

Redesain Penambahan *Expansion Loop* Pada *Critical Line* No. PL-606-D-12” Project OO-OX Field Development

Candra Dwi Vahreza^{1*}, Pekik Mahardhika², Mahasin Maulana Ahmad³

PT. Wilmar Nabati, Gresik, Indonesia¹

Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1,2,3}

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

Abstract – In the process line PL-606-D-12” 113 meters long with a diameter of 12 in above the pipe rack with a temperature of 400°F (204,4°C) experienced over stress due to a thermal load of 48661,9 psi due to the long and straight line design. Therefore, a redesign is carried out by adding an expansion loop design with a vertical or three dimensional type which will later be compared from a technical perspective due to stress and economic aspects. The results of the analysis using Pipe Stress Analysis software, the design of the vertical loop and three dimensional loop are still experiencing overstress of 45859,6 psi and 47423,6 psi. Variation of the size of the expansion loop was carried out to maximize the expansion loop design, with variations $W=0,5H$, $W=H$, and $W=2H$. The vertical loop design with dimensional variations capable of withstanding thermal loads is $W=H$ and $W=2H$ with the analysis results of 43205,4 psi and 38569,6 psi. As for the three dimensional loop, the dimensional variation that is able to withstand thermal loads is the $W=2H$ variation with an analysis result of 39683,5 psi. Comparison of the cost analysis was carried out on the vertical loop and three dimensional loop designs with variations in the dimensions $W=2H$. The cost required for a vertical loop design with a variation of dimensions is Rp. 225,663,168.11 while for a three dimensional loop with a variation of dimensions is Rp. 228,659,168.11.

Keyword: Expansion Loop, Thermal Load, Over stress, Redesign, Pipe Stress Analysis.

Nomenclature

OD_{pipe}	Outside Diameter (in)
ID_{pipe}	Inside Diameter (in)
T_{pipe}	Wall Thickness (in)
ρ	Density (lb/in ³)
P	Pressure (psi)
T	Temperature (°F)
ΔL	Thermal Expansion (in)
W_{pipe}	Berat Pipa (lb/in)
W_{fluid}	Berat Fluida (lb/in)
S_h	Allowable Stress (psi)
I	Moment of Inertia (in ⁴)
Z	Modulus of Section (in ³)
L	Panjang Pipa (in)
C	Coefficient Thermal (in/ft)

1. PENDAHULUAN

Salah satu perusahaan pertambangan minyak dan gas bumi di Indonesia melakukan pengembangan lapangan yang berada di daerah Indramayu, Jawa Barat. Pada pengembangan lapangan yang dilakukan terdapat *line process* yang mengalirkan *crude oil* dari *Pipeline* menuju *Slug Catcher Vessel* yang tergolong *critical line* kriteria “C” [2], akibat beban *thermal*. Untuk mengatasi masalah ini perlu dilakukan analisis tegangan berdasarkan ASME B31.3 dengan menggunakan bantuan *software pipe stress analysis*, dan melakukan redesign dengan menambahkan desain *expansion loop* pada jalur perpipaan. Tipe desain *expansion loop* yang dapat digunakan adalah *vertical loop* dan *three*

dimensional loop. Perhitungan fleksibilitas juga perlu dilakukan untuk memastikan bahwa jalur perpipaan tetap fleksibel setelah dilakukan penambahan desain *expansion loop*. Selain itu juga dilakukan variasi dimensi *expansion loop* untuk lebih memaksimalkan fungsi *expansion loop* dalam mereduksi beban *thermal* yang terjadi pada jalur perpipaan dan melakukan perhitungan biaya yang dibutuhkan. Perhitungan biaya yang dilakukan hanya berfokus pada *Material take off* akibat penambahan *expansion loop*.

2. METODOLOGI

2.1 Tegangan Pada Pipa

Tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*shear stress*) [2]. Jenis tegangan yang dapat terjadi pada sistem perpipaan dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Tegangan Longitudinal (S_L) merupakan tegangan yang searah dengan panjang pipa dan merupakan jumlah tegangan yang diakibatkan oleh gaya aksial (*axial stress*), tegangan akibat momen *bending* (*bending stress*), dan tegangan yang diakibatkan oleh tekanan (*pressure stress*) [4]

$$a. \text{ Axial Stress} \\ S_{ax} = \frac{F_{ax}}{A_m} = \frac{P \cdot A}{\pi \cdot d_m \cdot t} = \frac{P \cdot A}{\pi \cdot (d_o^2 - d_i^2)} \quad (1)$$

b. *Bending Stress*

$$S_b = \frac{M_{b,c}}{I} \quad (2)$$

c. *Pressure Stress*

$$S_l = \frac{P A_i}{A_m} \quad (3)$$

2. Tegangan tangensial disebabkan oleh tekanan dalam pipa di mana tekanan ini bersumber dari fluida dan nilainya selalu positif jika tegangan cenderung membelah pipa menjadi dua.

$$S_H = P(r_1^2 + r_1^2 r_0^2 / r^2) / (r_0^2 - r_1^2) \quad (4)$$

3. Tegangan radial merupakan tegangan yang arahnya sama dengan sumbu radial. Tegangan ini berupa tegangan kompresi (negatif) jika ditekan dari dalam pipa akibat tekanan dalam (*pressure gauge*) dan berupa tegangan tarik (positif) jika didalam pipa terjadi tekanan hampa (*vacuum pressure*)

$$S_H = P(r_1^2 + r_1^2 r_0^2 / r^2) / (r_0^2 - r_1^2) \quad (5)$$

2.2 Fleksibilitas Pada Pipa

ASME B31.3 memberikan sebuah rumus sederhana yang dapat digunakan sebagai dasar apakah sebuah kalkulasi formal dari tegangan akibat ekspansi termal pada sistem perpipaan diperlukan atau tidak [1]. Bila ternyata dari hasil perhitungan didapat > K1, maka analisis formal diperlukan, namun bila hasil perhitungan menyatakan ≤ K1, maka tidak diperlukan analisis formal, dan perhitungan tegangan tetap dilakukan namun tidak mendetail.

$$\frac{Dy}{(L-u)^2} \leq K_1 \quad (6)$$

2.3 Expansion Loop

Penggunaan *expansion loop* memiliki berbagai tujuan salah satunya menyediakan kaki perpipaan yang diperlukan dalam arah tegak lurus untuk menyerap ekspansi *thermal* yang dapat menyebabkan jalur perpipaan mengalami *over stress*. Perhitungan dimensi *expansion loop* menggunakan persamaan (7) dengan parameter sebagai berikut:

$$\Delta L = C \times L \times (T_f - T_g) \times 12 \text{ in/ft} \quad (7)$$

Nilai ΔL digunakan untuk menentukan dimensi *expansion loop* berdasarkan *technical data* dari *Thermacore*. Variasi dimensi *expansion loop* dilakukan untuk memaksimalkan fungsi dari *expansion loop* dalam menahan tegangan akibat beban *thermal* [5].

2.4 Tegangan Izin Akibat Pembebanan Ekspansi Thermal.

Stress range reduction factor merupakan faktor batasan tegangan dari tegangan berulang

yang terjadi pada sistem perpipaan yang nilainya tergantung pada jumlah siklus beban yang diterapkan. Nilai *stress range reduction factor* ditunjukkan pada Tabel 2.2 [4].

Tabel 2.1. *Stress Range Reduction Factor (Kannappa, 1986)*

Stress Range Reduction Factor	
Cicles, N	Factor, f
N ≤ 7000	1,0
7000 < N ≤ 14000	0,9
14000 < N ≤ 22000	0,8
22000 < N ≤ 45000	0,7
45000 < N ≤ 100000	0,6
100000 < N ≤ 200000	0,5
200000 < N ≤ 700000	0,4
700000 < N ≤ 2000000	0,3

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Teknis

Data teknis material pipa yang digunakan ditunjukkan pada Table 3.1. dan untuk data fluida dan kondisi desain pada sistem perpipaan ditunjukkan pada Table 3.2.

Tabel 3.1. *Data Material (Perusahaan)*

DATA MATERIAL				
Material Pipa		A106 Grade B		
No.	Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
1	<i>Nominal Pipe Size</i>	NPS	12	in
2	<i>Schedule</i>	SCH	80	-
3	<i>Outside Diameter</i>	OD	12,75	in
4	<i>Inside Diameter</i>	ID	11,375	in
5	<i>Wall Thickness</i>	t	0,688	in

Tabel 3.2. *Data Fluida (Perusahaan)*

DATA FLUIDA				
Jenis Fluida		Crude Oil		
No.	Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
1	Density	ρ	1,74	lb/ft
2	Pressure Design	P	1270	psi
3	Temperature Design	T	400	F

3.2 Analisis Tegangan Desain Existing

Analisis yang dilakukan pada desain *existing* adalah tegangan yang diakibatkan oleh *sustain load* dan juga *thermal load*. Tabel 3.3 menunjukkan hasil analisis tegangan pada desain *existing*.

Tabel 3.3. *Analisis Tegangan Pada Desain Existing (Pribadi)*

Existing Design				
Type Load	Node	Code Stress (psi)	Allowable Stress (psi)	Ket.
<i>Sustain</i>	400	7351,9	19900	<i>Accepted</i>
<i>Thermal</i>	38	48667,3	43747,4	<i>Overstress</i>

Hasil analisis menggunakan bantuan *Software Pipe Stress Analysis* menunjukkan bahwa desain *existing* mengalami *over stress* untuk *expansion loadnya*.

3.3 Dimensi Expansion Loop

Perhitungan dimensi *expansion loop* dilakukan untuk mengetahui ukuran *expansion loop* yang digunakan, baik pada desain *vertical loop* maupun *three dimensional loop*.

Tabel 3.4. Data Perhitungan Dimensi Expansion Loop (Data Pribadi)

DATA PERHITUNGAN DIMENSI EXPANSION LOOP				
No	Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
1	Panjang Pipa	L	19.68221	Ft
2	Outside Diameter	OD	12.75	In
3	Temperatur Fluida	T _f	400	F
4	Temperatur Ground	T _g	78	F
5	koefisien Thermal	C	7.1E-06	in/in/F

Perhitungan dimensi dilakukan dengan menggunakan persamaan (7). Berikut merupakan hasil perhitungan dimensi *expansion loop*.

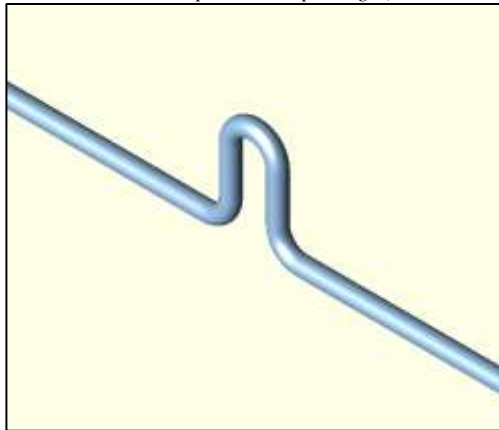
$$\begin{aligned} \Delta L &= C \times L \times (T_f - T_g) \times 12 \\ &= 7.1 \times 10^{-6} \times 19.6822 \times (400 \text{ F} - 78 \text{ F}) \times 12 \\ &= 0.54 \text{ in} \end{aligned}$$

Nilai ΔL yang diketahui kemudian dijadikan acuan untuk mengetahui dimensi *expansion loop* dari Table 2.1. Hasilnya, dimensi *expansion loop* memiliki tinggi *loop* sebesar 6 in dan lebar *loop* sebesar 3 in.

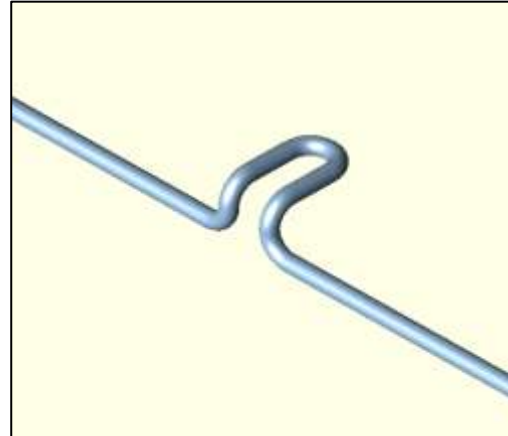
3.4 Pemodelan Expansion Loop

Pemodelan *expansion loop*, dimensi *expansion loop* yang digunakan adalah W=3 in dan H=6 in. Model *expansion loop vertical* dan *three dimensional* ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan pada Gambar 3.2.

Gambar 3.1. Vertical Expansion Loop Design (Data Pribadi)



Gambar 3.2. Three dimensional Loop Design (Data Pribadi)



3.5 Analisa Tegangan Expansion Loop

Hasil analisis tegangan dengan penambahan desain *expansion loop vertical* maupun *three dimensional* ditunjukkan pada Table 3.5 dan Tabel 3.6.

Tabel 3.5. Hasil Analisis Tegangan Vertical Loop (Data Pribadi)

Type Load	Node	Code Stress (psi)	Allowable Stress (psi)	Ket.
Sustain	450	7976,8	19900	Accepted
Thermal	210	45859,6	43512,2	Overstress

Tabel 3.6. Hasil Analisis Tegangan Three dimensional Loop (data Pribadi)

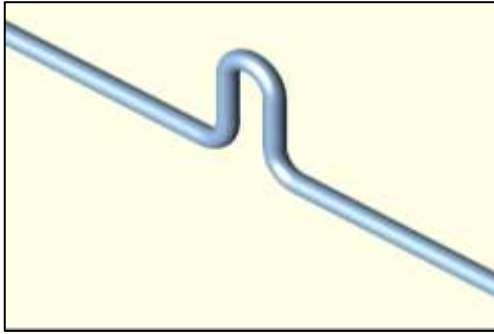
Type Load	Node	Code Stress (psi)	Allowable Stress (psi)	Ket.
Sustain	470	8192,4	19900	Accepted
Thermal	220	47423,6	43532,2	Overstress

Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan *expansion loop* masih kurang optimal untuk mengurangi tegangan akibat beban *thermal*. Karena nilai *stress* yang terjadi masih melebihi nilai *allowablenya*. Oleh karena itu dilakukan variasi dimensi untuk mengoptimalkan fungsi dari *expansion loop*. Variasi dimensi yang dilakukan adalah mengubah nilai W yang digunakan menjadi 3 variasi, yaitu W=0,5, W=H, dan W=2H.

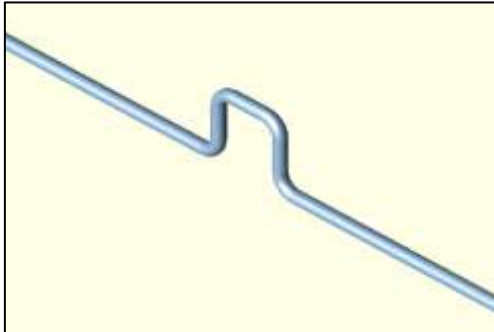
3.6 Pemodelan Dan Analisis Tegangan Expansion Loop Dengan Variasi Dimensi.

Pemodelan *expansion loop* dengan variasi dimensi terhadap nilai W ditunjukkan pada Gambar 3.3 sampai dengan Gambar 3.8.

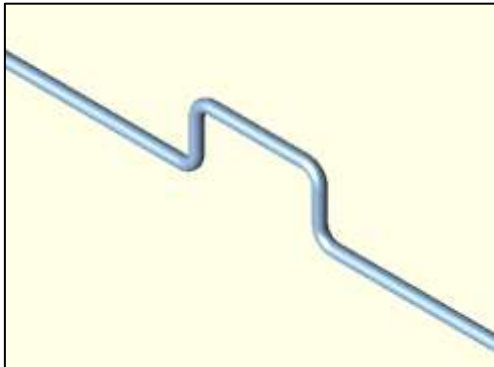
Gambar 3.3. Vertical Loop Variasi Dimensi $W=0,5H$ (Data Pribadi)



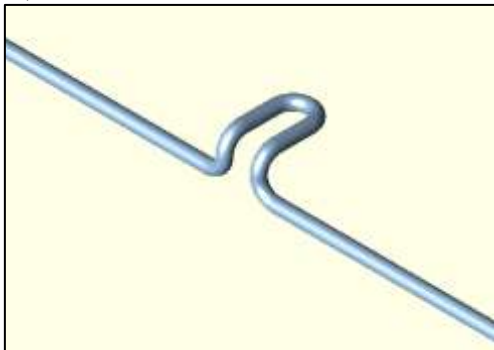
Gambar 3.4. Vertical Loop Variasi Dimensi $W=H$ (Data Pribadi)



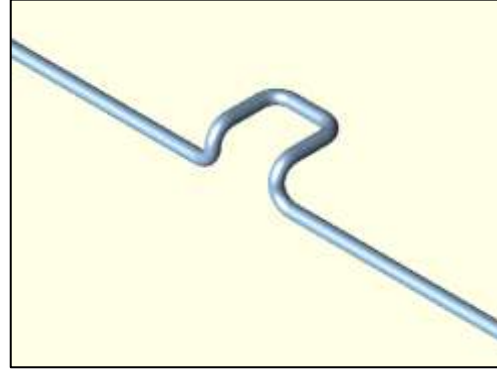
Gambar 3.5. Vertical Loop Variasi Dimensi $W=2H$ (Data Pribadi)



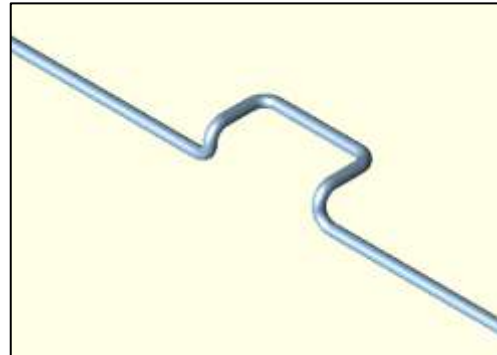
Gambar 3.6. Three dimensional Loop Variasi Dimensi $W=0,5H$



Gambar 3.7. Three dimensional Loop Variasi Dimensi $W=H$



Gambar 3.8. Three dimensional Loop Variasi Dimensi $W=2H$ (Data Pribadi)



Tabel 3.7 sampai dengan Tabel 3.10 merupakan table hasil analisis tegangan akibat *sustain load* dan *thermal load* dengan menggunakan bantuan *software pipe stress analysis*.

Tabel 3.7. Sustain Load Pada Vertical Loop Dengan Variasi Dimensi (Data Pribadi)

Type	Variasi	Node	Code Stress Sustain (psi)	Allowable Stress Sustain (psi)	Ket.
Vertical	W=0,5H	450	7976,8	19900	Accepted
	W=H	450	7976,8	19900	Accepted
	W=2H	450	7976,8	19900	Accepted

Tabel 3.8. Thermal Load Pada Vertical Loop Dengan Variasi Dimensi (Data Pribadi)

Type	Variasi	Node	Code Stress Thermal (psi)	Allowable Stress Thermal (psi)	Ket.
Vertical	W=0,5H	210	45864,2	43512,2	Reject
	W=H	210	43205,4	43541,6	Accepted
	W=2H	210	38569,6	43634,7	Accepted

Tabel 3.9. Sustain Load Pada Three dimensional Loop Dengan Variasi Dimensi (Data Pribadi)

Type	Variasi	Node	Code Stress Sustain (psi)	Allowable Stress Sustain (psi)	Ket.
3D	W=0,5H	470	8193,2	19900	Accepted
	W=H	470	8195,8	19900	Accepted
	W=2H	360	8226,3	19900	Accepted

Tabel 3.10. Thermal Load Pada Three dimensional Loop Dengan Variasi Dimensi (Data Pribadi)

Type	Variasi	Node	Code Stress Thermal (psi)	Allowable Stress Thermal (psi)	Ket.
3D	W=0,5H	220	46980.9	43531.8	Reject
	W=H	220	44295.2	43572.4	Reject
	W=2H	220	39683.5	43671.4	Accepted

Hasil analisis dengan bantuan *software pipe stress analysis* menunjukkan bahwa tegangan yang diakibatkan oleh *sustain load* dapat dikatakan aman karena tegangan yang terjadi tidak melebihi nilai *allowable stress*. Sedangkan untuk tegangan yang diakibatkan oleh *thermal load*, dari desain *vertical loop* terdapat 2 variasi dimensi yang dapat menahan tegangan yang terjadi akibat *thermal load* yaitu variasi W=H dan W=2H. Dan untuk desain *three dimensional loop*, hanya variasi dimensi W=2H saja yang mampu menahan tegangan akibat *thermal load*.

3.7 Fleksibilitas Pipa

Perhitungan fleksibilitas pipa dengan penambahan desain *expansion loop* tipe *vertical* dan *three dimensional* dilakukan dengan menggunakan persamaan (6).

Tabel 3.11. Perhitungan Fleksibilitas (Data Pribadi)

Vertical Expansion Loop	Three dimensional Expanssion Loop
$\frac{D \times y}{(L - U)^2} \leq K1$	$\frac{D \times y}{(L - U)^2} \leq K1$
$\frac{12,75 \times 9,724}{(436,60 - 347,293)^2} \leq 0,033$	$\frac{12,75 \times 9,755}{(442,60 - 348,403)^2} \leq 0,033$
0,01554 \leq 0,033	0,01402 \leq 0,033

Hasil perhitungan fleksibilitas pipa dengan penambahan desain *vertical* dan *three dimensional loop* menunjukkan bahwa jalur perpipaan masih fleksibel. Karena nilai fleksibilitasnya masi dibawah nilai K1.

3.8 Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan rencana anggaran biaya dilakukan untuk mengetahui kebutuhan biaya dalam penambahan *expansion loop*. Perhitungan rencana anggaran biaya hanya dilakukan berdasarkan *Material Take Off* saja.

Rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk penambahan *expansion loop* tipe *vertical* sebesar Rp. 225,663,168.11 dan untuk *three dimensional loop* sebesar Rp. 228,659,168.11.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem perpipaan dengan desain *existing* tidak dapat menahan tegangan yang diakibatkan oleh beban *thermal*. Hal ini dikarenakan desain tersebut tidak memiliki media untuk menyerap atau mereduksi ekspansi *thermal* yang terjadi.
2. Desain *expansion loop vertical* dan *three dimensional* yang ditambahkan belum mampu mengurangi tegangan yang terjadi. Oleh karena itu dilakukan variasi dimensi terhadap *expansion loop*
3. Desain *expansion loop* dengan penambahan variasi dimensi yang mampu menahan tegangan akibat beban *thermal* adalah tipe *vertical loop* dengan variasi dimensi W=H dan W=2H, sedangkan untuk tipe *three dimensional loop* adalah dengan variasi dimensi W=2H saja. Hal ini dikarenakan ketiga desain tersebut memiliki nilai tegangan yang terjadi akibat *thermal load* dibawah nilai *allowable stress*.
4. Desain *expansnion loop* tipe *vertical* dan *three dimensional loop* masih fleksibel. Karena nilai fleksibilitas yang dimiliki masih dibawah nilai K1 berdasarkan ASME B31.3.
5. Anggaran biaya yang dibutuhkan untuk penambahan *expansion loop* tipe *vertical* lebih sedikit dibandingkan tipe *three dimensional*. Hal ini dikarenakan terdapat selisih dari jumlah *elbow* yang digunakan untuk penambahan *expansion loop*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASME, (2020). *ASME B31.3 PROCESS PIPING*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- [2] Chamsudi, A., (2005). *Diklat - Piping Stress Analysis*. Jakarta: PT. Rekayasa Industri.
- [3] Hasan, M., Santoso, E. & Mahardhika, P., (2017). *DESAIN EXPANSION LOOP PADA LINE 116SV203-150-16H20 FATY ACID DESTILATION PT.WILMAR NABATI INDONESIA*. Surabaya: Kumpulan Jurnal dan Prosiding Elekttronik PPNS.
- [4] Kannappa, S., (1986). *INTRODUCTION TO PIPE STRESS ANALYSIS*. New York: A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION.
- [5] Pujiyanto, Yudoo, H. & Sisworo, S. J., (2021). *Desain dan Analisa Kekuatan Pipa Expansion Loops dengan Variasi Ukuran Loop dan Bentuk Loop*. 9 ed. Semarang: Jurnal Teknik Perkapalan.