REVIEW JURNAL : STUDI LITERATUR PEMBUATAN PRESSURE VESSEL DARI CARBON STEEL DAN EVALUASI MATERIAL PEMBANDING STAINLESS STEEL DAN ALLOY STEEL

Muhammad Zidan Pramana[1], Dimas Abdan Huban[2], Wahyu Dwifasya[3], Aldillah Herlambang[4], Oki Alfernando[5], Rizka Shafira[6]

[1,2,3,4,5,6]*Universitas Jambi*
E-mail : zidanpramana.real@gmail.com

ABSTRACT

Pressure vessels are essential equipment in industrial applications, used to store fluids under specific pressure and temperature conditions; therefore, material selection plays a critical role in ensuring safety and performance. This study aims to review the fabrication of pressure vessels made from carbon steel and to evaluate alternative materials, namely stainless steel and alloy steel, through a literature review approach. The data were collected from scientific journals discussing material mechanical properties, fabrication processes, and performance under various operating conditions. The results indicate that carbon steel is the most widely used material due to its adequate mechanical strength, ease of manufacturing, and relatively low cost. However, it has limitations in terms of corrosion resistance, requiring additional protection in aggressive environments. In contrast, stainless steel offers excellent corrosion resistance but may be susceptible to stress corrosion cracking and involves higher costs. Meanwhile, alloy steel demonstrates superior performance under extreme conditions such as high pressure and temperature, but requires more complex manufacturing processes and higher investment. In conclusion, carbon steel remains the primary choice for pressure vessel fabrication in general applications, while stainless steel and alloy steel are used as alternatives for specific operating conditions requiring enhanced performance.

Keywords : *Pressure Vessel, Carbon Steel, Stainless Steel, Alloy Steel, Mechanical Properties, Corrosion, Fabrication.*

ABSTRAK

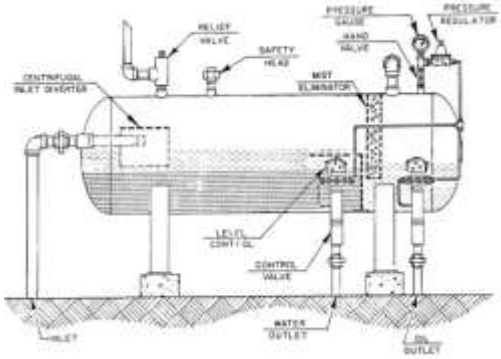
Pressure vessel merupakan peralatan penting dalam industri yang berfungsi untuk menyimpan fluida pada kondisi tekanan dan temperatur tertentu, sehingga pemilihan material menjadi faktor krusial dalam menjamin keamanan dan kinerja alat. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji proses pembuatan pressure vessel berbahan *carbon steel* serta mengevaluasi material pembanding yaitu *stainless steel* dan *alloy steel* melalui pendekatan studi literatur. Data yang digunakan berasal dari jurnal ilmiah yang membahas sifat mekanik material, proses fabrikasi, serta performa material dalam berbagai kondisi operasi. Hasil kajian menunjukkan bahwa *carbon steel* merupakan material yang paling banyak digunakan karena memiliki kekuatan mekanik yang memadai, kemudahan manufaktur, serta biaya yang relatif ekonomis. Namun, material ini memiliki kelemahan dalam ketahanan terhadap korosi, sehingga memerlukan perlindungan tambahan pada lingkungan agresif. Di sisi lain, *stainless steel* memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, tetapi berpotensi mengalami kegagalan akibat *stress corrosion cracking* serta memiliki biaya yang lebih tinggi. Sementara itu, *alloy steel* menunjukkan performa unggul dalam kondisi ekstrem seperti tekanan dan temperatur tinggi, namun memerlukan biaya dan proses manufaktur yang lebih kompleks. Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa *carbon steel* tetap menjadi pilihan utama dalam pembuatan *pressure vessel* untuk aplikasi umum, sedangkan *stainless steel* dan *alloy steel* digunakan sebagai alternatif pada kondisi operasi tertentu yang membutuhkan performa lebih tinggi.

Kata Kunci : *Pressure Vessel, Carbon Steel, Stainless Steel, Alloy Steel, Sifat Mekanik, Korosi, Fabrikasi*

PENDAHULUAN

Pressure vessel atau bejana tekan merupakan salah satu peralatan penting dalam berbagai sektor industri, seperti minyak dan gas, petrokimia, pembangkit energi, serta industri proses lainnya. Peralatan ini digunakan untuk menyimpan fluida baik dalam bentuk gas maupun cairan pada kondisi tekanan dan temperatur tertentu, sehingga menuntut tingkat keamanan dan keandalan yang tinggi dalam perancangan dan pembuatannya. Kesalahan dalam pemilihan material maupun proses fabrikasi dalam pembuatan alat ini dapat menyebabkan kegagalan yang berdampak serius, baik dari segi keselamatan maupun kerugian ekonomi (Lubis *et al*, 2021).

Dalam dunia industri, material yang paling umum digunakan dalam pembuatan *pressure vessel* adalah *carbon steel*, karena memiliki kombinasi sifat mekanik yang baik, kemudahan fabrikasi, serta biaya yang relatif lebih ekonomis dibandingkan material lainnya. *Carbon steel* seperti SA-106 *Grade* B dan SA-516-70N banyak diaplikasikan karena mampu menahan tekanan internal yang cukup tinggi serta memiliki sifat *weldability* yang baik atau dengan kata lain mudah dilas, sehingga cocok digunakan pada komponen utama seperti shell dan head . Selain itu, carbon steel juga memenuhi standar desain seperti ASME Section VIII yang menjadi acuan utama dalam perancangan *pressure vessel* di industri. (Lubis *et al*, 2021).



Gambar 1. Mekanisme Kerja *Pressure Vessel*

Dari sisi kekuatan mekanik, *carbon steel* menunjukkan performa yang cukup baik dalam menahan tekanan kerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material SA-516-70N memiliki kemampuan menahan tekanan maksimum yang lebih tinggi dibandingkan SA-106 *Grade* B pada kondisi desain yang sama, meskipun keduanya masih berada dalam batas aman operasi (Lubis *et al*, 2021) . Hal ini menunjukkan bahwa variasi komposisi dan proses manufaktur pada *carbon steel* dapat mempengaruhi performa strukturalnya. Selain itu, sifat mekanik seperti kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan modulus elastisitas menjadi parameter penting dalam menentukan kelayakan material untuk aplikasi pressure vessel.

Namun demikian, penggunaan *carbon steel* juga memiliki keterbatasan, terutama dalam hal ketahanan terhadap korosi pada lingkungan agresif. Dalam kondisi tertentu, seperti adanya gas asam (SOx, NOx, HCl) dan kelembapan tinggi, carbon steel rentan mengalami korosi yang dapat mempercepat penurunan performa material. Hal ini menyebabkan perlunya penggunaan material alternatif atau pelapisan tambahan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi (León-Henao *et al*, 2024).

Sebagai alternatif, *stainless steel* dan *alloy steel* sering digunakan untuk meningkatkan performa *pressure vessel*, khususnya pada kondisi operasi yang lebih ekstrem. *Stainless steel* (misalnya tipe 316L), dikenal memiliki ketahanan korosi yang tinggi karena adanya kandungan

kromium dan nikel. Namun, studi menunjukkan bahwa material ini tetap dapat mengalami kegagalan akibat *stress corrosion cracking* (SCC), terutama pada area sambungan las dan dalam lingkungan yang mengandung senyawa asam (León-Henao *et al*, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun *stainless steel* unggul dalam ketahanan korosi, faktor fabrikasi seperti proses pengelasan dan perlakuan permukaan tetap sangat berpengaruh terhadap kinerjanya.

Sementara itu, *alloy steel* banyak dikembangkan untuk aplikasi *pressure vessel* dengan kondisi operasi yang lebih berat, seperti pada reaktor nuklir. Material ini dirancang dengan penambahan unsur paduan seperti Ni, Cr, dan Mo untuk meningkatkan kekuatan, ketangguhan, serta ketahanan terhadap temperatur tinggi dan radiasi. Perkembangan material *alloy steel* menunjukkan peningkatan signifikan dalam hal sifat mekanik dan ketahanan terhadap degradasi, sehingga banyak digunakan pada pressure vessel generasi modern (Zhou *et al*, 2022).

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemilihan material merupakan aspek krusial dalam pembuatan *pressure vessel*. *Carbon steel* tetap menjadi pilihan utama karena faktor ekonomi dan kemudahan fabrikasi, namun memiliki keterbatasan pada lingkungan korosif. Di sisi lain, *stainless steel* dan *alloy steel* menawarkan keunggulan tertentu, tetapi dengan biaya yang lebih tinggi dan kompleksitas manufaktur yang lebih besar. Oleh karena itu, diperlukan kajian komprehensif melalui studi literatur untuk membandingkan ketiga jenis material tersebut dalam aspek proses pembuatan, sifat mekanik, serta ketahanan terhadap kondisi operasi.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur untuk mengkaji proses pembuatan *pressure vessel* berbahan *carbon steel* serta membandingkannya dengan material *stainless steel* dan *alloy steel*. Metode ini dipilih untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif berdasarkan hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan..

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kualitatif dengan pendekatan deskriptif. Pendekatan ini bertujuan untuk menggambarkan secara sistematis karakteristik material yang digunakan dalam pembuatan *pressure vessel* serta mengevaluasi perbedaan performa masing-masing material berdasarkan sumber literatur yang tersedia.

Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari publikasi ilmiah berupa jurnal penelitian. Sumber utama yang digunakan terdiri dari tiga jurnal yang mewakili masing-masing material, yaitu *carbon steel*, *stainless steel*, dan *alloy steel*. Jurnal pertama membahas analisis kekuatan *pressure vessel* berbahan *carbon steel*, khususnya SA-106 *Grade* B dan SA-516-70N. Jurnal kedua mengkaji kegagalan material *stainless steel* akibat mekanisme korosi *dan stress corrosion cracking*. Sementara itu, jurnal ketiga merupakan artikel review yang membahas perkembangan material *alloy steel* pada *pressure vessel*, khususnya pada aplikasi reaktor nuklir.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui studi dokumentasi dan studi pustaka. Studi dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan berbagai sumber tertulis seperti jurnal ilmiah, artikel penelitian, serta standar yang relevan seperti ASME *Section* VIII yang berkaitan dengan perancangan dan pembuatan *pressure vessel*. Selanjutnya, studi pustaka dilakukan dengan membaca, memahami, dan mengkaji secara mendalam isi dari jurnal-jurnal yang

digunakan, khususnya yang membahas mengenai proses pembuatan pressure vessel, sifat mekanik material, ketahanan terhadap tekanan dan temperatur, serta perilaku material terhadap korosi dan kegagalan. Data yang diperoleh kemudian disusun dan diklasifikasikan untuk memudahkan proses analisis dan perbandingan antar material.

Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode analisis deskriptif dan komparatif. Analisis deskriptif digunakan untuk menjelaskan karakteristik masing-masing material berdasarkan hasil penelitian yang terdapat dalam literatur. Sementara itu, analisis komparatif dilakukan untuk membandingkan material carbon steel, stainless steel, dan alloy steel berdasarkan beberapa aspek, antara lain proses fabrikasi, sifat mekanik, ketahanan terhadap korosi, performa pada kondisi tekanan dan temperatur tinggi, serta aspek ekonomi dan kemudahan manufaktur. Hasil analisis ini digunakan untuk menentukan keunggulan dan keterbatasan masing-masing material dalam aplikasi pressure vessel.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pembuatan *Pressure Vessel* Berbasis *Carbon Steel*

Berdasarkan hasil kajian literatur, *carbon steel* merupakan material yang paling umum digunakan dalam pembuatan *pressure vessel*, terutama pada industri minyak dan gas. Material seperti SA-106 *Grade* B dan SA-516-70N banyak diaplikasikan karena memiliki kombinasi sifat mekanik yang baik, kemudahan fabrikasi, serta biaya yang relatif ekonomis. Dalam proses pembuatannya, *pressure vessel* berbahan *carbon steel* umumnya melalui tahapan pembentukan (*rolling*), pengelasan (*welding*), serta pengujian kekuatan sesuai standar ASME.

Proses fabrikasi pada *carbon steel* relatif lebih sederhana dibandingkan material lain karena sifatnya yang mudah dibentuk dan dilas. Hal ini menjadi keunggulan utama dalam aplikasi industri, terutama untuk produksi skala besar. Selain itu, *carbon steel* memiliki nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh yang cukup untuk menahan tekanan kerja pada kondisi operasi tertentu .

Dari hasil penelitian, diketahui bahwa material SA-516-70N memiliki kemampuan menahan tekanan maksimum yang lebih tinggi dibandingkan SA-106 Grade B pada ketebalan yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan jenis *carbon steel* sangat berpengaruh terhadap performa *pressure vessel*, terutama dalam hal ketahanan terhadap tekanan internal. Meskipun demikian, dari sisi ekonomi, material SA-106 *Grade* B lebih unggul karena biaya produksinya lebih rendah .

Dengan demikian, *carbon steel* dapat dikatakan sebagai material yang optimal dalam hal keseimbangan antara kekuatan mekanik, kemudahan proses manufaktur, dan efisiensi biaya, sehingga tetap menjadi pilihan utama dalam industri (Lubis *et al*, 2021).



Gambar 2. *Pressure Vessel* Material *Carbon Steel*

Perbandingan dengan *Stainless Steel*

Stainless steel, khususnya tipe 316L, dikenal memiliki ketahanan korosi yang sangat baik karena adanya kandungan kromium yang membentuk lapisan pasif pada permukaan material. Hal ini menjadikan stainless steel lebih unggul dibandingkan carbon steel dalam lingkungan yang korosif.

Namun, hasil studi menunjukkan bahwa *stainless steel* juga memiliki potensi kegagalan, terutama akibat *stress corrosion cracking* (SCC) yang sering terjadi pada area sambungan las. Kegagalan ini dipicu oleh kombinasi tegangan tarik, lingkungan korosif, serta kondisi operasi tertentu . Selain itu, proses fabrikasi *stainless steel* lebih kompleks karena memerlukan perlakuan khusus seperti pembersihan, *descaling*, dan *passivation* untuk menjaga ketahanan korosi material.

Dari sisi ekonomi, *stainless steel* memiliki biaya yang jauh lebih tinggi dibandingkan *carbon steel*, sehingga penggunaannya biasanya dibatasi pada kondisi tertentu yang membutuhkan ketahanan korosi tinggi. Dengan demikian, meskipun unggul dalam ketahanan korosi, *stainless steel* tidak selalu menjadi pilihan utama dalam pembuatan *pressure vessel* (León-Henao *et al*, 2024).



Gambar 3. *Pressure Vessel* Material *Stainless Steel*

Perbandingan dengan Alloy Steel

Alloy steel merupakan material yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan aplikasi *pressure vessel* pada kondisi ekstrem, seperti tekanan tinggi, temperatur tinggi, dan lingkungan radiasi. Material ini mengandung unsur tambahan seperti nikel (Ni), kromium (Cr), dan molibdenum (Mo) yang berfungsi meningkatkan kekuatan, ketangguhan, serta ketahanan terhadap degradasi material.

Berdasarkan hasil kajian, *alloy steel* menunjukkan performa yang sangat baik dalam hal sifat mekanik dan ketahanan terhadap berbagai mekanisme kerusakan, seperti kelelahan (*fatigue*), penuaan termal (*thermal aging*), dan radiasi . Selain itu, pengembangan material *alloy steel* juga memungkinkan peningkatan umur pakai *pressure vessel*, terutama pada aplikasi seperti reaktor nuklir.

Namun, penggunaan *alloy steel* memiliki beberapa kelemahan, antara lain biaya material yang tinggi serta proses manufaktur yang lebih kompleks. Selain itu, dalam beberapa kasus, *alloy steel* tetap memerlukan pelapisan tambahan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi (Zhou *et al*, 2022).



Gambar 3. . *Pressure Vessel* Material *Alloy Steel*

Analisis Komparatif Material

Berdasarkan hasil kajian dari ketiga material, dapat disimpulkan bahwa masing-masing material memiliki keunggulan dan keterbatasan tersendiri yaitu sebagai berikut.

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Material Pembuatan *Pressure Vessel*

Kriteria	Material Utama	Material Alternatif 1	Material Alternatif 2
Nama material	*Carbon Steel*	*Stainless Steel*	*Alloy Steel*
Kuat Tarik	Sedang–tinggi (± 400–550 MPa)	Tinggi (± 500–750 MPa)	Sangat tinggi (dapat > 800 MPa tergantung paduan)
Ketahanan korosi	Rendah (rentan korosi tanpa pelapisan)	Sangat tinggi (lapisan pasif Cr)	Tinggi (lebih baik dari carbon steel, tergantung paduan)
Rentang suhu operasi	Rendah–menengah (± -20°C sampai 400°C)	Menengah–tinggi (hingga ± 800°C)	Tinggi–sangat tinggi (hingga > 1000°C pada kondisi tertentu)
Rentang tekanan operasi	Menengah (cukup untuk industri umum)	Menengah–tinggi	Tinggi–sangat tinggi (cocok untuk kondisi ekstrem)
Aspek ekonomi	Sangat ekonomis	Mahal	Sangat mahal
Kemudahan manufaktur	Sangat mudah (mudah dilas & dibentuk)	Cukup sulit (butuh perlakuan khusus)	Sulit (proses kompleks & kontrol ketat)
Catatan kelebihan	Murah, mudah diproses, banyak tersedia, standar industri	Tahan korosi tinggi, umur pakai lebih lama di lingkungan agresif	Kekuatan tinggi, tahan suhu dan tekanan ekstrem, performa tinggi
Catatan kekurangan	Mudah korosi, perlu coating/pelapisan tambahan	Rentan SCC pada kondisi tertentu, biaya tinggi	Biaya tinggi, manufaktur kompleks,

	membutuhkan teknologi tinggi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi literatur, *carbon steel* tetap menjadi material utama dalam pembuatan pressure vessel karena menawarkan keseimbangan terbaik antara kekuatan mekanik, kemudahan manufaktur, dan efisiensi biaya. Meskipun memiliki keterbatasan dalam ketahanan korosi, material ini masih sangat efektif digunakan pada kondisi operasi umum dengan perlindungan tambahan yang sesuai.

Sementara itu, *stainless steel* dan *alloy steel* menunjukkan performa yang lebih unggul pada kondisi lingkungan ekstrem, terutama dalam hal ketahanan korosi, temperatur, dan tekanan tinggi, namun dengan konsekuensi biaya dan kompleksitas manufaktur yang lebih besar. Oleh karena itu, pemilihan *material pressure vessel* harus disesuaikan dengan kondisi operasi dan kebutuhan spesifik, dengan *carbon steel* sebagai pilihan utama dan material lainnya sebagai alternatif pada aplikasi khusus.

DAFTAR PUSTAKA

León-Henao, H., Morales-Galeano, J. E., Santa-Marín, J. F., & Giraldo-Barrada, J. E. (2024). Failure analysis of a welded 316L stainless-steel stack with premature damage due to stress-corrosion cracking. *Journal of Failure Analysis and Prevention*.

Zhou, L., Dai, J., Li, Y., Dai, X., Xie, C., Li, L., & Chen, L. (2022). Research progress of steels for nuclear reactor pressure vessels. *Materials, 15*(24), 8761.

Lubis, S. U. A., Muvariz, M. F., Fadilah, N., Prasetyo, N. A. 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, 3*(2), 79–81.