

STUDI KEKUATAN *PRESSURE VESSEL* DENGAN MENGGUNAKAN MATERIAL SA-106 GRADE B DAN SA-516-70N

Silvia Uli Arta Lubis¹, Mufti Fathonah Muvariz^{1*}, Nurul Fadilah¹, Naufal Abdurrahman Prasetyo¹, Sapto Wiratno Satoto¹, Nidia Yuniarsih¹

¹ Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Batam

Jalan Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

*Corresponding author: mufti@polibatam.ac.id

Article history

Received:

02-12-2021

Accepted:

22-12-2021

Published:

30-12-2021

Copyright © 2021
Jurnal Teknologi dan
Riset Terapan

Open Access

Abstrak

Pressure Vessel merupakan suatu wadah untuk menyimpan fluida, baik cairan maupun gas berbentuk seperti silinder yang dapat menghasilkan tekanan dari luar maupun dalam. Hampir semua industri minyak dan gas sering menggunakan benda ini, untuk menampung dan memisahkan antara air dan minyak hasil eksplorasi dilepas pantai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan sebuah *Pressure Vessel* dan mengetahui mana yang lebih ekonomis dengan membandingkan 2 jenis material yaitu SA-106 Grade B dan SA-516-70N dengan ketebalan yang sama 12,7 mm. Untuk mengetahui kekuatan dari masing-masing material maka dilakukan simulasi pada bagian *shell* dengan menggunakan *software* SolidWorks. Data-data yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada salah satu *Pressure Vessel* dari perusahaan dengan dasar perancangan mengikuti standar ASME section VIII Div.1 tahun 2007, nama dokumen "Cartridge Filter C027-S-U13000-01 A/B" dan nomor dokumen 6522-XXX-C027-ISGP-U40300-MX-4018-00XXX dengan tekanan desain sebesar 10 bar, suhu desain sebesar 121°C, diameter dalam sebesar 444,5 mm, faktor korosi sebesar 3 mm. Dari perhitungan dan simulasi yang sudah dilakukan, maka didapat nilai dari tekanan maksimal pada material SA-516-70N sebesar 34,10 Bar dan material SA-106 Grade B sebesar 16,90 Bar. Tegangan yang diterima dari *pressure vessel* berdasarkan analisa *software* SolidWorks yaitu dengan nilai yang sama untuk kedua material sebesar 1758 psi/121 Bar. Dalam penelitian ini juga membuktikan bahwa material SA-106 Grade B jauh lebih ekonomis dengan estimasi anggaran sebesar Rp6.531.951 untuk satu batang pipa sepanjang 10 m.

Kata Kunci: *Pressure Vessel*, SA-106 Grade B, SA-516-70, metode elemen hingga

Abstract

A *Pressure Vessel* is a container for storing liquid and gas fluid shaped like a cylinder that can produce pressure from outside or inside. Almost all oil and gas industries often use this object to collect and separate water and oil from offshore exploration. This study aims to determine the strength of a *Pressure Vessel* and determine which is more economical by comparing two types of materials, namely SA-106 Grade B and SA-516-70N, with the same thickness of 12.7 mm. Simulations are carried out on the shell using SolidWorks software to find out the strength of each material. The data used in this study refer to one of the *Pressure Vessels* from the company with the basic design following ASME section VIII Div.1 standard 2007, document name "Cartridge Filter C027-S-U13000-01 A/B" and document number 6522-XXX-C027-ISGP-U40300-MX-4018-00XXX with a design pressure of 10 bar, a design temperature of 121 ° C, an inner diameter of 444.5 mm, a corrosion factor of 3 mm. From the calculations and simulations that have been carried out, the values obtained from the maximum pressure on the SA-516-70N material are 34.10 Bar, and the SA-106 Grade B material is 16.90 Bar. The voltage received from the *pressure vessel* is based on the analysis of the SolidWorks software with the same value for both materials at 1758 psi / 121 Bar. This study also proved that SA-106 Grade B material is far more economical, with an estimated budget of Rp6,531,951 for one 10m long pipe.

Keywords: *Pressure Vessel* SA-106 Grade B , SA-516-70, finite element method

1.0 PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya perkembangan ekonomi di Indonesia, hampir semua perusahaan, hotel, rumah sakit, dan lainnya memiliki bejana tekan dengan kebutuhannya masing-masing dan aplikasi kebutuhannya juga berbeda-beda, ada yang berupa tangki penyimpanan udara, fluida, gas, bahan kimia dan kedap udara (*vacum*).

Pressure Vessel (Bejana Tekan) merupakan tempat penampung sebuah tekanan dalam maupun tekanan luar yang berbentuk tabung tertutup seperti silinder. Dalam merancang bejana tekan ini dapat dilakukan dengan menghitung secara manual mengikuti standar ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) atau bisa juga dengan menggunakan analisa sebuah *software* seperti PV Elite. Pada Gambar 1 menampilkan bentuk sebuah *pressure vessel* yang sudah selesai di fabrikasi.



Gambar 1: 3D *Pressure Vessel*

Komponen-komponen bejana tekan terdiri dari beberapa bagian utama yaitu: dinding (*shell*), kepala bejana (*head*), lubang sebagai akses manusia untuk mempermudah proses pemeliharaan (*manhole*), *nozzle*, dudukan penyangga (*support*) dan aksesoris lainnya sebagai alat pendukung dari dalam maupun luar. Bagian head dan *shell* merupakan bagian yang paling banyak mengalami tekanan sehingga penentuan ketebalan plat, jenis material, dan analisa tegangan yang diterima perlu dilakukan untuk memastikan keselamatan dan keamanan dari *pressure vessel* itu sendiri, serta untuk menghindari kerugian.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan dari setiap material antara SA-106 Grade B dan SA-516-70 dengan ketebalan masing-masing 12,7 mm. Penulis membatasi aspek yang diteliti yaitu menggunakan data yang sudah ada dari salah satu perusahaan di bidang minyak dan gas dan melakukan penelitian pada bagian *shell*.

Penelitian yang berhubungan dengan *Pressure Vessel* telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian tentang perancangan dan analisis tegangan separator produksi menggunakan *software* PV Elite dan SolidWorks. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketebalan dan tegangan dari sebuah *pressure vessel* dengan menggunakan beberapa *software*, dimana untuk membuat gambar desain menggunakan *software* Autocad, menghitung ketebalan dari material menggunakan

software PV Elite dan untuk melakukan simulasinya menggunakan *software* SolidWorks. Untuk material yang digunakan yaitu A 516 Gr B. [1]

Perancangan Bejana Tekan Kapasitas 5 M3 Dengan Tekanan Desain 10 Bar Berdasarkan Standar ASME 2007 Section VIII Div 1 dilakukan menggunakan material SA-516-70 dengan tujuan penelitian untuk mengetahui kekuatan las pada *shell* dan *legs* dengan baik untuk posisi vertikal dengan mempertimbangkan faktor keamanan yang optimal. [2]

Analisis Kekuatan Material pada *Air Receiver Drum* dilakukan dengan melakukan perbandingan material yaitu A283 Grade C, A285 Grade C dan A36. Nilai MAWP yang didapat dari perhitungan menyatakan semua material memiliki nilai yang lebih besar dari tekanan desain sehingga aman untuk digunakan, namun berdasarkan nilai kadar karbon ekuivalen material A36 memiliki nilai paling kecil diantara antara material A283 Grade C dan A285 Grade C sehingga mudah dalam melakukan proses pengelasan. [3]

Penelitian lain tentang bejana tekan juga dilakukan dengan melakukan uji ketahanan dengan metode hidrostatik [4], menentukan optimum *thickness* dan *lifetime* dengan menggunakan material A516M Gr.70 [5], dan evaluasi desain pada *radiator cooling system* dengan material SPCC-SD [6].

Pada penelitian ini, yang membedakan dari penelitian yang di atas adalah membanding material berbentuk plat dengan material yang berbentuk pipa. Secara proses dapat dilihat bahwa material SA-106 Grade B yang berbentuk pipa baja memang lebih ekonomis karena tidak perlu untuk melakukan *roller* dan pengelasan pada pelat seperti material SA-516-70, namun secara sifat dari material pipa baja belum bisa dibuktikan, apakah material ini efektif digunakan atau tidak. Maka dilakukan simulasi untuk mengetahui kekuatan dari masing-masing material dengan bantuan *software* SolidWorks. Untuk proses pembuatan *Pressure Vessel* yang berdimensi kecil juga masih sama dengan *Pressure Vessel* berdimensi besar sehingga bagian *shell* yang berbentuk tabung memungkinkan untuk terbuat dari pipa baja yang tersedia di pasaran.

2.0 METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di PT. XXX Batam untuk mempelajari tentang *Pressure Vessel*

2.2 Teknik Pengumpulan Data

2.2.1 Referensi Pustaka

Dalam metode ini dilakukan untuk mencari dan membaca sumber-sumber referensi, baik dari internet atau pun artikel ilmiah yang membahas tentang topik perancangan dan simulasi sebuah bejana tekan (*pressure vessel*).

2.2.2 Tinjauan Langsung ke Lapangan

Sebelum penulis memulai sebuah perancangan, salah satu engineer yang ahli dalam bidang *pressure vessel* memberi saran untuk penulis terlebih dahulu mengetahui

bagaimana bentuk *pressure vessel* yang sudah di fabrikasi. Penulis juga diajak untuk meninjau bagaimana bentuk material yang akan digunakan dalam topik pembahasan ini.

2.3 Teknik Analisis Data

2.3.1 Perhitungan *Maximum Allowable Working Pressure* berdasarkan ASME SECTION VIII DIV[7]

Tekanan maksimum dari dalam pipa yang diijinkan yang timbul akibat tekanan dari fluida yang mengalir di dalam pipa pada saat pipa itu dioperasikan / dipakai

$$MAWP = \frac{S \cdot E \cdot t}{IR + 0,6t} \quad (1)$$

Penjelasan dari simbol dari persamaan (1), dimana adalah Wall Thicknes (mm), I R adalah *Inside Radius* (mm), S adalah *Stress value of material* (psi), E adalah *Joint Efficiency*.

2.3.2 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik suatu material adalah sifat-sifat yang melibatkan reaksi terhadap beban yang diberikan.

Tabel 1: Sifat Mekanik

Nama Material	SA-106 Grade B	SA-516-70
Jenis Material	Pipa Baja	Plat Baja
<i>Tensile Strength</i>	415 Mpa	485 Mpa
<i>Yield Strength</i>	240 Mpa	260 Mpa
<i>Elastic Modulus</i>	1,905E+11 N/m ²	1,905E+11 N/m ²
<i>Poissons Ratio</i>	0,30 N/A	0,30 N/A
<i>Density</i>	7750 kg/m ³	7750 kg/m ³
<i>Thermal Expansion</i>	285,45 K	285,45 K

Tabel 1 menunjukan sifat-sifat mekanika dari suatu material yang akan digunakan ketika melakukan simulasi pada *software* SolidWorks

Keterangan dari Tabel 1, *Tensile Strength* (Kekuatan tarik) adalah tegangan maksimum yang bisa diterima oleh suatu material sebelum material itu mengalami patah/ breaking. *Yield Strength* (Kekuatan Luluh) adalah tegangan minimum ketika suatu material kehilangan sifat elastisnya. Modulus elastisitas adalah sebuah ukuran yang digunakan untuk merepresentasikan kekakuan suatu bahan *Poisson's ratio* adalah Perbandingan perubahan panjang dan perubahan jari-jari. *Density* (Massa Jenis) adalah perbandingan antara massa suatu zat dengan volumenya

2.3.3 Data Desain

Data desain yang didapat dari perusahaan digunakan sebagai acuan dalam melakukan simulasi. Data desain dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 sebagai acuan untuk data-data yang akan digunakan untuk mencari perhitungan MAWP dan simulasi tegangan yang akan diterima ketika benda dikenakan suatu tekanan.

Tabel 2: *Design Data*

DESIGN DATA	
<i>Code</i> : ASME Sec VIII Div 1 2017 Edition	
<i>Thickness</i>	12.7 mm
<i>ID (Inside Diameter)</i>	444,5 mm
<i>Operating Pressure</i>	5 barG
<i>Corrosion Allowance</i>	3 mm/NIL
<i>Design Pressure</i>	10 barG
<i>Design Temperature</i>	121 C
<i>Capacity</i>	0.21 m ³
<i>S /Allowable Stress</i>	138 Mpa
<i>(Material SA-516-70)</i>	118 Mpa

2.3.3 Analisis Kekuatan *Shell* Menggunakan SolidWorks

Cara mengetahui apakah material ini sudah sesuai standar berdasarkan ASME maka perlu dilakukan analisis untuk mengetahui *stress*, *strain* (regangan), dan *displacement* dari masing-masing material.

A. Rumus dasar yang digunakan :

- *Stress* (Tegangan)

Besarnya tegangan pada sebuah benda adalah perbandingan antara gaya tarik yang berkerja benda terhadap luas penampang benda. Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan benda berubah bentuk.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Penjelasan dari simbol dari persamaan (2), dimana σ adalah stress (N/m²), F adalah besar gaya (N), A adalah luas penampang (m²).

- *Strain* (Regangan)

Perbandingan antara pertambahan panjang benda terhadap panjang benda mula-mula sehingga regangan bisa dikatakan sebagai tolok ukur seberapa jauh benda tersebut berubah bentuk

$$\epsilon = \frac{Li - Lo}{Lo} = \frac{\Delta L}{Lo} \quad (3)$$

Penjelasan dari simbol dari persamaan (3), dimana ϵ adalah stress (Psi), Li adalah Panjang Akhir (mm), Lo adalah panjang mula-mula (mm), ΔL adalah pertambahan panjang (mm).

- *Factor of safety*

Faktor Keamanan (Safety factor) adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan elemen mesin terjamin keamanannya dengan dimensi yang minimum

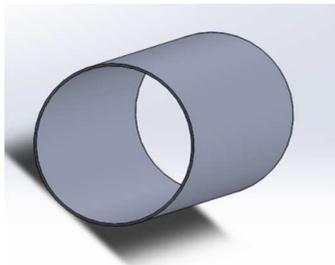
$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_{all}} \quad (4)$$

Penjelasan dari simbol dari persamaan (4), dimana σ_y adalah *yield strength*, σ_{all} adalah *allowable stress*.

2.4 Langkah-langkah Simulasi

- *Modeling*

Melakukan pemodelan pada benda, simulasi ini hanya mengambil bagian *shell* untuk mengetahui kekuatan dari masing-masing material



Gambar 2: Pemodelan 3D pada bagian *shell*

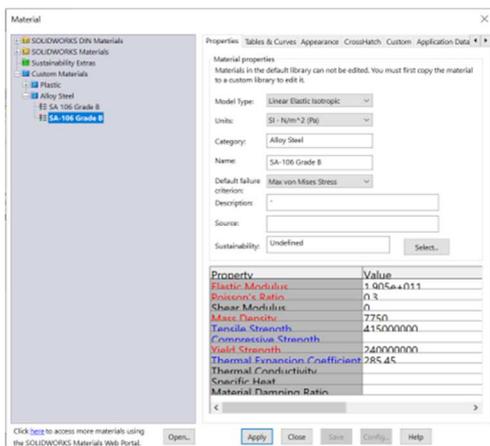
Pada gambar 2 diatas merupakan model kulit (*shell*) untuk badan *pressure vessel*.

- Pemilihan *Study* pada SolidWorks

Memilih jenis *study* sebelum melakukan simulasi yaitu *static simulation*

- Pemilihan Material

Menentukan material yang akan digunakan pada simulasi yaitu SA-106 Grade B dan SA-516-70.

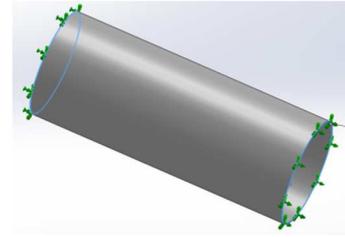


Gambar 3: Pemilihan Material

Pada gambar 3 terdapat sifat-sifat mekanika pada setiap material untuk digunakan pada saat melakukan simulasi.

- Menentukan Tumpuan pada simulasi

Pada tahapan ini yaitu memilih titik tumpuan yang bertujuan untuk membatasi pergerakan pada saat simulasi dilakukan.

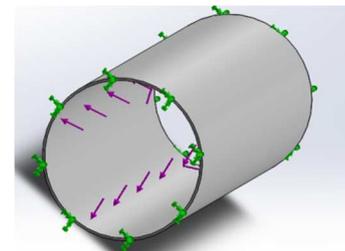


Gambar 4: Menentukan titik tumpuan

Gambar 4 menunjukkan titik tumpuan yang digunakan yaitu kedua sisi ujung material.

- Menentukan beban

Tahap ini menentukan beban yang akan diterima dan mengikuti data *design Pressure* dari perusahaan yaitu 10 bar.



Gambar 5: Menentukan Beban

Gambar 5 menunjukkan beban yang dikenakan terdapat didalam bejana, dikarenakan akan ada tekanan secara Circumferential dan Longitudinal.

- Hasil analisa

Dari hasil analisa melalui simulasi menggunakan *software* SolidWorks, *Pressure Vessel* dikatakan aman jika tegangan atau stress yang diterima lebih kecil dari tegangan atau *stress* yang diizinkan.

3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil MAWP

Tabel 3: MAWP Material

SA-106 Grade B	34,10 Bar
SA-516-70	16,90 Bar

Berdasarkan pada Tabel 3 didapat nilai MAWP untuk masing-masing material sebesar 34,10 bar untuk SA-106 Grade B dan 16,90 bar untuk SA-516-70.

3.2. Hasil analisa *Software* SolidWorks

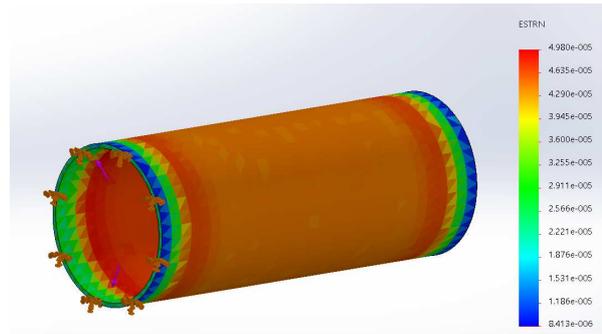
Pada tahap ini hanya mencari tegangan pada bagian *shell* karena material SA-106 Grade B hanya memungkinkan untuk bagian selimut yang berbentuk seperti pipa, sehingga tegangan yang didapat yaitu tegangan *longitudinal* dimana arah tegangannya searah dan sejajar dengan panjang pipa atau pun badan dari *pressure vessel* tersebut. Maka dari itu tegangan *longitudinal* harus lebih

rendah atau lebih kecil dari tegangan izin material agar tidak mengalami kegagalan yaitu terputus menjadi dua bagian.

Tabel 4: Nilai Tegangan hasil simulasi

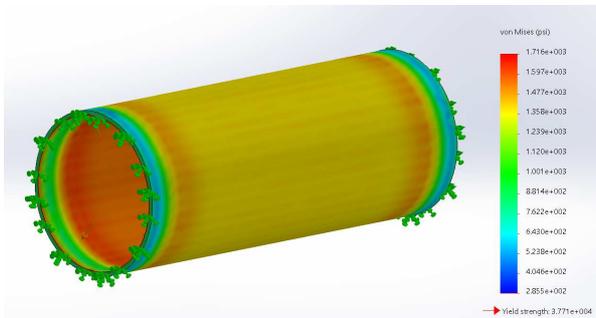
Material	Tegangan	Factor of Safety
SA-516-70	1758 psi	2.2
SA-106 Grade B	1758 psi	2.0

Hasil simulasi menunjukkan nilai tegangan dari dua material mendapat besar yang sama yaitu 1758 psi/ 121,21 bar dengan *factor of safety* untuk material SA-516-70 adalah 2.2 lebih tinggi dari pada material SA-106 Grade B adalah 2.

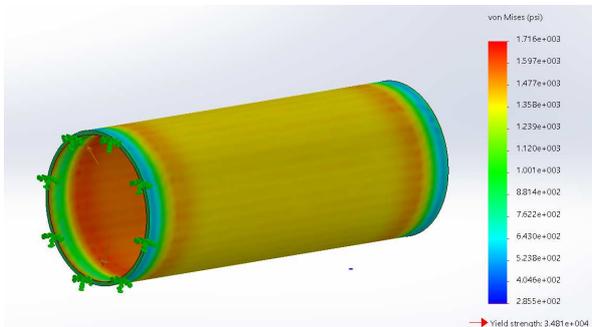


(b)

Gambar 7: Regangan pada material (a) SA-516-70 dan (b) SA-106 Grade B.

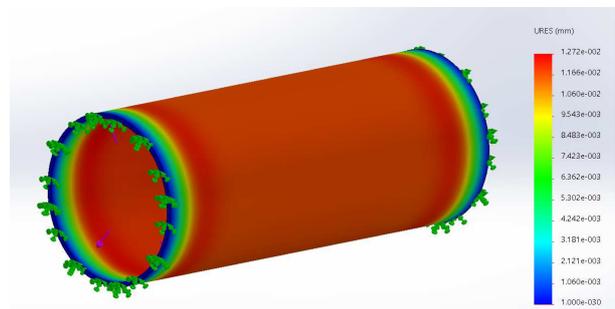


(a)

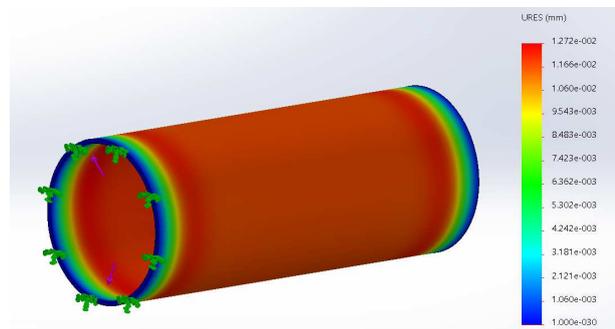


(b)

Gambar 6: Tegangan pada material (a) SA-516-70 dan (b) SA-106 Grade B.

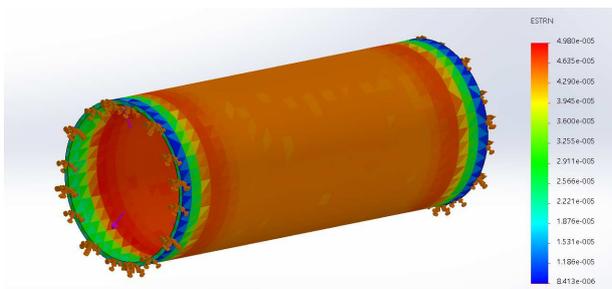


(a)

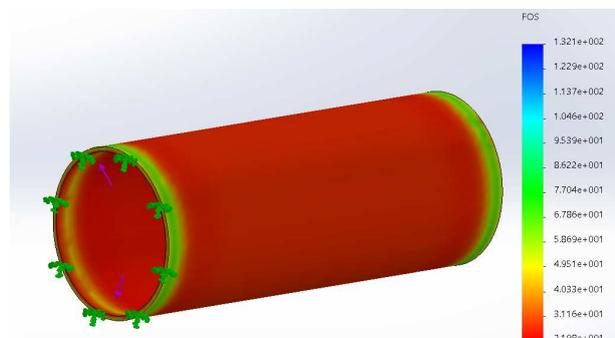


(b)

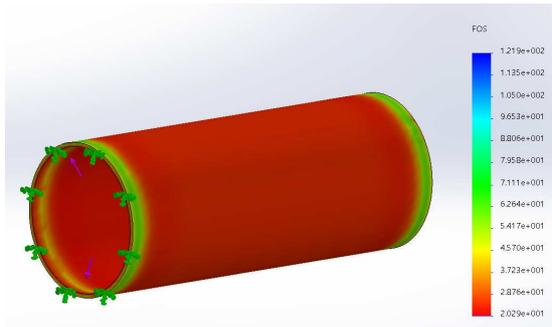
Gambar 7: Displacement pada material (a) SA-516-70 dan (b) SA-106 Grade B.



(a)



(a)



(b)

Gambar 7: *Factor of Safety* pada material (a) SA-516-70 dan (b) SA-106 Grade B.

3.3. Estimasi anggaran material

Tabel 5: Estimasi Harga

Harga	SA-106 Grade B	SA-516-70
Pelat	Rp.6.531.951	Rp.34.239.938 (2438mm x 9144mm)
<i>Roller Shell</i>	-	Rp.950.000
Total	Rp.6.531.951	Rp.35.189.938

Perhitungan anggaran biaya didapatkan dari referensi di PT. XXX. Dari estimasi anggaran untuk setiap material pada Tabel 5 di dapat untuk material SA-516-70 untuk biaya material dan proses rolling pelat untuk mengubah bentuk pelat datar menjadi tabung sebesar Rp35.189.938 jauh lebih mahal dibanding material SA-106 Grade B sebesar Rp6.531.951 yang tidak perlu mengeluarkan anggaran untuk proses *rolling*.

3.4. Kelebihan dan kekurangan dari material

Tabel 6: Keuntungan dan kerugian dari material

Material	Keuntungan	Kerugian
SA-516-70	Bisa digunakan untuk semua jenis ukuran baik diameter kecil maupun besar, sehingga sisa dari pelat ini bisa digunakan membuat <i>pressure vessel</i> yang lain, tidak hanya berpusat pada satu jenis diameter	Dari segi harga sangat memakan biaya yang sangat banyak untuk membeli selempar pelat dan biaya proses rolling untuk membentuk pelat datar menjadi tabung.
SA-106 Grade B	Harga sangat terjangkau dan tidak memerlukan biaya proses rolling karna sudah berbentuk seperti tabung	Sisa dari material ini tidak dapat digunakan untuk membuat <i>pressure vessel</i> yang lain jika diameternya berbeda dari sebelumnya.

Dari Tabel 6 diatas menunjukkan setiap material memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing jadi semua ini tergantung dari perusahaan, ingin menggunakan material yang mana. Namun secara penelitian yang sudah dilaksanakan menunjukkan bahwa material SA-106 Grade B jauh lebih ekonomis untuk data yang digunakan saat ini.

4.0 KESIMPULAN

Dari hasil analisa yang dilakukan dengan *software* SolidWorks, *pressure* dengan material SA-516-70N dan SA-106 Grade B ketebalan 12,7 dikatakan tidak akan mengalami kegagalan, ditandai dengan memiliki nilai tegangan longitudinal yang sama yaitu sebesar 1758 psi dan tidak lebih besar dari tekanan izin materialnya yaitu SA 516 70N sebesar 20015,2 psi dan SA-106 Grade B sebesar 17.114,5 psi, sehingga kedua material ini aman untuk digunakan.

Dari estimasi harga yang diketahui, material yang lebih minim dalam anggaran biaya yaitu material SA-106 Grade B sebesar Rp.6.531.951 karna tidak memerlukan biaya proses rolling karna sudah berbentuk pipa. Sehingga material SA-106 Grade B jauh lebih ekonomis untuk digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Setiawan, A. B., Perancangan dan Analisis Tegangan Separator Produksi Menggunakan *Software* PV Elite dan SolidWorks. *Jurnal Teknik Mesin*– Vol. 07, No. 2, Juni 2018, ISSN: 2549-2888, 2018.
- [2] Putra, R. C. Perancangan Bejana Tekan Kapasitas 5 M3 Dengan Tekanan Desain 10 Bar Berdasarkan *Standar ASME 2007 Section VIII Div 1*. Motor Bakar : *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 1, no 1, Mei 2017.
- [3] Yohana, E. dan Maulana, A. F. Analisis Kekuatan Material Air Receiver Drum Berdasarkan *ASME Section VIII Division I*. ROTASI, vol. 21, no. 1, pp. 43-48, Apr. 2019.
- [4] Siswanto, B. Analisa Pengujian Ketahanan Bejana Tekan dengan Metode Hidrostatictest. *Jurnal Sustainable: Jurnal Hasil Penelitian dan Industri Terapan* Vol. 10, No. 01, hal. 37- 44, Mei 2021.
- [5] Diyantama, F.H., Munir, M.M., dan Bisono, F. Analisa Perhitungan Optimum Thickness, MAWP, Tegangan, dan Lifetime pada Gas Dryer dengan Material A516M Gr. 70 pada Proyek SPBG (Stasiun Pengisian Bahan Bakar Gas). *Proceeding 4th Conference of Piping Engineering and its Application*, hal 27 – 31. September 2019.
- [6] Sukarman, Khoiruddin, Murtalim, Mulyadi, D., dan Rahdiana, N. Evaluasi Desain Bejana Bertekanan pada Radiator Cooling System Menggunakan Material SPCC-SD. *REKAYASA - Journal of Science and Technology*, Vol. 14, no 1, hal 10 – 16. 2021
- [7] ASME. *Boiler and Pressure vessel Code, Section VIII, Rules for Construction of Pressure vessels*. 2017.