

Analisis Tegangan Sistem Perpipaan *Inlet New High Pressure Test Separator 6”-PT-230-D* Pada Fasilitas Separasi

Dewana Aryalintang Wicaksana*, Pekik Mahardhika², Lely Pramesti³

Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*}

Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²

Program studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

Email: dewanaaryalintang@student.ppns.ac.id^{1*}; pekikmahardhika@ppns.ac.id²; lelypramesti@ppns.ac.id³;

Abstract - At the Gathering Station located in West Java, the replacement of the High Pressure Test Separator equipment necessitated a change in the location of the High Pressure Test Separator. Due to this relocation, a new piping system connected to the New High Pressure Test Separator will be constructed. It is necessary to conduct a stress analysis on the new piping system connected to the New High Pressure Test Separator to ensure that the stress levels within the piping system comply with the ASME B31.3 acceptance criteria. The analysis includes the calculation of allowable pipe span, pipe stress analysis, and displacement analysis, aided by stress analysis software. The analysis under design conditions revealed that the stress levels in the piping system under sustain, occasional, and thermal loads meet the ASME B31.3 allowable criteria, with the highest stress value being 19349 lb/in², or 77.2% ratio, occurring under thermal loading. The highest displacement in the piping system was observed under thermal loading, with a value of 8.530 in the Z direction.

Keyword: Pipe Span, Stress Analysis, Displacement

Nomenclature

Nomenclature

Δ	Allowable deflection (in)
E	Modulus of elasticity (psi)
g	Percepatan gravitasi (in/s ²)
I	Area momet of inertia of pipe (in ⁴)
L	Panjang pipa (ft)
L_s	Pipe span limitation of stress (ft)
L_d	Pipe span limitation of deflection (ft)
ρ	Massa jenis pipa (lb/in ³)
S_h	Allowable tensile stress (psi)
S_L	Tegangan akibat beban <i>sustained</i> (lb/in ²)
S_a	Axial stress (lb/in ²)
S_b	Bending stress (lb/in ²)
S_t	Torsional stress (lb/in ²)
S_c	Minimum stress (lb/in ²)
w	Berat total pipa (lb/ft)
W	Berat pipa per satuan panjang (lb/in)
Z	Modulus of selection (in ³)

1. PENDAHULUAN

Pada Stasiun Pengumpul yang terletak di Jawa Barat dilakukan penggantian equipment High Pressure Test Separator yang menyebabkan perubahan lokasi High Pressure Test Separator. Dikarenakan perubahan lokasi separator ini akan dibuat sistem perpipaan baru yang terhubung dengan New High Pressure Test Separator. Pada

sistem perpipaan baru yang terhubung dengan New High Pressure Test Separator perlu dilakukan analisis tegangan untuk mengetahui nilai tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan yang terhubung dengan New High Pressure Test Separator.

Dalam melakukan analisis penting untuk menentukan peletakan penyangga. Untuk menentukan peletakan penyangga perlu dilakukan perhitungan maximum allowable pipe span untuk mengetahui berapa jarak maksimal antar penyangga. Jarak maksimum yang diizinkan sangat penting dalam upaya untuk menjaga tegangan yang berlebih (over stress) atau dengan kata lain untuk menjaga stress yang terjadi masih di dalam batas yang diizinkan untuk diterima oleh material tersebut [4]. Tegangan yang berlebih pada sistem perpipaan dapat mengakibatkan kegagalan yang menimbulkan kerugian. Selain akibat tegangan kegagalan pada sistem perpipaan juga dapat diakibatkan oleh suhu tinggi yang mengakibatkan *displacement* berlebihan. Untuk perhitungan *pipe span* dan analisis tegangan dikutip dari konsep dan teori yang diambil dari penelitian sebelumnya [5]

Oleh karena itu pada tugas akhir ini akan membahas tentang peletakan penyangga dan analisis tegangan, dan *displacement* pada New High Pressure Test Separator yang memenuhi kriteria dan standard yang berlaku. Standard dan kriteria yang digunakan dalam perhitungan analisis tegangan sistem perpipaan New High

Pressure Test Separator adalah ASME B31.3 Process Piping [1].

2. METODOLOGI .

2.1 Maximum Allowable Pipe Span

Berdasarkan buku “Introduction to Pipe Stress Analysis” karya Sam Kannapan [2] Jarak antar support berdasarkan limitation of stress dan limitation of deflection dapat dihitung berdasarkan berat pipa, fluida, dan attachment dapat dengan rumus sebagai berikut:

$$W_{\text{pipe}} = \frac{\pi}{4} \times (OD^2 - ID^2) \times \rho_{\text{pipa}} \times 12 \quad (1)$$

$$W_{\text{fluid}} = \frac{\pi}{4} \times (ID^2) \times \rho_{\text{fluida}} \times 12 \quad (2)$$

$$W_{\text{insul}} = \frac{\pi}{4} \times (OD_{\text{insulasi}}^2 - OD^2) \times \rho_{\text{insul}} \quad (3)$$

Nilai allowable pipe span berdasarkan limitation of stress dan limitation of deflection berdasarkan berat pipa, fluida, dan valve dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$L_s = \sqrt{\frac{0.4 \times Z \times S}{w}} \quad (4)$$

$$L_D = \sqrt{\frac{\Delta \times E \times I}{13.5 \times w}} \quad (5)$$

$$\sum S = \frac{L_{\text{pipa}}}{L_s} \quad (6)$$

2.2 Tegangan Pada Pipa

Tegangan yang terjadi dalam sistem perpipaan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu tegangan normal (normal stress) dan tegangan geser (shear stress) [3]. Tegangan normal terdiri dari tiga komponen tegangan yaitu tegangan longitudinal, tegangan tangensial, dan tegangan radial

2.2.1 Tegangan Longitudinal

Tegangan longitudinal merupakan tegangan yang terjadi searah dengan panjang pipa:

- Tegangan aksial

$$S_a = \frac{P \times A_i}{A_m} = \frac{F_{ax}}{A_m} \quad (7)$$

$$A_i = \frac{\pi \times (di)^2}{4} \quad (8)$$

$$A_m = \frac{\pi \times (do^2 - di^2)}{4} \quad (9)$$

- Tegangan bending

$$S_b = \frac{\sqrt{(iMi)^2 + (ioMo)^2}}{Z} \quad (10)$$

- Tegangan torsi

$$S_t = \frac{MT}{2Z} \quad (11)$$

2.2.2 Tegangan Tangensial

Tegangan tangensial (hoop stress) merupakan tegangan yang disebabkan oleh tekanan internal pipa, Besarnya tegangan tangensial bervariasi tergantung pada ketebalan dinding pipa.

$$SH = \frac{P \times ID \times L}{2 \times L \times t} = \frac{P \times ID}{2 \times t} = \frac{P \times OD}{2 \times t} \quad (12)$$

2.2.3 Tegangan Radial

Tegangan radial merupakan tegangan yang arahnya searah dengan sumbu radial pipa. Tegangan ini berupa tegangan kompresi (negatif) jika ditekan dari dalam pipa akibat tekanan dalam (internal pressure), dan berupa tegangan tarik (positif). Nilai dari tegangan radial dapat menggunakan persamaan (14)

$$R_m = \frac{ro + ri}{2} \quad (13)$$

$$\sigma_R = \frac{P \left(ri^2 + \frac{ro^2 + ri^2}{rm^2} \right)}{ro^2 + ri^2} \quad (14)$$

2.3 Tegangan Izin

2.3.1 Tegangan Akibat Sustained Load

ASME B31.3 menyebutkan bahwa jumlah dari tegangan longitudinal (SL) yang disebabkan oleh tekanan, berat pipa dan semua komponen dalam sistem perpipaan merupakan pembebanan akibat sustained yang tidak boleh lebih dari tegangan ijin pada (Sh). Nilai tegangan ijin untuk kondisi akibat pembebanan sustain ditentukan berdasarkan persamaan berikut

$$SL = \sqrt{(Sa + Sb)^2 + (2St)^2} < Sh \quad (15)$$

2.3.2 Tegangan Akibat Occasional Load

Pada ASME B31.3 menyebutkan bahwa jumlah tegangan longitudinal yang disebabkan oleh tekanan, berat dan pembebanan sustain yang lain dan tegangan yang dihasilkan karena beban occasional seperti angin atau gempa bumi tidak melebihi 1.33 kali nilai tegangan ijin dasar (Sh).

$$S \text{ due to occasional load} \leq 1.33Sh \quad (16)$$

2.3.3 Tegangan Akibat Thermal Expansion Load

Pada ASME B31.3 disebutkan bahwa tegangan ijin akibat kondisi expansion thermal yang terjadi pada suatu material pipa dan komponennya akibat beban thermal yang berulang, expansion ditetapkan sebagai berikut:

S due to Thermal load $\leq SA$

$$S_A = f(1.25Sc + 0.25Sh) \quad (17)$$

2.4 Displacement

Displacement mengacu pada pergerakan atau pergeseran support pipa dari posisi semula. Pergerakan ini dapat terjadi ke berbagai arah termasuk *vertikal*, *horizontal*, atau kombinasi keduanya. Displacement antara pipa harus dibatasi hingga jarak bebas yang diizinkan pada semua kondisi pengoperasian untuk memastikan tidak terjadi benturan antara pipa

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Spesifikasi Material Pipa

Untuk melakukan perhitungan *maximum allowable pipe span*, dan analisis tegangan pada sistem perpipaan *Inlet New High Pressure Test Separator* maka diperlukan data untuk mendukung. Berikut merupakan data spesifikasi material pipa pada tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi material A312 TP316L

Parameter	Unit	Nilai	Code and Standard/Reference
Material Pipa	ASTM A312 TP316L		Data Perusahaan
NPS	in	6	Data Perusahaan
Pipe Schedule	-	40	Data Perusahaan
Outside Diameter (OD)	in	6,625	Table 2-1, ASME B36.10M (2015)
Inside Diameter (ID)	in	6,605	Table 2-1, ASME B36.10M (2015)
Wall Thickness	in	0,28	Table 2-1, ASME B36.10M (2015)
Pipe Density	lb/in ₃	0,283	Data Perusahaan
SMTS	lb/in ₂	75000	Appendix A, ASME B31.3
SMYS	lb/in ₂	20000	Appendix A, ASME B31.3
Modulus Elasticity (E)	lb/in ²	27500000	Table C-6, ASME B31.3
Moment Of Inertia (I)	in ⁴	28,1	M.W Kellog
Section Modulus (Z)	in ³	8,5	M.W Kellog

Tabel 1 Spesifikasi material A106

Parameter	Unit	Nilai	Code and Standard/Reference
Material Pipa	ASTM A106 Gr B		Data Perusahaan
NPS	in	6	Data Perusahaan
Pipe Schedule	-	40	Data Perusahaan
Outside Diameter (OD)	in	6,625	Table 2-1, ASME B36.10M (2015)
Inside Diameter (ID)	in	6,605	Table 2-1, ASME B36.10M (2015)
Wall Thickness	in	0,28	Table 2-1, ASME B36.10M (2015)
Pipe Density	lb/in ₃	0,283	Data Perusahaan
SMTS	lb/in ₂	60000	Appendix A, ASME B31.3
SMYS	lb/in ₂	35000	Appendix A, ASME B31.3
Modulus Elasticity (E)	lb/in ²	28800000	Table C-6, ASME B31.3
Moment Of Inertia (I)	in ⁴	28,1	M.W Kellog
Section Modulus (Z)	in ³	8,5	M.W Kellog

Tabel 1 Spesifikasi material A106

3.2 Maximum Allowable Span

Berdasarkan persamaan (x) perhitungan *maximum allowable pipe span* dinyatakan sebagai berikut:

- Berat pipa

$$W \text{ pipa A312} = \frac{\pi(OD^2-ID^2) \times \rho \text{ pipe}}{4}$$

$$= \frac{\pi(6,625^2 \text{ inch} - 6,065^2 \text{ inch}) \times (0,290 \frac{\text{lb}}{\text{in}^3} \times 12)}{4}$$

$$= 19,423 \text{ lb/ft}$$

$$W \text{ pipa A106} = \frac{\pi(OD^2-ID^2) \times \rho \text{ pipe}}{4}$$

$$= \frac{\pi(6,625^2 \text{ inch} - 6,065^2 \text{ inch}) \times (0,283 \frac{\text{lb}}{\text{in}^3} \times 12)}{4}$$

$$= 18,954 \text{ lb/ft}$$

- Beban fluida

$$W \text{ fluida} = \frac{\pi(ID^2) \times \rho \text{ fluida}}{4}$$

$$= \frac{\pi(6,065^2 \text{ inch}) \times (0,00151 \frac{\text{lb}}{\text{in}^3} \times 12)}{4}$$

$$= 0,523 \text{ lb/ft}$$

- Berat total

$$\text{Berat total A182} = \text{berat pipa} + \text{berat fluida}$$

$$= 19,423 \text{ lb/ft} + 0,523 \text{ lb/ft}$$

$$= 19,947 \text{ lb/ft}$$

$$\text{Berat total A106} = \text{berat pipa} + \text{berat fluida}$$

$$= 18,954 \text{ lb/ft} + 0,523 \text{ lb/ft}$$

$$= 19,478 \text{ lb/ft}$$

Maximum allowable pipe span based on limitation stress:

$$Ls \text{ A312} = \sqrt{\frac{0,4 \times Z \times S}{w}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,4 \times 8,5 \text{ in}^3 \times 16700 \text{ psi}}{19,947 \text{ lb/ft}}}$$

$$= 53,354 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}
 &= 16,262 \text{ m} \\
 L_s A106 &= \sqrt{\frac{0.4 \times Z \times S}{w}} \\
 &= \sqrt{\frac{0.4 \times 8,5 \text{ in}^3 \times 20000 \text{ psi}}{19,478 \text{ lb/ft}}} \\
 &= 59,086 \text{ ft} \\
 &= 18,009 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maximum allowable pipe span based on limitation of deflection:

$$\begin{aligned}
 L_d A182 &= \sqrt{\frac{\Delta \times E \times I}{13.5 \times w}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,625 \times 27500000 \text{ psi} \times 28,142 \text{ in}^4}{13,5 \times 19,947 \text{ lb/ft}}} \\
 &= 36,596 \text{ ft} \\
 &= 11,154 \text{ m}
 \end{aligned}$$

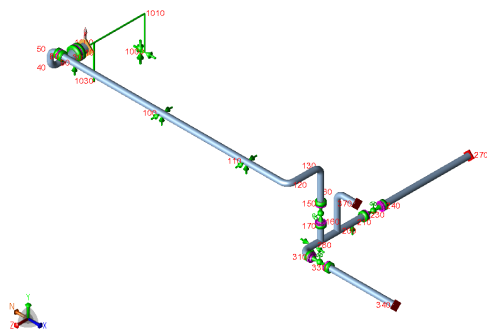
$$\begin{aligned}
 L_d A106 &= \sqrt{\frac{\Delta \times E \times I}{13.5 \times w}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,625 \times 28500000 \text{ psi} \times 28,142 \text{ in}^4}{13,5 \times 19,478 \text{ lb/ft}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 37,241 \text{ ft} \\
 &= 11,351 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan *maximum allowable span* dipilih hasil dengan nilai terkecil, maka jarak *maximum allowable span* yang digunakan adalah 11,154 m pada pipa material A312 TP316L, dan 11,351 m pada pipa material A106.

3.3 Permodelan Sistem Perpipaan

Permodelan sistem perpipaan *Inlet New High Pressure Test Separator* dilakukan menggunakan *software* analisis tegangan. Permodelan dilakukan sesuai dengan data spesifikasi material pada tabel 1. Pada gambar 2 berikut merupakan permodelan sistem perpipaan *Inlet New High Pressure Test Separator*.

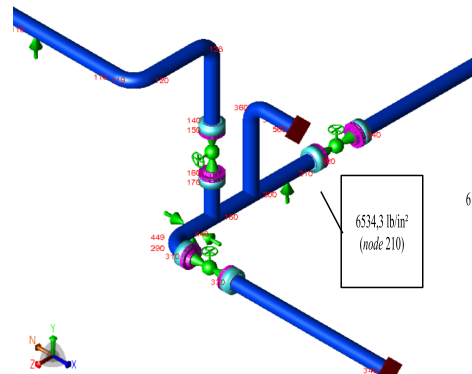


Gambar 1 Permodelan pada *software*

3.5 Tegangan Akiabat Pembebanan Sustain

Setelah dilakukan permodelan kemudian dilakukan analisis tegangan pembebanan *sustain* menggunakan *software* analisis tegangan. Tegangan *sustain load* sendiri merupakan tegangan yang terjadi terutama diakibatkan oleh *internal pressure* dan bobot mati pipa itu sendiri,

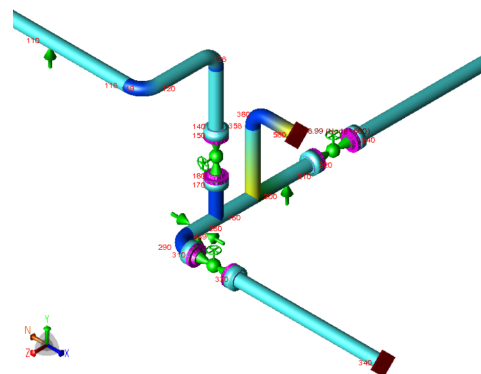
bobot mati ini terdiri dari berat pipa, berat fluida, dan berat insulasi sistem perpipaan. Nilai tegangan terbesar terjadi pada node 210 dengan nilai 6534,3 lb/in² rasion 39,1%. Pada analisis tegangan akibat pembebanan *sustain* nilai tegangan masih berada dibawah maksimal nilai tegangan yang diizinkan.



Gambar 2 Maximum stress due to sustain load

3.6 Tegangan Akiabat Pembebanan Thermal

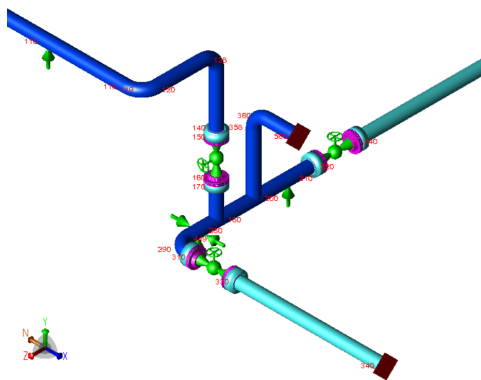
Nilai tegangan akibat pembebanan *thermal* didapatkan dari analisis menggunakan *software* analisis tegangan. Tegangan *thermal load* merupakan tegangan yang dihasilkan oleh perubahan suhu pada material pipa yang dapat menyebabkan pipa mengalami deformasi (pemuaiian atau penyusutan). Nilai tegangan terbesar terjadi pada pipa 6” sch 40 material A312 TP316L node 560 dengan nilai 19349 lb/in² rasion 77,2%. Pada gambar 3 dapat nilai tegangan yang tinggi berada pada area *anchor*. Hal ini disebabkan karena anchor pada pipa dirancang untuk menahan pipa tetap pada tempatnya, sehingga ketika pipa memuai atau menyusut akibat perubahan suhu, titik tumpu menghambat pergerakan ini, mengakibatkan tegangan termal yang tinggi. Pada analisis tegangan akibat pembebanan *thermal* nilai tegangan masih berada dibawah maksimal nilai tegangan yang diizinkan



Gambar 3 Maximum stress due to thermal load

3.7 Tegangan Akiabat Pembebanan Occasional

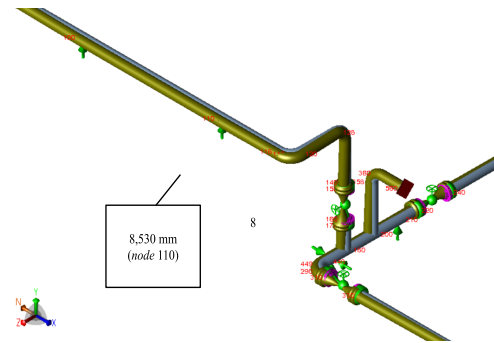
Setelah melakukan analisis tegangan akibat pembebanan thermal, dilakukan analisis pembebanan akibat beban *occasional*. Beban *occasional* yang digunakan merupakan beban angin. Beban ini, terutama pada kecepatan angin yang tinggi, dapat mengakibatkan gaya dinamis yang cukup kuat untuk meningkatkan tegangan pada area tertentu dari sistem perpipaan. Nilai tegangan terbesar terjadi pada node 210 dengan nilai 6698,6 lb/in² rasion 30.2%, dengan pembebanan angin kearah -Z. Pada analisis tegangan akibat pembebanan *occasional* nilai tegangan masih berada dibawah maksimal nilai tegangan yang diizinkan



Gambar 4 Maximum stress due to occasional load

3.8 Analisis Displacement

Setelah dilakukan analisis tegangan pada setiap pembebanan menggunakan *software* analisis tegangan, berikutnya dilakukan analisis *displacement* pada *node* titik letak *pipe support*. Analisis *displacement* dilakukan dilakukan pada pembebanan *thermal*, hal ini dikarenakan pada pembebanan *thermal displacement* yang terjadi lebih tinggi dibandingkan pembebanan lainnya. Pemilihan jenis *support* dapat mempengaruhi besarnya *displacement* pada sistem perpipaan. Pada gambar 5 dengan pemilihan *support* yang hanya ditahan pada arah Y, hal ini mengakibatkan pergeseran yang besar kearah Z dan X yang tidak ditahan oleh *support*. Nilai *displacement* tertinggi pada *node pipe support* terjadi pada *node* 110 kearah Z dengan nilai 8,530 mm.



4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis pada *Inlet New High Pressure Test Separator*, nilai *maximum allowable pipe span* yang digunakan adalah 11,159 m pada pipa material A182, dan 11,326 m pada pipa material A106. Tegangan yang terjadi akibat pembebanan *sustain, thermal, dan occasional* masih berda dibawah maksimal nilai tegangan yang diizinkan bedasarkan ASME B31.3. Nilai tegangan tertinggi terjadi pada pembebanan *thermal*, dengan nilai 19349 lb.in² rasion 77,2%. *Displacement* tertinggi yang terjadi pada sistem perpipaan terjadi pada pembebanan *thermal* dengan nilai 8,530 mm kea rah Z.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya Penulis dapat menyelesaikan jurnal dengan lancar dan tepat waktu
2. Kedua orang tua penulis (Bapak Eko Wahyu Listiono dan Ibu Iis Istikomah) yang selalu mendoakan, memberikan kasih sayang, dukungan dan semangat bagi penulis.
3. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Dr. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T. sebagai Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Bapak Ekky Nur Budiyanto, S.ST., M.T. sebagai Ketua Program Studi Teknik Perpipaan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
6. Bapak Pekik Mahardhika, S.ST., M.T. Sebagai dosen pembimbing I yang telah memberikan banyak ilmu dan pengarahan selama pengerjaan jurnal
7. Ibu Lely Pramesti, S.T., M.T. Sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak ilmu dan pengarahan selama pengerjaan jurnal.
8. Semua rekan-rekan yang telah memberikan bantuan berupa semangat, keceriaan, dan ilmu selama penulisan jurnal.

9. Semua pihak yang telah membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

7. PUSTAKA

- [1] ASME. (2022). ASME B31.3-2016, *Process Piping. The American Society of Mechanical Engineering*: USA.
- [2] Kannappan, S. (1986). *Introduction To Pipe Stress Analysis*. Knoxville: A Willey-Interscience Publication.
- [3] Chamsudi, A. (2005). Diklat : *PIPING STRESS ANALYSIS*. Jakarta: PT. Rekayasa Industri.
- [4] Mahardika, P. (2017). Penentuan *Allowable Span* Antar Penyangga Pipa SLF Berdasarkan Tegangan, Defleksi, Frekuensi Alami. *Jurnal IPTEK*, Vol. 21 No.2,27-34
- [5] Pratama, Vidho, O. P., Husodo, A.W., Tamimah, Ni'matut. (2022). Analisa Tegangan dan Frekuensi Alami pada *Redesign* Sistem Perpipaan *Line Outgoing Crude Oil*. *Conference on Piping Engineering and Its Application*, 7