

Analisa Tegangan dan Frekuensi Alami pada *Redesign* Sistem Perpipaan *Line Outgoing Crude Oil*

Vidho Okta Putra Pratama^{1*}, Adi Wirawan Husodo², Ni'matut Tamimah³

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

Email: vidhookta@student.ppns.ac.id^{1*}; adi_wirawan@ppns.ac.id^{2*}; nimatuttamimah@ppns.ac.id^{3*}.

Abstract – The L-299-A line piping system is an outgoing crude oil line piping system from the offshore platform to FSO. In this line will be refabricated and additional equipment in the form of a shut down valve (SDV). Because that, it is necessary to re-analyze the value of the stress and natural frequency using software, and produce a value of the smallest natural frequency of 3.3Hz with the minimum value allowed by the company is 4Hz. Because the natural frequency value does not meet the company's requirements, the design is unacceptable and needs to be redesigned. After redesign, the stress value obtained in the software has a value of 4164.7psi with a ratio to the allowable of 20.8%, and for stress due to thermal expansion has a value of 8052.9psi with a ratio of 16.7%. Meanwhile, the frequency value of the piping system after the redesign has a value of 4.4Hz so that it has a value greater than the minimum requirement allowed by the company.. So, from the values above that meet the permissible values, the new design of the piping system is declared safe and can be fabricated.

Keywords : Allowable Pipe Span, Critical Line, Natural Frequency, Pipe Stress Analysis, Pipe Support

Nomenclature

OD	Outside diameter (in)
ID	Inside diameter (in)
L _S	Pipe span limitation of stress (ft)
L _D	Pipe span limitation of deflection (ft)
S	Allowable tensile stress (psi)
W	Berat total (lb/ft)
W _{pipe}	Berat total pipa (lb/ft)
W _{fluida}	Berat total fluida (lb/ft)
E	Modulus elastisitas
I	Momen inersia

1. PENDAHULUAN

Sistem perpipaan dapat dikategorikan menjadi *critical line* dan *non critical line* jika dilihat dari nilai tekanan, temperature dan diameter pipa yang digunakan [1]. Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam sistem perpipaan pada kategori *critical line* adalah nilai tegangan dan frekuensi alami yang terdapat pada sistem perpipaan tersebut [1]. Untuk memudahkan menghitung tegangan dan frekuensi alami pada sistem perpipaan, dapat digunakan *software - software* analisa tegangan yang ada. Hasil perhitungan pada *software* dapat menunjukkan nilai tegangan dan frekuensi alami pada sistem perpipaan [1].

Sistem perpipaan *line outgoing crude oil* merupakan sistem perpipaan *critical line* yang terdapat penambahan *equipment* berupa *shut down valve* (SDV). Karena hal tersebut, maka sistem tersebut perlu dilakukan analisa ulang dan desain ulang pada penempatan *pipe support*. Dalam melakukan desain penempatan *pipe support* perlu dilakukan perhitungan *maximum allowable pipe span* untuk mencari jumlah *support* yang optimal [2]. Dalam menentukan nilai *maximum allowable pipe*

span dapat dihitung menggunakan perhitungan *allowable pipe span* berdasarkan *limitation of deflection* dan *limitation of stress* [2][3]. Nilai *allowable pipe span* diambil dari nilai terkecil dari kedua perhitungan tersebut.

Untuk analisa tegangan pada *software* akibat beban sustain maupun ekspansi termal dapat dicari menggunakan *load case* yang dipengaruhi oleh nilai dari berat pipa, berat insulasi, berat fluida, tekanan dan temperatur yang terdapat pada sistem perpipaan [4][5]. *Load case* tersebut dikombinasikan dan menghasilkan nilai tegangan aktual pada sistem perpipaan. Untuk analisa dan perhitungan frekuensi alami pada sistem perpipaan dikutip dari penelitian Dewi [6] dimana dalam penelitian ini membahas mengenai frekuensi alami dengan metode *modal analysis*.

Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan *maximum allowable pipe span*, *redesign pipe support*, analisa tegangan berdasarkan kondisi pembebanan sustain maupun termal, dan analisa frekuensi alami pada sistem perpipaan *line outgoing crude oil* berdasarkan teori dan konsep yang digunakan dalam penelitian yang disebutkan di atas.

2. METODOLOGI

2.1 Allowable Pipe Span

Perhitungan *allowable pipe span* digunakan untuk melakukan redesain terhadap peletakan *pipe support*. Berikut merupakan perhitungan *allowable pipe span* berdasarkan *limitation of stress* dan *deflection*.

Limitation stress

$$L_S = \frac{\sqrt{0.4ZSh}}{w} \quad (1)$$

Limitation deflection

$$Ld = \sqrt[4]{\frac{\Delta EI}{13.5 w}} \quad (2)$$

Persamaan (1) dan (2) menunjukkan persamaan perhitungan *allowable pipe span* berdasarkan *limitation of stress* dan *deflection*. Dimana L merupakan *allowable pipe span* (in), Z merupakan *modulus of section* pada pipa (in³), Sh merupakan *allowable tensile stress* pada material pipa (psi), w merupakan total berat dibagi panjang pipa (lb/in), I merupakan *area moment of inertia of pipe* (in⁴), dan E merupakan modulus elastisitas dari material pipa (psi).

2.2 Tegangan pada Sistem Perpipaan

Analisa Tegangan pada pipa meliputi tegangan akibat pembebanan sustain dan ekspansi termal [5]. Analisa tegangan pada sistem perpipaan ini menggunakan analisa pada *Software* yang dijelaskan pada sub bab di bawah:

2.2.1 Tegangan Akibat Beban Sustain

Analisa tegangan akibat pembebanan sustain pada setiap segmen dicari menggunakan *load case 2* (L2) pada *Software*. Kombinasi beban pada *load case 2* (L2) dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah. Dimana W merupakan berat total pada sistem perpipaan, P1 merupakan tekanan desain pada sistem perpipaan.

2.2.2 Tegangan Akibat Beban Ekspansi Termal

Pada *Software*, analisa tegangan akibat beban ekspansi termal pada setiap segmen dicari menggunakan *load case 3* (L3). Kombinasi beban pada *load case 3* (L3) merupakan pengurangan dari *load case 1* (L1) dan *load case 2* (L2) yang dapat dilihat pada Tabel 1.

2.3 Frekuensi Alami Sistem Perpipaan

Nilai frekuensi alami didapat dengan metode *modal analysis* yang dilakukan berdasarkan perhitungan dan analisa pada *software* [6]. Penentuan frekuensi alami yang diizinkan mengacu pada standar perusahaan tentang frekuensi alami, nilai frekuensi alami suatu sistem perpipaan harus di bawah 4 Hz. Analisa frekuensi alami pada *software* menggunakan *load case operating* (L1) sebagai parameter beban yang dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah. Dimana W merupakan berat total (lb/in), T merupakan temperatur desain (F), P merupakan tekanan desain (psi) dan F merupakan *force* yang terdapat pada sistem perpipaan (N).

Tabel 1: *Load Case* pada *Software*

Load Case	Kategori	Load Combination
L3	Operating	OPE = W + T1 + P1 + F
L5	Sustained	SUS = W + P1
L7	Expansion	EXP = L3 - L5

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Allowable Pipe Span

Berikut ini merupakan pengerjaan perhitungan *allowable pipe span* berdasarkan batasan tegangan

dan berdasarkan batasan defleksi menggunakan persamaan (1) dan (2):

$$\begin{aligned} \text{Berat pipa} &= \frac{\pi(OD^2-ID^2) \times \rho_{\text{pipe}} \times 12}{4} \\ &= \frac{\pi(10.750^2-9.560^2) \times 0.283 \times 12}{4} \\ &= 64.464 \text{ lb/ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat fluida} &= \frac{\pi \times ID^2 \times \rho_{\text{fluida}} \times 12}{4} \\ &= \frac{\pi \times 9.560^2 \times 0.033 \times 12}{4} \\ &= 28.425 \text{ lb/ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total} &= \text{Berat pipa} + \text{Berat fluida} \\ &= 64.464 + 28.425 \\ &= 92.889 \text{ lb/ft} \end{aligned}$$

Berdasarkan Batas Tegangan

$$\begin{aligned} &= \sqrt{\frac{0.4 \times Z \times Sh}{W}} \\ &= \sqrt{\frac{0.4 \times 45.680 \times 2000}{92.889}} \\ &= 63.723 \text{ ft} \end{aligned}$$

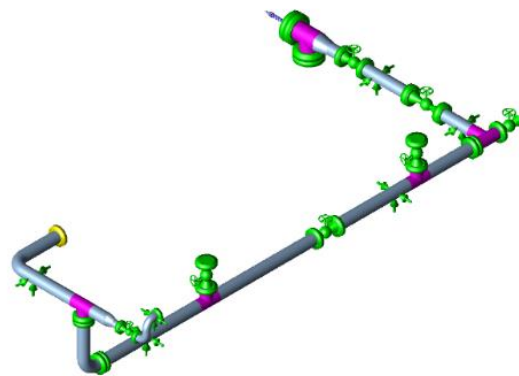
Berdasarkan Batas Defleksi

$$\begin{aligned} &= \sqrt[4]{\frac{\Delta EI}{13.5 W}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{0.625 \times 28600000 \times 245.530}{13.5 \times 92.889}} \\ &= 38.193 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari perhitungan maksimum *allowable pipe span* berdasarkan batasan tegangan dan berdasarkan batasan defleksi di atas. Nilai yang digunakan dalam melakukan redesain adalah nilai terkecil yaitu 38.193 ft.

3.2 Pemodelan Sistem Perpipaan

Pemodelan sistem perpipaan *line outgoing crude oil* menggunakan *software* dengan melakukan redesain terhadap peletakan *support*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai yang memenuhi batasan ijin yang telah ditentukan [2]. Gambar 1 di bawah ini menunjukkan pemodelan terhadap sistem perpipaan yang telah dilakukan redesain.



Gambar 1. Redesain Sistem Perpipaan

3.3 Tegangan pada Sistem Perpipaan

Analisa tegangan pada sistem perpipaan desain existing dan redesain yang dilakukan berdasarkan analisa pada *software* meliputi tegangan akibat beban

sustain dan tegangan akibat beban ekspansi termal [4][5]. Hasil analisis pada *software* dari tegangan akibat beban sustain dan tegangan akibat beban ekspansi termal pada desain existing dapat dilihat pada Tabel 2 di samping.

Dari hasil *running software* dari tegangan akibat beban sustain dan beban ekspansi termal desain *existing* menunjukkan bahwa tegangan pada pipa memenuhi tegangan izin yang disyaratkan oleh ASME B31.3. Dengan ratio terhadap *allowable* 19.9 % untuk tegangan akibat beban sustain dan 19.3 % untuk tegangan akibat beban ekspansi termal.

Sedangkan untuk nilai tegangan setelah redesain yang meliputi tegangan akibat beban sustain dan tegangan akibat beban ekspansi termal pada *software* dapat dilihat pada Tabel 3 di samping.

Dari hasil analisa tegangan sistem perpipaan setelah dilakukan redesain pada *software* menunjukkan bahwa tegangan pada sistem perpipaan masih memenuhi tegangan izin yang disyaratkan oleh ASME B31.3. Dengan rasio terhadap *allowable* 20.8 % untuk tegangan akibat beban sustain dan 16.7 % untuk tegangan akibat beban ekspansi termal.

3.4 Frekuensi Alami Sistem Perpipaana

Nilai batasan ijin frekuensi alami mengacu pada kriteria dari perusahaan harus bernilai di bawah 4 Hz. Hal itu dikarenakan semakin kecil nilai frekuensi alami maka akan semakin besar nilai defleksi pada sistem perpipaan, nilai frekuensi alami yang kecil juga sangat mudah terpengaruh oleh frekuensi eksitasi yang akan menyebabkan resonansi pada sistem perpipaan [6]. Hasil analisa nilai frekuensi alami menggunakan *software* dapat dilihat pada Tabel 3 di samping.

Dari hasil analisa menggunakan *software* didapatkan hasil berbagai nilai frekuensi alami pada sistem perpipaan *existing*. *Mode* 1 yang merupakan modus awal memiliki nilai frekuensi alami terkecil yaitu sebesar 3.2 Hz. Maka dari itu nilai frekuensi alami desain *existing* tidak memenuhi kriteria perusahaan dan perlu dilakukan redesain pada peletakan *pipe support*.

Setelah dilakukan redesain pada peletakan *pipe support* didapat nilai frekuensi alami yang dapat dilihat pada Tabel 5. Nilai frekuensi alami pada *mode* 1 memenuhi kriteria perusahaan yaitu sebesar 4.41 Hz. Nilai tersebut lebih besar dari nilai minimum yang diijinkan oleh perusahaan yaitu sebesar 4 Hz. Maka desain sistem perpipaan tersebut dapat diterima dan dinyatakan aman.

Tabel 2: Tegangan pada Desain *Existing*

No	Load Case	Code Stress (lb/in ²)	Allowable Stress (lb/in ²)	Ratio (%)
1	L3 (SUSTAINED) L3 = W + P1	3988.7	20000	19.9
2	L5 (EXPANSION) L5 = W + P1 + T1 + F	9467.1	49063	19.3

Tabel 3: Tegangan pada Redesain

No	Load Case	Code Stress (lb/in ²)	Allowable Stress (lb/in ²)	Ratio (%)
1	L3 (SUSTAINED) L3 = W + P1	4147.7	20000	20.8
2	L5 (EXPANSION) L5 = W + P1 + T1 + F	8052.9	48327	16.7

Tabel 4: Frekuensi Alami pada Desain Existing

Mode	Frequency (Hz)	Frequency (Rad/s)	Period (s)
1	3,322	20,875	0,301
2	6,793	42,682	0,147
3	8,287	52,067	0,121
4	10,020	62,955	0,100

Tabel 5: Frekuensi Alami pada Redesain

Mode	Frequency (Hz)	Frequency (Rad/s)	Period (s)
1	4,411	27,718	0,227
2	5,657	35,547	0,117
3	8,347	52,445	0,120
4	12,041	75,656	0,083

4. KESIMPULAN

Bedasarkan hasil analisa yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dikarenakan terdapat penambahan equipment pada desain eksisting, nilai frekuensi alami pada sistem perpipaan belum memenuhi batas izin perusahaan dan perlu dilakukan redesain pada peletakan *pipe support*. Dan setelah dilakukan redesain terhadap jumlah dan peletakan *pipe support* didapatkan nilai tegangan dan frekuensi alami yang memenuhi batas ijin yang telah ditentukan. Oleh karena itu, berdasarkan nilai tegangan dan nilai frekuensi alamai sistem perpipaan redesain, maka desain baru sistem perpipaan tersebut dinyatakan aman dan dapat dilakukan fabrikasi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chamsudi, Achmad. (2005). Piping Stress Analysis. Badan Tenaga Nuklir Nasional PUSPITEK, Serpong.
- [2] Mahardhika, Pekik, Guyen, M. R., Poernomo, H., & Mahardhika, P. (2018). Analisa Tegangan New Critical Line Pipe dari Discharge Compressor Scrubber Train menuju Tie In Point Existing MP Gas Scrubber Pipe. Conference on Piping Engineering and It’s Application, 4.
- [3] Politeknik Perkapalan, Negeri Surabaya, and Tegangan Pipa. 2020. “Desain Peletakan Penyangga Dan Evaluasi Tegangan Pada Sistem Perpipaan Fluida Masseurite Dari Reheater Menuju Feed Mixer.” 6: 39–46.
- [4] Habibah, Farhani, Heru Poernomo, and Pekik Mahardhika. 2019. “Desain Penambahan Jalur Perpipaan Tie-In Point Akibat Penambahan Deliquidizer.” 4nd Conference on Piping Engineering and Its Application. (2656): 87–92.
- [5] Husen, Ahmad, Aldi Setiyadi, and Nur Choliss. 2018. “ANALISIS TEGANGAN PIPA 043-GN-31004 PADA SCRUB COLOUMN

VESSEL MENUJU VESSEL COLOUMN
PROYEK.” 14: 139–52.

- [6] Tauladhan, G., Husodo, A.W., Mahardhika, P.(2018). Analisis Desain Pipa GRP pada Line Discharge UF Backwash Pump Dengan Vertical Loop (Studi Kasus Unit Pengolahan Water Treatment PLTU Unit 2-1 X 1000 Mw Cirebon). 6th Conference on Piping Engineering and Its Application, pp. 103-108.
- [7] Pratiwi, D. A., Mahardhika, P., & Husodo, A. W. (2020). *Analisa Tegangan dan Frekuensi Alami Sistem Perpipaan Discharge Compressor A / B / C / D*. 5(d). Conference on Piping Engineering and It's Application, 6.