

## **Re-Desain Penambahan *Expansion Loop* pada Pipa Proses Distribusi *Steam Low Pressure* di Perusahaan Serat Kain**

**Bintang Paundra Wijaya<sup>1\*</sup>, Ir. Eko Julianto, M.Sc. FRINA.<sup>2</sup>, Tarikh Azis Ramadani, S.T., M.T.<sup>3</sup>**

*D4-Teknik Perpipaan, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia<sup>1,2,3</sup>*

*Email: [bintangwijaya@student.ppns.ac.id](mailto:bintangwijaya@student.ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>; [eko\\_julianto@ppns.ac.id](mailto:eko_julianto@ppns.ac.id)<sup>2\*</sup>; [tarikh@ppns.ac.id](mailto:tarikh@ppns.ac.id)<sup>3\*</sup>*

---

**Abstract** - A textile fiber production company located in Purwakarta, West Java, experienced issues with a 206-meter-long, 8-inch diameter pipeline (540-3-206-023-200-0150ABD12-H) that transports low-pressure steam at 152°C. A displacement of 80 mm was observed in the support structure, which exceeded the contractor-specified displacement tolerance of +/- 60 mm. This issue prompted a redesign involving stress and displacement calculations using Pipe Stress Analysis software. The redesign introduced horizontal and vertical expansion loops. Analysis revealed that the horizontal loop design resulted in maximum sustained load stress of 2881.9 psi and thermal load stress of 13780.2 psi, while the vertical loop design produced maximum sustained load stress of 4130.7 psi and thermal load stress of 15257.5 psi. Both designs maintained stress levels within the permissible limits of ASME B31.1, ensuring system safety. The horizontal loop design exhibited a displacement of 12.358 mm, whereas the vertical loop showed 18.705 mm.

**Keyword:** Displacement, Expansion Loop, Pipe Stress Analysis, Redesign

---

### **Nomenclature**

<b>OD</b>	Outside Diameter (in)
<b>ID</b>	Inside Diameter (in)
<b>W</b>	Berat Total (lb/ft)
$W_{fluida}$	Berat Fluida (lb/ft)
$W_{pipa}$	Berat Total Pipa (lb/ft)
<b>E</b>	Modulus Elastisitas
<b>I</b>	Momen Inersia
<b>L</b>	Panjang Total Pipa (ft)
<b>Z</b>	Section Modulus (in <sup>3</sup> )
<b>Ls</b>	Pipe span Limitation of Stress
(ft)	
<b>Ld</b>	Momen Inersia
<b>Δ</b>	Allowable Deflection (in <sup>4</sup> )

### **1. PENDAHULUAN**

Sebuah Perusahaan EPC (*Engineering Procurement Construction*) mendapat proyek *Quality Improvement Project* (QIP) di perusahaan produksi serat kain yang berlokasi di Purwakarta, Jawa Barat. Dalam proses produksi tersebut terdapat pipa line 540-3-206-023-200-0150ABD12-H terbentang lurus sepanjang 206 meter dengan diameter 8 inch diatas *pipe rack* yang menyalurkan *steam low pressure* bersuhu 152°C dari *header boiler existing* menuju *header heat exchanger* yang ditunjukkan. Pipa line 540-3-206-023-200-0150ABD12-H mengalami ekspansi pada saat beroperasi saat pipa dialiri fluida *steam* dengan temperatur operasional

152°C. Pada saat *comissioning*, terjadi pergeseran *support* sepanjang 80 mm sehingga dari pihak *operation* klien meminta kepada kontraktor untuk melakukan *tack weld* pada *support* agar tidak jatuh dan meminta melakukan evaluasi kembali pada sistem perpipaan *steam low-pressure*. Perubahan *displacement* tersebut mengakibatkan *support* tidak bisa mengakomodir perubahan *displacement* yang melebihi lebar *beam support*. solusi yang dapat digunakan untuk mengurangi ekspansi sistem perpipaan dengan menambahkan desain *loop* pada jalur pipa transfer. Hal tersebut dipilih atas pertimbangan masih tersedianya tempat yang mencukupi. Adapun faktor lain yang harus diperhatikan adalah pemilihan jenis *support* yang ditempatkan dekat *expansion loop*. Dalam penelitian ini dilakukan analisa permodelan redesign terhadap jalur perpipaan dengan desain *expansion loop* tipe *vertical* dan *horizontal loop* dan juga penambahan jenis *support*. Analisa statik untuk mengetahui nilai analisa tegangan menggunakan *software Pipe Stress Analysis* mengacu pada standar ASME B31.1

Penelitian mengenai pergeseran *support* akibat kenaikan temperatur dan tekanan. Dalam penelitian ini dilakukan analisa tegangan dengan metode perhitungan menggunakan *software* analisis tegangan. Penelitian tersebut menghasilkan perhitngan tegangan yang terjadi pada sistem masih dalam batas yang diijinkan, namun *displacement* melebihi dari batas yang diijinkan kontraktor. Sehingga desain ulang dengan penambahan 1 *loop* tipe *three-dimensional*

untuk mengurangi *displacement* yang terjadi dan perhitungan material akibat penambahan *loop* [3].

**2. METODOLOGI**

Pada penelitian ini dilakukan penambahan *expansion loop* tipe *horizontal loop* dan *vertical loop* pada jalur perpipaan dari *header boiler existing* menuju *header heat exchanger*. Perubahan desain dilakukan karena terjadi perubahan *displacement* yang melebihi batas toleransi kontraktor yaitu +/- 60 mm untuk mengatasi perubahan *displacement* yang terjadi. Desain penambahan *expansion loop* di lakukan analisis tegangan menggunakan *software Pipe Stress Analysis* untuk mengetahui tegangan dan *displacement* pipa. Setelah melakukan analisa menggunakan *software*, dilakukan perancangan anggaran biaya akibat penambahan *expansion loop* sebagai pembanding biaya yang dibutuhkan dari penambahan desain *horizontal loop* dan *vertikal loop*.

Pada tahap simulasi tegangan pipa menggunakan *software Pipe Stress Analysis*. Nilai tegangan yang sudah disimulasikan kemudian disesuaikan dengan kriteria penerimaan menurut ASME B31.1. Kriteria penerimaan merupakan acuan yang digunakan untuk memastikan keselamatan dan keamanan sistem perpipaan telah sesuai dengan peraturan yang berlaku untuk suatu desain sistem. Dari hasil semua tahapan di atas akan dianalisis apakah penambahan *horizontal expansion loop* dan *vertikal loop* dapat mengatasi perubahan *displacement* yang terjadi pada desain *existing*.

**2.1 Kriteria Critical Line**

Kriteria *critical line* merupakan fungsi temperatur dan diameter pipa. Kriteria *critical line* dibedakan menjadi 2 jenis yaitu *critical piping* dan *non critical piping*. *Critical Piping* adalah jalur perpipaan atau *line number* pipa yang harus dipertimbangkan dalam analisis tegangan karena temperatur fluida di dalam pipa memenuhi ketetapan kriteria. *Non critical piping* adalah semua jalur perpipaan yang tidak dipertimbangkan dalam analisis tegangan pipa karena temperatur fluida di dalam pipa tidak memenuhi ketetapan kriteria. Kriteria *critical line* ada yang terhubung dengan *non rotating equipment/static equipment* dan terhubung dengan *rotating equipment*. Hasil penentuan *critical line* berdasarkan temperatur dan NPS nantinya akan dikategorikan menjadi 3 kriteria yaitu A, B, dan C. Kriteria A yaitu tidak perlu dianalisis lanjut. Kriteria B yaitu harus dikoreksi dengan metode sederhana. Kriteria C yaitu detail analisis harus disimulasi dengan bantuan komputer [2].

**2.2. Expansion Loop**

*Expansion loop* adalah metode alternatif yang digunakan untuk mengurangi ekspansi akibat *thermal* yang disebabkan karena perbedaan temperatur fluida dan temperatur lingkungan. Pipa harus memiliki dimensi *loop* yang cukup untuk mengatasi masalah tersebut. *Expansion loop* memiliki lekukan arah tegak lurus untuk menyerap ekspansi termal yang terjadi.

Penentuan dimensi *expansion loop* dapat diketahui dengan beberapa persamaan menentukan nilai H (*height*) dan W (*width*) seperti Persamaan (1),(2),(3), dan (4).

Tahap pertama yaitu mencari nilai  $\Delta L$  dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta L = C \times L \times (T_f - T_g) \times 12 \text{ in/ft} \quad (1)$$

Persamaan berikut digunakan untuk menentukan *length of loop* (LL) sebelum penentuan H (*height*) dan W (*width*).

$$L_L = \sqrt{\frac{3 \times E \times D \times \Delta L}{144 \times S_a}} \quad (2)$$

Setelah didapatkan nilai *length of loop* (LL), nilai tersebut digunakan untuk menghitung *width* dari *loop* dengan persamaan berikut.

$$W = \frac{L_L}{5} \quad (3)$$

Setelah didapatkan nilai *width* dari *loop*, dilanjutkan perhitungan nilai *height* dengan persamaan berikut.

$$H = 2W \quad (4)$$

**2.3. Maximum Allowable Pipe Span**

Perhitungan *Maximum Allowable Pipe Span* dilakukan untuk mengetahui jarak maksimal antar penyangga [4]. Untuk dapat menentukan *maximum allowable pipe span* terdapat rumus yang tertera pada buku “*Introduction to Pipe Stress Analysis*” dihitung menggunakan Persamaan (5), (6), (7), dan (8) sebagai berikut.

$$W_{pipe} = \frac{\pi(OD^2 - ID^2) \times \rho_{pipe}}{4} \quad (5)$$

$$W_{fluid} = \frac{\pi(ID^2) \times \rho_{fluid}}{4} \quad (6)$$

$$W_{total} = W_{pipe} + W_{fluid} \quad (7)$$

$$W_{fluid} = \frac{W_{total}}{L_{pipe}} \quad (8)$$

Setelah menghitung parameter di atas, nilai *maximum allowable pipe span* dapat ditentukan

dengan Persamaan (9), (10), dan (11) sebagai berikut.

- *Based on Limitation of Stress*

$$L = \sqrt{\frac{0,4 \times Z \times Sh}{W}} \quad (9)$$

- *Based on Limitation of Deflection*

$$L = \sqrt[4]{\frac{\Delta EI}{13,5W}} \quad (10)$$

- Perhitungan Jumlah *Support*

$$\sum S = \frac{L_{pipa}}{L_s} \quad (11)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Data Spesifikasi Pipa

Jalur pipa *steam low-pressure* pada penelitian ini memiliki spesifikasi yang akan ditampilkan pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Pipa

Data	Spesifikasi
Material	ASTM A106 Gr B
NPS	8
Sch	STD
t (in)	0.322
OD (in)	8,625
ID (in)	7,98
ρ pipa (lb/in <sup>3</sup> )	0.284
Modulus Elastisitas (psi)	
Tebal insulasi (in)	3.93
ρ insulasi (lb/in <sup>3</sup> )	140

#### 3.2 Data Spesifikasi Fluida

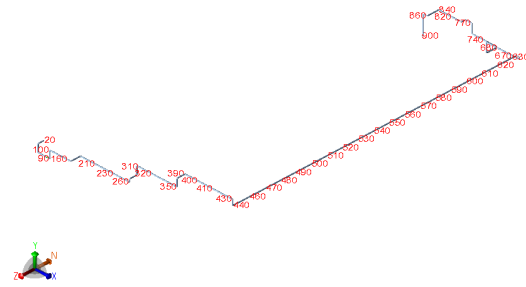
Selain data spesifikasi pipa, dan data lain yang diperlukan dalam melakukan analisis tegangan yaitu data spesifikasi beban. Beban dapat berupa tekanan operasi maupun desain, temperatur operasi maupun desain, dan densitas fluida kerja. Spesifikasi dari beban desain akan ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data Sifat Fluida

Data	Nilai	Satuan
Jenis Fluida	Steam	
Temperatur Desain (T)	323,6	F
Tekanan Desain (P)	72,58	psi
ρ fluida	0,0224	lb/in <sup>3</sup>

#### 3.3 Pemodelan Desain Existing menggunakan Software *Pipe Stress Analysis*

Berdasarkan data yang telah didapatkan berupa data material dan juga data fluida, serta gambar *isometric* langkah selanjutnya yaitu memodelkan jalur perpipaan sesuai dengan pembagian segmen ke dalam *software Pipe Stress Analysis*. Pada Gambar 1 merupakan hasil pemodelan desain *existing* menggunakan *software Pipe Stress Analysis*.



Gambar 1. Pemodelan Desain Existing

#### 3.4 Analisis Tegangan Desain Existing

Setelah dilakukan pemodelan, maka selanjutnya desain *existing* dilakukan analisis tegangan menggunakan bantuan perangkat lunak. Analisis tegangan dilakukan terhadap pembebanan *sustained load* dan *thermal load*. Pada Tabel 3 merupakan hasil tegangan pada desain *existing* menggunakan *software Pipe Stress Analysis*.

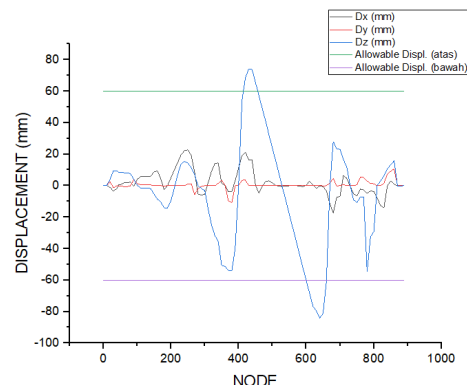
Tabel 3 Hasil Tegangan Desain Existing

Type Load	Code Stress (psi)	Allowable Stress (psi)	Rasio (%)	Status
<i>Sustained Load</i>	2899	17.100	17	<i>Accept</i>
<i>Thermal Load</i>	13829,9	41998	33,5	<i>Accept</i>

Hasil analisis nilai tegangan desain *existing* akibat beban *sustain* sebesar 2899 psi sedangkan *allowable stress* sebesar 17.100 psi. Sedangkan tegangan akibat beban termal sebesar 13829.9 psi dengan *allowable stress* sebesar 41998 psi. Nilai tegangan desain *existing* pada sistem tidak ada yang melebihi nilai tegangan yang diijinkan, sehingga sistem dinyatakan aman.

#### 3.5 Displacement Desain Existing

*Displacement* desain *existing* hasil pemodelan *Software Pipe Stress Analysis* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Nilai *Displacement* Desain Existing

Pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa nilai *displacement* pada desain awal melebihi maksimal *displacement* yang ditentukan oleh kontraktor yakni +/- 60 mm. Pada perhitungan *displacement* menggunakan *software Pipe Stress Analysis* pada *node* 450 yakni sebesar 73,794 mm dan pada *node* 630 sebesar 75,48 mm terhadap sumbu z. Nilai *displacement* yang besar terjadi karena tidak ada penyerap *displacement* berupa belokan, *expansion loop*, atau *expansion joint*. Sehingga pertambahan panjang pipa tidak dapat diatasi oleh sistem. Karena nilai *displacement* melebihi yang ditentukan oleh kontraktor, maka redesign perlu dilakukan. Perubahan desain yang paling mudah adalah melakukan penambahan *expansion loop*. pada penelitian ini membandingkan *expansion loop* tipe *horizontal loop* dan *vertical loop*.

**3.6 Dimensi Expansion Loop**

Pada Tabel 4 merupakan data yang diperlukan untuk menghitung dimensi *expansion loop*.

Tabel 4. Data Perhitungan Dimensi *Expansion Loop*

Parameter	Nilai	Satuan
Panjang Pipa	677,49	Ft
Outside Diameter	8,625	Inch
Temperatur Fluida	323,6	F
Temperatur Ground	78	F
Koefisien Thermal	$6,95 \times 10^{-6}$	Inch/in.F
Modulus Elastisitas	28.087.600	Psi
Allowable Stress	24.075	Psi

Perhitungan dimensi *expansion loop* menggunakan metode Sam Kannapan dan penjabaran formula dalam jurnal Bekir Kagan Yavuz. Dimensi yang didapatkan digunakan sebagai validasi ukuran *vertical* dan *horizontal expansion loop* pada sistem perpipaan *steam low pressure*. Perhitungan dimensi *expansion loop* mengacu pada Persamaan (1), (2), (3), dan (4). Hasil perhitungan didapatkan dimensi *loop* dengan nilai *height* 6,33 m dan *width* 3,17 m untuk desain baru *vertical expansion loop* dan *horizontal expansion loop*.

**3.7 Perhitungan Allowable Pipe Span**

Untuk mengetahui jarak yang diizinkan antar *support* dan jumlah kebutuhan *support* dapat dihitung berdasarkan persamaan (5), (6), (7). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 5.

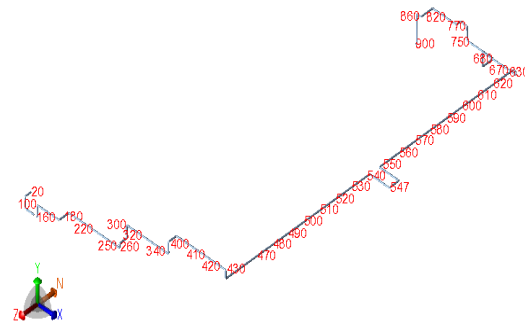
Tabel 5. Hasil Perhitungan *Allowable Pipe Span*

Allowable Span	Nilai	Satuan
Berdasarkan batasan tegangan	52,186	ft
Berdasarkan batasan defleksi	30,742	ft
Nominal Support	10	Support

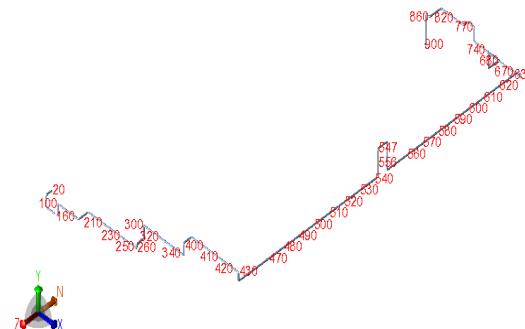
Berdasarkan perhitungan manual di atas, diketahui nilai perhitungan *maximum allowable pipe span* dipengaruhi oleh *limitation of stress* dan *limitation of deflection*. Dari kedua perhitungan tersebut dibandingkan dengan nilai terkecil yang diambil untuk dijadikan acuan sebagai *maximum allowable pipe span*, sehingga nilai acuan *maximum allowable pipe span* yang digunakan yakni sebesar 30,742 ft atau 9,370 meter.

**3.8 Pemodelan Desain Penambahan Expansion Loop**

Pemodelan desain *expansion loop* pada desain *existing* dilakukan dengan menggunakan *software pipe stress analys*. Pemodelan hanya dilakukan 2 jenis, yakni *horizontal loop* dan *vertical loop*. Berikut merupakan pemodelan desain *expansion loop* dan ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Desain penambahan *Horizontal Loop*



Gambar 4. Desain Penambahan *Vertical Loop*

**3.9 Analisa Tegangan Desain Penambahan Expansion Loop**

Hasil perhitungan tegangan menggunakan *software Pipe Stress Analysis* desain dengan penambahan *expansion loop* ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7 berikut.

Tabel 6. *Stress Summary of Horizontal Loop Design*

Type Load	Code Stress (psi)	Allowable Stress (psi)	Rasio (%)	Status
Sustained Load	2.881,9	17.100	16,9	Accept

Thermal Load	13.780,2	42.189,6	32,7	Accept
--------------	----------	----------	------	--------

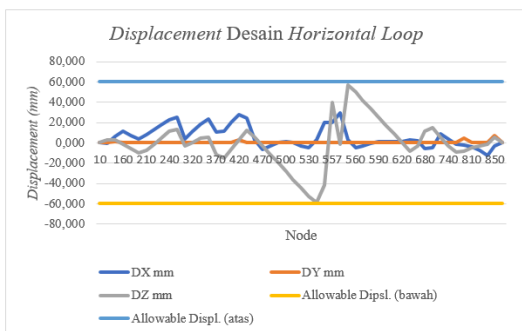
Tabel 7. Stress Summary of Vertical Loop Design

Type Load	Code Stress (psi)	Allowable Stress (psi)	Rasio (%)	Status
Sustained Load	4.130,7	17.100	24,2	Accept
Thermal Load	15.257	37.787,4	40,4	Accept

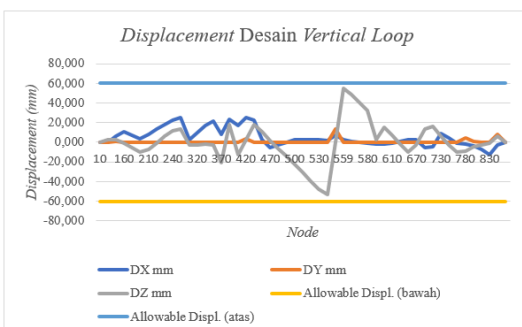
Nilai Tegangan tertinggi yang terjadi pada desain penambahan *horizontal loop* akibat *sustain load* sebesar 2.881,9 psi, dan nilai tegangan akibat *thermal load* sebesar 13.780,2 psi. Sedangkan nilai tegangan tertinggi desain dengan penambahan *vertical loop* akibat *sustain load* sebesar 4.130,7 psi, dan akibat *thermal load* sebesar 15.257,5 psi. Nilai tegangan pada sistem akibat penambahan *expansion loop* tipe *horizontal loop* dan *vertical loop* tidak ada yang melebihi nilai tegangan yang diijinkan (*overstress*) oleh ASME B31.1 sehingga sistem dinyatakan aman.

### 3.10 Displacement Desain Penambahan Expansion Loop

Nilai *displacement* desain penambahan *expansion loop* tipe *horizontal loop* dan *vertical loop* hasil pemodelan *software Pipe Stress Analysis* ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Grafik Nilai *Displacement* Desain Penambahan *Horizontal Loop*



Gambar 6. Grafik Nilai *Displacement* Desain Penambahan *Vertical Loop*

Nilai *displacement* yang terjadi pada desain *horizontal loop* dan *vertical loop* pada titik (*node*) yang sama, pada desain *horizontal loop* didapat nilai sebesar 12,358 mm dan -8,071 mm untuk *node* 450 dan *node* 630. Sedangkan pada desain *vertical loop* didapat nilai sebesar 17,705 mm dan -9,761 mm untuk *node* 450 dan *node* 630. Nilai *displacement* pada sistem tidak melebihi nilai yang diijinkan kontraktor yaitu +/- 60 mm, sehingga sistem dinyatakan aman.

### 4. KESIMPULAN

Dari hasil Perhitungan dan analisis desain dengan penambahan *expansion loop* dapat mereduksi *displacement* yang terjadi. Desain dengan penambahan *horizontal loop* dapat mereduksi *displacement* sebesar 85,95%, sedangkan desain dengan penambahan *vertical loop* dapat mereduksi *displacement* sebesar 81,64%.

### 5. PUSTAKA

- [1] ASME B31.1. (2018). Power Piping. New York: The American Society of Mechanical Engineers
- [2] Chamsudi, A. (2005). Piping Stress Analysis. Diktat – Piping Stress Analysis. Jakarta
- [3] Jupriyanto, R. (2018). Analisa Tegangan Pada Critical Line Pipa Penyalur Paraxylene Line No 24”-P-248031-A2a2-Hc75. Surabaya: PPNS.
- [4] Kannappan, S. (1986). Introduction To Pipe Stress Analysis. Canada: John Wiley & Sons
- [5] Yavus, B. (2015). Implementation of Expansion Loops, Adana: Cukurova University