

Pengaruh Defleksi *Span Bridge* terhadap Tegangan *Pipeline CY2* pada *Overhead River Crossing*

Intan Rahmahwati^{1*}, George Endri Kusuma², Mochammad Choirul Rizal³

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

Program studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program studi D-IV Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: rahma9608@gmail.com^{1*}; kusuma.george@gmail.com^{2*}; mochammadchoirulrizal@yahoo.com^{3*};

Abstract - CY2 pipeline crosses Serayu River using the overhead crossing method. In manufacturing conditions, span bridge is known to have deflection which can affect stress on pipeline. This research is conducted on 2 conditions that is the condition of design and manufacture. This research is done manually using ASME B31.4 and by software CAESAR II. Manual stress calculation in manufacturing condition starting by calculating the total load due to deflection which is then used to calculate the moment due to deflection. This moment is then used to calculate the bending stress for the calculation of total longitudinal stress and to calculate the bending stress resultant in the calculation of expansion stress. As for calculation using software, the pipeline is modeled according to the conditions. In design conditions, pipelines are modeled using a restrain in accordance with the known span distances. Whereas in manufacturing conditions, the elevation of bridge deflection is used as pipe displacement inputs at each pipe restrain point. The result of the analysis in this final project shows that the bridge's deflection does not affect hoop stress but has an effect on longitudinal and expansion stress. All stress values calculated either manually or by software satisfy specified allowable stress.

Keyword: Deflection, Stress, ASME B31.4, CAESAR II.

Nomenclature

w	Berat pipa per satuan panjang (lb/in)
I	Area Moment of Inertia (in ⁴)
Z	Section modulus of pipe (in ³)
OD	Outside diameter of pipe (in)
ID	Inside diameter of pipe (in)
S_H	Hoop Stress (psi)
P_i	Internal design gage pressure (psi)
t	Tebal nominal pipa (in)
S_E	Thermal Expansion Stress (psi)
S_b	Resultant bending stress (psi)
S_t	Torsional stress (Psi)
A	Metal area of nominal pipe cross section (in ²)
F_A	Axial force (lb)
i	Stress intensification in plane of loading
M	Bending moment across the nominal pipe cross section due to weight or seismic inertia loading, (in-lb)
E	Modulus of elasticity (psi)
Δ	Deflection (in)
ℓ	Span length of the bending member (in)
M_B	Bending moment (lb-in)
S_B	Bending stress (psi)

1. PENDAHULUAN

Suatu perusahaan minyak yang bergerak dalam bidang penerimaan, penimbunan dan penyaluran BBM/BBK. Sistem penyaluran bahan bakar kepada terminal – terminal penerima yaitu melalui jalur *pipeline*. Jalur distribusi BBM terbagi menjadi 4 jalur yang salah satunya adalah *pipeline CY2*. Pada jalurnya, *pipeline* distribusi akan melewati daerah – daerah seperti sungai, jalan raya, dan kereta api. Pada jalur ini *pipeline* lebih banyak melalui sungai.

Sungai Serayu merupakan salah satu dari sekian banyak sungai yang dilewati oleh *pipeline CY 2*. Metode yang digunakan *pipeline* tersebut untuk melewati sungai adalah *overhead crossing* dengan menggunakan *span bridge* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. *Pipeline* tersebut di *support* menggunakan u bolt pada *span bridge*-nya.

Pipeline yang terletak pada *span bridge* tidak luput dari terjadinya defleksi atau lendutan. Hal itu dapat disebabkan oleh faktor beban dan faktor momen yang diterima oleh *pipeline*. *Span bridge* yang sudah terdefleksi juga dapat menyebabkan defleksi pada *pipeline*. Berdasarkan data yang ada, *span bridge* telah mengalaminya pada kondisi manufaktur. Hal itu

kemungkinan dapat mempengaruhi tegangan yang terjadi pada *pipeline*.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan pada dua kondisi yaitu kondisi design dan kondisi saat *span bridge* telah mengalami defleksi yaitu kondisi manufaktur. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan perhitungan tegangan pada setiap kondisi berdasarkan ASME B31.4. Perhitungan tegangan dilakukan secara manual berdasarkan ASME B31.4 dan software CAESAR II. Penelitian ini dilakukan pada satu jenis aliran fluida dan besar nilai defleksi *pipeline* sama dengan nilai defleksi *span bridge*.



Gambar 1. Jalur pipeline CY2 pada span bridge Sungai Serayu

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan perhitungan manual dan dengan bantuan software CAESAR II. Perhitungan secara manual diawali dengan menghitung berat pipa per satuan panjang (w). Berat tersebut dapat dihitung sesuai persamaan sebagai berikut [5]:

$$\text{self weight of pipe} = \frac{\pi}{4} \times (OD^2 - ID^2) \times \rho_{\text{pipe}} \times \text{pipe length} \quad (1)$$

$$\text{content weight} = \frac{\pi}{4} \times (ID^2) \times \rho_{\text{fluida}} \times \text{pipe length} \quad (2)$$

$$\text{total weight of pipe} = \text{self weight of pipe} + \text{content weight} \quad (3)$$

$$w = \frac{\text{total weight of pipe}}{\text{pipe length}} \quad (4)$$

Selanjutnya dibutuhkan nilai momen inersia pipa dan section modulus pipa yang dapat dihitung dengan persamaan berikut [4]:

$$I = \frac{\pi(OD^4 - ID^4)}{64} \quad (5)$$

$$Z = \frac{\pi(OD^4 - ID^4)}{32OD} \quad (6)$$

Pada penelitian ini pipeline CY2 terletak *full above ground* sehingga termasuk ke dalam kategori *unrestrained pipeline*. Allowable stress yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1: Allowable Stress

ASME B31.4 2016 [2]
$S_H \leq 0.72 (E) SMYS$
$S_L \leq 0.75 SMYS$
$S_E \leq f(1.25 S_c + 0.25 S_h)$

Allowable stress ASME B31.4 2016 tersebut digunakan sebagai batasan nilai tegangan dari perhitungan manual dan software CAESAR II.

Setelah menentukan *allowable stress*, dapat dilakukan perhitungan manual tegangan yang terjadi pada setiap kondisi sesuai persamaan sebagai berikut [2]:

$$S_H = \frac{P_i D}{2t} \quad (7)$$

$$S_L = \frac{P_i D}{4t} + \frac{i M}{Z} + \frac{F_a}{A} \quad (8)$$

$$S_E = \sqrt{S_b^2 + 4S_t^2} \quad (9)$$

Pada kondisi manufaktur, telah terdapat nilai defleksi span bridge sehingga dilakukan perhitungan total beban akibat terjadinya defleksi yang diterima oleh pipa sebagai berikut [1]:

$$w_D = \frac{8 E I \Delta}{l^4} \quad (10)$$

Selanjutnya dapat dihitung momen bending akibat terjadinya defleksi sebagai berikut [3]:

$$M_B = \frac{w l^2}{8} \quad (11)$$

$$S_B = \frac{i M_B}{Z} \quad (12)$$

Perhitungan dengan software dilakukan dengan memasukkan data – data yang telah diketahui ke dalam software CAESAR II. Pada kondisi *design*, *pipeline* dimodelkan dengan menggunakan restrain sesuai dengan jarak span yang telah diketahui. Sedangkan pada kondisi manufaktur, *pipeline* dimodelkan dengan tambahan nilai elevasi defleksi *span bridge* sebagai *input displacement* pada tiap titik tumpuan pipa. Lalu dari pemodelan dan data – data yang telah *input* akan diolah sedemikian rupa hingga menghasilkan *output report*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, *pipeline* dibagi menjadi 68 segmen. Segmen 1 dan 68 merupakan batasan pada penelitian. *Span bridge* yang digunakan *pipeline* terdiri dari 3 bentang. Segmen 2 – 23 terletak pada bentang 1, segmen 24 – 45 terletak pada bentang 2, dan segmen 46 – 67 terletak pada bentang 3.

Dari perhitungan menggunakan persamaan 1 sampai persamaan 6, didapatkan hasil sebagai berikut:

<i>Self weight of pipe</i>	= 445.6 lb
<i>Content weight</i>	= 335.8 lb
<i>Total weight of pipe</i>	= 781.4 lb
<i>w</i>	= 7.814 lb/in
<i>I</i>	= 300.209 in ⁴
<i>Z</i>	= 47.092 in ³

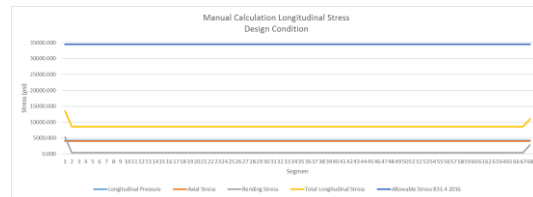
Allowable stress yang telah dihitung berdasarkan Tabel 1, didapatkan nilai yang ditampilkan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2: Nilai Allowable Stress

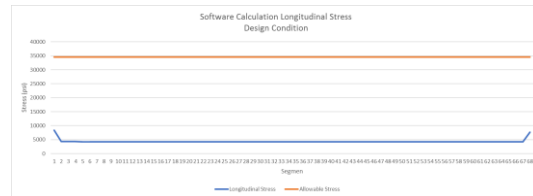
ASME B31.4 2016
$S_H \leq 33120$ psi
$S_L \leq 34500$ psi
$S_E \leq 38333.333$ psi

Hasil analisa perhitungan *hoop stress* pada kondisi design baik secara manual ataupun software memiliki nilai yang sama untuk semua segmen. Hal itu disebabkan karena besar nilai *hoop stress* bergantung pada variasi tebal dinding pipa yang mempengaruhi tekanan internal, sehingga besarnya tegangan *hoop* pada setiap segmen sama nilainya. Pada perhitungan manual sesuai persamaan 7 didapatkan nilai tegangan yakni 8933.385 psi dan secara software yakni 8375.2 psi. Kedua nilai tegangan tersebut memenuhi *allowable stress* berdasarkan Tabel 2 yaitu 33120 psi.

Hasil perhitungan manual *longitudinal stress* tertinggi pada kondisi desain terletak pada segmen 1 yaitu 13477.157 psi. Semua segmen pipa lurus pada penelitian ini memiliki panjang yang sama, sehingga ketika dilakukan perhitungan secara manual segmen – segmen tersebut memiliki nilai tegangan longitudinal total yang sama yaitu 8598.527 psi. Sedangkan untuk perhitungan software, nilai *longitudinal stress* tertinggi terletak pada segmen 1 yaitu 8410.5 psi dan segmen 7 – 63 memiliki nilai tegangan yang sama yaitu 4272.4 psi. Semua hasil perhitungan tegangan longitudinal baik secara manual maupun software masih memenuhi ketentuan *allowable stress* pada Tabel 2 yaitu 34500 psi. Grafik analisa perhitungan longitudinal stress secara manual ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan untuk perhitungan software ditunjukkan pada Gambar 3.

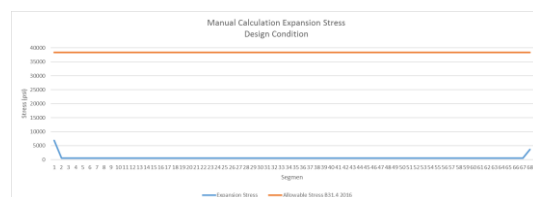


Gambar 2. Grafik Manual Calculation Longitudinal Stress Design Condition

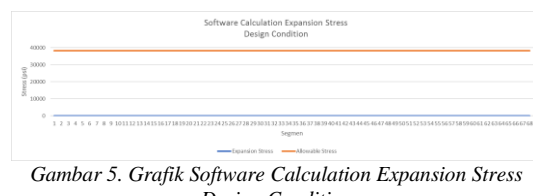


Gambar 3. Grafik Software Calculation Longitudinal Stress Design Condition

Pada perhitungan *expansion stress* pada kondisi desain secara manual nilai yang tertinggi terletak pada segmen 1 yaitu 6834.309 psi serta nilai tegangan pada segmen 2-67 memiliki nilai yang sama yaitu 525.567 psi. Nilai tersebut masih memenuhi *allowable expansion stress* yang telah ditentukan pada Tabel 2 yaitu 38333.333 psi. Sedangkan nilai *expansion stress* dari hasil perhitungan software pada semua segmen pipa yaitu 0 psi. Hal ini disebabkan karena *Software CAESAR II* tidak mendeteksi adanya penambahan panjang yang terjadi pada segmen. Sedangkan untuk perhitungan manual menggunakan formula berdasarkan ASME B31.4 dimana terdapat *resultant bending* yang memiliki nilai sehingga hasil perhitungan manual tidak sama dengan nol. Grafik analisa perhitungan *expansion stress* secara manual ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan untuk perhitungan software ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Grafik Manual Calculation Expansion Stress Design Condition



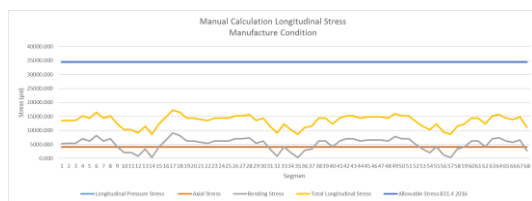
Gambar 5. Grafik Software Calculation Expansion Stress Design Condition

Selanjutnya dilakukan analisa pada kondisi manufaktur. Kondisi ini adalah ketika selesai proses fabrikasi dan data – data yang digunakan berasal dari *manufacture data report*. Pada

kondisi ini telah diketahui nilai defleksi pada *span bridge*.

Dari data nilai defleksi kemudian didapatkan hasil analisa bahwa nilai hoop stress pada kondisi manufaktur tidak mengalami perubahan dari saat kondisi desain. Nilainya tetap sama yakni 8933.385 psi dan secara software yakni 8375.2 psi. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa defleksi *span bridge* tidak mempengaruhi hoop stress.

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan baik secara manual ataupun software, nilai longitudinal stress terbesar terletak pada segmen 17. Secara manual yakni 17276.563 psi dan 11975.3 psi secara software. Hal tersebut dikarenakan pada segmen 17 nilai displacement yang dialami pipa adalah yang terbesar yaitu 0.866 in atau 22 mm. Selain itu hasil analisa yang telah dilakukan baik secara manual ataupun software menunjukkan bahwa pada segmen 1 dan 68 tidak mengalami perubahan nilai dari saat kondisi desain, hal ini disebabkan karena tidak ada nilai defleksi *span bridge* pada segmen tersebut. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa lendutan *span bridge* berpengaruh terhadap besarnya tegangan longitudinal yang dialami pipa. Grafik analisa perhitungan longitudinal stress pada kondisi ini secara manual ditunjukkan pada Gambar 6, sedangkan untuk perhitungan software ditunjukkan pada Gambar 7.



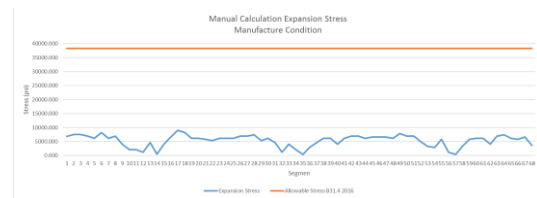
Gambar 6. Grafik Manual Calculation Longitudinal Stress Manufacture Condition



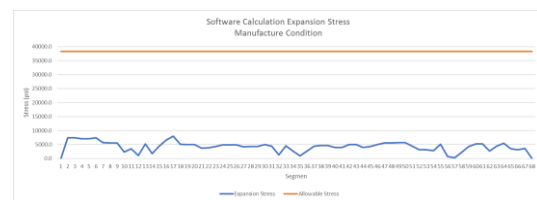
Gambar 7. Grafik Software Calculation Longitudinal Stress Manufacture Condition

Hasil analisa perhitungan *expansion stress* menunjukkan bahwa nilai yang tertinggi terletak pada segmen 17 baik secara manual yakni 9049.668 psi ataupun secara software yakni 7978.7 psi. Hasil analisa juga menunjukkan baik secara manual ataupun secara software, nilai *expansion stress* pada segmen 1 dan 68 tidak mengalami perubahan dari saat kondisi desain, sedangkan segmen 2 – 67 mengalami perubahan. Hal tersebut dikarenakan pada segmen 1 dan 68

tidak dipengaruhi oleh defleksi. Sedangkan pada segmen 2- 57 dipengaruhi oleh defleksi yang dialami *span bridge*. Grafik analisa perhitungan *expansion stress* pada kondisi ini secara manual ditunjukkan pada Gambar 8, sedangkan untuk perhitungan software ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 8. Grafik Manual Calculation Expansion Stress Manufacture Condition



Gambar 9. Grafik Software Calculation Expansion Stress Manufacture Condition

Sehingga berdasarkan analisa yang telah dilakukan pada kondisi desain dan manufaktur menunjukkan bahwa defleksi *span bridge* dapat berpengaruh terhadap nilai longitudinal stress dan *expansion stress*, namun tidak berpengaruh terhadap nilai *hoop stress*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini didapatkan bahwa hasil perhitungan tegangan pada kondisi desain dan manufaktur masih memenuhi *allowable stress* berdasarkan ASME B31.4. Hasil analisa juga menunjukkan bahwa defleksi *span bridge* dapat berpengaruh terhadap nilai *longitudinal stress* dan *expansion stress*, namun tidak berpengaruh terhadap nilai *hoop stress*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam pembuatan penelitian ini. Pihak yang dimaksud adalah:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materi, motivasi, kasih sayang, do'a, dan nasehat hidup bagi penulis.
2. Bapak George Endri Kusuma, selaku dosen pembimbing I yang selalu memberi pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan jurnal tugas akhir.
3. Bapak Mochammad Choirul Rizal, selaku dosen pembimbing II yang selalu memberi pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan jurnal tugas akhir.

4. Pembimbing saat melakukan OJT yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu.
5. Senior Teknik Perpipaan yang selalu memberi dukungan dan berbagi pengalaman.
6. Teman - teman seperjuangan Teknik Perpipaan 2014 yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan kebersamaan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Wood Council, 2008. *Beam Design Formulas with Shear and Moment Diagrams*. Washington DC: American Forest & Paper Association, Inc..
- [2] ASME B31.4, 2016. *Pipeline Transportation System for Liquids and Slurries*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- [3] Chamsudi, A., 2005. *DIKTAT - PIPING STRESS ANALYSIS*. Jakarta: PT. Rekayasa Industri.
- [4] Engineering Toolbox, 2008. *Area Moment of Inertia - Typical Cross Sections I*. [Online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/area-moment-inertia-d_1328.html
- [5] Sam Kannapan, P., 1986. *Introduction to Pipe Stress Analysis*. Canada: John Wiley & Sons, Inc..

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)