

PENERAPAN METODE TIME HISTORY UNTUK FENOMENA WATER HAMMER

Pekik Mahardhika

Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

email: pekikmahardhika@ppns.ac.id

diterima tanggal : 9 September 2018 disetujui tanggal : 13 November 2018

Abstrak

Makalah ini mengkaji besarnya fleksibilitas dan frekuensi alami pipa akibat beban dinamis dari fenomena water hammer menggunakan metode time history. Metode time history adalah metode analisis untuk menentukan beban dinamis yang memiliki waktu lama atau pendek seperti water hammer, gempa bumi, dan lain-lain. Beban dinamis adalah gaya yang bekerja (eksitasi) pada struktur sistem perpipaan yang bervariasi terhadap waktu. Tujuan dari metode time history ini untuk mendapatkan besarnya fleksibilitas dan frekuensi alami pipa akibat beban dinamis pada pipa blowdown agar menjamin keamanan rancangan dan operasional pipa. Simulasi dilakukan dengan cut off frequency 54,31 Hz dan 31 mode dengan durasi 2,14 detik. Dari hasil analisa tegangan diperoleh total tegangan pipa masih memenuhi kriteria tegangan ijin ASME B31.3. Dari hasil analisa frekuensi alami diperoleh frekuensi alami mode terkecil yaitu 1,75 Hz dan tidak memenuhi kriteria DNV-RP-D101.

Kata Kunci: beban dinamis, pipa blowdown, time history, water hammer

Abstract

This paper examines the magnitude of pipe flexibility and natural frequency due to dynamic loads of water hammer phenomenon using the time history method. The time history method is an analytical method to determine dynamic loads that have a long or short time such as water hammer, earthquake, and others. Dynamic load is the force acting (excitation) on the structure of the piping system which varies with time. The purpose of this time history method is to get the magnitude of flexibility and natural frequency of pipe due to the dynamic load on the blowdown pipe to ensure the safety of the pipe design and operation. The simulation was performed with the cut off frequency of 54.31 Hz and 31 mode with a duration of 2.14 seconds. From the stress analysis result obtained total pipe stress still meet ASME B31.3 allowable stress criteria. From the natural frequency analysis result obtained smallest mode of natural frequency is 1.75 Hz and not meet DNV-RP-D101 criteria.

Keyword: dynamic load, blowdown pipe, time history, water hammer

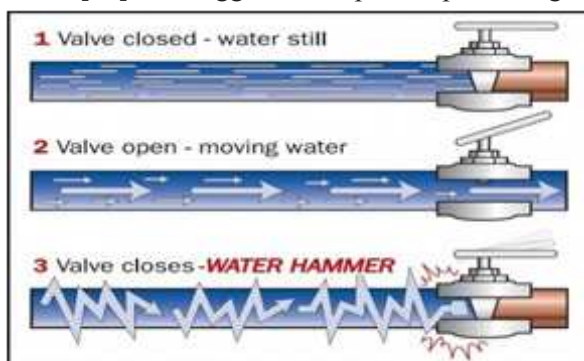
1. PENDAHULUAN

Pada suatu PLTU terdapat boiler yang akan beroperasi terus menerus. Sistem *blowdown* pada boiler berfungsi untuk mengontrol serta membuang kandungan solid dalam sisa air pemanasan agar tidak berlebih. Pada sistem *blowdown* terdapat dua fase zat yaitu solid dan cair. Jika kandungan solid tinggi akan menurunkan kualitas uap yang dihasilkan. Pertemuan dua zat

berbeda fase tersebut dan memiliki temperatur tinggi pada pipa dapat menimbulkan kenaikan tekanan yang menyerupai suatu pukulan yang dinamakan *water hammer*. *Water hammer* adalah fenomena terjadinya lonjakan tekanan yang diakibatkan oleh pembukaan dan penutupan katup yang cepat atau *rotating equipment* hidup/ mati tiba-tiba. *Water hammer* atau *fluid hammer* serta juga disebut *hydraulic shock* adalah lonjakan

gelombang tekanan yang disebabkan suatu cairan tetapi kadang-kadang gas yang gerakan fluidanya dipaksa untuk berhenti atau mengubah arah tiba-tiba sehingga terjadi perubahan momentum [1]. Pipa penyalur *steam* mengangkut fluida bertemperatur tinggi sangat rawan terhadap adanya beban ekspansi [2]. Sistem tersebut sangat rawan terhadap terjadinya pemuaian akibat beban ekspansi [3]. Perubahan *displacement* pada pipa yang terlalu besar dapat menjadi masalah yang serius karena dapat menyebabkan kegagalan sistem [4]. Kasus *water hammer* tersebut terjadi di pipa *blowdown* di salah satu PLTU di Indonesia. Dampak fenomena tersebut adalah menimbulkan getaran pada pipa. Beban *steam hammer* atau *water hammer* sangat signifikan dan respon dinamis dari sistem perpipaan dapat berdampak besar pada segmen pipa [5]. *Pulsating line* merupakan pipa yang terhubung dengan *rotating equipment* [6]. Pipa *blowdown* tersebut masih dikategorikan *pulsating line* terhubung dengan suatu *equipment* yang dapat menimbulkan sumber getaran (*valve*).

Ketika frekuensi alami sama dengan atau mendekati frekuensi yang dihasilkan oleh mesin/frekuensi eksitasi maka akan terjadi resonansi [8]. Resonansi dapat mengakibatkan kerusakan parah pada sistem perpipaan [9]. Getaran yang mengakibatkan resonansi tersebut akan mempengaruhi besarnya tegangan yang terjadi pada pipa. Kajian yang berhubungan dengan getaran dinamakan analisa beban dinamis. Analisa beban dinamis adalah analisa gaya yang bekerja (eksitasi) pada struktur (dalam hal ini sistem perpipaan) yang bervariasi terhadap waktu. Tegangan dinamis merupakan tegangan tekuk dinamis yang terkait dengan getaran pada mode alami [10]. Sehingga dalam proses perancangan



Gambar 1. Fenomena water hammer [7]

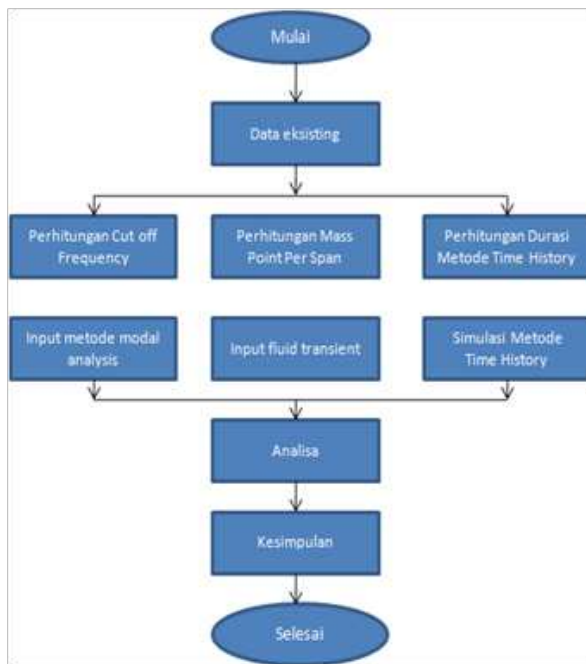
sistem perpipaan diperlukan analisa statis ataupun dinamis untuk menjamin keamanan rancangan dan operasional pipa. Evaluasi tersebut membantu untuk mengidentifikasi rincian layout dan support jika terdapat tegangan yang besar [11]. Beberapa kajian yang terkait analisa beban dinamis cukup banyak dilakukan. Salah satu referensi terkait terdapat kajian yang bersifat statis dan dinamis yang telah dilakukan analisa getaran menggunakan metode harmonik karena terhubung dengan *rotating equipment*. Kajian dilakukan untuk mempelajari pengaruh getaran terhadap tegangan dan frekuensi alami. Acuannya menggunakan ASME B31.3, API 610, API 618, dan WRC 107. Simulasi dibantu menggunakan *software* Caesar II [9].

Makalah ini melanjutkan penelitian sebelumnya yang membahas analisa kenaikan tekanan terhadap tegangan dan fleksibilitas pipa yang hanya bersifat analisa statis. Fleksibilitas dalam perencanaan dan desain pada sebuah sistem perpipaan harus dirancang agar mampu menahan beban yang terjadi [12]. Berdasarkan penelitian sebelumnya pipa *blowdown* A106 Gr A termasuk jalur pipa *critical line* [13]. Fluida di dalam pipa *blowdown* telah mengalami kenaikan tekanan menjadi 322,55 psi dan bersifat turbulen [14]. Pada makalah ini dilakukan penerapan metode *time history* pada kasus *water hammer* pipa *blowdown* di salah satu PLTU di Indonesia untuk mendapatkan nilai fleksibilitas yang terjadi dan apakah masih memenuhi kriteria ASME B31.3. Besarnya nilai tegangan tidak boleh lebih besar dari tegangan yang diijinkan ASME B31.3 [15]. Serta kriteria frekuensi alami berdasarkan DNV-RP-D101.

2. METODOLOGI

Penelitian ini bersifat numerik dengan bantuan menggunakan *software*. Pemodelan dan simulasi pipa *blowdown* menggunakan Bentley Autopipe. Pemodelan dan simulasi dengan metode *time history* untuk mendapatkan besarnya fleksibilitas yang terjadi akibat beban dinamis pada pipa *blowdown* dan apakah masih memenuhi kriteria *code*. Analisa struktural yang dilakukan perangkat lunak sesuai dengan *standar piping code* ASME B31.3 [16]. Metodologi penelitian pada makalah

ini ditunjukkan pada diagram alir gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

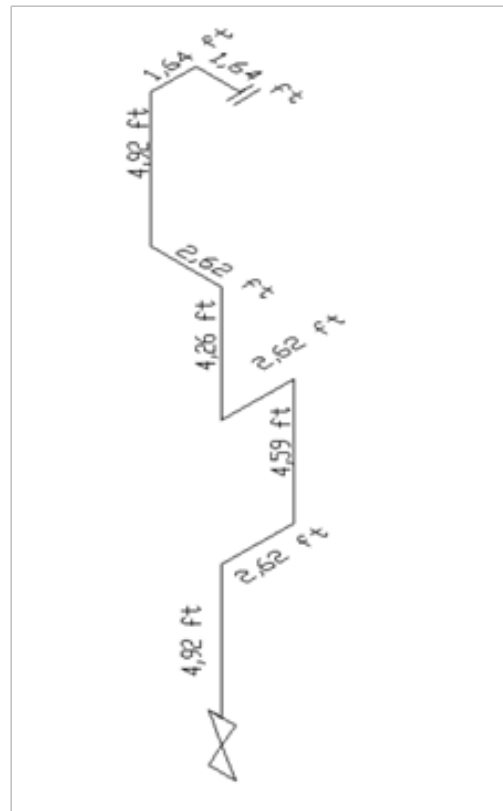
Penelitian dilaksanakan di salah satu PLTU yang di Indonesia. Adapun dalam penelitian ini terdapat data pendukung yaitu data teknis dan gambar isometri pipa *blowdown* sebagai berikut:

Tabel 1. Data teknis Pipa *Blowdown* [14]

Data	Spesifikasi
Material Pipa	A106 Gr.A
NPS	4
Sch	80
t (in)	0,337
t (mm)	8,56
OD (in)	4,5
OD (mm)	114,3
ID (in)	3,826
ID (mm)	97,18
ρ pipa (lb/in ³)	0,280
Modulus Elastisitas Pipa (psi)	27,7 x 10 ⁶
t insulasi (in)	1,496
Material Insulasi	Foam Glass
ρ insulasi (lb/in ³)	0,049
Thermal coefficient (in/ft)	0,028

Tabel 2. Data Fluida [14]

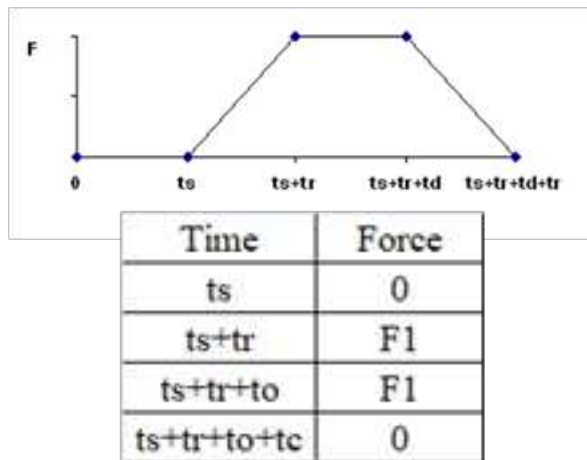
Data	Nilai	Satuan
Tekanan Internal (P)	100	psi
Laju massa fluida (m)	2,22	kg/s
Viskositas (μ)	1,00x10 ⁻³	kg.m/s
Bulk Modulus (K)	3,18x10 ⁵	psi
Temperatur (T)	338	F



Gambar 3. Isometri Pipa *Blowdown*

Metode *time history* adalah metode analisis untuk menentukan beban dinamis yang memiliki waktu lama atau pendek seperti *water hammer*, gempa bumi, dan lain-lain [17]. *Start time* (t_s) merupakan waktu katup dalam kondisi mulai membuka dan *defaultnya* 0 detik. *Rise time* (t_r) adalah waktu yang diperlukan gelombang tekanan transient untuk mencapai nilai puncak. Hal ini juga merupakan waktu yang diperlukan katup dari posisi tertutup ke posisi membuka. *Open time/ delay time* (t_o) adalah waktu pada kondisi katup tetap terbuka. *Closed/ fall time* (t_c) adalah waktu yang diperlukan katup dari posisi membuka kembali pada posisi menutup. Metode analisis ini

melibatkan solusi sebenarnya persamaan gerak dinamis di seluruh durasi beban dan getaran sehingga menyediakan simulasi respons yang sesungguhnya [18].



Gambar 4. Time History Loading

Cut off Frequency adalah batas frekuensi antara sinyal yang diteruskan dan diredam [19].

$$f_{cutoff} = \sqrt{(E/\rho)/L} \quad (1)$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas material (psi)

ρ = Massa jenis pipa (lb/in³)

L = Panjang pipa (ft)

Mass Point Per Span adalah jarak distribusi massa antara masing-masing titik saat beban dinamis [17].

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

Keterangan:

L_{opt} = Panjang yang diperlukan untuk perlakuan dinamis

f = Frekuensi *cut off* (Hz)

g = Percepatan gravitasi (in/s²)

I = Momen inersia (in⁴)

E = Modulus elastisitas material (psi)

W = Berat pipa per satuan panjang (lb/in)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan *Cut off frequency*

Hasil perhitungan *cut off frequency* untuk menentukan batas frekuensi antara sinyal yang diteruskan dan diredam sebagai berikut:

$$E = 2,77 \times 10^7 \text{ psi}$$

$$\rho = 0,280 \text{ lb/in}^3$$

$$L = 30,076 \text{ ft}$$

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

$$= 341,077 \text{ rad/sec} / 2\pi \text{ rad/cycles}$$

$$= 54,31 \text{ Hz}$$

3.2 Perhitungan *Mass Point Per Span*

Hasil perhitungan *mass point per span* untuk menentukan jarak distribusi massa antara masing-masing titik saat beban dinamis sebagai berikut:

$$f = 54,31 \text{ Hz}$$

$$E = 2,77 \times 10^7 \text{ psi}$$

$$I = 9,61 \text{ in}^4$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 = 386,22 \text{ in/s}^2$$

$$w = 0,528 \text{ lb/in}$$

$$L_{opt} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2 \cdot f}} \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot I \cdot g}{w}}$$

$$= 30,62 \approx 31$$

3.3 Perhitungan Durasi *Time History*

Hasil perhitungan durasi *time history* untuk menentukan seberapa lama saat terjadinya beban dinamis sebagai berikut:

$$t_{tot} = L_{tot}/a$$

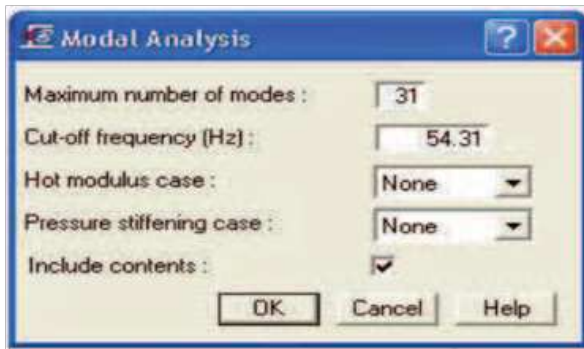
$$= 0,01 \text{ detik}$$

$$\text{Duration} = t_s + t_r + t_o + t_c$$

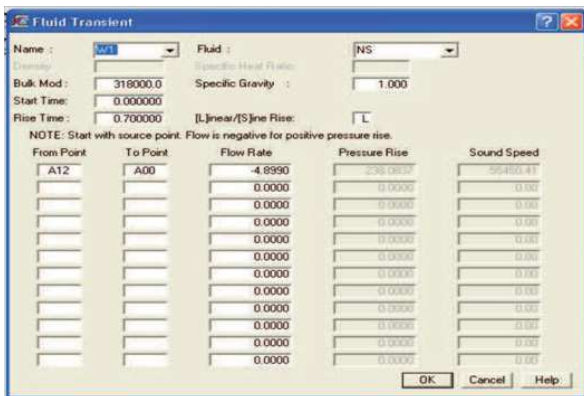
$$= t_s + (t_s + t_o) + (t_s + t_o + t_{tot}) + (t_s + t_r + t_{tot} + t_{end})$$

$$= 2,14 \text{ detik}$$

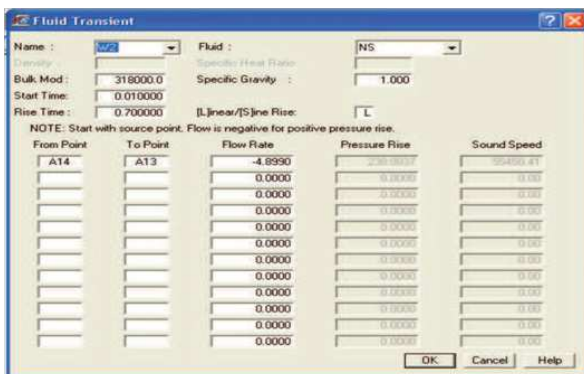
Pada gambar 4 menampilkan *input modal analysis* yang mana maksimum jumlah mode adalah 31 dengan nilai *cut off frequency* adalah 54,31Hz.



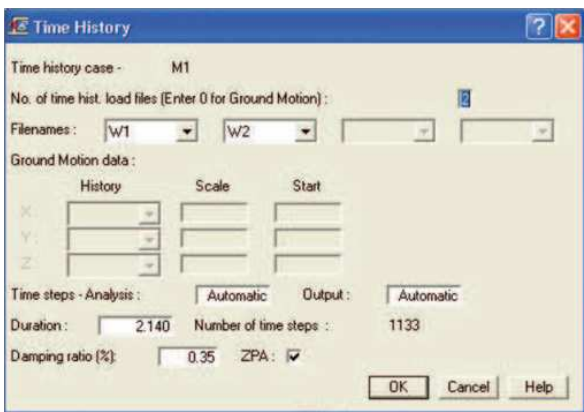
Gambar 4. Input Modal Analysis



Gambar 5. Input Fluid Transient W1



Gambar 6. Input Fluid Transient W2



Gambar 7. Input Time History

Pada gambar 5 dan 6 menampilkan menu input data fluid transient. W1 adalah suction line A00-A12. W2 adalah discharge line A13-A14. Fluid transient ini untuk menentukan load case water hammer. Pada gambar 7 menampilkan menu input metode time history. Gambar 7 menunjukkan time history case (M1) dengan durasi 2,14 detik sesuai perhitungan.

3.4 Hasil Simulasi Metode Time History

Penentuan frekuensi alami yang diijinkan mengacu pada DNV-RP-D101. Di dalam DNV-RP-D101 part 2.2.7.1 tentang modal analysis, nilai mode terkecil frekuensi alami suatu sistem perpipaan harus $\geq 4-5$ Hz [20]. Setelah melakukan simulasi, pada tabel 3 menunjukkan bahwa terdapat 19 mode shape untuk frekuensi alami pipa blowdown. Pada mode 1 sebagai mode dengan nilai frekuensi alami yang paling kecil. Nilai frekuensi alami pada mode 1 yaitu 1,75 Hz. Berdasarkan kriteria DNV-RP-D101 dinyatakan tidak memenuhi kriteria dikarenakan frekuensi alami pada mode terkecil kurang dari 4 Hz.

Tabel 3. Frekuensi alami pipa blowdown

Mode	Frekuensi (Hz)
1	1,75
2	2,47
3	3,40
4	6,38
5	7,55
6	8,50
7	9,90
8	9,96
9	10,47
10	13,93
11	20,46
12	21,08
13	26,08
14	27,91
15	30,26
16	36,60
17	36,99
18	50,76
19	52,58

Kode beban/load yang digunakan dalam simulasi adalah load case (W+M1). W yang

berarti akibat *dead load* dan M1 yang berarti akibat beban *time history*. Besarnya tegangan ijin pipa menurut ketentuan ASME B31.3 untuk material A106 Gr A dengan temperatur desain 338 F adalah 16000 psi. Tegangan ijin tersebut sebagai acuan untuk menyatakan apakah tegangan yang terjadi pada pipa masih dalam kondisi aman. Besarnya tegangan yang muncul dari hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Tegangan pipa *blowdown*

Node	Total Stress (psi)	Tegangan yang diijinkan (psi)	Keterangan
A00	1465	16000	Diterima
A01	2647	16000	Diterima
A02	1609	16000	Diterima
A03	1728	16000	Diterima
A04	3201	16000	Diterima
A05	1661	16000	Diterima
A06	1730	16000	Diterima
A07	1741	16000	Diterima
A08	1932	16000	Diterima
A09	1524	16000	Diterima
A10	3670	16000	Diterima
A11	1773	16000	Diterima
A12	372	16000	Diterima
A13	405	16000	Diterima
A14	480	16000	Diterima

Hasil simulasi besarnya tegangan yang disajikan pada tabel 4, secara umum besarnya total tegangan yang terjadi pada semua *node* masih di bawah tegangan ijin ASME B31.3. Sehingga dapat dikatakan bahwa fenomena *water hammer* pada pipa *blowdown* ini tidak berdampak signifikan terhadap besarnya tegangan yang terjadi. Tegangan yang terbesar terjadi pada *node* A10. Total tegangan pipa meliputi tegangan longitudinal, tegangan geser, tegangan *hoop*.

Tabel 5. *Global Force and Global Moment (Load on Anchor & Hanger)*

Load Case	Node	Force (lb)			Moment (ft-lb)		
		x	y	z	x	y	z
Dead Load	A00	1	-31	1	17	-3	70
	A04	0	-72	0	0	0	0
	A07	0	-83	0	0	0	0
	A10	0	-96	0	0	0	0
	A14	-1	-74	-1	-1	-2	4
Time History	A00	4	4	3	9	11	12
	A04	0	0	0	0	0	0
	A07	0	0	0	0	0	0
	A10	0	0	0	0	0	0
	A14	2	5	3	22	8	11

Keterangan: *Anchor*
Hanger

Global Force dan *Global Moment* pada semua *support* di pemodelan dan simulasi pipa *blowdown* ditunjukkan pada tabel 5. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa *force* pada nosel *vessel* (boiler) *node* A00 karena *load case time history* karena fenomena *water hammer* tidak berdampak signifikan.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian “Penerapan metode *time history* untuk fenomena *water hammer*” pada pipa *blowdown* yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Analisa Modal dilakukan dengan *input cut off frequency* sampai 54,31 Hz dan hasilnya 19 mode. Frekuensi alami pada range 1,75 Hz – 52,58 Hz dengan 19 mode tersebut.
- b. Nilai total tegangan pipa *blowdown* pada semua *node* masih di bawah tegangan yang diijinkan (16000 psi) sehingga masih memenuhi kriteria ASME B31.3.
- c. Pipa *blowdown* memiliki nilai frekuensi alami pada mode terkecil yaitu 1,75 Hz. Nilai frekuensi alami tersebut belum memenuhi kriteria DNV-RP-D101.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wikipedia. (2018). *Water Hammer* on Wikipedia. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Water_hammer.
- [2] Nabila, C., Mahardhika, P., & Arumsari, N. (2017). Analisa Tegangan Pipa Steam pada Jalur Interkoneksi Line 300-S2-B2A-4101H100PT. Petrokimia Gresik. *Conference Of Piping Engineering And Its Application (CPEAA)*, 1(1), 163-168.
- [3] Prastian, D., Husodo, A., & Mahardhika, P. (2017). DESAIN ALTERNATIF PIPA TRANSFER HIGH STEAM 16"-HS-2003-D22A-HS. *Conference Of Piping Engineering And Its Application (CPEAA)*, 1(1), 157-162.
- [4] Fuadi, M., Mahardhika, P., & Ariwiyono, N. (2017). Redesain Cryogenic Ethylene Pipe Dari Demethanizer Flux Drum Menuju Offgas Exchanger Terhadap Displacement (Studi Kasus di Capex Project). *Conference Of Piping Engineering And Its Application (CPEAA)*, 1(1), 117-122.
- [5] Papadopoulos, Anestis & Bayoumy, Ahmed. (2014). Time History Steam Hammer Analysis For Critical Hot Lines In Thermal Power Plants. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE). 4. 10.1115/IMECE2014-38076.
- [6] Mahardhika, P. (2017). PENENTUAN ALLOWABLE SPAN ANTAR PENYANGGA PIPA SLF BERDASARKAN TEGANGAN, DEFLEKSI, FREKUENSI ALAMI. *Jurnal IPTEK*, 21(2), 27-34.
- [7] Ripples Entex blog. (2015). *The Dangerous of Water Hammer and How to Prevent it*. [Online]. Available: <https://www.entexinc.com/the-dangers-of-water-hammer-and-how-to-prevent-it/>
- [8] Wu, Xiaonan and Lu, Hongfang. (2014). Stress Analysis of Reciprocating Pump Pipeline System in Oil Station. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, Vol. VI. ISSN 0975-7384.
- [9] Vauzia A., V., Husodo, A., & Mahardhika, P. (2017). Analisa Tegangan dan Frekuensi Alami pada Pipa Line 116OTH202-20040C10 di Plant Fatty Acid Fractionation Upgrade. *Conference Of Piping Engineering And Its Application (CPEAA)*, 1(1), 67-72.
- [10] W. C, Young and R. G, Budynas. (2002). Roak's Formulas for Stress and Strain 7th Edition. McGraw-Hill Companies Inc. New York.
- [11] Caepipe Users Manual Version 5.1. (2003) SST System Appendix E.
- [12] Hasan, M., Santoso, E., & Mahardhika, P. (2017). DESAIN EXPANSION LOOP PADA LINE 116SV203-150-16H20 FATY ACID DESTILATION PT.WILMAR NABATI INDONESIA. *Conference Of Piping Engineering And Its Application (CPEAA)*, 1(1), 31-36.
- [13] Chamsudi. (2005). *Diktat-Piping Stress Analysis*. PT. Rekayasa Industri.
- [14] Mahardhika, P., Julianto, E., Indartono, A., & Kusuma, G. (2018). Analisis Kenaikan Tekanan Fluida Terhadap Tegangan Dan Fleksibilitas Pipa Blowdown A106 Grade A Berdasarkan ASME B31.3. *TEKNIK*, 39(1), 67-77.
- [15] ASME. (2014). *ASME B31.3 Piping Process*. USA: American Society of Mechanical Engineering.
- [16] M. L, Nayyar. (2002). *Piping Handbook* 7th Edition. McGraw-Hill. New York.
- [17] AutoPipe. (2008). *Example Case System Water Hammer*. USA: Bentley.
- [18] Bathe, K.-J., Wilson, E. L., and Peterson, F. E. (1974). *SAP IV: a structural analysis program for static and dynamic response of linear systems*, Vol. 73. College of Engineering, University of California Berkeley.
- [19] Coade. (1992). *Pipe Stress Analysis*. USA: Coade Caesar II.
- [20] DNV-RP-D101. (2008). *Structural Analysis of Piping Systems*. Havik, Norway : s.n.

Halaman ini sengaja dikosogkan