

Analisis Tegangan *Line 10''-ET-1003-1CS4-C* Pada Jetty *Transfer* Menuju Tangki *Ethylene*

Fatih Muhammad Abdillah^{1*}, Pekik Mahardhika², Lely Pramesti³

Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*}

*Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia*²

*Program studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia*³

Email: fatihabdillah@email.com^{1*}; pekikmahardhika@email.com^{2*}; lelypramesti@email.com^{3*};

Abstract - The petrochemical company in Indramayu is expanding its operations by constructing a jetty head and a new line pipe, 10''-ET-1003-1CS4-C, designed to transport ethylene at -108°C from the jetty head to the ethylene tank. As this is a new and critical line pipe, a stress analysis is required. This analysis is conducted under sustained, occasional, and thermal loadings based on the ASME B31.3 standard. The calculation of the maximum allowable pipe span considers the smallest value between stress and deflection limits, determined to be 36,601 ft. The highest stress values recorded for the pipe are 13,660.26 psi under sustained load, 15,353.04 psi under occasional load due to wind, and 23,256.45 psi under thermal load. All these stress values are within the allowable limits, indicating the pipeline is safe for operation. Although the pipe experiences a significant displacement of 160.402 mm in the X direction.

Keyword: low temperature, stress analysis, displacement

Nomenclature

Nomenclature menyatakan simbol dan keterangan yang kita tampilkan dalam paper

W_{pipe}	Berat pipa (lb/ft)
W_{fluid}	Berat fluida (lb/ft)
W_{insul}	Berat insulasi (lb/ft)
W	Berat total (lb/ft)
ID	<i>Inside diameter</i> (in)
OD	<i>Outside diameter</i> (in)
ρ_{pipa}	massa jenis pipa (lb/in ³)
ρ_{fluida}	massa jenis fluida (lb/in ³)
ρ_{insul}	massa jenis insulasi (lb/in ³)
L_s	<i>Limitation of stress</i> (ft)
L_D	<i>Limitation of deflection</i> (ft)
Sh	Allowable tensile stress (lb/in ²)
Z	Section modulus (in ³)
Δ	Allowable deflection (in)
I	momen inersia (in ⁴)
Sa	Tegangan longitudinal akibat aksial (lb/in ²)
P	pressure (lb/in ²)
A_i	Internal area of pipe (in ²)
A_m	Cross section area of pipe (in ²)
Fax	Gaya aksial (lb)
Sb	Tegangan tekuk (lb/in ²)
Mb	Moment bending (lb.in ²)
i_i	Inplane stress intensification factor
i_o	Outside stress intensification factor
M_i	Inplane bending moment (lb.in)

M_o	Outplane bending moment (lb.in)
St	Tegangan torsi (lb/in ²)
Mt	Momen torsi (lb.in)
SL	Tegangan sustained load (lb/in ²)
S_A	Allowable displacement stress range (lb/in ²)
f	Stress range reduction factor
S_c	Basic all stress at minimum temperature (lb/in ²)

1. PENDAHULUAN

Salah satu Perusahaan yang bergerak dibidang petrochemical sedang melakukan ekspansi polypropylene plant dengan membangun jetty head yang menghubungkan pipa menuju tangki ethylene. Salah satu jalur penting dalam proyek ini adalah *line 10''-ET- 1003-1CS4-C*, yang akan mengalirkan *ethylene* pada suhu -108°C dari jetty head menuju tangki ethylene.

Sebagai jalur baru yang kritis, pipa ini belum menjalani analisis tegangan yang diperlukan untuk memastikan keamanannya. Berdasarkan [1] dan standar perusahaan, pipa dengan diameter 10'' dan suhu -108°C termasuk dalam kategori critical line C, yang memerlukan analisis tegangan menggunakan perangkat lunak khusus. Hal ini penting karena suhu rendah dapat menyebabkan pengkerutan pada pipa, sehingga perlu dilakukan analisis *displacement* untuk mengevaluasi nilai *displacement* yang terjadi.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis tegangan pada pipa 10"-ET- 1003-1CS4-C sesuai dengan standar [2] dan menggunakan software analisis tegangan untuk

menentukan tegangan serta beban akibat *sustained load*, *occasional load*, dan *thermal load* yang diterima dari sistem perpipaan. Dalam proses analisis ini akan dilakukan penentuan *maximum allowable pipe span*. Saat menghitung *maximum allowable pipe span* ada beberapa hal yang perlu diperhatikan[3].

2. METODOLOGI .

2.1 Maximum Allowable Pipe Span

Jarak antar *support* dalam kondisi *both end limitation of stress* dan *both end limitation of deflection* berdasarkan berat pipa, fluida, dan *attachment* dapat dihitung dengan rumus dari [4] sebagai berikut:

$$W_{\text{pipe}} = \frac{\pi}{4} \times (OD^2 - ID^2) \times \rho_{\text{pipa}} \quad (1)$$

$$W_{\text{fluid}} = \frac{\pi}{4} \times (ID^2) \times \rho_{\text{fluida}} \quad (2)$$

$$W_{\text{insul}} = \frac{\pi}{4} \times (OD_{\text{insulasi}}^2 - OD^2) \times \rho_{\text{insul}} \quad (3)$$

$$W = W_{\text{pipe}} + W_{\text{fluid}} + W_{\text{insul}} \quad (4)$$

Kondisi *limitation of stress* dan *limitation of deflection* berdasarkan berat pipa, fluida, dan valve dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$L_s = \sqrt{\frac{0.4 \times Z \times Sh}{w}} \quad (5)$$

$$L_D = \frac{4 \sqrt{\Delta \times E \times I}}{13.5 \times w} \quad (6)$$

2.2 Tegangan Pada Pipa

Tegangan yang terjadi dalam system perpipaan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*shear stress*)[1]. Tegangan normal terdiri dari tiga komponen tegangan yaitu tegangan longitudinal, tegangan tangensial, dan tegangan radial[4].

2.2.1 Tegangan Longitudinal

- Tegangan aksial

$$S_a = \frac{P \times A_i}{A_m} = \frac{F_{ax}}{A_m} \quad (7)$$

$$A_i = \frac{\pi \times (di)^2}{4} \quad (8)$$

$$A_m = \frac{\pi \times (do^2 - di^2)}{4} \quad (9)$$

- Tegangan longitudinal tekan

$$S_b = \frac{\sqrt{(iiMi)^2 + (ioMo)^2}}{Z} \quad (10)$$

- Tegangan torsi

$$S_t = \frac{Mt}{2Z} \quad (11)$$

2.3 Tegangan Izin

2.3.1 Tegangan Akibat Sustained Load

Jumlah dari tegangan longitudinal (SL) yang disebabkan oleh tekanan, berat pipa dan semua komponen dalam sistem perpipaan merupakan pembebanan akibat *sustained* yang tidak boleh lebih dari tegangan izin pada (Sh). Nilai tegangan izin untuk kondisi akibat pembebanan sustain ditentukan berdasarkan persamaan berikut[2].

$$SL = \sqrt{(S_a + S_b)^2 + (2S_t)^2} < S_h \quad (12)$$

2.3.2 Tegangan Akibat Occasional Load

Berdasarkan [2], menyebutkan bahwa jumlah tegangan longitudinal yang disebabkan oleh tekanan, berat dan pembebanan sustain yang lain dan tegangan yang dihasilkan karena beban *occasional* seperti angin atau gempa bumi tidak melebihi 1.33 kali nilai tegangan izin dasar (Sh).

$$S \text{ due to occasional load} \leq 1.33S_h \quad (13)$$

2.3.3 Tegangan Akibat Thermal Expansion Load

Tegangan izin akibat kondisi expansion thermal yang terjadi pada suatu material pipa dan komponennya akibat beban thermal yang berulang, expansion ditetapkan berdasarkan [2]. *S due to Thermal load* ≤ SA

$$S_A = f(1.25S_c + 0.25S_h) \quad (14)$$

2.4 Software Analisis Tegangan

Pemodelan yang dilakukan menggunakan software CAESAR II. Pemodelan menggunakan CAESAR II adalah pendekatan yang umum dan

efektif dalam analisis sistem perpipaan. Analisis tegangan pipa menggunakan analisis tegangan statik meliputi *sustained load*, *occasional load*, dan *thermal load*. Untuk *load case* yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan sesuai kondisi yang digunakan[5].

Perangkat lunak ini memungkinkan pengguna untuk membuat model 3D dari sistem perpipaan yang mencakup semua komponen kritis, seperti

pipa, fitting, penyangga, dan sambungan. Setelah model dibuat, CAESAR II dapat menjalankan simulasi untuk menganalisis bagaimana sistem bereaksi terhadap perubahan suhu, tekanan, dan beban lainnya. Ini termasuk analisis ekspansi termal, di mana perangkat lunak mengevaluasi bagaimana pipa akan memanjang atau menyusut akibat perubahan suhu dan bagaimana ini mempengaruhi tegangan dalam pipa[6].

2.5 Displacement

Displacement pada sistem perpipaan merupakan salah satu aspek penting yang harus dianalisis dalam desain dan operasi pipa,

terutama dalam aplikasi industri seperti petrochemical. Displacement merujuk pada perubahan posisi atau pergerakan pipa dari posisi normal atau asli akibat pengaruh berbagai beban, seperti beban termal, beban mekanis, atau beban lingkungan. Analisis displacement bertujuan untuk memastikan bahwa pipa dapat beroperasi dengan aman tanpa mengalami kerusakan atau kegagalan akibat pergerakan tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Maximum Allowable Pipe Span

Tujuan perhitungan dari *maximum allowable span* adalah untuk mengetahui jarak maksimal antar support. satuan yang digunakan pada perhitungan *max allowable span*. Berikut adalah perhitungan *max allowable pipe span*:

- Berat Pipa :

$$W_{\text{pipe}} = \frac{\pi \times (OD^2 - ID^2) \times \rho \text{ pipa}}{4}$$

$$= \frac{\pi \times (10,748^2 - 10,42^2) \times 12 \times 0,289}{4}$$

$$= 18,911 \text{ lb/ft}$$

- Berat Fluida :

$$W_{\text{fluid}} = \frac{\pi \times (ID^2) \times \rho \text{ fluida}}{4}$$

$$= \frac{\pi \times (10,42^2) \times 12 \times 0,021}{4}$$

$$= 21,489 \text{ lb/ft}$$

- Berat Insulasi :

$$W_{\text{insulation}} = \frac{\pi \times (OD \text{ insulasi}^2 - OD^2) \times \rho \text{ insul}}{4}$$

$$= \frac{\pi \times (22,559^2 - 10,748^2) \times 12 \times 0,0046}{4}$$

$$= 17,129 \text{ lb/ft}$$

- Berat Total :

$$W_{\text{total}} = \text{berat pipa} + \text{berat fluida} + \text{berat insulasi}$$

$$= 57,53 \text{ lb/ft}$$

- *Max allowable span based on limitation of stress:*

$$L_s = \sqrt{\frac{0.4 \times Z \times S}{w}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.4 \times 14,212 \times 20000}{57,53}}$$

$$= 44,456 \text{ ft}$$

- *Max allowable span based on limitation of deflection:*

$$L_D = \frac{4 \times \sqrt{\Delta \times E \times I}}{13.5 \times w}$$

$$= \frac{4 \times \sqrt{8 \times 29200000 \times 76,376}}{13.5 \times 57,53}$$

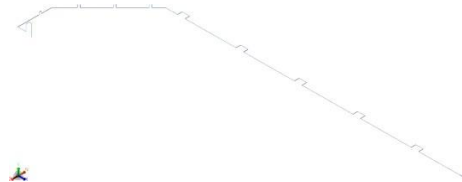
$$= 36,601 \text{ ft}$$

Dari Hasil perhitungan jarak minimum antar penyangga diambil dari nilai yang paling kecil

tegangan dan berdasarkan batas defleksi. Sehingga nilai yang digunakan ialah berdasarkan batas tegangan sebesar 36,601 ft

3.2 Pemodelan Menggunakan Software

Berdasarkan gambar isometri untuk line 10"-ET-1003-1CS4-C, pemodelan dilakukan menggunakan *software* Analisa tegangan dan direpresentasikan pada gambar 3.1 berikut:

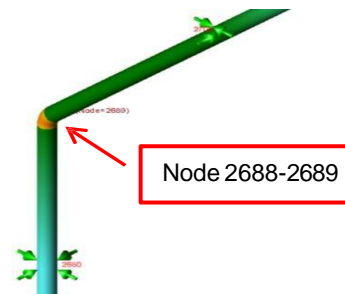


Gambar 1. Pemodelan pada software analisis tegangan

3.3 Tegangan Akibat Pembebanan Sustain

setelah dilakukan pemodelan pada CAESAR II kemudian analisis tegangan dilakukan akibat tegangan sustained pada setiap segmen dengan

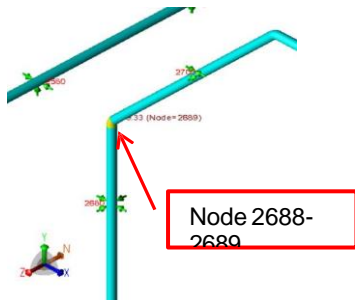
menggunakan load case L2 (SUS = W+P1). Dari hasil analisis nilai tegangan akibat sustain yang terjadi pada node 2688-2689, yang merupakan bagian elbow dalam jaringan pipa, analisis menunjukkan adanya tegangan sebesar 13660,26 psi dengan rasio 81,8% dari batas tegangan yang diizinkan sehingga masih berada dalam batas aman.



Gambar 2. Max stress due to sustained load

3.4 Tegangan Akibat Pembebanan Occasional

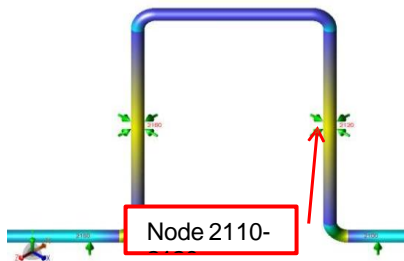
Analisis tegangan jalur perpipaan akibat diantara nilai jarak minimum berdasarkan batas beban occasional dilakukan menggunakan beberapa load case yaitu L24, L25, L26, dan L27. Hal tersebut dilakukan untuk arah angin yang berbeda yaitu arah +X, -X, +Z, dan -Z. Berdasarkan hasil analisis tegangan tertinggi akibat beban angin ke arah -X terjadi pada elbow dengan node 2688-2689 dengan nilai 15353,04 psi. tegangan ini mencakup 69,1% dari tegangan maksimum yang diizinkan dan masih memasuki batas aman.



Gambar 3. Max stress due to occasional load

3.5 Tegangan Akibat Pembebanan Thermal

Analisis tegangan jalur perpipaan akibat beban thermal dilakukan dengan load case L14 Analisis ini dilakukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi apakah sudah memenuhi batas izin pada ASME B31.3. Beban ekspansi termal pada sistem perpipaan timbul sebagai akibat dari perubahan suhu yang mempengaruhi pipa. Pada node 2110-2120, analisis menunjukkan bahwa tegangan yang disebabkan oleh ekspansi termal mencapai nilai sebesar 23256,45 psi, dengan rasio tegangan sebesar 62% dari tegangan maksimum yang diizinkan. Rasio ini menunjukkan bahwa meskipun tegangan yang dialami pipa cukup signifikan, masih berada dalam batas aman yang diperbolehkan oleh standar desain.



Gambar 4. Max stress due to thermal load

3.6 Perhitungan Manual Tegangan Sustained Load

Perhitungan beban sustain akan dilakukan pada salah satu node pipa. Perhitungan akan dilakukan pada salah satu node, yaitu node 750 - 760 menggunakan persamaan 7 – 12.

- Tegangan aksial

$$A_i = \frac{\pi(10,42^2)}{4} = 85,276 \text{ in}^2$$

$$A_m = \frac{\pi(10,748^2 - 10,42^2)}{4} = 5,453 \text{ in}^2$$

$$S_a = \frac{265,123 \times 85,276}{5,453} = 4145,99 \text{ lb/in}^2$$

- Tegangan bending

$$S_b = \frac{\sqrt{(1 \times 22271,9)^2 + (1 \times 0)^2}}{14,3}$$

$$S_b = 1557,472 \text{ lb/in}^2$$

- Tegangan torsi

$$S_t = \frac{7,1}{2 \times 14,3} = 0,249 \text{ lb/in}^2$$

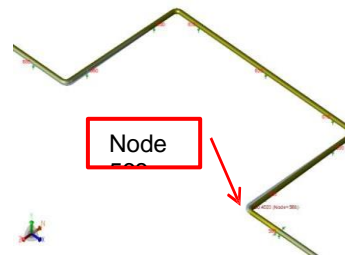
- Tegangan akibat *sustained load*

$$S_L = \sqrt{(4145,99 + 1557,472)^2 + (2 \times 0,249)^2}$$

$$S_L = 5703,471 \text{ lb/in}^2$$

3.7 Analisis Displacement

Setelah dilakukan analisis tegangan pada setiap kondisi menggunakan *software* CAESAR II, selanjutnya dilakukan analisis *displacement* yang terjadi pada pipa akibat *thermal load* pada masing-masing *support* pada pipa. bahwa node 568 mengalami displacement sebesar 160,402 mm kearah +X. nilai displacement yang besar ini terjadi pada support yang ada di dekat elbow pada expansion loop. Hal ini terjadi karena adanya penyusutan pada pipa akibat temperatur yang rendah sebesar -110C sehingga menyebabkan pergeseran atau pergerakan pada pipa.



Gambar 5. Max displacement

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis pada *line* 10"-ET-1003-1CS4-C, nilai *maximum allowable pipe span* yang digunakan adalah 36,601 ft. Tegangan yang terjadi akibat pembebanan *sustain, thermal*, dan *occasional* masih berada dibawah maksimal nilai tegangan yang diizinkan berdasarkan ASME B31.3. Nilai tegangan tertinggi terjadi pada pembebanan *sustained*, dengan nilai 13660,26 lb.in² rasio 81,8%. *Displacement* tertinggi yang terjadi pada sistem perpipaan terjadi pada pembebanan *thermal* dengan nilai 160 mm kearah -X.

5. PUSTAKA

[1] A. Chamsudi, "Diktat-Piping Stress Analysis," 2005.
 [2] "Process Piping ASME Code for Pressure Piping, B31.3," 2016. [Online]. Available: <http://cstools.asme.org/>
 [3] P. Mahardhika, "Penentuan Allowable Span antar penyangga Pipa SLF

- Berdasarkan Tegangan, Defleksi,
Frekuensi Alami," 2017.
- [4] S. Kannappan, *Introduction To Pipe Stress Analysis*. 1986.
- [5] I. Cas, "CAESAR II User's Guide," 2015. [Online]. Available: <http://www.bis.doc.gov/complianceand enforcement/liststocheck.htm>,
- [6] T. Pratama, *Pelatihan Dasar Analisa Tegangan Pipa Menggunakan Software COADE-CAESAR II*. 2004.