

Desain Stiffener Ring pada Heavy Hydrocarbon Pressure Vessel terhadap Perubahan Tekanan

M. Novian Rizky N.P.^{1*}, Mohammad Miftachul Munir², Rizal Indrawan³

Teknik Desain dan Manufaktur, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Teknik Pengelasan, Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Teknik Desain dan Manufaktur, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: pratamavian6@gmail.com¹

Abstract – Pressure vessel production process often experiences problems, one of problems is changing data sheet from customer, in this case pressure vessel is already in the fabrication process. Changes data sheet are found in external pressure which is 3.5 kg/cm²g from previous 1 kg/cm²g, then recalculation must be carried out refers to ASME BPVC Section VIII Division 1. Then stress analysis is carried out with FEM through Ansys software simulation to determine loading conditions on pressure vessel design. Then fatigue life analysis was carried out to determine value of usage factor. Calculation of new external design pressure, was found that MAEP condition in shell is 0.158 MPa, this value is less than external design pressure of 0.34 MPa. Calculation results show that pressure vessel must be installed with a stiffener ring. Two stiffener rings are designed circumferentially on the outside of shell. Then results of stress analysis show that highest stress value is located on head. This value is still below maximum allowable stress value for material head, which is 138 MPa and results of fatigue life analysis show that usage factor value is less than one, thus pressure vessel there is no fatigue failure during the specified age.

Keywords: Ansys simulation, fatigue life analysis, pressure vessel, stress analysis, stiffener ring

Nomenclature

Nomenclature menyatakan simbol dan keterangan yang kita tampilkan dalam paper

t	ketebalan minimal <i>shell</i> yang diperlukan
P	tekanan dalam desain
R	jari-jari dalam <i>shell</i>
S	tegangan ijin maksimum
E	efisiensi sambungan las
B	nilai faktor B
As	cross sectional area of the stiffener ring
Ls	length between line of support

1. PENDAHULUAN

Bejana tekan (*pressure vessel*) dapat didefinisikan sebagai wadah yang memiliki tekanan eksternal dan internal yang berbeda karena terdapat gaya tekan yang ditimbulkan oleh berat cairan yang ditampung sehingga mengakibatkan tegangan muncul pada dinding *shell* dan *head pressure vessel* tersebut. Pada beberapa kasus terdapat daerah - daerah *pressure vessel* yang tidak kuat menahan tekanan yang ekstrim sehingga terjadi tegangan yang tinggi. Karena bahaya tersebut, maka pada saat perancangan *pressure vessel* tersebut harus diperhatikan untuk mengantisipasi adanya kebocoran sehingga kebocoran *pressure vessel* tidak terjadi. Selain itu dalam perancangan *pressure vessel* harus didesain dalam tekanan yang maksimal agar saat beroperasi tekanan yang

diterima *pressure vessel* tidak melebihi tekanan desainnya.

Pada suatu perusahaan produksi *pressure vessel* di Jawa Timur terdapat masalah yang sering terjadi saat proses fabrikasi *pressure vessel*. Masalah tersebut adalah adanya permintaan perubahan *data sheet* oleh *customer*. Terdapat sebanyak 6 *pressure vessel* dalam 4 bulan yang mendapat perubahan *data sheet*. Dalam *data sheet* terdapat data-data yang berisi spesifikasi dari *pressure vessel* yang akan dibuat, salah satunya yaitu *design pressure*. *Design pressure* merupakan rencana tekanan yang diterima *pressure vessel*. Jika nilai dari *design pressure* diubah lebih tinggi dari desain awal, maka dapat merubah kalkulasi dari rancangan *pressure vessel* tersebut. Pada kasus ini *external pressure* mengalami perubahan dari 1kg/cm²g berubah menjadi 3.5 kg/cm²g, sedangkan untuk *internal pressure* tetap yaitu sebesar 0.2 kg/cm²g. Sehingga salah satu alternatif yang dapat dilakukan yaitu dengan penambahan *stiffener ring* pada bagian *pressure vessel* yang memiliki tegangan ekstrim. Hal ini dikarenakan menurut (Chawathe, 2017), pemasangan *stiffener ring* dapat mengkompensasi tingginya tekanan tanpa harus mempertebal dinding sehingga lebih efisien karena tidak memerlukan biaya yang tinggi.

Berdasarkan permasalahan dan studi literatur di atas maka penting adanya pemasangan *stiffener ring* pada *pressure vessel* guna menjaga *pressure vessel* dari defleksi akibat beban tambahan. Dalam

pemasangan *stiffener ring* perlu adanya perhitungan untuk mengetahui letak dari *stiffener ring* disuatu *pressure vessel*. Selanjutnya dilakukan simulasi untuk mengetahui daerah yang memiliki tingkat *deformation stress* tinggi. Pada penelitian ini peneliti juga melakukan analisa kelelahan (*fatigue*) untuk mengetahui umur dari *pressure vessel*.

2. METODOLOGI.

2.1 Pressure Vessel

Pressure vessel adalah wadah berbentuk silinder tertutup sebagai penampung fluida bertekanan. Wadah tersebut didesain agar mampu menahan tekanan dalam (*Internal Pressure*) maupun tekanan luar (*External Pressure*). Selain itu *pressure vessel* juga dirancang untuk mampu menahan berbagai kondisi pembebanan saat beroperasi, seperti beban operasi, beban struktur, beban angin, dan beban gempa.

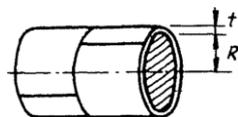
2.2 Komponen Pressure Vessel

Pressure vessel pada umumnya memiliki beberapa komponen utama, komponen utama *pressure vessel* merupakan komponen yang paling dominan dan selalu ada pada setiap *pressure vessel*. Komponen utama diantaranya yaitu *head*, *nozzle*, *shell* dan *support*.

2.2.1 Shell

Shell adalah salah satu komponen paling utama yang berisi fluida bertekanan. *Shell* terletak diantara dua *head*. Pada umumnya *shell* berbentuk silinder (*cylindrical shell*) ataupun bulat (*spherical shell*) dengan ketebalan plat yang konstan sesuai dengan kebutuhan dan perencanaannya. Besarnya ketebalan *shell* ditentukan dengan persamaan berikut.

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} \quad (1)$$



Gambar 1. Ilustrasi Shell

2.2.2 Head

Head merupakan bagian utama dari sebuah *pressure vessel* yang terletak pada ujung-ujung *pressure vessel*. Seluruh *pressure vessel* harus ditutup dengan *head*. Terdapat lima tipe *head* yang berbeda-beda yaitu *torispherical*, *hemispherical*, *ellipsoidal*, *torispherical*, dan *conical*.

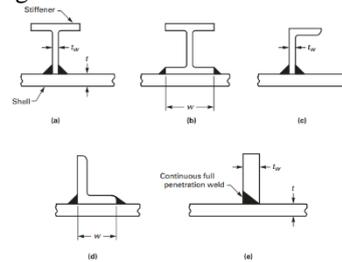
2.2.3 Nozzle

Nozzle merupakan sebuah sistem bukaan pada bagian *pressure vessel* sebagai koneksi antara *vessel* dengan *piping*. Pada dasarnya *pressure vessel* adalah unit pengolahan, sedangkan *piping* merupakan jalan dari pengolahan fluida. *Nozzle* menggunakan penyambungan *flange* untuk

menyalurkan fluida. *Flange* adalah mekanisme penyambungan antara komponen satu dengan komponen lain.

2.2.4 Stiffener Ring

Stiffener ring merupakan bagian dari *pressure vessel* yang dipasang pada *shell*. *Stiffener ring* berfungsi untuk meningkatkan momen inersia pada posisi lokal, sehingga dapat meningkatkan ketahanan atau kekuatan dan mengurangi *minimum thickness*. Material yang digunakan memiliki biaya yang *relatif* murah sehingga memungkinkan pembuatan *pressure vessel* yang menguntungkan secara ekonomi.



Gambar 2. Ilustrasi Stiffener Ring

2.2.5 Support

Komponen ini berfungsi untuk menahan *pressure vessel* agar tidak berpindah atau bergeser. Penyangga ini harus bisa menahan beban baik berupa beban berat *pressure vessel* ataupun beban dari luar seperti angin dan gempa bumi. Perancangan penyangga tidak seperti desain *pressure vessel* karena penyangga tidak mempunyai tekanan.

2.3 Beban pada Pressure Vessel

Dalam kondisi beroperasi, *pressure vessel* dikenai berbagai kondisi pembebanan dimana intensitas tegangan yang terjadi bervariasi pada setiap komponen *pressure vessel*. Kategori dan intensitas tegangan tersebut merupakan fungsi dari beban dasar, bentuk geometri, dan konstruksi bagian *pressure vessel*. Berikut beberapa pembebanan yang diterima pada *pressure vessel*.

2.3.1 Internal pressure

Internal pressure, yaitu tekanan yang bekerja pada sisi dalam bejana. Tekanan tersebut berasal dari fluida yang dimuat oleh *pressure vessel*. Tekanan desain internal disarankan lebih besar senilai 30 psi atau 10% dari pada tekanan operasi internal, pilih yang terbesar.

2.3.2 External pressure

External pressure, yaitu tekanan yang berada pada sisi luar *vessel*. Tekanan tersebut berasal dari lingkungan luar di sekitar *pressure vessel* berada. Tekanan maksimum yang diizinkan berdasarkan pada ASME BPVC VIII div. 1 UG-28(f) adalah 15 psi.

2.4 Perancangan Pressure Vessel

Pada umumnya *pressure vessel* dirancang

menggunakan standar ASME BPVC VIII div. 1. Standar tersebut menerapkan *safety factor* yang memadai untuk mengantisipasi adanya tegangan-tegangan terpusat yang bernilai tinggi. Meskipun demikian, semua pembebanan yang terjadi pada *pressure vessel* tetap harus dipertimbangkan dalam perancangan.

2.4.1 Perancangan *head* untuk menahan tekanan internal

Ketebalan *head* pada *pressure vessel* harus dikalkulasi untuk memastikan bahwa *head* tersebut mampu untuk menahan tekanan internal dan eksternal. Berikut ini adalah metode kalkulasi ketebalan *ellipsoidal head* untuk menahan tekanan internal berdasarkan ASME BPVC VIII div. 1, paragraf UG-32. Perhitungan tersebut, maka *maximum allowable working pressure* (MAWP) dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut.

$$MAWP = \frac{2SEt}{D-1.8t} \quad (2)$$

2.4.2 Perancangan *shell* untuk menahan tekanan internal

Metode perhitungan ketebalan *cylindrical shell* untuk menahan tekanan eksternal berdasarkan standar ASME BPVC VIII div 1, paragraf UG – 27.

$$MAWP = \frac{SEt}{R+0.6t} \quad (3)$$

2.4.3 Perancangan *stiffener ring*.

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam mendesain *stiffener ring* berdasarkan ASME VIII div. 1, UG – 29 (Megyesy, 2008).

1. Menentukan jumlah *stiffener ring* yang direncanakan
2. Menentukan nilai D_o, L_s , dan t dari *shell*.
Dimana:
 D_o = *outside diameter of ring*, mm.
 L_s = *length between support lines*, mm.
3. Menentukan tipe penampang *stiffener ring* yang digunakan dan hitung luas penampang tersebut (A_s)
4. Mengkalkulasi nilai faktor B dengan persamaan berikut.

$$B = \frac{3}{4} \left(\frac{PD_o}{t + A_s/L_s} \right) \quad (4)$$

2.5 Finite Element Method

Finite Element adalah salah satu dari metode numerik yang memanfaatkan operasi *matrik* untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Metode lainnya adalah metode analitik, untuk melakukannya diperlukan suatu persamaan matematik yang merupakan model dari perilaku fisik. Semakin rumit perilaku fisiknya (karena kerumitan bentuk geometri, banyaknya interaksi beban, constrain, sifat material, dan lain-lain) maka semakin sulit atau bahkan mustahil dibangun suatu model matematik yang bisa

mewakili permasalahan tersebut.

2.6 Ansys

Ansys merupakan *software* yang berguna untuk menjalankan simulasi dan analisis teknik dengan berbasis *finite element method* dapat membantu dalam melakukan analisa tegangan maksimum maupun konsentrasi tegangan yang terjadi. *Output* dari Ansys yaitu berupa data sehingga kita dapat mengetahui besar tegangan maksimum dan minimum.

2.7 Meshing

Meshing merupakan proses pembagian model atau komponen yang dianalisis menjadi elemen yang lebih kecil atau diskrit. Semakin baik kualitas *mesh*, maka semakin tinggi tingkat konvergensinya. Penentuan jumlah elemen pada proses *meshing* dilakukan dengan uji konvergensinya, yaitu jika jumlah elemen dinaikkan, maka tegangan yang terjadi pada komponen stabil dan tidak berubah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Evaluasi *Head Pressure Vessel* (internal)

Tipe *head* yang telah digunakan *Heavy Hydrocarbon Pressure Vessel* yaitu tipe *ellipsoidal head*.

1. Data desain

Tabel 1: Data Desain *Head* untuk Menahan Tekanan Internal

No	Data	Notasi	Nilai
1	<i>Material of head</i>	N/A	SA-516 Gr 70
2	<i>Internal design pressure</i>	P	0.2 kg/cm ² g
3	<i>Stress value of material</i> [1]	S	138 MPa
4	<i>Outside diameter</i>	D_o	2020 mm
5	<i>Joint efficiency</i>	E	1.0
6	<i>Corrosion allowance</i>	CA	3.0 mm
Catatan: 1. Lihat Lampiran A untuk mendapatkan nilai <i>stress value of material</i>			

2. Hasil perhitungan

Tabel 2: Hasil Perhitungan *Head* untuk Menahan Tekanan Internal

No	Keterangan	Hasil
1	Ketebalan <i>head pressure vessel</i>	$t = 0.14$ mm
2	Tekanan internal maksimum	MAWP = 1.38 MPa
3	Tegangan pada <i>head</i> akibat tekanan internal	$S = 1.96$ MPa
4	Simulasi tekanan internal pada <i>head</i>	1.9793 MPa

3.2 Evaluasi *Head Pressure Vessel* (eksternal)

Evaluasi *head pressure vessel* untuk menahan tekanan eksternal berdasarkan ASME BPVC Section II Part D dengan panduan desain dari

Pressure Vessel Handbook karya Eugene F. Megyesy.

1. Data Desain

Tabel 3: Data Desain *Head* untuk Menahan Tekanan eksternal

No	Data	Notasi	Nilai
1	<i>Material of head</i>	N/A	SA-516 Gr 70
2	<i>External design pressure</i>	P	3.5 kg/cm ² g
3	<i>Outside diameter</i>	D _o	2020 mm
4	<i>Outside radius</i> ^[1]	R _o	1818 mm
5	<i>Thickness</i>	t	10 mm

Catatan:
 [1] R_o = 0.9D_o untuk *ellipsoidal head*

2. Hasil Perhitungan

Tabel 4: Hasil Perhitungan *Head* untuk Menahan Tekanan eksternal

No	Keterangan	Hasil
1	Nilai Faktor A	A = 0.000688
2	Nilai Faktor B	B = 62
3	Tekanan Eksternal Maksimum	MAEP = 0.34 MPa
4	Tegangan pada <i>head</i> akibat tekanan eksternal	S = 57.4 MPa
5	Simulasi tekanan eksternal pada <i>head</i>	34.303 MPa

3.3 Evaluasi Shell Pressure Vessel (internal)

Evaluasi hasil kemampuan *shell pressure vessel* untuk menahan tekanan internal berdasarkan *ASME BPVC Section VIII Div. 1* dan *ASME BPVC Section II Part D* dengan panduan desain dari *Pressure Vessel Handbook* karya Eugene F. Megyesy.

1. Data desain

Tabel 5: Data Desain *Shell* untuk Menahan Tekanan Internal

No	Data	Notasi	Nilai
1	<i>Material of shell</i>	N/A	SA-516 Gr 70
2	<i>Internal design pressure</i>	P	0.2 kg/cm ² g
3	<i>Stress value of material</i> ^[1]	S	138 MPa
4	<i>Inside diameter</i>	D	2000 mm
5	<i>Inside radius</i>	R	1000 mm
6	<i>Joint efficiency</i>	E	1.0
7	<i>Corrosion allowance</i>	CA	3.0 mm

Catatan:
 1. Lihat Lampiran A untuk mendapatkan nilai *stress value of material*

2. Hasil perhitungan

Tabel 6: Hasil Perhitungan *Shell* untuk Menahan Tekanan Internal

No	Keterangan	Hasil
1	Ketebalan <i>head pressure vessel</i>	t = 0.14 mm
2	Tekanan internal maksimum	MAWP = 1.37 MPa
3	Tegangan pada <i>shell</i> akibat tekanan internal	S = 1.97 MPa
4	Simulasi tekanan internal pada <i>shell</i>	2.2661 MPa

3.4 Evaluasi Shell Pressure Vessel (eksternal)

Evaluasi hasil kemampuan *shell pressure vessel* untuk menahan tekanan eksternal berdasarkan *ASME BPVC Section VIII Div. 1* dan *ASME BPVC Section II Part D* dengan panduan desain dari *Pressure Vessel Handbook* karya Eugene F. Megyesy.

1. Data Desain

Tabel 7: Data Desain *Shell* untuk Menahan Tekanan eksternal

No	Data	Notasi	Nilai
1	<i>Material of shell</i>	N/A	SA-516 Gr 70
2	<i>External design pressure</i>	P	3.5 kg/cm ² g
3	<i>Outside diameter</i>	D _o	2020 mm
4	<i>Length between support lines</i>	L	4000 mm
5	<i>Thickness</i>	t	10 mm
6	L/D _o ratio	L/D _o	1.98
7	D _o /r ratio	D _o /t	202

2. Hasil Perhitungan

Tabel 8: Hasil Perhitungan *Shell* untuk Menahan Tekanan eksternal

No	Keterangan	Hasil
1	Nilai Faktor A	A = 0.00024
2	Nilai Faktor B	B = 24
3	Tekanan Eksternal Maksimum	MAEP = 0.158 MPa
4	Tegangan pada <i>head</i> akibat tekanan eksternal	S = 34.67 MPa
5	Simulasi tekanan eksternal pada <i>head</i>	39.319 MPa

3.5 Simulasi Pembebanan Static Stress

Simulasi pembebanan dilakukan menggunakan *software* Ansys Student version dan Autodesk Fusion 360 sebagai *software* untuk membuat desain 3D modeling dari *pressure vessel*.

3.5.1 Hasil Analisis

Tabel 9: Hasil Analisis Simulasi Pembebanan

No	Kondisi Pembebanan	Nilai	Lokasi
		Tegangan Maksimum	Tegangan Maksimum
1	Pembebanan Internal Pressure	2.661 MPa	<i>Shell</i> bagian bawah
2	Pembebanan External Pressure	39.319 MPa	<i>Shell</i> bagian bawah

3.6 Evaluasi shell untuk menahan tekanan eksternal setelah dipasang stiffener ring

Berikut ini adalah evaluasi kemampuan *shell* setelah dipasang *stiffener ring* untuk menahan tekanan eksternal berdasarkan *ASME BPVC Section VIII Div. 1* dan *ASME BPVC Section II Part D* dengan panduan desain dari *Pressure Vessel Handbook* karya Eugene F. Megyesy.

1. Data Desain

Tabel 10: Data Desain Perancangan *Stiffener Ring*

No	Data	Notasi	Nilai
----	------	--------	-------

1	Material of stiffener ring	N/A	SA-516 Gr 70
2	External design pressure	P	3.5 kg/cm ² g
3	Modulus of elasticity of material	E	2 x 10 ⁵ MPa
4	Thickness of shell	t	10 mm
5	Outside diameter	Do	2020 mm
6	Length of shell section between support line	Ls	1333.3 mm
7	Ls/Do ratio	Ls/Do	0.66
8	Do/t ratio	Do/t	202

2. Hasil Perhitungan

Tabel 11: Hasil Perhitungan Perancangan Stiffener Ring

No	Keterangan	Hasil
1	Nilai Faktor A	A = 0.0007
2	Nilai Faktor B	B = 63
3	Tekanan Eksternal Maksimum	MAEP = 0.416 MPa
4	Jumlah stiffener ring	2 ring

3.7 Perancangan stiffening ring untuk menahan tekanan eksternal

Perancangan stiffening ring berdasarkan ASME BPVC Division 1, UG-29 agar sesuai standar yang ditentukan. Berikut perancangan stiffener ring pada Heavy Hydrocarbon Pressure Vessel.

1. Data Desain

Tabel 12: Data Desain Stiffener Ring

No	Data	Notasi	Nilai
1	Material of stiffener ring	N/A	SA-516 Gr 70
2	External design pressure	P	3.5 kg/cm ² g
3	Modulus of elasticity of material	E	2 x 10 ⁵ MPa
4	Thickness of shell	T	10 mm
5	Outside diameter	Do	2020 mm
6	Length of shell section between support line	Ls	1333.3 mm
7	L/Do ratio	Ls/Do	0.66
8	Do/t ratio	Do/t	202

2. Hasil Perhitungan

Tabel 13: Hasil Perancangan Stiffener Ring

No	Keterangan	Hasil
1	Tipe stiffener ring	Heavy Hydrocarbon Pressure Vessel T110 x 150 dengan material SA-516 Grade 70
2	Luas Penampang	2552.03 mm ²
3	Nilai Faktor B	43.64
4	Nilai Faktor A	0.00047
5	Momen Inersia Minimum	2,176,008.56 mm ⁴
6	Momen Inersia stiffener ring	2,176,008.56 mm ⁴

3.8 Simulasi pembebanan pressure vessel setelah pemasangan stiffener ring

Simulasi static stress kembali dilakukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada pressure vessel yang telah dipasang stiffener. Simulasi kali

ini terjadi dua jenis pembebanan yaitu pembebanan full condition dan vacuum condition.

Tabel 14: Hasil Simulasi Beban Full condition dan Beban Vacuum condition

No.	Beban	Nilai Tegangan Maksimum	Lokasi Tegangan Maksimum
1.	Beban full condition	50.845 MPa	Head
2.	Beban vacuum condition	15.153 MPa	Head

3.9 Analisis tegangan pada pressure vessel

Analisis tegangan dilakukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada Heavy Hydrocarbon pressure vessel yang telah melalui pemasangan stiffener ring. Berdasarkan simulasi pembebanan yang telah dilakukan, jenis pembebanan beban full condition menghasilkan tegangan yang paling tinggi dibandingkan pembebanan beban vacuum condition. Berikut ini adalah penilaian hasil simulasi tegangan pada pressure vessel dengan jenis pembebanan beban full condition.

Tabel 15: Hasil Analisis Tegangan

No.	Bagian	MASV	Tegangan	Keterangan	Penilaian
1.	Head	138 MPa	50.845 MPa	Tegangan < MASV	Diterima
2.	Shell	138 MPa	32.806 MPa	Tegangan < MASV	Diterima
3.	Stiffener	138 MPa	29.185 MPa	Tegangan < MASV	Diterima
4.	Saddle	138 MPa	11.165 MPa	Tegangan < MASV	Diterima

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pemasangan stiffener ring pada Heavy Hydrocarbon Pressure Vessel dilakukan dengan menggunakan profil T110x150 material SA-516 grade 70 sejumlah dua stiffener ring pada bagian luar shell.
2. Penelitian ini menunjukkan bahwa area kritis atau area yang memiliki nilai tegangan maksimum setelah pemasangan stiffener ring berpindah ke bagian head dari sebelumnya berada pada bagian shell. Stiffener ring mampu mereduksi adanya tegangan yang terjadi pada pressure vessel.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan Tugas

Akhir ini tidak terlepas dari peran berbagai pihak yang telah banyak memberikan bantuan, bimbingan, dorongan, dan do'a. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sangat besar khususnya kepada:

1. Bapak Ir. Eko Julianto M.Sc., FRINA., selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
2. Bapak George Endri Kusuma, S.T., M.Sc.Eng., selaku Ketua Jurusan Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Pranowo Sidi, ST., MT. selaku Koordinator Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur.
4. Bapak Rizal Indrawan, S.ST., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur.
5. Bapak Mohammad Miftachul Munir, S.T., M.T. dan Bapak Rizal Indrawan, S.ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan dan nasihat.
6. Seluruh Dosen dan Staff Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah memberikan banyak ilmu berharga selama perkuliahan.
7. Bapak Budoyo dan Ibu Yayuk Kholifah selaku orang tua penulis yang telah memberikan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan pendidikan dan juga senantiasa memberikan perhatian, nasihat, serta mencukupi kebutuhan penulis.
8. Felicia Zafirah yang senantiasa memberikan dukungan, saran, dan ikut serta membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Seluruh teman-teman mahasiswa Teknik Desain dan Manufaktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya angkatan 2018 yang telah menjadi teman penulis dari awal perkuliahan hingga saat ini.
10. Seluruh pihak yang telah berkontribusi dan tidak bisa disebutkan satu persatu.

6. PUSTAKA

- [1] Alifalakh, H. P. (2021). *Rancangan Bejana Tekan pada Proyek Renewal STD Water Tank. Tugas Akhir*, NRP: 0717040003, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [2] ASME. (2019). **BPVC Section VIII Division 1 - Rules for Construction of Pressure Vessels**. The American Society of Mechanical Engineers, New York.
- [3] ASME. (2021). **BPVC Section II Division D - Materials Properties (Metric)**. The American Society of Mechanical Engineers, New York.
- [4] Awwaluddin, M. (2019). *Analisa Fatigue Life Struktur Mekanik Pasien Pada Perangkat*. **International Standard of Serial Number**, Volume 9(1), No.1978-3515.
- [5] Azmi, S. (2013). *Penggunaan FEM (Finite Element Method) Dalam Memetakan Medan Listrik pada Permukaan Isolator Jenis Pin dan Post 20 KV dan Udara Disekitarnya*. **Jurnal Ilmiah Teknik Elektro**, Volume 10(4), pp.172-178.
- [6] Kementerian Ketenagakerjaan. (2016). **Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2016 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Bejana Tekanan dan Tangki Timbun**. Kementerian Ketenagakerjaan, Jakarta.
- [7] Megyesy, E. F. (2008). **Pressure Vessel Handbook (14th Edition ed.)** PV Publishing, Inc., Oklahoma.