

ANALISIS TEGANGAN DAN FLEKSIBILITAS PIPA PADA AREA RUANG POMPA HIDRAN POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Pekik Mahardhika*, Adi Wirawan Husodo, Ni'matut Tamimah, Ekky Nur Budiyanto, M. Ellang Naufal, Hafizh Akbar Alam

¹Teknik Perpipaan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia, 60111

*Correspondence: pekikmahardhika@ppns.ac.id

Abstrak

Hidran merupakan salah satu sistem pemadam kebakaran. Di dalam proses distribusi air pada sistem pemadam kebakaran hidran menggunakan perpipaan. Sistem perpipaan hidran merupakan jalur perpipaan yang sangat penting dalam penanggulangan terjadinya kebakaran, sehingga harus berfungsi dengan baik tanpa ada kendala. Sistem perpipaan hidran pada makalah ini merupakan kasus sistem perpipaan hidran halaman yang ada di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Hasil inspeksi secara visual pada jalur perpipaan hidran terdapat jalur perpipaan yang mengalami kerusakan. Jalur pipa tersebut terdapat pada area ruang pompa. Menurut DNV D101 bahwa sistem perpipaan tersebut merupakan jalur kritis. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap tegangan dan fleksibilitas pipa pada area ruang pompa. Jalur pipa sekitar pompa yang akan dianalisis dari line number 01-101-A53-4" dan 01-101-A53-3" sampai line number 02-101-A53-6". Tujuan dari penelitian ini untuk memastikan apakah jalur perpipaan sekitar pompa hidran yang mengalami kerusakan akibat aspek tegangan dan fleksibilitas. Dari hasil pemodelan dan simulasi menunjukkan bahwa dari aspek tegangan yang terjadi pada pipa masih memenuhi kriteria ASME B31.3 tetapi dari aspek fleksibilitas menunjukkan bahwa pipa mengalami kerusakan karena terjadi pergerakan dan rotasi pada jalur 01-102-A53-2".

Kata Kunci: Fleksibilitas; Hidran; Pipa; Pompa; Tegangan

Abstract

Hydrant is a fire fighting system. In the process of distributing water in the hydrant fire extinguishing system using piping. The hydrant piping system is a very important piping line in fire prevention, so it must function properly without any problems. The hydrant piping system in this paper is a case of the yard hydrant piping system at the Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. The results of visual inspection on the hydrant piping show that the line pipe is damaged. The line pipe is located in the pump room area. According to DNV D101 that the piping system is a critical line. In this research, an analysis of the stress and flexibility of the pipe in the pump room area will be carried out. Piping around the pump to be analyzed from line numbers 01-101-A53-4" and 01-101-A53-3" to line numbers 02-101-A53-6". The purpose of this research is to determine whether the line pipe around the hydrant pump is damaged due to stress and flexibility aspects. From the modeling and simulation results, it shows that from the aspect of stress that occurs in the pipe it still meets ASME B31.3 criteria, but from the aspect of flexibility it shows that the pipe is damaged due to displacement and rotation on line 01-102-A53-2".

Keywords: Flexibility; Hydrant; Pipe; Pump; Stress

Received: 20 February 2024
Revised: 03 March 2025
Accepted: 04 March 2025
Published: 26 March 2025

DOI: 10.31884/jtt.v11i1.636



Copyright: © 2025 by JTT

1. PENDAHULUAN

Sistem pemadam kebakaran terdiri dari APAR, hidran, serta *sprinkler*. Menurut Keputusan Menteri bahwa menanggulangi kebakaran di tempat kerja diperlukan adanya peralatan proteksi kebakaran yang memadai, petugas penanggulangan kebakaran yang ditunjuk khusus untuk itu, serta dilakukannya prosedur penanggulangan keadaan darurat (Menteri Tenaga Kerja, 1999). Hidran ialah instalasi pemadam kebakaran yang dipasang secara permanen berupa jaringan perpipaan berisi air bertekanan terus menerus yang siap untuk memadamkan kebakaran (Dinas Pemadam Kebakaran Banda Aceh, 2020). Sistem pemadam kebakaran hidran terdiri dari 3 jenis yaitu hidran halaman, hidran gedung, dan hidran kota. Di dalam proses distribusi air pada sistem pemadam kebakaran hidran itu menggunakan media perpipaan. Sistem perpipaan hidran merupakan jalur perpipaan yang sangat penting dalam penanggulangan terjadinya kebakaran, sehingga jalur perpipaan tersebut harus berfungsi dengan baik tanpa ada kendala. Sistem perpipaan hidran pada makalah ini merupakan kasus sistem perpipaan hidran halaman yang ada di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Hasil inspeksi secara visual pada jalur perpipaan hidran terdapat jalur perpipaan yang telah mengalami kerusakan (Naufal, E. M., Mahardhika, P., Husodo, A. W., 2022). Jalur yang dimaksud terdapat pada area ruang pompa. Menurut standar bahwa jalur perpipaan yang terhubung dengan mesin rotasi seperti pompa merupakan jalur kritis atau dikenal *critical line* sehingga harus dianalisis lebih lanjut (A, V. V. V., Husodo, A. W., & Mahardhika, P., 2017; DNV, 2017; Septiyani, A., Husodo, A. W., & Mahardhika, P., 2018). Pipa terhubung dengan suatu *equipment* (pompa) yang dapat menimbulkan sumber getaran. Ketika frekuensi alami sama dengan atau mendekati frekuensi yang dihasilkan oleh mesin rotasi (pompa)/ frekuensi eksitasi maka akan terjadi resonansi (Mahardhika, P., & Budiyanto, E. N., 2019). Dampak fenomena tersebut adalah menimbulkan getaran sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem perpipaan (Aji, A. N. W., Priyonggo, P., & Budiyanto, E. N., 2018; Laras, M. B., Santoso, E., & Ariwiyono, N., 2018; Mahardhika, P., Alam, H. A., Salsabilla, S., 2022; Mahardhika, P., Julianto, E., Indartono, A., & Kusuma, G. E., 2018). Pada penelitian ini dilakukan analisis lebih lanjut terhadap aspek tegangan dan fleksibilitas dengan beban dinamis pada jalur pipa area ruang pompa yang mengalami kerusakan. Terjadinya kerusakan di area ruang pompa ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Dokumentasi inspeksi visual jalur pipa 01-102-A53-2" di area ruang pompa.

Pada dasarnya sistem perpipaan ini dianalisis dengan metode analisis beban statis. Tetapi analisis lanjutan dari beban statis menggunakan analisis beban dinamis (*modal analysis*) karena pipa terhubung dengan mesin rotasi (pompa). Rumus *frekuensi cut off*: (A. W. Husodo, P. Mahardhika, and V. V. V. A, 2019; Autopipe, 2008)

$$f_{cutoff} = \sqrt{\frac{\left(\frac{E}{\rho}\right)}{L}} \quad (1)$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas material (psi)

ρ = Massa jenis pipa (lb/in³)

L = Panjang pipa (ft)

2. METODE

Metode penelitian dengan judul analisis tegangan dan fleksibilitas pipa sekitar pompa hidran halaman dapat dilihat pada gambar 2. Metode penelitian pada makalah ini dilaksanakan dengan beberapa tahapan meliputi melakukan studi pustaka dan survey lokasi, *redrawing* gambar isometri jalur perpipaan, melakukan modeling dan sistem perpipaan, memasukkan metode *modal analysis* pada modeling, melakukan simulasi tegangan dan fleksibilitas pipa menurut ASME B31.3, menganalisa hasil *output report* simulasi tegangan dan fleksibilitas pipa.

Tahapan-tahapan penelitian awal dilakukan dengan tahapan studi pustaka dan survey lokasi. Studi pustaka dilakukan untuk menentukan code & standar serta kriteria penerimaan yang digunakan berdasarkan tegangan dan fleksibilitas. Code yang digunakan adalah ASME B31.3. Survey lokasi dilakukan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan seperti gambar isometri dan data pendukung lain yang digunakan untuk proses modeling. Proses modeling dan simulasi menggunakan bantuan *software* yang menggunakan metode elemen hingga yaitu *Bentley Autopipe*. Jalur pipa sekitar pompa yang akan dianalisis dari *line number* 01-101-A53-4" dan 01-101-A53-3" sampai *line number* 02-101-A53-6". Jalur perpipaan ini terhubung dengan mesin rotasi (pompa) maka termasuk *pulsating line* sehingga dimodeling dengan metode beban dinamik (Mahardhika, P, 2017; Wu, X., Lu, H., Wu, S., Huang, K., Wan, J., Li, W., & Liu, Z, 2014). Hasil *output report* simulasi *software* pada jalur perpipaan yang rusak sekitar ruang pompa dari hasil inspeksi visual akan dianalisis dari aspek tegangan dan fleksibilitasnya dari beban dinamis apakah hal tersebut ada pengaruhnya. Fleksibilitas yang dimaksud pada penelitian ini meliputi gaya pada pipa, pergerakan pipa, dan rotasi pipa ketika terjadi getaran. Studi tentang fleksibilitas suatu sistem perpipaan bertujuan untuk memastikan apakah beban statis, gaya statis, defleksi statis akibat beban-beban tekanan dan berat dalam keadaan aman (Greer, B., Harper, C., Rahnama, R, 2012). Tujuan dari penelitian ini untuk memastikan apakah jalur perpipaan sekitar pompa hidran halaman yang mengalami kerusakan karena aspek tegangan dan fleksibilitas dari beban dinamis.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Tabel 1 sampai Tabel 3 merupakan data spesifikasi pipa, sifat fisik material, dan sifat fisik fluida. Data Tabel 1 sampai Tabel 3 tersebut digunakan untuk parameter yang perlu dimasukkan pada *Computer Aided Engineering (Bentley Autopipe Software)* untuk modeling dan simulasi menggunakan metode elemen hingga.

Tabel 1. Spesifikasi pipa.

Spesifikasi	Nilai				
Material Pipa	ASTM A53 Gr A Type F	ASTM A53 Gr A Type F	ASTM A53 Gr A Type F	ASTM A53 Gr A Type F	ASTM A53 Gr A Type F
NPS	2"	3"	4"	6"	8"
ND (mm)	50	80	100	150	200
OD (mm)	60,3	88,9	114,3	168,3	219,1
Schedule	40	40	40	40	40

Tabel 2. Sifat fisik material pipa (ASME, 2019).

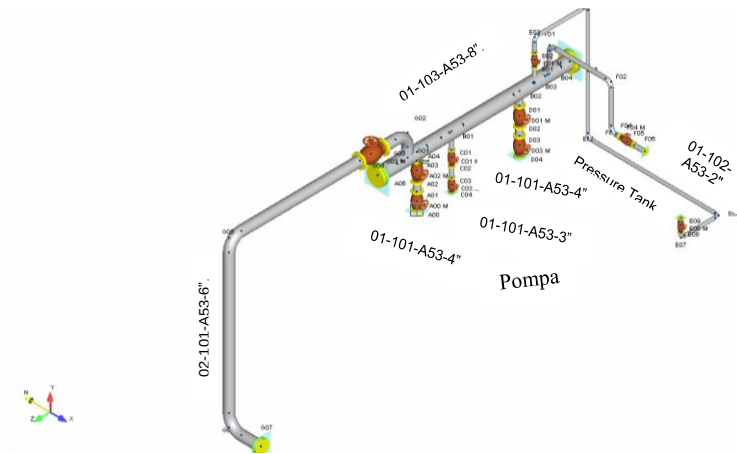
Sifat Fisik	Nilai
Material Pipa	ASTM A53 Gr A Type F
Specified Minimum Yield Strength (kg/cm²)	2,10 x 10 ⁶
Specified Minimum Tensile Strength (kg/cm²)	3,37 x 10 ⁶
Modulus Elastisitas (x 10 ⁶ kg/cm²)	2,074
Poison's ratio	0,300
Densitas (kg/m³)	7833,4

Tabel 3. Sifat fisik fluida.

Sifat Fisik	Nilai
Jenis Fluida	Air
Specific Gravity	1,0
Temperatur (°C)	28
Tekanan (kg/cm ²)	4,48

Kombinasi beban pada makalah ini didefinisikan sebagai berikut :

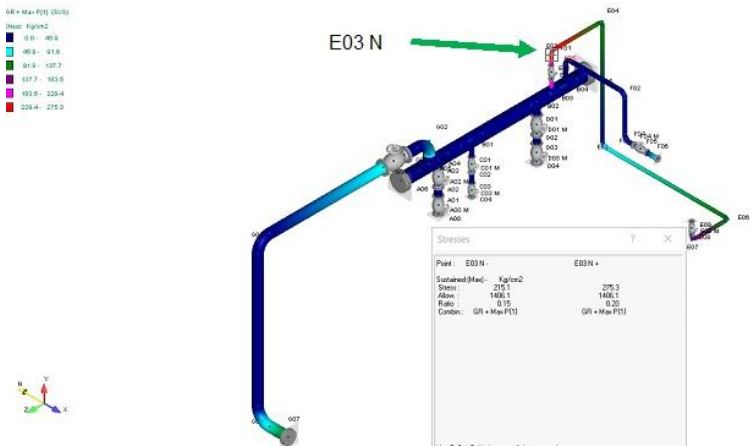
- GR + Max (P1)= Sustained Load
- Max (P1) = Hoop
- Amb to (T1) = Expansion Load
- GR + T + P1 = Semua beban kombinasi
- GR = Gravitasi



Gambar 3. Gambar isometri pipa sekitar pompa dari line number 01-101-A53-4” dan 01-101-A53-3” sampai line number 02-101-A53-6”.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

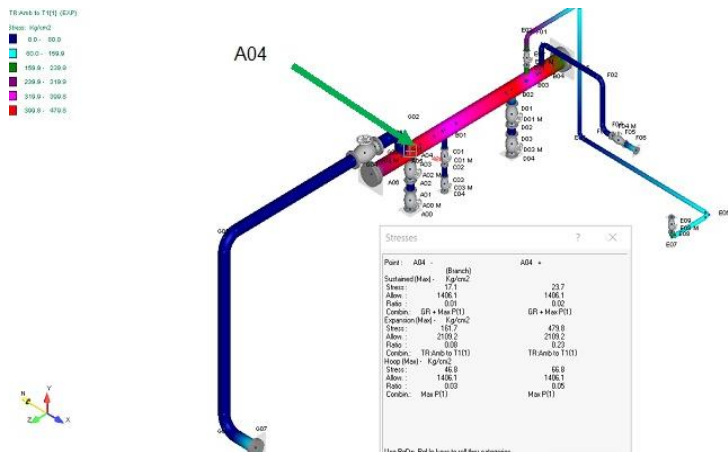
Pada bagian hasil dan pembahasan ini menampilkan hasil modeling dan simulasi pada jalur pipa sekitar pompa hidran halaman PPNS dari line number 01-101-A53-4” dan 01-101-A53-3” sampai line number 02-101-A53-6”. Kemudian dilanjutkan dengan pembahasan output report hasil simulasi dari aspek nilai tegangan dan fleksibilitasnya. Hasil modeling dan simulasi divisualisasikan pada Gambar 4 sampai Gambar 14 serta dirangkum nilai maksimum tegangan dan fleksibilitasnya pada Tabel 4 sampai Tabel 7.



Gambar 4. Visualisasi maksimum tegangan akibat sustained load pada titik E03 N.

Tabel 4. Rangkuman tegangan pipa.

No	Kombinasi Beban	Jenis Tegangan	Titik	Tegangan Code (kg/cm ²)	Tegangan Ijin (kg/cm ²)	Rasio	Hasil
1	<i>Sustained Load</i> (GR + Max P1)	Maks. tegangan akibat <i>Sustained load</i>	E03 N	275,3	1406,1	0,2	Diterima
2	<i>Expansion Load</i>	Maks. tegangan akibat <i>displacement</i>	A04	479,8	2109,2	0,23	Diterima
3	<i>Hoop (Max P1)</i>	Maks tegangan <i>Hoop</i>	A04	66,8	1406,1	0,05	Diterima

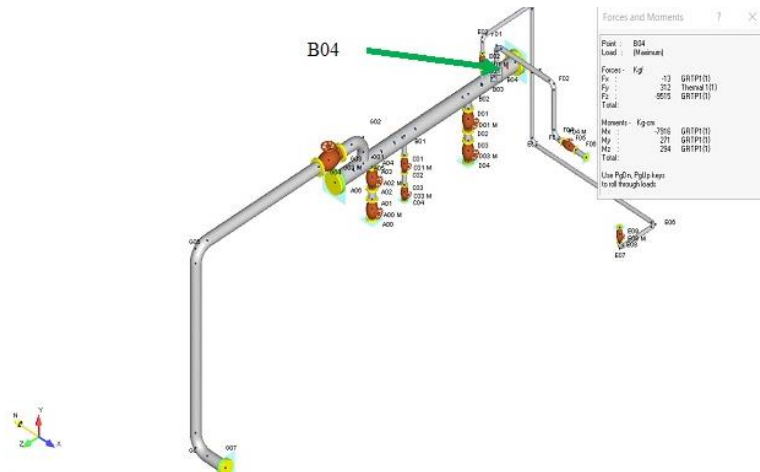


Gambar 5. Visualisasi maksimum tegangan *displacement* dan tegangan *hoop* pada titik A04

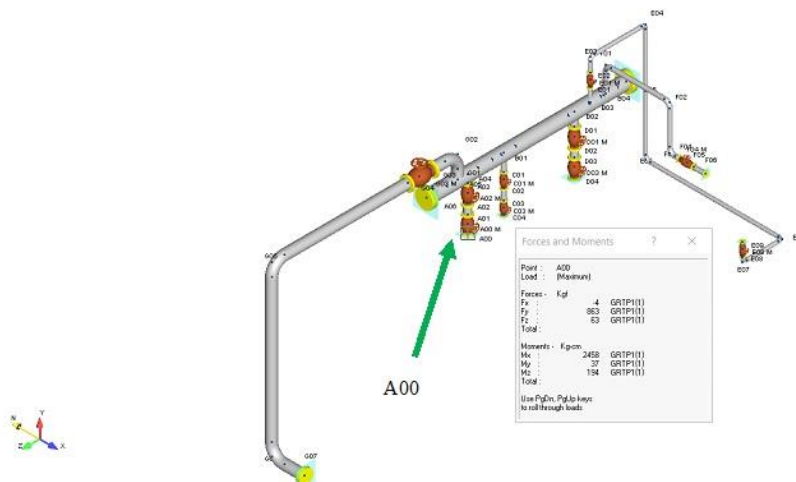
Hasil modeling dan simulasi dari Tabel 4, Gambar 4, dan Gambar 5 menunjukkan bahwa terjadi tegangan akibat *sustained load* pada *fitting elbow 2"* di titik E03 N sebesar 275,3 kg/cm² dan tegangan akibat ekspansi pada *fitting tee* di titik A04 pipa 8" sebesar 479,8 kg/cm². Tegangan yang terjadi pada *elbow 2"* titik E03 N dari kombinasi beban GR + P1 dapat memicu terjadinya deformasi yang menimbulkan kerusakan pada pipa 01-102-A53-2" jika terjadi secara berulang. Akan tetapi menurut code ASME B31.3 bahwa tegangan yang terjadi tersebut masih dikategorikan memenuhi kriteria.

Tabel 5. Rangkuman gaya pipa maksimum.

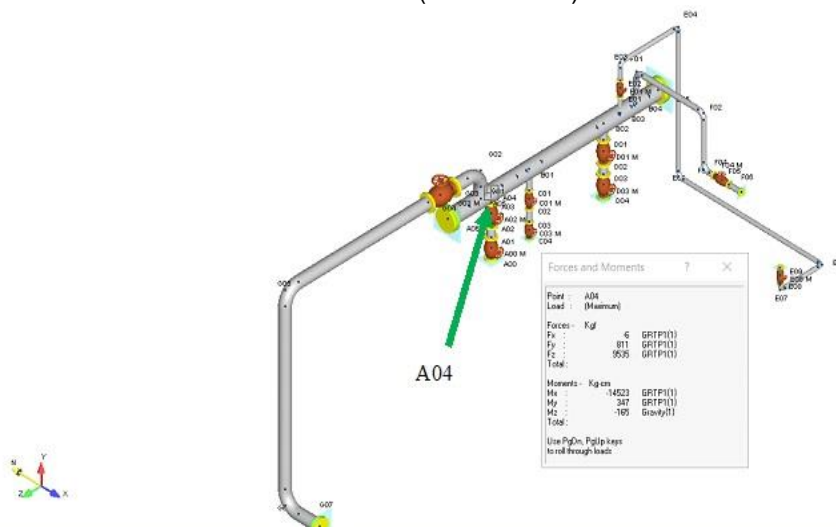
No	Parameter	Gaya (kg)		
		Titik B04	Titik A00	Titik A04
		Fx	Fy	Fz
1	Gaya pipa maksimum	-13	863	9535
2	Kombinasi beban	(GR + T + P1)	(GR + T + P1)	(GR + T + P1)
3	Jalur pipa	01-103-A53-8"	01-101-A53-4"	01-101-A53-4"



Gambar 6. Visualisasi maksimum gaya pipa pada sumbu Fx titik B04 dengan kombinasi beban (GR + T + P1).



Gambar 7. Visualisasi maksimum gaya pipa pada sumbu Fy titik A00 dengan kombinasi beban (GR + T + P1).

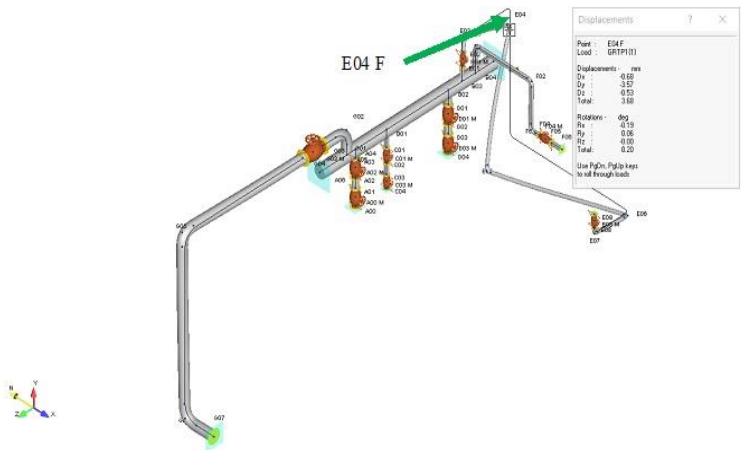


Gambar 8. Visualisasi maksimum gaya pipa pada sumbu Fz titik A04 dengan kombinasi beban (GR + T + P1).

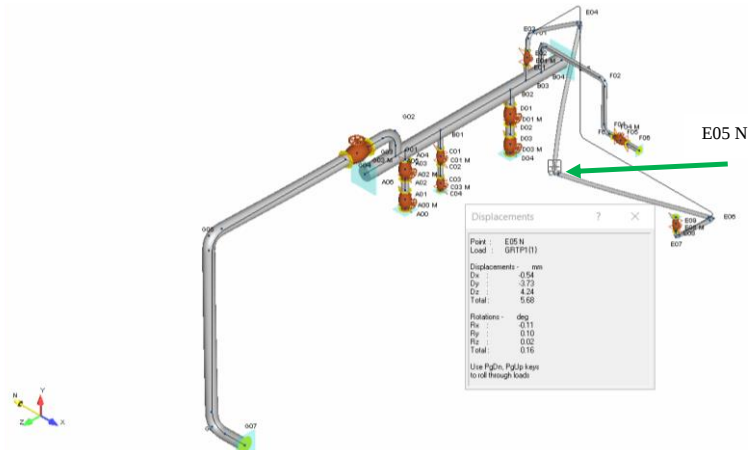
Hasil rangkuman gaya maksimum pipa dari Tabel 5 dan Gambar 6 sampai Gambar 8 menunjukkan bahwa gaya terbesar pipa terjadi titik A04 di sumbu Fz sebesar 9535 kg dengan kombinasi beban (GR + T + P1). Gaya tersebut besar dikarenakan jalur pipa 01-101-A53-4” menerima beban dari jalur pipa 01-103-A53-8” serta adanya getaran dari pompa.

Tabel 6. Rangkuman pergerakan pipa maksimum.

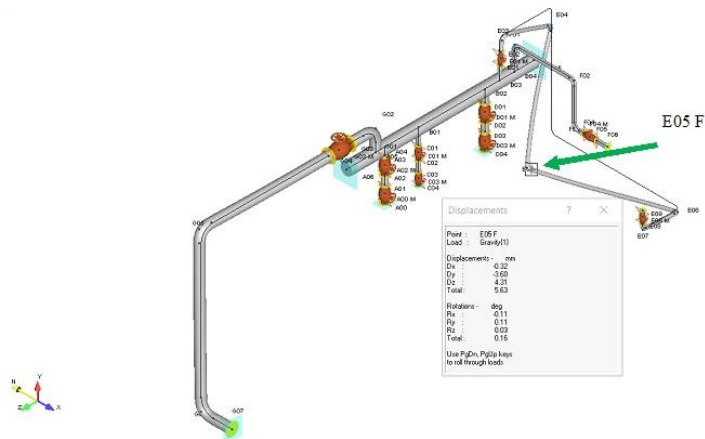
No	Parameter	Pergerakan (mm)		
		Titik E04 F	Titik E05 N	Titik E05 F
		Dx	Dy	Dz
1	Pergerakan pipa maksimum	-0,68	-3,73	4,31
2	Kombinasi beban	(GR + T + P1)	(GR + T + P1)	(GR)
3	Jalur pipa	01-102-A53-2"	01-102-A53-2"	01-102-A53-2"



Gambar 9. Visualisasi maksimum pergerakan pipa pada sumbu Dx titik E04 F dengan kombinasi beban (GR + T + P1).



Gambar 10. Visualisasi maksimum pergerakan pipa pada sumbu Dy titik E05 N dengan kombinasi beban (GR + T + P1).

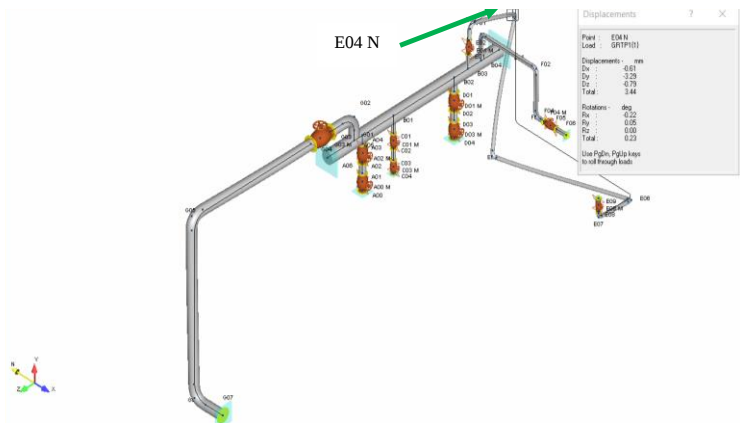


Gambar 11. Visualisasi maksimum pergerakan pipa pada sumbu Dx titik E05 F dengan kombinasi beban (GR).

Pada rangkuman pergerakan maksimum pipa menurut Tabel 6 dan Gambar 9 sampai Gambar 11 menunjukkan bahwa jalur pipa 01-102-A53-2" mengalami pergerakan yang mana lokasi tersebut tepat pada lokasi pipa yang mengalami kerusakan. Jalur tersebut pada titik A04 F mengalami pergeseran ke sumbu -Dx sebesar 0,68 mm dengan kombinasi beban (GR + T + P1) serta pada titik E05N mengalami pergeseran ke sumbu -Dy sebesar 3,73 mm dengan kombinasi beban (GR + T + P1) dan Dz sebesar 4,31 mm dengan kombinasi beban (GR). Nilai pergerakan tidak besar tetapi jika terjadi secara berulang maka dapat menyebabkan pipa terdeformasi.

Tabel 7. Rangkuman rotasi maksimum.

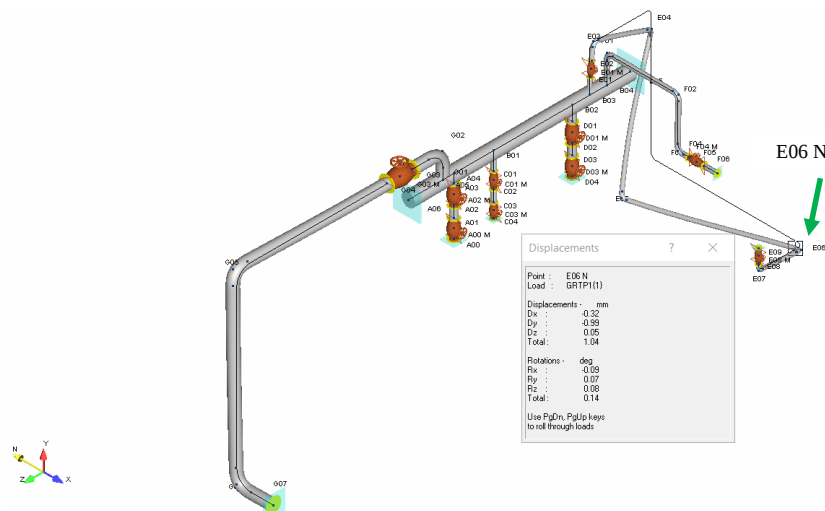
No	Parameter	Rotasi (deg)		
		Titik E04 N	Titik E05 F	Titik E06 N
		Rx	Ry	Rz
1	Rotasi pipa maksimum	-0,22	0,11	0,08
2	Kombinasi beban	(GR + T + P1)	(GR + T + P1)	(GR + T + P1)
3	Jalur Pipa	01-102-A53-2"	01-102-A53-2"	01-102-A53-2"



Gambar 12. Visualisasi maksimum rotasi pipa pada sumbu Rx titik E04 N dengan kombinasi beban (GR + T + P1).



Gambar 13. Visualisasi maksimum rotasi pipa pada sumbu Ry titik E05 F dengan kombinasi beban (GR + T + P1).



Gambar 14. Visualisasi maksimum rotasi pipa pada sumbu Rz titik E06 N dengan kombinasi beban (GR + T + P1).

Pada jalur pipa 01-102-A53-2" selain adanya pergerakan pipa maksimum juga terjadi rotasi pipa maksimum pada lokasi tersebut yang ditunjukkan pada Tabel 7 dan Gambar 12 sampai Gambar 14. Terjadi pada titik E04 N sumbu -Rx sebesar 0,22 deg, titik E05 F sumbu Ry sebesar 0,11 deg, dan titik E06 N sumbu Rz sebesar 0,08 deg. Rotasi tersebut berpengaruh pada peristiwa kerusakan pada jalur pipa 01-102-A53-2" tersebut. Rotasi memberikan dampak pipa yaitu deformasi dari puntiran.

4. PENUTUP

Kesimpulan

Pada penelitian ini menunjukkan bahwa pipa sekitar pompa hidran berdasarkan aspek tegangan masih memenuhi kriteria penerimaan ASME B31.3 karena nilai tegangan yang terjadi masih di bawah tegangan ijinnya. Kerusakan pipa hidran sekitar pompa yang terjadi pada jalur pipa 01-102-A53-2" bisa disebabkan karena pipa

mengalami pergerakan dan rotasi maksimum pada jalur pipa tersebut dengan beban dinamis sehingga pipa terjadi deformasi dan mengalami kerusakan.

Saran

Desain jalur perpipaan perlu dilakukan kaji ulang agar nilai fleksibilitasnya lebih kecil dibandingkan eksisting. Serta dari hasil simulasi dapat direkomendasikan untuk dilakukan desain ulang dan perbaikan pada pipa yang rusak pada area ruang pompa tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya telah membantu memberikan pendanaan penelitian DIPA dan memfasilitasi Lab Permodelan Sistem Perpipaan.

DAFTAR PUSTAKA

- A, V. V. V., Husodo, A. W., & Mahardhika, P. (2017). Analisa Tegangan dan Frekuensi Alami pada Pipa Line 116OTH202-200- 40C10 di Plant Fatty Acid Fractionation Upgrade. *Proceedings Conference on Piping Engineering and Its Application*, 2, 67–72. <http://journal.ppns.ac.id/index.php/CPEAA/article/view/394>
- A. W. Husodo, P. Mahardhika, and V. V. V. A. (2019). ANALISA FLEKSIBILITAS SISTEM PERPIPAAN PADA FATTY ACID PLANT AKIBAT PERGESERAN POSISI EVAPORATOR. *Jurnal Integrasi*, 11(2), 112–118. <https://doi.org/10.30871/ji.v11i2.1663>
- Aji, A. N. W., Priyonggo, P., & Budiyanto, E. N. (2018). Pengaruh Water Hammer Terhadap Pipa dan Check Valve Pada Discharge Pump TPL 1-PM-002C (Studi Kasus PT. Pertamina TBBM Tuban). *Proceedings Conference on Piping Engineering and Its Application*, 3, 325–330. <http://journal.ppns.ac.id/index.php/CPEAA/article/view/525>
- ASME. (2019). *Boiler and Pressure Vessel Code Section II Part A*.
- Autopipe. (2008). *Example Case System Water Hammer (Version V8i)* [Computer software]. Bentley.
- Dinas Pemadam Kebakaran Banda Aceh. (2020). *Dasar-Dasar Perencanaan Sistem Instalasi Hidran*. [Online post]. <https://damkar.bandaacehkota.go.id/2020/07/13/dasar-dasar-perencanaan-sistem-instalasi-hidran/>
- DNV. (2017). *DNV GL D101 Structural analysis of piping systems*.
- Greer, B., Harper, C., Rahnama, R. (2012). *Improved Thermal Piping Analysis for Reciprocating Compressor Piping Systems*.
- Laras, M. B., Santoso, E., & Ariwiyono, N. (2018). Desain Ulang Sistem Perpipaan Distribusi Fluida Masecuite dari Reheater Menuju Feed Mixer. *Proceeding 3rd Conference of Piping Engineering and Its Application*, 3, 31–36. <https://journal.ppns.ac.id/index.php/CPEAA/article/view/507>
- Mahardhika, P. (2017). Penentuan Allowable Span Antar Penyangga Pipa Slf Berdasarkan Tegangan, Defleksi, Frekuensi Alami. *Jurnal IPTEK*, 21(2), 27–34. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2017.v21i2.149>
- Mahardhika, P., & Budiyanto, E. N. (2019). Analisa Pengaruh Water Hammer Terhadap Fleksibilitas Pipa Line Discharge Pump. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 10(2), 453–458.

- Mahardhika, P., Alam, H. A., Salsabilla, S. (2022). Evaluasi Tegangan Pada Jalur Perpipaan Air Gan Compressor Menurut ASME B31.3. *Seminar Nasional Fakultas Teknik*, 1.
- Mahardhika, P., Julianto, E., Indartono, A., & Kusuma, G. E. (2018). Analisa Pengaruh Kenaikan Tekanan Fluida Terhadap Tegangan Dan Fleksibilitas Pipa Blowdown A106 Grade A Berdasarkan ASME B31.3. *Jurnal Teknik - UNDIP*, 39(1), 67–72. <https://doi.org/10.14710/teknik.v39i1.17118>
- Menteri Tenaga Kerja. (1999). *KEP. MENAKER KEP. 186/MEN/1999 Unit Penanggulangan Kebakaran di Tempat Kerja*.
- Naufal, E. M., Mahardhika, P., Husodo, A. W. (2022). Perencanaan Inspeksi Pipa Hydrant Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. *Proceeding 7th Conference of Piping Engineering and Its Application*, 7, 59–63. <https://journal.ppns.ac.id/index.php/CPEAA/article/view/1496>
- Septiyani, A., Husodo, A. W., & Mahardhika, P. (2018). Analisa Dinamik pada Sistem Perpipaan akibat Getaran Pompa. *Proceeding Conference of Piping Engineering and Its Application*, 3, 73–78. <http://journal.ppns.ac.id/index.php/CPEAA/article/view/537>
- Wu, X., Lu, H., Wu, S., Huang, K., Wan, J., Li, W., & Liu, Z. (2014). Stress analysis of reciprocating pump pipeline system in oil station. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(7), 2026–2032.