

Analisis Tegangan dan Flexibilitas Pipa Distribusi *Thermal Oil* Di Perusahaan Minyak

Zakiyyuddin^{1*}, Heroe Poernomo², Pekik Mahardhika³, Firhad Jami' Al Izz⁴, Syaifuddin Yusuf⁵

Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*, 3, 4, 5}

Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²

Email: zakiyyuddin@student.ppns.ac.id^{1*}; poernomo_heroe@ppns.ac.id²; pekikmahardhika@ppns.ac.id³; firhadizzi@student.ppns.ac.id⁴; syaifuddinyusuf23@student.ppns.ac.id⁵;

Abstract - An oil company in Gresik has a piping system for thermal oil distribution with high temperatures. One of the lines contained in this piping system is line 350-TOHS-9901-C14B-100HC. With a diameter of 14 in and high temperature, line 350-TOHS-9901-C14B-100HC is included in the critical line category. To find out whether the line is overstressed or not, this final project discusses the analysis of stress and flexibility on the 350-TOHS-9901-C14B-100HC line piping. The analysis includes flexibility and stress analysis using stress analysis software due to sustained load and thermal load according to ASME B31.3 permit standards. The calculation of flexibility uses the simplified flex analysis method which shows the pipeline to find out whether the system is flexible or not. The results of the flexibility calculation on this line do not exceed the K1 value so that the piping line is declared flexible and feasible to operate. After a stress analysis using software, a stress value due to sustain load of 7145 psi was obtained which did not exceed the standard value of ASME B31.3 permit of 17156 psi. The stress value due to thermal load is 30746.7 psi, which exceeds the standard value of ASME B31.3 permit of 29289 psi. So that this piping line is not safe and can be advised to the relevant company so that the line can be re-designed to be safe.

Keyword: Analysis, flexibility, sustained load, thermal load.

Nomenclature

S_{ax}	Tegangan akibat gaya aksial (MPa)
S_b	Tegangan momen bending (N/mm ²)
Δ	Allowable deflection (in)
OD	Outside Diameter (in)
ID	Inside Diameter (in)
Z	Section Modulus (in ³)
S_h	Allowable tensile stress (psi)
S_b	Allowable bending stress (psi)
L	Panjang total pipa (ft)

1. PENDAHULUAN

Suatu perusahaan minyak Gresik memiliki sebuah proyek perpipaan untuk distribusi *thermal oil*. Jalur perpipaan untuk distribusi *thermal oil* terdapat *equipment thermal oil heater* untuk men-supply fluida *thermal oil* ke sebuah *plant*. Analisis tegangan dibutuhkan karena pada jalur tersebut termasuk ke dalam *critical line*. Menurut [1] yaitu semua jalur pada suhu desain di atas 180°C. karena jalur ini merupakan kriteria *critical line*, maka perlu dilakukan analisis tegangan.

Pada penelitian sebelumnya sudah dijelaskan untuk perhitungan nilai flexibilitas pada sistem perpipaan. Menurut [2] Sistem perpipaan harus cukup flexibel, sehingga ketika terjadi ekspansi *thermal*, pergerakan titik *support*, dan sistem

perpipaan tersebut tidak mengalami kegagalan. Kajian terkait perhitungan *flexibilitas* cukup banyak dilakukan. [2] melakukan penelitian tentang perhitungan *flexibilitas* menggunakan metode *simplified flex analysis* yang menunjukkan jalur pipa untuk mengetahui sistem tersebut *flexibel* atau tidak. Menurut [3] analisis tegangan yaitu kegiatan untuk memperoleh perilaku sistem perpipaan. [2] melakukan analisis tegangan pada vertical loop pada pipa proses distribusi uap jenuh. Analisis tegangan meliputi sustained dan thermal expansion load untuk mengetahui nilai tegangan yang memenuhi.

Pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan flexibilitas dan analisis tegangan pada jalur distribusi *thermal oil* berdasarkan kondisi pembebanan sustain dan ekspansi *thermal* dengan acuan [4]. Analisis dilakukan menggunakan *software* analisis tegangan untuk dapat mengetahui tegangan serta beban yang diterima dari sistem.

2. METODOLOGI .

2.1 Analisis Flexibilitas Pipa

Analisis flexibilitas pipa ini akan dilakukan pada jalur 350-TOHS-9901-C14B-100HC. Nilai flexibilitas pipa dapat dicari dengan menggunakan rumus Persamaan (1) untuk

mencari beberapa variabel yang terdapat pada persamaan tersebut maka dapat mengikuti langkah- langkah di bawah ini dengan mengacu pada [6].

$$\frac{D_y}{(L - U)^2} \leq K_1 \quad (1)$$

2.2 Tegangan Pada Pipa

Tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*shear stress*).

Tegangan normal meliputi tegangan longitudinal, tegangan tangensial dan tegangan radial.

Tegangan longitudinal merupakan tegangan yang searah dengan panjang pipa (S_L) 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*) [5].

1. Tegangan longitudinal akibat gaya axial (S_{ax}) merupakan tegangan yang ditimbulkan oleh gaya yang bekerja searah dengan sumbu pipa

$$S_{ax} = \frac{F_{ax}}{A_m} \quad (2)$$

2. Tegangan longitudinal akibat momen bending (S_b) merupakan tegangan yang ditimbulkan oleh momen yang bekerja diujung pipa. Tegangan yang terjadi berupa tegangan tekuk tarik (*compression bending*) atau tegangan tekuk tekan (*tensile bending*) [5].

$$S_b = \frac{M_b \cdot c}{I} \quad (3)$$

3. Tegangan longitudinal tekan (S_l) merupakan tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan internal (P) yang bekerja pada dinding pipa dan searah sumbu pipa [5]. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S_l = \frac{P A_i}{A_m} \quad (4)$$

Tegangan radial merupakan tegangan yang Tegangan yang arahnya sama dengan sumbu radial disebut tegangan 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*) [3]. Persamaan tegangan radial dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S_H = \frac{P(r_1^2 + \frac{r_1^2 + r_0^2}{r^2})}{r_0^2 + r_1^2} \quad (5)$$

Tegangan geser adalah tegangan yang arahnya parallel dengan penampang permukaan pipa, terjadi jika dua atau lebih tegangan normal yang bekerja pada satu titik. Tegangan geser pada sistem pipa antara lain akibat gaya dari tumpuan pipa (*pipe support*) dikombinasikan dengan gaya bending. [3].

$$\sigma_{max} = \frac{P x A_i}{A_m} \quad (6)$$

2.3 Tegangan Pada Pipa

Persamaan penentuan nilai aktual terhadap batasan yang diijinkan pada setiap pembebanan tersebut dijelaskan sebagai berikut [4].

2.3.1 Tegangan Ijin Akibat Sustained Load

Jumlah dari tegangan longitudinal (S_L) yang disebabkan oleh tekanan, berat pipa dan semua komponen dalam sistem perpipaan merupakan pembebanan akibat *sustained* yang tidak boleh lebih dari tegangan ijin pada (S_h). Dimana S_h diperoleh dari [4]. Nilai tegangan izin untuk kondisi akibat pembebanan sustain ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$S \text{ due to sustain load} \leq S_h \quad (7)$$

2.3.2 Tegangan Ijin Akibat Expansion Load

Tegangan izin akibat kondisi expansion thermal yang terjadi pada suatu material pipa dan komponennya akibat beban thermal yang berulang, expansion ditetapkan berdasarkan [4] dalam ketentuan 302.3.5.

$$S \text{ due to Thermal load} \leq S_A \\ S_A = f (1.25(S_c + 0.25S_h)) \quad (8)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Pipa

Data spesifikasi teknis pipa dengan material A106 Grade B ditunjukkan pada Tabel 1, data insulasi dengan jenis *Calcium Silicat* ditunjukkan pada Tabel 2 dan data spesifikasi fluida *Thermal Oil* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 1: Data Spesifikasi Pipa.

No	Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
1	Nominal Pipe Size	NPS	14	in
2	Schedule	SCH	40	-
3	Outside Diameter	OD	14	in
4	Inside Diameter	ID	13.562	in
5	Wall Thickness	T	0.438	in

Tabel 2: Data Spesifikasi Fluida.

No	Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
1	Tebal	T	3.937	in
2	Densitas	ρ	12.25	Kg/m ³

Tabel 3: Data Spesifikasi Fluida.

No	Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
1	Densiti Fluida	ρ	788	Kg/m ³
2	Temperature Desain	T (des)	662	°F
3	Temperature Operasi	T (op)	554	°F
4	Tekanan Desain	P (des)	145.038	psi
5	Tekanan Operasi	P (op)	118.931	psi
6	Tekanan Pneumatic Test	P (pt)	217.557	psi

3.2 Analisis Flexibilitas Pipa

Perhitungan nilai flexibilitas mengacu pada Persamaan (1). Hasil perhitungan dari flexibilitas pipa yaitu sebesar 0.007. Nilai ini masih dibawah dari ketentuan K1 yaitu 0,033, sehingga hasil perhitungan dapat dinyatakan flexibel. Perhitungan analisis flexibilitas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Data dan Hasil Perhitungan Analisis Flexibilitas Pipa.

DESCRIPTION	VALUE	UNIT
L pipa X	238.133	ft
L pipa Y	28.606	ft
L pipa Z	378.127	ft
Coefficient B	424	in
ΔX	10.097	in
ΔY	1.213	in
ΔZ	16.033	in
Resultant Displacement (Y)	18.986	in
L total	644.865	ft
Jarak kedua anchor (U)	447.778	ft
Factor (f)	1	-
S hot	20000	psi
Sa	29600	psi
Ea	26900000	psi
K1	0.033	-
$\frac{D_y}{(L - U)^2}$	0.007	-

3.3 Tegangan Akibat Sustained Load

Perhitungan nilai tegangan mengacu pada persamaan (7). Tabel 4 merupakan hasil *output stress* di beberapa segmen pada jalur ini. Nilai tegangan tertinggi berada pada node 400-410 dengan nilai sebesar 7145 *psi*. Hasil tersebut

menunjukkan nilai tegangan tertinggi akibat pembebanan sustain pada kondisi desain yang masih di bawah batas izinnnya.

3.4 Tegangan Akibat Thermal Expansion Load

Perhitungan nilai tegangan akibat pembebanan ekspansi termal mengacu pada persamaan (8). Tabel 4 merupakan hasil *output stress* pada beberapa segmen pada jalur ini. Nilai tegangan tertinggi berada pada node 310-320 dengan nilai sebesar 30746.7 *psi*. Hasil tersebut menunjukkan nilai tegangan akibat pembebanan ekspansi termal pada kondisi desain yang melebihi batas izinnnya.

Tabel 4: Output Stress pada Software Analisis Tegangan.

No	Load Case	Code Stress (psi)	Allowable Stress (psi)	Ratio (%)
1	$L4(Sustained) = W + P1$	7145	17156	41.6
2	$L6(Expansion) = L2 - L4$	30746.7	29289	105.0

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis, perhitungan flexibilitas masih dibawah ketentuan, sehingga jalur tersebut dapat dinyatakan flexibel. Nilai tegangan dari pembebanan *sustain* masih dibawah *allowable stress* sedangkan nilai tegangan dari pembebanan ekspansi melebihi nilai *allowable stress* sehingga berdasarkan [4] sistem perpipaan pada jalur distribusi *thermal oil* harus dilakukan re-desain agar lebih *optimal*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] DNV-RP-D101. (2008). *Structural Analysis of Piping Systems*. Havik, Norway.
- [2] Ayuandira, M. S, Kusuma, G. E, & Taminah, M. (2021.). *Perencanaan Desain Expansion Loop Pada Pipa Proses Distribusi Uap Jenuh di Perusahaan Food and Beverage*.
- [3] Tijara, P. (2004). *Pelatihan Dasar Analisis Tegangan Menggunakan Software COADE CAESAR II*. PT. Tijara Pratama.
- [4] ASME. (2016). *ASME B31.3 Process Piping*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- [5] Chamsudi, A. (2005). *Piping Stress Analisis*. Diktat - Piping Stress Analisis. Jakarta.