

DESAIN ALTERNATIF PIPA TRANSFER HIGH STEAM 16"-HS-2003-D22A-HS

Dede Malik Prastian^{1*}, Adi Wirawan Husodo², Pekik Mahardhika³

^{1*}Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, PPNS, Surabaya, Indonesia

²Jurusan Teknik Permesinan Kapal, PPNS, Surabaya, Indonesia

³Jurusan Teknik Permesinan Kapal, PPNS, Surabaya, Indonesia

E-mail: dedemalikprastian@gmail.com^{1}, adi_wirawan@ppns.ac.id²,
pekikmahardhika@ppns.ac.id³

ABSTRAK

Steam dalam dunia industri digunakan untuk pembangkit listrik. Steam didistribusikan menggunakan sistem perpipaan bertemperatur tinggi sehingga pemuaiian terjadi akibat beban ekspansi. Opsi untuk menanggulangi hal tersebut ialah dengan menambahkan *expansion loop*. Desain awal yang dirancang oleh klien mengalami tegangan berlebih pada *expansion loop*, daerah *MRS Utility*. Perancangan *expansion loop* harus mempertimbangkan nilai *displacement* agar pemuaiian yang timbul dapat diminimalisir dan tidak mengalami tegangan berlebih. Hal yang harus diperhatikan dalam perancangan tersebut adalah dimensi dan jumlah dari *expansion loop*, serta pemilihan dan peletakan *pipe support*. Pada penelitian ini variasi jumlah *expansion loop* pada 3 desain alternatif digunakan untuk menganalisa tegangan dan mendapatkan desain yang optimum baik dari segi teknis maupun ekonomis. *Software CAESAR II* digunakan untuk menganalisa tegangan dari segi teknis.

1. PENDAHULUAN

Sistem perpipaan dirancang untuk menyalurkan *high steam* dari boiler menuju turbin. Sistem perpipaan dirancang menggunakan material A-106 Gr.B temperatur operasi 400°C dan diameter pipa 16". Sistem tersebut sangat rawan terhadap terjadinya pemuaiian akibat beban ekspansi. Pemuaiian tersebut disebabkan oleh tingginya temperatur fluida serta perbedaan antara temperatur ambien dan temperatur operasional yang terpaut jauh. Hal tersebut dapat mengakibatkan pipa mengalami perenggangan atau penyusutan, sehingga menambah beban dan momen pada pipa yang berpotensi menyebabkan tegangan berlebih pada sistem perpipaan. Sistem perpipaan dirancang sepanjang 650m dengan menggunakan *expansion loop* berjenis *three dimensional loop*. Pada tahap perancangan awal terjadi tegangan berlebih pada *expansion loop* yang telah direncanakan pada daerah *MRS utility*.

Pada penelitian ini akan dilakukan desain alternatif dan analisa tegangan dengan memvariasikan dimensi serta jumlah *expansion loop* pada jalur pipa *transfer high steam* dengan tujuan untuk mendapatkan desain yang optimum. Peneliti menggunakan *Standard ASME B31.3* sebagai acuan perancangan dan menggunakan *software CAESAR II* untuk melakukan analisa tegangan serta pemodelan secara komputasi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Thermal Expansion

Thermal Expansion adalah fenomena dimana material logam mengalami perpanjangan atau peregangan ketika terjadi peningkatan temperatur yang diberikan kepada material logam tersebut (Agustinus, 2014). Peningkatan temperatur dapat disebabkan oleh perubahan temperature ketika *start-up* maupun *shutdown* pada sistem perpipaan, yaitu dari temperature kamar (*ambient*) naik/turun ke temperature operasi yang menyebabkan panjang dari pipa dan komponennya berubah karena ekspansi (menambah panjang) ataupun kontraksi (memendek). Perubahan panjang dari *thermal expansion* dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\Delta = \alpha \times L \times (T_o - T_i) \quad (2.1)$$

2.2 Penentuan Desain Expansion Loop

Dalam penentuan dimensi *expansion loop* hal yang harus dipertimbangkan adalah dimensi *pipe rack* tempat *expansion loop* tersebut akan terinstal. Penentuan dimensi *expansion loop* dari setiap segment berbeda – beda, hal ini disebabkan karena pemuaiian yang terjadi dan jumlah dari *expansion loop* dari setiap segment juga berbeda – beda. Langkah awal ialah mencari nilai $L_{(anchor - anchor)}$ dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta L_{loop} = \alpha \times L_{(anchor - anchor)} \times (T_o - T_i)$$

$$L_{(anchor - anchor)} = \frac{\Delta L_{loop}}{\alpha \times (T_o - T_i)}$$

Kemudian langkah selanjutnya setelah mengetahui nilai $L_{anchor - anchor}$ ialah menentukan panjang loop dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_{loop} = L_{anchor} - [(L_{anchor\ point} \times 2) + (L_{guide\ span} \times 2)] \quad (2.2)$$

2.3 Sustained Load

Sustained load adalah beban yang bekerja secara kontinyu pada pipa. Tegangan yang terjadi merupakan jumlah dari tegangan longitudinal (S_L) yang dikarenakan tekanan, berat dan beban sustain lainnya. Sehingga *sustained load* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S_L = F_{ax}/A_m + M_b/z + \frac{P \times OD}{4 \times t} \quad (2.3)$$

2.4 Expansion Load

Expansion load merupakan beban akibat temperatur fluida yang mengalir beserta sifat dari material pipa yang dapat menyebabkan terjadinya pemuaian. Untuk pipa lurus analisa ekspansi thermal didapat berdasarkan metode guided cantilever. Sebelumnya didapatkan terlebih dahulu nilai *thermal expansion* dengan menggunakan persamaan (2.1) dan *induced moment* dengan menggunakan persamaan (2.4) sebagai berikut :

$$M = \frac{6 E I \Delta}{L^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$S = M/z \dots\dots\dots(2.5)$$

2.5 Occasional Seismic Load

Occasional Seismic load adalah beban primer yang terjadi hanya dalam kurun waktu yang singkat dan jarang terjadi. Beban ini dapat disebabkan oleh gempa bumi atau juga disebut dengan beban *seismic*. Nilai beban *seismic* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut (Mohinder L Nayyar, 2000) :

$$S_{occ} = 0.75i \times 12 \times \frac{W \times L^2}{8 Z} 1.5G \dots\dots\dots(2.6)$$

2.6 Pipe Support

Penyangga pipa dalam sistim perpipaan adalah sebuah alat yang berfungsi untuk menjadi penahan atau penumpu pipa yang melintas dari suatu tempat ke tempat yang lain. Untuk perhitungan jarak antar *support* dapat menggunakan persamaan berikut (Kannappan, 1986) :

$$L_s = \sqrt{\frac{0.33 Z S_h}{W}} \dots\dots\dots(2.7)$$

3. HASIL & PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Displacement

Berdasarkan persamaan 2.1. maka dapat dilakukan perhitungan *displacement* pada setiap *segment* untuk mengetahui pemuaian yang terjadi dan memastikan perlu atau tidaknya penambahan *expansion loop*, berikut ini merupakan hasil perhitungan *displacement* :

Tabel 3.1 Perhitungan Displacement

Segment	Panjang Segment (m)	Displacement Segment (m)	Actual Displacement (m)	Keterangan
1	10.7	0.058	0.00842	no need
2	92.75	0.506	0.45642	needed
3	63.5	0.347	0.29671	needed
4	24.5	0.134	0.08377	needed
5	17.91	0.098	0.04779	no need
6	282.5	1.543	1.49253	needed
7	32.75	0.179	0.12883	needed
8	8.3	0.045	-0.00468	no need
9	66.88	0.365	0.31518	needed

3.2 Perhitungan Dimensi Expansion loop

Berdasarkan persamaan 2.2 maka didapatkan dimensi dari *expansion loop* untuk setiap segment dari setiap variasi desain sebagai berikut :

Tabel 3.2 Dimensi Expansion Loop (Desain 1)

Segment	ΔL_{loop} (m)	$L_{anchor- anchor}$ (m)	$L_{anchor\ point}$ (m)	L_{guide} (m)	L_{loop} (m)	W_{loop} (m)
1	0.0000	0.000	0.00	0.00	0.00	6.00
2	0.1521	27.864	9.50	1.50	5.86	6.00
3	0.0989	18.114	5.00	1.00	6.11	5.00
4	0.0838	15.342	4.00	1.50	4.34	5.00
5	0.0000	0.000	0.00	0.00	0.00	5.00
6	0.1493	27.336	6.50	2.50	9.34	3.00
7	0.1288	23.594	6.50	2.50	5.59	3.00
8	0.0000	0.000	0.00	0.00	0.00	3.00
9	0.1576	28.862	7.50	2.00	9.86	5.50

Tabel 3.3 Dimensi Expansion Loop (Desain 2)

Segment	ΔL_{loop} (m)	$L_{anchor- anchor}$ (m)	$L_{anchor\ point}$ (m)	L_{guide} (m)	L_{loop} (m)	W_{loop} (m)
1	0.0000	0.000	0.00	0.00	0.00	6.00
2	0.1141	20.898	6.50	1.50	4.90	6.00
3	0.0742	13.586	3.50	1.50	3.59	5.00
4	0.0838	15.342	4.00	1.50	4.34	5.00

5	0.0000	0.000	0.00	0.00	0.00	5.00
6	0.1244	22.780	6.00	1.50	7.78	3.00
7	0.1288	23.594	6.50	2.50	5.59	3.00
8	0.0000	0.000	0.00	0.00	0.00	3.00
9	0.1051	19.241	4.50	1.50	7.24	5.50

Tabel 3.4 Dimensi Expansion Loop (Desain 3)

Segm ent	ΔL_{loop} (m)	$L_{anchor- anchor}$ (m)	$L_{anchor point}$ (m)	L_{guide} (m)	L_{loop} (m)	W_{loop} (m)
1	0.0000	0.000	0.00	0.00	0.00	6.00
2	0.2282	41.796	13.00	2.50	10.80	6.00
3	0.0989	18.114	2.20	1.50	10.71	5.00
4	0.0838	15.342	4.00	1.50	4.34	5.00
5	0.0000	0.000	0.00	0.00	0.00	5.00
6	0.2132	39.051	10.00	2.50	14.05	3.00
7	0.1288	23.594	6.50	2.50	5.59	3.00
8	0.0000	0.000	0.00	0.00	0.00	3.00
9	0.1576	28.862	7.50	2.00	9.86	5.50

3.3 Peletakan & Jenis Pipe Support

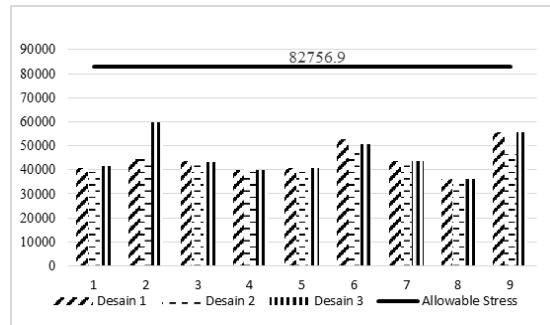
Berdasarkan persamaan 2.7 maka didapatkan nilai *allowable pipe span* sebesar 13.57 m, sedangkan jenis *pipe support* yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Shoe Support*
Shoe support merupakan *support* pipa dengan penahan beban pipa arah *vertical*. Di antara *guide* dan *limet stopper*.
2. *Guide Support*
Guide support yang berfungsi menahan pipa dari pergerakan arah *lateral*. Peletakkan *support* ini berada disisi kaki *expansion loop*. Tujuannya agar pemuaian yang terjadi pada kaki *expansion loop* hanya dapat bergerak kearah *longitudinal*.
3. *Limit Stopper*
Jenis *support* ini menahan pipa sehingga tidak bisa bergerak kesegala arah sumbu. Sehingga bisa berfungsi sebagai *fix support* yang mana tidak bisa bergerak kearah *vertikal*, arah *lateral*, maupun arah *longitudinal*. Peletakkan *limit stopper* sendiri berada diantara *expansion loop* serta berfungsi menahan gerakan ujung pipa pada *expansion loop*

3.4 Analisa Tegangan pada Expansion Loop

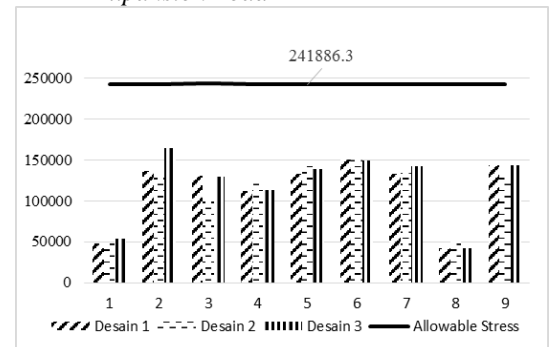
Berdasarkan analisa tegangan yang telah dilakukan dengan menggunakan *software Caesar II*, maka tegangan yang terjadi akibat pembebanan dapat dianalisa dari tiap – tiap desain.

- *Sustain Load*



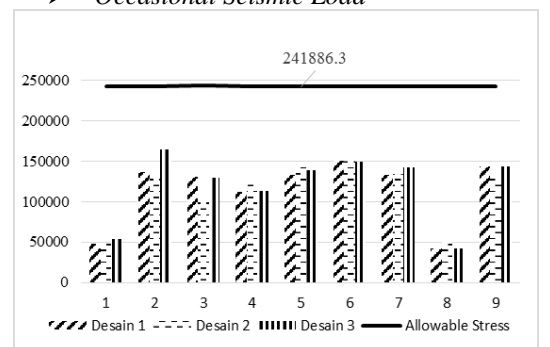
Gambar 3.1 Grafik perbandingan tegangan sustain load

- *Expansion Load*



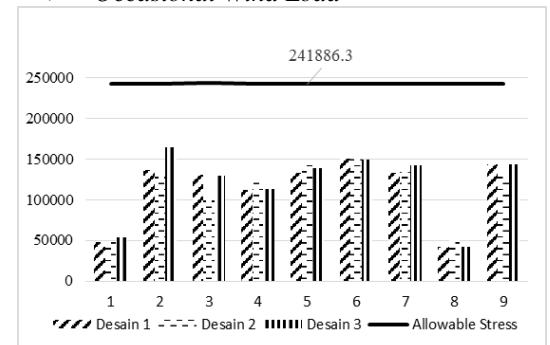
Gambar 3.2 Grafik perbandingan tegangan expansion load

- *Occasional Seismic Load*



Gambar 3.3 Grafik perbandingan tegangan seismic load

- *Occasional Wind Load*



Gambar 3.4 Grafik perbandingan tegangan wind load

3.5 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Berdasarkan desain yang telah direncanakan maka dapat dihitung rencana anggaran biaya dengan

langkah awal menghitung biaya pengadaan material (MTO) dari tiap – tiap desain dan biaya konstruksi sesuai kegiatan yang dilakukan serta biaya – biaya penunjang lainnya.

Tabel 3.5 Rencana Anggaran Biaya

Keterangan	Desain 1	Desain 2	Desain 3
Cost Procurement	Rp. 5.563.160.000,-	Rp. 7.060.056.667,-	Rp. 5.096.510.000,-
Cost Construction	Rp. 2.477.100.000,-	Rp. 4.071.180.000,-	Rp. 2.150.076.000,-
Total Direct Cost	Rp. 8.040.260.000,-	Rp. 11.131.236.667,-	Rp. 7.247.270.000,-

4. KESIMPULAN

1. Perencanaan dimensi *expansion loop* dipengaruhi oleh keterbatasan ruang pada tempat *expansion loop* tersebut terinstal serta jumlah dari *expansion loop* itu sendiri, namun untuk mendapatkan *expansion loop* dengan penyerapan pemuaian yang terbaik yaitu dengan memperpanjang lengan dari *expansion loop*.
2. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan didapatkan jarak peletakan antar support maksimal sejauh 13.57 m. Jenis support yang digunakan antara lain *shoe support*, *guide support* dan *limit stopper*
3. Hasil dari 3 desain alternatif menunjukkan bahwa nilai tegangan akibat beban *sustain*, *thermal* maupun *occasional* masih berada di bawah nilai tegangan ijin berdasarkan standar *ASME B31.3*. Desain alternatif 3 merupakan desain yang optimum dari segi teknis maupun ekonomis. Jumlah *expansion loop* adalah 16 buah. Rencana anggaran biayanya sebesar Rp.7.247.270.-

5. DAFTAR NOTASI

Δ	= Thermal expansion (m)
α	= Koefisien Thermal Expansion (mm/mm/°C)
T_i	= Temperatur Instalasi (°C)
L	= Panjang Pipa (m)
P	= Tekana Internal (kPa)
F_{ax}	= Gaya aksial (Kg)
OD	= Outside diameter of pipe (m)
A_m	= Cross section area of pipe (m ²)
T	= tebal dinding pipa (m)

M_b = momen bending (kPa)

I = Momen inersia (m⁴)

Z = section modulus (m³)

M = Momen yang terjadi (kPa)

E = Modulus elastisitas (kPa)

i = Stress intensification factor

S_{occ} = Occasional Seismic Stress (kPa)

W = berat total pipa (kg/m)

G = Seicmis acceleration

S_h = Allowable Hot Stress (kPa)

L_s = Allowable pipe span (m)

T_o = Temperatur Operasi (°C)

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agustinus, D. (2009). *PENGANTAR PIPING STRESS ANALYSIS*. Jakarta : Entry Augustino Publisher
- [2] ASME. (2014). *ASME Code For Process Piping B.31.3* New York : THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINERS.
- [3] Chamsudi, A. (2005). *DIKTAT – PIPING STRESS ANALYSIS*. Jakarta : REKAYASA INDUSTRI.
- [4] Grinnel ITT (1981), *Piping Design and Engineering*, ITT Grinnel Corporation. USA.
- [5] Kannappan, S. (1986). *Introduction to Pipe Stress Analysis*. U.S.A : John Wiley & Sons Inc.
- [6] MW Kellog Company. (1956). *DESIGN OF PIPING SYSTEMS*. U.S.A : John Wiley & Sons.
- [7] Nayyar, M, L. (2000). *PIPING HANDBOOK*. U.S.A : McGraw Hill Inc.
- [8] Smith, P. R., & Van Laan, T. J. (1987), *PIPING AND PIPE SUPPORT SYSTEM*. U.S.A : McGraw Hill Inc
- [9] TIJARA PRATAMA. (2004). *ANALISA DASAR PELATIHAN TEGANGAN PIPA*. Jakarta : TIJARA PRATAMA Inc.