kimia saat ini, evaluasi material idealnya juga mempertimbangkan ketahanan korosi jangka panjang, *weldability*, *service temperature range*, kemudahan inspeksi, umur pakai, dan biaya siklus hidup, bukan hanya kuat atau murah pada tahap awal saja. Deen et al. (2025) menjelaskan bahwa performa struktur dan ketahanan korosi pada sambungan las baja sangat dipengaruhi oleh mikrostruktur hasil proses pengelasan, *pressure vessel* dan *corrosion performance* juga memperlihatkan bahwa integritas material sangat dipengaruhi oleh kondisi sambungan las, mikrostruktur, dan lingkungan korosif selama operasi.

Berdasarkan hal tersebut, *critical review* dan re-evaluasi terhadap pemilihan material SA-106 *Grade* B dan SA-516-70N menjadi penting untuk menilai apakah keputusan material pada jurnal sudah benar-benar sesuai dengan tuntutan industri kimia modern. Dengan pendekatan ini, analisis tidak hanya menilai hasil penelitian penulis, tetapi juga menguji ulang apakah ada material alternatif yang lebih unggul secara teknis, ekonomis, dan keselamatan untuk aplikasi *pressure vessel* pada lingkungan kerja yang agresif.

METODE

Metode yang digunakan meliputi studi literatur, analisis spesifikasi material, serta evaluasi kesesuaian material terhadap kondisi operasi. Data desain diambil berdasarkan standar ASME *Section* VIII *Division* 1 dengan parameter tekanan desain 10 bar, temperatur 121 °C, diameter dalam 444,5 mm, dan *corrosion allowance* 3 mm.

Analisis dilakukan melalui perhitungan *Maximum Allowable Working Pressure (*MAWP*)* dan simulasi *static analysis* menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan untuk menilai kekuatan struktural, margin keamanan (*factor of safety*), serta estimasi biaya fabrikasi dari material SA-106 *Grade* B dan SA-516-70N.

Dengan pendekatan ini, metode penelitian tidak hanya menekankan aspek mekanik dan ekonomi, tetapi juga membuka ruang untuk re-evaluasi terhadap faktor korosi, umur pakai, dan keandalan material dalam kondisi operasi industri kimia yang agresif.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Kriteria Pemilihan Material

Pada jurnal utama, kriteria teknis yang dipakai penulis untuk menilai material *pressure vessel* adalah *tensile strength*, *yield strength*, *allowable stress*, MAWP, *factor of safety*, dan temperatur desain. Dari tabel sifat mekanik, SA-516-70N memiliki t*ensile strength* 485 MPa dan *yield strength* 260 MPa, sedangkan SA-106 *Grade* B memiliki *tensile strength* 415 MPa dan *yield strength* 240 MPa. Dengan ketebalan yang sama 12,7 mm, hasil MAWP menunjukkan SA-516-70N mampu menahan tekanan hingga 34,10 bar, sedangkan SA-106 *Grade* B hanya 16,90 bar. Hasil simulasi *SolidWorks* juga menunjukkan tegangan yang diterima sama, yaitu 1758 psi, tetapi *factor of safety* SA-516-70N lebih tinggi (2,2) dibanding SA-106 *Grade* B (2,0). Ini menunjukkan bahwa dalam jurnal tersebut, penilaian teknis sangat bertumpu pada kemampuan material menahan tekanan dan menjaga keamanan struktur.

Kalau dilihat lebih dalam, kriteria teknis di jurnal ini sudah cukup kuat untuk tahap awal desain bejana tekan, tetapi belum sepenuhnya mencerminkan kerangka pemilihan material modern. Sharma et al. (2023), menegaskan bahwa faktor desain penting pada *pressure vessel* bukan hanya *design pressure* dan *design temperature*, tetapi juga *design stress*, *corrosion allowance*, serta sifat material seperti *notch toughness*, *elongation*, *brittleness under operating conditions*, *fatigue resistance*, y*ield strength at design temperature*, *creep strength at design temperature*, dan *maximum tensile strength*. Artinya, jurnal utama sudah menyentuh aspek kekuatan dasar, tetapi masih bisa diperluas ke parameter ketangguhan dan keandalan jangka panjang.

Lebih jauh lagi, Gómez et al. (2024) menegaskan bahwa desain *pressure vessel* modern seharusnya tidak hanya mengikuti pendekatan tradisional, tetapi juga mempertimbangkan

sustainability, *environmental friendliness*, dan *circular economy*. Mereka juga menyebut bahwa pendekatan material selection tradisional sering belum secara langsung menangkap kebutuhan multidisipliner dan belum selalu menempatkan seleksi material berbasis standar secara utuh. Jadi, untuk tugas analisis ini, kriteria teknis tidak cukup berhenti pada kuat atau tidak kuat; ia juga perlu dikaitkan dengan efisiensi desain, umur pakai, dan implikasi lingkungan.

Dari sisi lingkungan kerja material, Klenam et al. (2024) menunjukkan bahwa pada lingkungan high-pressure high-temperature, kegagalan komponen banyak dipicu oleh *sweet corrosion*, *sour corrosion*, *hydrogen-induced cracking*, s*tress corrosion cracking*, dan *corrosion fatigue*. Ini penting karena *pressure vessel* di industri kimia dan migas sering bekerja pada fluida agresif, sehingga ketahanan korosi seharusnya menjadi kriteria teknis utama, bukan sekadar faktor tambahan. Dengan kata lain, walaupun jurnal utama menunjukkan dua material sama-sama aman terhadap beban tekan pada simulasi, evaluasi teknis modern tetap perlu memasukkan perilaku material terhadap korosi dan degradasi jangka panjang.

Hal yang sama juga ditegaskan oleh Nayak et al. (2021), Dalam review mereka tentang *cryogenic pressure vessel*, mereka menyebut bahwa bejana tekan jenis ini harus mampu bekerja pada temperatur sangat rendah dan tekanan sangat tinggi, serta kegagalan dapat memberi dampak buruk pada industri dan lingkungan. Ini memperkuat bahwa temperatur layanan (*service temperature*) adalah salah satu kriteria teknis penting dalam pemilihan material pressure vessel, terutama bila sistemnya tidak hanya bekerja pada kondisi tekanan, tetapi juga pada kondisi termal yang ekstrem.

Kalau kembali lagi ke artikel jurnal utama, kriteria teknis pada artik sudah mencakup dasar yang penting: *tensile strength*, *yield strength*, MAWP, dan *design temperature*. Tetapi untuk standar pemilihan material yang lebih modern, masih perlu ditambah *corrosion resistance*, *weldability*, *fatigue resistance*, *creep behavior*, *notch toughness*, serta *corrosion allowance* yang dikaitkan dengan lingkungan operasi nyata. Karena itu, jurnal ini kuat sebagai studi awal perbandingan kekuatan dan biaya, tetapi belum cukup jika dijadikan dasar tunggal untuk pemilihan material *pressure vessel* pada industri kimia yang lingkungan kerjanya lebih korosif dan lebih kompleks.

Analisis Kritis

Kalau dinilai dari isi jurnal utama, kriteria yang dipakai belum sepenuhnya lengkap, meskipun sudah cukup baik untuk level evaluasi awal. Penulis sudah memakai acuan ASME *Section* VIII *Division* 1, lalu membandingkan *tensile strength*, *yield strength*, MAWP, *factor of safety*, dan biaya untuk SA-106 *Grade* B dan SA-516-70N. Dari hasil itu, SA-516-70N memang lebih unggul dalam kekuatan tekanan, sedangkan SA-106 *Grade* B lebih unggul dalam efisiensi biaya.

Kelebihannya, penelitian ini sudah memenuhi dua hal penting dalam rekayasa bejana tekan: pertama, memakai standar desain yang jelas; kedua, membandingkan material tidak hanya dari sisi kekuatan tetapi juga dari sisi ekonomis. Pendekatan seperti ini sejalan dengan prinsip dasar desain *pressure vessel*, karena standar teknik memang mengharuskan material sesuai untuk service yang dimaksud dan memperhatikan batas temperatur maksimum material. ASME juga menekankan bahwa tanggung jawab kesesuaian material ada pada user atau engineer, bukan sekadar pada kode itu sendiri.

Kekurangannya, kriteria yang dipakai masih cenderung sempit karena belum memasukkan aspek yang sangat penting untuk industri kimia, yaitu ketahanan korosi, ketangguhan pada temperatur rendah, perilaku pada temperatur tinggi, dan *fatigue*/umur layanan. *Review pressure*

vessel modern menegaskan bahwa faktor desain yang perlu diperhatikan bukan hanya pressure dan stress, tetapi juga *design temperature* dan *corrosion allowance*. Selain itu, pada layanan *pressure equipment*, mekanisme degradasi seperti *corrosion*, *fatigue*, dan *creep* dapat memicu retak dan kegagalan bila tidak diperhitungkan sejak awal.

Dari sudut pandang desain modern, pemilihan material seharusnya tidak berhenti pada "kuat dan murah". Metode seleksi material yang lebih maju menuntut desain *requirement* diterjemahkan ke dalam *function*, *constraints*, *objectives*, dan *free variables*, lalu disaring terhadap sifat material yang paling sesuai. Karena itu, ketika jurnal utama hanya menekankan kekuatan struktur dan biaya fabrikasi, pendekatannya masih bisa disebut *basic engineering selection*, belum sepenuhnya *advanced material selection* yang mempertimbangkan umur pakai, degradasi lingkungan, dan keberlanjutan.

Jadi, kesimpulan kritiknya adalah jurnal tersebut sudah layak untuk membuktikan perbandingan kekuatan dan biaya, tetapi belum lengkap untuk dijadikan acuan final pemilihan material pada industri kimia. Menurut analisis ini, pendekatannya masih berada pada tingkat *basic engineering*, karena belum memasukkan kriteria korosi, *fatigue*, temperatur layanan secara lebih mendalam, dan pertimbangan umur pakai jangka panjang.

Re-Evaluasi Material

Karena jurnal utama lebih menekankan perbandingan kekuatan tekanan dan biaya fabrikasi antara SA-106 *Grade* B dan SA-516-70N, maka re-evaluasi ini menambahkan sudut pandang yang lebih relevan untuk industri kimia, yaitu ketahanan korosi, ketahanan terhadap lingkungan asam/klorida, dan kesesuaian temperatur layanan. Pada jurnal utama, SA-516-70N unggul dalam MAWP dan *factor of safety*, sedangkan SA-106 *Grade* B unggul dalam biaya. Namun, untuk aplikasi industri kimia, pemilihan material tidak cukup hanya berdasarkan kuat dan murah, lingkungan operasi sangat menentukan umur pakai material.

1) Artikel pendukung tentang 316L *Stainless Steel*

Penelitian Chen et al. (2020) dalam *Engineering Failure Analysis* menunjukkan bahwa 316L *stainless steel* memang banyak dipakai pada *pressure vesse*l dan peralatan industri kimia fluorin karena memiliki sifat mekanik dan ketahanan korosi yang baik. Akan tetapi, pada lingkungan *hydrofluoric acid* (HF), 316L mengalami *corrosion fatigue*; bahkan *fatigue life* turun ketika area korosi dan kekasaran permukaan meningkat. Artinya, 316L lebih layak dipakai untuk media kimia yang korosif tetapi masih dalam batas yang relatif "aman" bagi *stainless steel*, bukan untuk lingkungan HF yang sangat agresif.

Dari sudut re-evaluasi, 316L lebih cocok dijadikan alternatif pengganti *carbon steel* ketika masalah utama adalah korosi klorida atau lingkungan proses kimia yang agresif ringan–sedang. Dibanding SA-516-70N, 316L menawarkan ketahanan korosi yang jauh lebih baik, walaupun secara ekonomi tentu lebih mahal dan tidak selalu dibutuhkan jika fluida prosesnya tidak terlalu agresif.

2) Artikel pendukung tentang 2205 *Duplex Stainless Steel*

Penelitian Luo et al. (2023) dalam *Engineering Failure Analysis* membahas 2205 duplex *stainless steel* pada lingkungan operasi minyak dan gas. Hasilnya menunjukkan bahwa 2205 mempunyai ketahanan korosi dan stress corrosion cracking yang sangat baik pada lingkungan produksi yang mengandung CO2 dan H2S, tetapi pada lingkungan asam dengan kandungan HCl tinggi, laju korosinya justru meningkat dan terjadi *selective dissolution* pada fase ferrite. Jadi, 2205 sangat kuat sebagai material layanan korosif, tetapi tidak ideal untuk servis yang dominan asam kuat.

Dari sisi teknik, 2205 juga menarik karena memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada 316L, sehingga dapat memungkinkan dinding yang lebih tipis atau desain yang lebih ringan. *Datasheet* duplex 2205 menunjukkan bahwa material ini punya 0.2% p*roof stress* 460 MPa minimum, *tensile strength* 640–950 MPa, dan *service temperature* umum -50°C sampai 300°C. Karena itu, 2205 bisa menjadi alternatif yang sangat kuat untuk pressure vessel kimia yang bekerja pada media klorida atau campuran korosif, selama tidak didominasi asam kuat.

3) Artikel pendukung tentang Titanium *Grade* 2

Penelitian Thomas (2003) dalam *Geothermics* menunjukkan bahwa titanium sangat tahan terhadap *seawater*, *brine*, SO2, H2S, dan bahkan tahan penuh terhadap *stress corrosion cracking* pada solusi uji NACE standar. Titanium juga digunakan pada peralatan industri kimia seperti wet chlorine gas coolers, chlorine dioxide *bleach equipment*, dan *reactor* internals untuk *pressure acid leaching*. Ini memperlihatkan bahwa titanium layak dipertimbangkan saat lingkungan operasi sangat korosif dan kegagalan material harus diminimalkan.

Data material Titanium *Grade* 2 juga mendukung hal itu, material ini dipakai untuk *chemical process vessels and sea water applications*, memiliki *tensile strength* minimum 50 ksi (≈344 MPa) dan *yield strength* 40–60 ksi (≈275–410 MPa), serta digunakan dalam servis kontinu hingga 800°F (≈427°C) dan *intermittent* hingga 1000°F (≈538°C). Pada studi desalinasi, titanium bahkan menunjukkan zero corrosion rate dalam kondisi normal/deaeration dan <0.1 mpy (0.0025 mm/y) dalam inhibited sulfuric acid pada 50°C. Jadi, titanium *Grade* 2 sangat kuat sebagai alternatif premium untuk servis yang sangat agresif, tetapi biasanya dipilih bila kebutuhan korosi jauh lebih berat daripada pertimbangan biaya.

Tabel 1. Perbandingan Material Re-Evaluasi

Kriteria	**SA-516-70N**	**316L *Stainless Steel***	**2205 *Duplex Stainless Steel***	***Titanium Grade* 2**
Tensile strength	±485 MPa	520–750 MPa	640–950 MPa	±344 MPa
Yield strenght	±260 MPa	±205 MPa	±440 MPa	275-410 MPa
Ketahanan korosi	Dalam jurnal utama, data korosi rinci tidak dibahas sebagai basis utama seleksi.	Sangat baik pada media klorida dan lingkungan proses agresif; *corrosion rate* pada *datasheet* tercatat 0.0025 µm/y (rural), 0.0076 µm/y (marine), dan 0.0051 µm/y (marine-industrial).	Lebih baik dari 316L pada banyak lingkungan, tetapi pada *acidizing* laju korosi meningkat. Pada lingkungan produksi yang mengandung CO2/H2S ketahanan korosi dan SCC sangat baik.	Sangat tinggi tahan *seawater*/*brine* hingga 260°C, tahan SCC pada solusi NACE, dan menunjukkan 0 *corrosion rate* pada kondisi normal/*deaeration* serta <0.1 mpy (0.0025 mm/y) pada

				inhibited H2SO4 50°C.
Service temperature	Temperatur desain pada studi kasus jurnal adalah 121°C.	*Continuous service* 920°C, *intermittent* 870°C.	*Continuous service* 300°C, *general range* - 50°C sampai 300°C.	*Continuous service* hingga 427°C, *intermittent* hingga 538°C.
Catatan teknis	Paling ekonomis di jurnal utama adalah SA-106, tetapi SA-516 unggul dalam tekanan maksimum dan *safety factor.*	Cocok sebagai upgrade dari carbon steel untuk media korosif, tetapi tidak ideal untuk HF yang sangat agresif.	Cocok untuk pressure vessel kimia yang mengandung klorida/H2S, tetapi kurang cocok untuk *acidizing* kuat.	Cocok untuk *service* yang sangat korosif dan menuntut *maintenance* rendah, tetapi lebih tepat dipakai bila korosi menjadi isu utama.

Kesimpulan re-evaluasi

Berdasarkan tiga jurnal pendukung di atas, 316L dan 2205 duplex adalah dua kandidat paling realistis untuk re-evaluasi material pressure vessel pada industri kimia, karena keduanya menawarkan ketahanan korosi yang jauh lebih baik daripada *carbon steel*. Titanium *Grade* 2 menjadi opsi premium untuk lingkungan yang sangat agresif. Jadi, jika tugasmu menekankan keseimbangan antara kekuatan, korosi, dan biaya, maka 316L dan 2205 duplex paling kuat untuk diposisikan sebagai material alternatif utama. Ini adalah inference dari gabungan bukti jurnal dan datasheet yang penulis tampilkan pada tabel di atas.

Risiko dan Implikasi

Pemilihan material dalam perancangan *pressure vessel* merupakan aspek krusial karena kesalahan dalam menentukan material dapat menimbulkan risiko serius, baik dari sisi teknis maupun keselamatan. Jika material yang dipilih tidak sesuai dengan kondisi operasi, maka potensi kebocoran menjadi sangat tinggi. Kebocoran ini umumnya terjadi akibat penurunan kekuatan material karena korosi atau kegagalan struktural akibat tekanan yang melebihi batas kemampuan material.

Selain itu, risiko yang lebih fatal adalah ledakan *pressure vessel***.** Ledakan dapat terjadi ketika material tidak mampu menahan tekanan internal akibat degradasi sifat mekanik, terutama jika terjadi kombinasi antara tekanan tinggi dan penipisan dinding akibat korosi. Dalam industri kimia dan migas, kejadian ini tidak hanya merusak peralatan tetapi juga dapat menyebabkan kecelakaan besar dan korban jiwa.

Dari sisi ekonomi, kegagalan material juga berdampak pada kerugian finansial yang signifikan, seperti biaya perbaikan, downtime produksi, hingga kehilangan aset. Tidak hanya itu, risiko terhadap keselamatan pekerja menjadi perhatian utama, karena kegagalan pressure vessel dapat menyebabkan paparan bahan berbahaya, luka serius, bahkan kematian.

Berdasarkan jurnal utama yang dianalisis, kedua material yaitu SA-106 *Grade* B dan SA-516-70N dinyatakan aman secara tekanan, karena tegangan yang terjadi masih berada di bawah

batas tegangan izin material. Namun demikian, penelitian tersebut belum membahas secara mendalam mengenai ketahanan korosi dan umur pakai material dalam jangka panjang.

Padahal, dalam praktik industri kimia, lingkungan operasi sering kali bersifat korosif (mengandung asam, gas agresif, atau larutan kimia), sehingga material yang secara mekanik kuat belum tentu aman dalam jangka panjang. Tanpa mempertimbangkan faktor korosi, risiko kegagalan tetap tinggi meskipun desain awal memenuhi standar tekanan. Oleh karena itu, evaluasi material seharusnya tidak hanya berhenti pada kekuatan mekanik, tetapi juga mencakup ketahanan terhadap lingkungan operasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kritis dan re-evaluasi, penelitian yang ditinjau telah membandingkan material SA-106 *Grade* B dan SA-516-70N dari sisi kekuatan serta biaya. SA-516-70N menunjukkan kemampuan lebih tinggi dalam menahan tekanan (ditinjau dari MAWP dan *factor of safety*), sedangkan SA-106 *Grade* B lebih unggul secara ekonomi karena tidak memerlukan proses fabrikasi tambahan.

Namun, penelitian tersebut masih terbatas pada aspek mekanik dan ekonomi, tanpa memasukkan faktor penting seperti ketahanan korosi, *fatigue*, *creep*, serta umur pakai dalam kondisi operasi nyata. Hal ini menempatkan pendekatan penelitian pada tahap dasar pemilihan material (*basic engineering selection*), belum mencapai tingkat lanjutan (*advanced material selection*) yang lebih komprehensif.

Melalui re-evaluasi, ditemukan bahwa *stainless steel* 316L dan *duplex stainless steel* 2205 memiliki keunggulan signifikan dalam ketahanan korosi, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi industri kimia dengan lingkungan agresif. Titanium *Grade* 2 menjadi pilihan premium untuk kondisi ekstrem karena ketahanan korosinya sangat tinggi, meskipun biayanya relatif lebih besar.

Dengan demikian, pemilihan material pressure vessel tidak dapat hanya didasarkan pada kekuatan dan biaya, tetapi juga harus mempertimbangkan kondisi lingkungan operasi serta keandalan jangka panjang. Untuk aplikasi industri kimia, material seperti 316L dan *duplex stainless steel* 2205 lebih optimal dibandingkan carbon steel karena mampu memberikan keseimbangan antara kekuatan, ketahanan korosi, dan keselamatan operasi.

DAFTAR PUSTAKA

Cerit, M. (2019). Corrosion pit-induced stress concentration in spherical pressure vessel. *Thin-Walled Structures, 136*, 106–112. https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.12.014

Chen, X., Yang, L., Dai, H., & Shi, S. (2020). Exploring factors controlling pre-corrosion fatigue of 316L austenitic stainless steel in hydrofluoric acid. *Engineering Failure Analysis, 113*, 104556. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104556

Deen, K. M., Zang, A., Uddin, M. H., Farooq, A., & Asselin, E. (2025). Evaluating the structural and corrosion performance of a steel welded joint produced via submerged arc welding. *Journal of Alloys and Compounds Communications, 6*, 100074. https://doi.org/10.1016/j.jacomc.2025.100074

Gómez, E. A. M., Osorio, S. I., Soriano, L. A., Paredes, G. J. G., & Rubio, J. d. J. (2024). Exploring a material-focused design methodology: An innovative approach to pressure vessel design. *Machines, 12*(1), 81. https://doi.org/10.3390/machines12010081

Klenam, D. E. P., McBagonluri, F., Bamisaye, O. S., Asumadu, T. K., Ankah, N. K., Bodunrin, M. O., Andrews, A., & Soboyejo, W. O. (2024). Corrosion resistant materials in high-pressure high-temperature oil wells: An overview and potential application of complex concentrated alloys. *Engineering Failure Analysis, 157*, 107920. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107920

Lubis, S. U. A., Muvariz, M. F., Fadilah, N., Prasetyo, N. A., Satoto, S. W., & Yuniarsih, N. (2021). Studi kekuatan pressure vessel dengan menggunakan material SA-106 grade B dan SA-516-70N. *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA), 3*(2), 79–85. https://doi.org/10.30871/jatra.v3i2.3652

Luo, J., Yan, P., Fan, Y., Luo, S., & Long, Y. (2023). Investigation of corrosion behavior of 2205 duplex stainless steel coiled tubing in complex operation environments of oil and gas wells. *Engineering Failure Analysis, 151*, 107355. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107355

Nayak, B. B., Jena, H., Dey, D., Oda, B. K., Chetia, A., Brahma, S. K., Bordoloi, T., & Chakraborty, D. (2021). Materials selection and design analysis of cryogenic pressure vessel: A review. *Materials Today: Proceedings, 47*(19), 6605–6608. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.095

Sharma, R., & Pachauri, A. (2023). A review of pressure vessels regarding their design, manufacturing, testing, materials, and inspection. *Materials Today: Proceedings*. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.258

Thomas, R. (2003). Titanium in the geothermal industry. *Geothermics, 32*(4–6), 679–687. https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2003.08.004