

Analisis Tegangan dan Frekuensi Alami pada Penambahan *Line Suction* dan *Discharge Centrifugal Pump P-004 GS2*

M Arief Irkhamni Ramadhan^{1*}, Adi Wirawan Husodo², Eko Julianto³

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

Email: arief.irkhamni@student.ppns.ac.id²; adi_wirawan@ppns.ac.id²; eko_julianto@ppns.ac.id²;

Abstract - The addition of a new pump at the GS2 crude oil production facility, Northern Area ONWJ (Zone 10), requires static and dynamic analysis of the pump's suction and discharge lines using stress analysis software, as these lines are classified as critical. This study includes calculations of allowable pipe span, cut-off frequency, natural frequency, pipe stress, displacement, and nozzle load. Allowable pipe span calculations are based on stress and deflection limits, while cut-off frequency values are used as inputs for modal analysis to determine the natural frequency of the piping system. Stress analysis is performed for sustained, thermal expansion, and occasional loads according to ASME B31.3 limits. Displacement analysis adheres to company limits, with a maximum allowable displacement of 19 mm. Nozzle load analysis is conducted per API 610 limits. Initial results indicate that the natural frequency of the piping system is below the company's minimum requirement of 5 Hz, with values of 2,467 Hz for the suction line and 0,788 Hz for the discharge line. Repositioning of supports is required, and after adjustments, the natural frequency, pipe stress, displacement, and pump nozzle load meet specified limits. The piping system design after support repositioning is deemed safe for operation.

Keyword: Pipe span, Cut-off frequency, Natural frequency, Stress analysis, Nozzle load.

Nomenclature

Δ	Allowable deflection (in)
E	Modulus of elasticity (psi)
f	Stress range reduction factor
f_{cutoff}	Frekuensi cut-off (Hz)
g	Percepatan gravitasi (in/s ²)
I	Area momet of inertia of pipe (in ⁴)
L	Panjang pipa (ft)
L_{opt}	Mass point per span
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

Salah satu perusahaan usaha hulu yang bergerak di bidang minyak dan gas bumi bermaksud untuk menambahkan instalasi pompa

baru pada fasilitas produksi minyak mentah di lokasi GS2 pada Area Utara ONWJ (Zona 10) dengan pompa P-004 dan letak yang berbeda. Sistem perpipaan *line suction* dan *discharge* pompa P-004 termasuk kategori *critical line* dikarenakan terhubung dengan *rotating equipment* sehingga perlu dilakukan analisis statis dan dinamis [4].

Penempatan ulang *support* juga sangat penting dalam melakukan analisis. Dalam melakukan desain penempatan ulang *support* perlu dilakukan perhitungan *maximum allowable pipe span* berdasarkan *limitation of stress* dan *limitation of deflection* untuk mendapatkan desain *support* yang optimal [5].

Sebelum melakukan analisis dinamis untuk mendapatkan nilai frekuensi alami dengan metode modal analisis, maka hal pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan besarnya frekuensi *cut-off* untuk mendapatkan hasil yang akurat [6] [7]. Setelah itu, akan dilakukan analisis nilai frekuensi alami dengan menggunakan metode modal analisis pada *software stress analysis* yang dikutip dari penelitian sebelumnya [8] [9] [11].

Analisis tegangan pipa juga perlu dilakukan untuk memastikan nilai tegangan pada pipa sesuai dengan batasan izin yang ditentukan [2]. Untuk analisis beban *nozzle* harus dipastikan bahwa nilai beban *nozzle* tidak melebihi batasan izin beban *nozzle* yang telah ditentukan dan

analisis beban *nozzle* ini dikutip dari penelitian sebelumnya [1] [10] [11].

Pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan *maximum allowable pipe span* berdasarkan *limitation of stress* dan *limitation of deflection*, perhitungan frekuensi *cut-off*, analisis frekuensi alami, analisis tegangan pada pipa akibat beban *sustained*, *thermal expansion*, dan *occasional*, analisis *displacement support*, dan analisis beban *nozzle* pada pompa P-004 dengan menggunakan *software stress analysis*.

2. METODOLOGI .

2.1 Prosedur Penelitian

Sistem perpipaan *line* PL-0156-A-8” dan *line* PL-0156-A-4” merupakan *line suction header* dan *line discharge header* yang terhubung dengan *line suction* dan *discharge* pompa baru yaitu pompa P-004. Desain perpipaan tersebut menggunakan pipa dengan diameter 8 inchi untuk *line suction* dan 4 inchi untuk *line discharge* dengan *schedule* STD material A106 Gr. B, serta desain temperatur 200 F dan desain *pressure* 260 psig. Analisis dan perhitungan yang dilakukan meliputi perhitungan *allowable pipe span*, perhitungan frekuensi *cut-off*, analisis frekuensi alami, analisis tegangan pada pipa, analisis *displacement support*, dan analisis beban *nozzle* pada pompa P-004.

2.2 Allowable Pipe Span

Perhitungan *allowable pipe span* digunakan untuk menentukan jarak antar *support*. Perhitungan *allowable pipe span* akan dilakukan berdasarkan *limitation of stress* dan *limitation of deflection* [5].

Limitation of stress

$$L_s = \frac{\sqrt{0,4 \cdot Z \cdot S_h}}{w} \quad (1)$$

(1)

Limitation of deflection

$$L_d = \frac{\sqrt[4]{\Delta \cdot E \cdot I}}{13,5 \cdot w} \quad (2)$$

(2)

Persamaan (1) dan (2) menunjukkan persamaan perhitungan *allowable pipe span* berdasarkan *limitation of stress* dan *limitation of deflection*.

2.3 Frekuensi Cut-off

Metode modal analisis perlu dilakukan langkah awal yang harus ditentukan yaitu menentukan besarnya frekuensi yang dapat dilewatkan atau frekuensi *cut-off*. Persamaan (3) merupakan perhitungan frekuensi *cut-off* [7].

$$f_{cutoff} = \sqrt{(E/\rho)/L} \quad (3)$$

Persamaan (3) menunjukkan persamaan perhitungan frekuensi *cut-off*. Dari nilai frekuensi *cut-off* dapat ditentukan nilai *mass point per span* yang merupakan jarak distribusi

massa antar titik pada beban dinamis atau jumlah maksimal *mode*. Persamaan (4) merupakan perhitungan *mass point per span* [7].

$$L_{opt} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi^4 \cdot E \cdot I \cdot g}{2 \cdot f \cdot w}} \quad (4)$$

2.4 Frekuensi Alami

Menentukan nilai frekuensi alami sistem perpipaan merupakan hal penting dalam menentukan *pipe support* guna menghindari getaran yang merugikan. Nilai Frekuensi alami dapat ditentukan dengan menggunakan perhitungan manual dan *software stress analysis* dengan metode modal analisis. Penentuan nilai minimum frekuensi alami menggunakan acuan standar perusahaan yaitu 5 Hz.

2.5 Tegangan pada Pipa

Analisis tegangan pada pipa meliputi tegangan akibat beban *sustained*, *thermal expansion*, dan *occasional*. Analisis tegangan pada sistem perpipaan ini menggunakan *software stress analysis*. Nilai tegangan tidak boleh melebihi kriteria berdasarkan ASME B31.3.

2.5.1 Tegangan Akibat Beban Sustained

Beban *sustained* merupakan jenis beban yang dialami oleh sistem perpipaan secara terus menerus. Beban ini merupakan kombinasi antara tekanan internal fluida yang dialirkan dan beban berat pipa. Menurut ASME B31,3, beban sustain dapat dihitung dengan menggunakan nilai dari tegangan aksial (*axial stress*), tegangan tekuk (*bending stress*), dan tegangan puntir (*torsional stress*). Perhitungan tegangan akibat beban *sustained* dapat dilihat pada persamaan (5) [2].

$$S_L = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2} \quad (5)$$

2.5.2 Tegangan Akibat Beban Thermal Expansion

Berdasarkan ASME B31.3 pembebanan akibat ekspansi termal tidak boleh lebih dari tegangan izin material yang dapat dihitung menggunakan beberapa nilai yaitu nilai dari *Stress range reduction factor*, *Stress at minimum metal temperature*, dan *Stress at maximum metal temperature* menggunakan persamaan (6) [2].

$$S_A = f (1,25 S_c + 0,25 S_h) \quad (6)$$

2.5.3 Tegangan Akibat Beban Occasional

Berdasarkan ASME B31.3 pada ketentuan 302.2.4 menyebutkan bahwa jumlah tegangan *longitudinal* yang disebabkan oleh tekanan, berat, dan pembebanan *sustained* yang lain dan tegangan yang dihasilkan karena beban *occasional* seperti angin atau gempa bumi tidak melebihi 1,33 kali *basic allowable stress* (S_h). Nilai tegangan izin untuk beban *occasional* ditentukan persamaan (7) [2].

$$S \text{ due to occasional load} \leq 1,33 S_h \tag{7}$$

2.6 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 19 mm pada semua kondisi pengoperasian untuk memastikan tidak terjadi benturan antara pipa.

2.7 Beban Nozzle pada Pompa

Ambang batas beban untuk nozzle rotating equipment seperti pompa diatur dalam standar API 610. Kegagalan yang terjadi pada pompa harus dihindari agar tidak terjadi kerusakan pada nozzle rotating equipment [1].

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Allowable pipe span

Perhitungan allowable pipe span mengasumsikan pipa sebagai simply supported beam with both ends fixed, berikut contoh pada line suction untuk pengerjaan perhitungan allowable pipe span berdasarkan limitation of stress dan limitation of deflection dengan menggunakan persamaan (1) dan (2).

$$\begin{aligned} \text{Berat pipa} &= \frac{\pi (OD^2 - ID^2) \cdot \rho_{\text{pipe}} \cdot 12}{4} \\ &= \frac{\pi (8,625^2 - 7,981^2) \cdot 0,284 \cdot 12}{4} \\ &= 28,625 \text{ lb/ft} \\ \text{Berat fluida} &= \frac{\pi \cdot ID^2 \cdot \rho_{\text{fluida}} \cdot 12}{4} \\ &= \frac{\pi \cdot 7,981^2 \cdot 0,03179 \cdot 12}{4} \\ &= 19,084 \text{ lb/ft} \\ \text{Berat total} &= \text{Berat pipa} + \text{Berat fluida} \\ &= 28,625 + 19,084 \\ &= 47,709 \text{ lb/ft} \end{aligned}$$

Limitation of stress

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{\sqrt{0,4 \cdot Z \cdot S_h}}{w} \\ &= \frac{\sqrt{0,4 \cdot 16,8 \cdot 20000}}{47,709} \\ &= 53,076 \text{ ft} \end{aligned}$$

Limitation of deflection

$$\begin{aligned} L_d &= \frac{\sqrt[3]{\Delta \cdot E \cdot I}}{13,5 \cdot w} \\ &= \frac{\sqrt[3]{0,4 \cdot 28800000 \cdot 72,5}}{13,5 \cdot 47,709} \\ &= 37,728 \text{ ft} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan allowable pipe span berdasarkan limitation of stress dan limitation of deflection pada line suction dan discharge dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Allowable Pipe Span

Allowable pipe span	Line	Line
	Suction	Discharge

Limitation of stress (ft)	53,076	40,478
Limitation of deflection (ft)	37,728	28,004

Tabel 2. Hasil Perhitungan Frekuensi Cut-off dan Mass Point per Span

Perhitungan	Line	Line
	Suction	Discharge
	Frekuensi cut-off (Hz)	42
Mass point per span	26	19

3.2 Perhitungan Frekuensi Cut-off

Nilai frekuensi cut-off digunakan untuk kebutuhan metode modal analisis pada Software Stress Analysis. Berikut contoh pengerjaan perhitungan frekuensi cut-off pada line suction dengan menggunakan persamaan (3).

$$\begin{aligned} f_{\text{cutoff}} &= \sqrt{(28800000/0,284)/1436,97} \\ &= 265,652 \text{ rad/sec} \\ &= 42 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Dari nilai frekuensi cut-off tersebut, maka dapat ditentukan nilai mass point per span. Berikut contoh pengerjaan perhitungan mass point per span pada line suction dengan menggunakan persamaan (4).

$$\begin{aligned} L_{\text{opt}} &= \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \sqrt[4]{E \cdot I \cdot g}}{2 \cdot f \cdot w}} \\ L_{\text{opt}} &= \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \sqrt[4]{28800000 \cdot 72,5 \cdot 386,2}}{2 \cdot 42 \cdot 3,976}} \\ &= 26 \end{aligned}$$

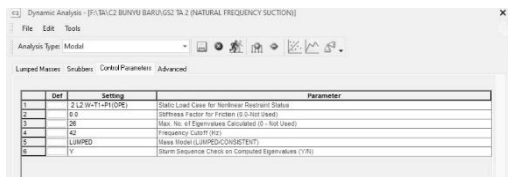
Hasil perhitungan frekuensi cut-off dan mass point per span pada line suction dan discharge dapat dilihat pada Tabel 2.

3.3 Frekuensi Alami

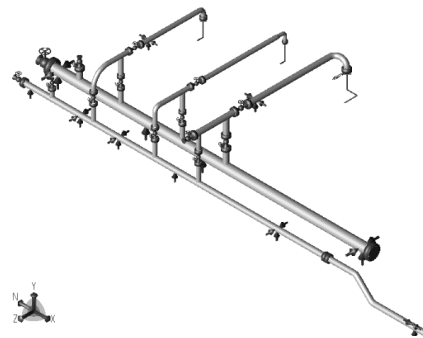
Nilai frekuensi alami didapat dengan menggunakan metode modal analisis berdasarkan perhitungan software stress analysis. Penentuan nilai minimum frekuensi alami menggunakan acuan standar perusahaan yaitu 5 Hz. Nilai frekuensi cut-off dan mass point per span diinput pada modal analisis. Pada gambar 1 (a) dan (b) menampilkan input modal analisis pada line suction dan discharge.

Hasil analisis nilai frekuensi alami dengan menggunakan software stress analysis pada line suction dan discharge desain awal dapat dilihat pada Tabel 3.

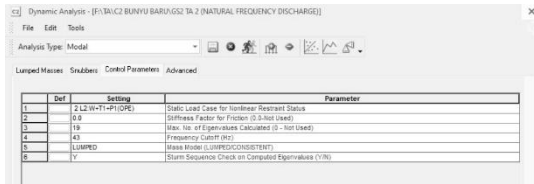
Dari hasil analisis (Tabel 3) dapat dilihat bahwa nilai modus awal frekuensi alami yang merupakan nilai minimum frekuensi alami didapatkan nilai terkecil yaitu 2,467 Hz untuk line suction dan 0,788 Hz untuk line discharge sehingga nilai tersebut masih belum sesuai dengan batasan standar perusahaan. Maka dari itu, perlu dilakukan penempatan ulang letak dan jenis support yang digunakan untuk memastikan nilai frekuensi alami pada desain sistem perpipaan sesuai dengan batasan standar perusahaan.



Gambar 1(a). Input Modal Analisis Line Suction



Gambar 2(b). Pemodelan Desain New Support Line Discharge



Gambar 1(b). Input Modal Analisis Line Discharge

Tabel 3. Nilai Frekuensi Alami Desain Awal

Nilai Minimum Frekuensi Alami	Line Suction	Line Discharge
Frequency(Hz)	0,495	0,788
Frequency(rad/s)	3,109	4,954
Period(s)	2,021	1,268

Tabel 4. Nilai Frekuensi Alami New Support

Nilai Minimum Frekuensi Alami	Line Suction	Line Discharge
Frequency(Hz)	5,421	5,871
Frequency(rad/s)	34,060	36,890
Period(s)	0,184	0,170

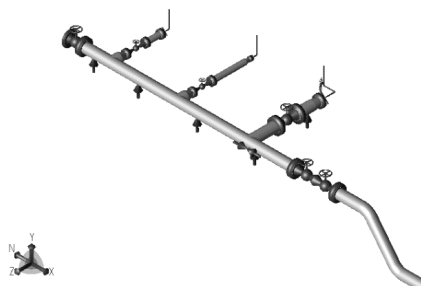
3.4 Pemodelan Desain New Support

Pemodelan desain *new support* pada *line suction* dan *discharge* pompa P-004 ini bertujuan untuk mendapatkan letak dan jenis *support* yang paling optimal. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan desain sistem perpipaan dengan nilai telah memenuhi batasan izin yang telah ditentukan. Pada gambar 2 (a) dan (b) menampilkan pemodelan sistem perpipaan yang telah dilakukan penempatan ulang *support*.

3.5 Frekuensi Alami New Support

Nilai frekuensi alami pada *line suction* dan *discharge* desain *new support* dapat dilihat pada Tabel 4.

Dari hasil analisis dapat dilihat bahwa nilai modus awal frekuensi alami yang merupakan nilai minimum frekuensi alami didapatkan nilai terkecil yaitu 5,421 Hz untuk *line suction* dan 5,871 Hz untuk *line discharge* sehingga nilai tersebut masih telah sesuai dengan batasan standar perusahaan. Maka dari itu, nilai frekuensi alami pada desain sistem perpipaan dengan *new support* telah aman.



Gambar 2(a). Pemodelan Desain New Support Line Suction

Tabel 5(a). Nilai Tegangan Line Suction New Support

No	Load Case	Code	Allowable	Status
		Stress (lb/in ²)	Stress (lb/in ²)	
1	L5(SUS) W+P1	2980,4	20000	Passed
2	L19(EXP) L2-L5	26893,2	47703,6	Passed
3	L11(OCC) L7-L2	191,9	26600	Passed

Tabel 5(b). Nilai Tegangan Line Discharge New Support

No	Load Case	Code	Allowable	Status
		Stress (lb/in ²)	Stress (lb/in ²)	
1	L5(SUS) W+P1	2854,2	20000	Passed
2	L19(EXP) L2-L5	10990	49132	Passed
3	L11(OCC) L7-L2	437,6	26600	Passed

3.6 Tegangan pada Pipa New Support

Analisis tegangan pada sistem perpipaan desain *new support* dilakukan dengan menggunakan *software stress analysis* meliputi tegangan pada beban *sustained*, *thermal expansion*, dan *occasional*. Hasil analisis tegangan pada *line suction* dan *discharge* dengan menggunakan *software* dapat dilihat pada Tabel 5 (a) dan (b).

Dari hasil analisis dapat dilihat bahwa nilai tegangan akibat beban *sustained*, *thermal expansion*, dan *occasional* pada desain *new support* telah memenuhi batasan izin tegangan ASME B31.3.

3.7 Displacement pada Pipa New Support

Analisis *displacement support* dilakukan dengan menggunakan *software stress analysis*. Nilai maksimum *displacement* mengacu pada batasan yang terdapat pada standar perusahaan, dimana nilai *displacement* pada setiap *support* adalah 19 mm. Nilai *displacement* pada *line*

suction dan discharge desain new support dapat dilihat pada Tabel 6.

Dari hasil analisis dapat dilihat bahwa displacement ketiga pembebanan terdapat pada pembebanan thermal expansion. Nilai displacement terbesar pada line suction terdapat pada node 6098 dengan nilai 18,505 mm pada arah sumbu (+X), sedangkan pada line discharge nilai displacement terbesar terdapat pada node 5027 dengan nilai 9,754 mm pada arah sumbu (+X). Maka dari itu, nilai displacement pada desain new support telah sesuai dengan batasan izin standar perusahaan.

Tabel 6. Nilai Displacement New Support

Line	Load Case	Node	Displacement	Status
Suction	L5(SUS)	6110	-1,012	Passed
	L19(EXP)	6098	18,505	Passed
	L11(OCC)	6080	0,063	Passed
Discharge	L5(SUS)	1070	0,173	Passed
	L19(EXP)	5027	9,754	Passed
	L11(OCC)	1171	0,224	Passed

Tabel 7(a). Nilai Beban Nozzle Suction Pompa New Support

Load Case	Global Force	Allowable	Value (lb-ft.l bf)	Status
Design Temperature	Fx	700	-467	Passed
	Fy	560	274	Passed
	Fz	460	203	Passed
	Mx	1700	281,2	Passed
	My	870	-46,4	Passed
	Mz	1300	-869,2	Passed
Operating Temperature	Fx	700	-618	Passed
	Fy	560	119	Passed
	Fz	460	113	Passed
	Mx	1700	-55,9	Passed
	My	870	-30,1	Passed
	Mz	1300	-343,3	Passed
Sistem Pengoperasian	Fx	700	-513	Passed
	Fy	560	141	Passed
	Fz	460	114	Passed
	Mx	1700	-55,9	Passed
	My	870	-30,1	Passed
	Mz	1300	-374,8	Passed
Overall Pump Status				Passed

Tabel 7(b). Nilai Beban Nozzle Discharge Pompa New Support

Load Case	Global Force	Allowable	Value (lb-ft.l bf)	Status
Design Temperature	Fx	400	-61	Passed
	Fy	320	36	Passed
	Fz	260	-218	Passed
	Mx	980	-164,2	Passed
	My	500	-196,3	Passed
	Mz	740	-5,2	Passed
Operating Temperature	Fx	400	-82	Passed
	Fy	320	37	Passed
	Fz	260	-162	Passed
	Mx	980	-66,1	Passed
	My	500	-113,6	Passed
	Mz	740	3,9	Passed
Sistem Pengoperasian	Fx	400	-83	Passed
	Fy	320	41	Passed
	Fz	260	200	Passed
	Mx	980	-91,7	Passed
	My	500	-138,5	Passed
	Mz	740	2,8	Passed

Overall Pump Status	Passed
---------------------	--------

3.8 Beban Nozzle pada Pompa New Support

Perhitungan beban nozzle pada pompa berdasarkan API 610 menggunakan software stress analysis. Pada penelitian ini, akan dilakukan analisis pada 3 load case yang meliputi design temperature, operating temperature dan sistem pengoperasian yang dimana 2 pompa dalam keadaan aktif dan 1 pompa dalam keadaan stand-by. Nilai beban nozzle pada suction dan discharge pompa P-004 dengan new support dapat dilihat pada Tabel 7 (a) dan (b).

Hasil analisis beban nozzle pompa dengan menggunakan software stress analysis menunjukkan nilai beban nozzle pompa P-004 pada kondisi design temperature, operating temperature dan sistem pengoperasian telah memenuhi beban yang diizinkan oleh standar API 610. Hal tersebut dikarenakan support yang digunakan dapat menahan pergerakan yang terjadi pada nozzle pompa. Maka dari itu, penempatan ulang dan pemilihan tipe support yang digunakan sudah optimal untuk memastikan sistem perpipaan dan beban nozzle aman.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan pada desain awal nilai frekuensi alami masih belum memenuhi batasan izin standar perusahaan. Maka dari itu, perlu dilakukan penempatan ulang letak dan jensi support untuk memastikan nilai frekuensi alami tersebut aman. Setelah dilakukan penempatan ulang support, desain new support menunjukkan nilai frekuensi alami, tegangan pada pipa, displacement support, beban nozzle pompa sudah memenuhi batasan izin dari standar yang digunakan dan sistem perpipaan dengan desain new support dapat dinyatakan aman.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] API 610. (2010). *Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries*. Washington, DC: API Publishing Services.
- [2] ASME B31.3. (2019). *ASME B31.3-2018 (Revision of ASME B31.3-2016), Process Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31*. New York, U.S.A.
- [3] Chamsudi. (2005). *Diktat : PIPING STRESS ANALYSIS*. Jakarta: PT. Rekayasa Industri.
- [4] DNV-RP-D101. (2008). *Structural Analysis of Piping Systems*.Havik, Norway.
- [5] Kannappan, S. (1985). *Introduction To Pipe Stress Analysis*. Knoxville: A Wiley-Interscience Publication.

- [6] Lundin, B., & Martensson, P. (2006). *Finding General Guidelines For Choosing Appropriate Cut-Off Frequencies For Modal Analyses of Railway Bridges Trafficked by High-Speed Trains*. Lund, Sweden: Media-Tryck.
- [7] Mahardhika, P. (2018). *Penerapan Metode Time History Untuk Fenomena Water Hammer*. Jurnal Teknologi Maritim.
- [8] Pratama, V. O., Wirawan, A., Tamimah, N., (2022). *Analisa Tegangan, Frekuensi Alami dan Flange Leakage Pada Redesign Sistem Perpipaan Line Outgoing Crude Oil Pada Platform PAPA*. Surabaya.
- [9] Pratiwi, D. A., Mahardhika, P., Wirawan, A., (2020). *Analisa Tegangan dan Frekuensi Alami Pada Jalur Perpipaan Discharge Compressor PC-94-302A/ 302B/ 302C/ 302D di Stasiun Pengumpul Gas Pakugajah*. Surabaya.
- [10] Tauladhan, G. (2021). *Analisis Desain Pipa GRP Pada Line Discharge UF Backwash Pump Dengan Vertika Loop (Studi Kasus Unit Pengolahan Water Treatment PLTU Unit 2 – 1 X 1000 MW Cirebon)*. Surabaya.
- [11] Vadilla, V., Wirawan, A., Mahardhika, P. (2019). *Analisa Tegangan, Frekuensi Alami Pada Pipa Line 1160TH202-200-40C10 di Plant Fatty Acid Fractionation Upgrade*. Surabaya.