

Analisis Fleksibilitas dan *Allowable Span* pada Pipa Jalur Pipa *Steam* dan *Hot Brine Area Cluster-I Debottlenecking Ulubelu Project*

Novia Rahmawati^{1*}, Mahasin Maulana Ahmad², Tarikh Azis Ramadani³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*,2,3}

Email: noviarahmawati@student.ppns.ac.id^{1*}; mahasinmaulana@ppns.ac.id^{2*}; tarikh@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - The Ulubelu Debottlenecking Project is a modification of the existing SAGS (Steam Above Ground Gathering) system in the Ulubelu area, namely the steam and Brine piping modification / addition project. The fluid flowing in the piping system has a very high pressure and temperature, the design that has been made and approved in the engineering phase cannot be applied to the field because there is a request from the owner to place the position of the Air Receiver Tank to be moved closer to the position of the compressor house and also re-routing the 32 inch outlet separator pipe. Therefore, it is necessary to calculate the allowable span and placement of support positions after re-routing the pipeline and also calculate the flexibility of the piping system whether the system is safe to operate. After calculating the span and flexibility, stress analysis and nozzle load evaluation will be carried out. After the calculation, the minimum number of supports needed in the steam pipe line is 7 pieces and for the hot brine pipe line is 19 pieces. 2. The flexibility value of the steam pipeline piping system from the outlet of the separator to the first support point does not exceed the limit of provisions referring to ASME B31.1 which is 0.0005. Then the design is still flexible so that the pipe line is said to be still feasible or safe to operate.

Keyword: stress analysis, nozzle load, flexibility, allowable span

Nomenclature

Δ	Allowable deflection (in^4)
OD	Outside Diameter (in)
ID	Inside Diameter (in)
Ls	Pipe span limitation of stress (ft)
L_d	Pipe span limitation of deflection (ft)
Z	Section Modulus (in^3)
W	Berat total (lb/ft)
W_{pipe}	Berat total pipa (lb/ft)
W_{fluid}	Berat total fluida (lb/ft)
E	Modulus elastisitas
I	Momen inertia
L	Panjang total pipa (ft)

1. PENDAHULUAN

Project Debottlenecking Ulubelu adalah modifikasi sistem SAGS (*Steam Above Ground Gathering*) yang ada di area Ulubelu, yaitu proyek modifikasi/penambahan pemipaan uap dan *brine*. Project *Debottlenecking* ini diharapkan dapat mengalirkan uap tambahan dari Cluster-J dan memproduksi kembali sumur-sumur dari cluster-I sehingga dapat menambah suplai pembangkitan PLTP Ulubelu Unit 1,2,3,&4 menjadi *full capacity* 4x55 MW. Pada desain dari kapasitas *Mixture Steam* dan *water* yang dialirkan kedalam *Steam Separator*. Setelah dipisahkan, *steam* akan keluar dari Separator dan dialirkan menuju PLTP melalui jalur pipa uap (*pipeline*) 32 inch, sedangkan *hot brine* yang terpisahkan keluar

dari separator dialirkan sampai ke *central separator* melalui jalur pipa (*pipeline*) 12 inch.

Saat tahap konstruksi dilapangan dilaksanakan terdapat permasalahan pada area Cluster-I, dimana desain yang sudah dibuat dan di *approved* pada fase *engineering* tidak dapat diaplikasikan di lapangan. Maka perlu dilakukannya perhitungan perhitungan maximum allowable span dan juga fleksibilitas perpipaan untuk membantu mempermudah dalam melakukan analisis selanjutnya.

Jarak maksimum yang diijinkan sangat penting dalam upaya untuk menjaga tegangan yang berlebih (*over stress*) atau dengan kata lain untuk menjaga *stress* yang terjadi masih di dalam batas yang diijinkan untuk diterima oleh material tersebut[1]. Support pipa mencakup anchors, guide dan peralatan baja lainnya yang berfungsi untuk menopang pipa. Pipe support jenis Resting akan digunakan untuk area jalur pipa yang tidak memiliki tingkatan stress [2].

Kemampuan sistem perpipaan dalam penambahan panjang dan terjadinya deformasi plastis dapat diketahui dengan melakukan analisis fleksibilitas sistem perpipaan tersebut. Suhu dan tekanan sangat mempengaruhi kondisi sistem perpipaan saat beroperasi. Sistem perpipaan harus cukup fleksibel, sehingga ketika terjadi ekspansi termal, pergerakan titik support, dan sistem perpipaan tersebut tidak mengalami kegagalan.

2. METODOLOGI

2.1 Perhitungan Maximum Allowable Span

Perhitungan *Maximum Allowable Pipe Span* dilakukan untuk mengetahui jarak maksimal antar penyangga. Pada perhitungan *Allowable Span* seluruh satuan menggunakan imperial unit.

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

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

$$W_{\text{insulation}} = \frac{\pi \times (D_{\text{ins}}^2 - ID^2) \rho \text{ insulation}}{4} \quad (3)$$

$$W_{\text{total}} = W_{\text{pipe}} + W_{\text{fluid}} + W_{\text{insulation}} \quad (4)$$

$$W_{\text{fluid}} = \frac{W_{\text{total}}}{W_{\text{pipe}}} \quad (5)$$

2.2.1 Pada Pipa Lurus

Kondisi *limitation of stress* dan *limitation of deflection* berdasarkan berat pipa dan fluida dapat dihitung dengan rumus dari [5] yaitu:

- *Based Limitation of Stress*

$$L_s = \sqrt{\frac{0.4 \times Z \times S \times h}{W}} \quad (6)$$

- *Based Limitation of Deflection*

$$L_d = \sqrt[4]{\frac{\Delta EI}{22.5 \times W}} \quad (7)$$

- Perhitungan *Support*

$$\sum S = \frac{L_{\text{pipa}}}{L_s} \quad (8)$$

2.2.2 Pada Belokan

Dikarenakan desain sistem perpipaan terdapat belokan (*ellbow*) sehingga nilai *maximum allowable span* dikalikan *piping span reduction factor*[5] dengan nilai sebesar $f' = 0,76$.

2.2.3 Pada Beban Terpusat

Untuk menghitung *Allowable span* pada beban terpusat dilakukan dengan cara mengalikan nilai *span reduction factor* (f') pada beban terpusat dengan nilai *allowable maximum span*[5].

2.3 Analisis Fleksibilitas Pipa

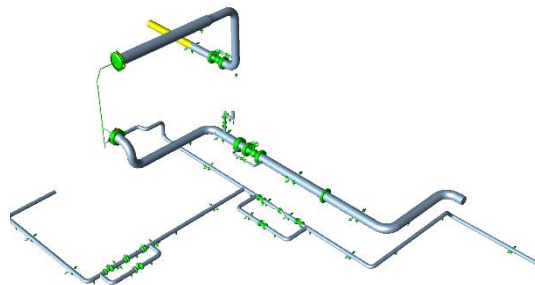
Fleksibilitas pipa dari perubahan desain *outlet* separator jalur pipa steam 32 inch pada area Cluster-I Project *Debottlenecking* Ulubelu dirasa perlu dihitung untuk mengetahui dan sebagai validasi apakah desain tersebut masih fleksibel. Fleksibilitas pipa digunakan untuk memastikan bahwa jalur pipa dapat menahan beban statis, dinamis dan *thermal* ekspansi atau *thermal movement*. Nilai fleksibilitas pipa dapat dicari dengan menggunakan rumus Persamaan (7) untuk mencari beberapa variabel yang terdapat pada persamaan tersebut maka dapat mengikuti langkah-langkah di bawah ini dengan mengacu pada [3].

$$\frac{DY_1}{(L-U)^2} \leq 30 \frac{S_A}{E_c} \quad (9)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemodelan

Pemodelan sistem perpipaan jalur pipa *steam* dan *hot brine* area Cluster-I Project *Debottlenecking* menggunakan *software* dengan melakukan redesain terhadap *outlet* pipa *steam* peletakan *support*. Hal ini bertujuan agar *line* dapat diaplikasikan dan untuk mendapatkan nilai yang memenuhi batasan ijin yang telah ditentukan. Gambar 3 di bawah ini menunjukkan pemodelan terhadap sistem perpipaan yang telah dilakukan pemodelan.



Gambar 1. Pemodelan Jalur Pipa Steam dan Hot Brine Area Cluster-I

3.2 Data Penelitian

3.2.1 Data Spesifikasi Pipa

Sistem perpipaan *steam* dan *hot brine* yang terdapat pada area Cluster-I di Project *Debottlenecking* Ulubelu memiliki dua spesifikasi pipa yang berbeda. Spesifikasi pipa tersebut akan ditampilkan pada Tabel 1 untuk pipa 32 inch dan Tabel 2 untuk pipa 12 inch sebagai berikut.

Tabel 1. Data Spesifikasi Pipa 32 inch

Parameter	Units	Nilai
<i>NPS</i>	In	32
<i>Pipe Schedule</i>	-	XS
<i>Outside Diameter</i> (DO)	In	32,008
<i>Inside Diameter</i> (ID)	In	31,008
<i>Wall Thickness</i>	In	0,5
<i>Pipe Density</i>	lb/in ³	0.283
<i>SMTS</i>	Psi	60000
<i>SMYS</i>	Psi	35000
<i>Modulus Elasticity</i> (E)	Psi	27545287
<i>Moment Of Inertia</i> (I)	in ⁴	6143,227
<i>Section Modulus</i> (Z)	in ³	383,857

Tabel 2. Spesifikasi Pipa 12 inch

Parameter	Units	Nilai
<i>NPS</i>	In	12
<i>Pipe Schedule</i>	-	XS
<i>Outside Diameter</i> (DO)	In	12,752
<i>Inside Diameter</i> (ID)	In	11,748
<i>Wall Thickness</i>	in	0,5
<i>Pipe Density</i>	lb/in ³	0.283

Tabel 2. Spesifikasi Pipa 12 inch lanjutan

Parameter	Units	Nilai
SMTS	psi	60000
SMYS	psi	35000
Modulus Elasticity (E)	psi	27545287
Moment Of Inertia (I)	in ⁴	362,972
Section Modulus (Z)	in ³	56,928

3.2.2 Data Spesifikasi Beban

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 3 berikut:

Tabel 3. Data Spesifikasi Beban

Parameter	Units	Nilai
Fluid Density	lb/in ³	0,0108
Insulation Density	lb/in ³	0,0065
Operating Temperature	°F	371,32
Design Temperature	°F	385,16
Operating Pressure	psi	161,282
Design Pressure	psi	193,48

3.3 Maximum Allowable span

Dalam pengerjaan ini digunakan Persamaan (4) dan (5). Pada pipa 32 inch untuk perhitungan pipa lurus berdasarkan batas tegangan diperoleh nilai sebesar 50,540 ft, sedangkan hasil perhitungan berdasarkan batas defleksi sebesar 58,939 ft. Hasil perhitungan jarak minimum antar penyangga diambil dari nilai yang paling kecil diantara nilai jarak minimum berdasarkan batas tegangan dan berdasarkan batas defleksi. Sehingga nilai yang digunakan ialah berdasarkan batas tegangan sebesar 50,540 ft. Untuk pipa pada belokan didapatkan nilai *allowable span* sebesar 38,41 ft. Sedangkan untuk pipa pada beban terpusat sebesar 27,393 ft. Dari nilai *allowable span* yang didapatkan maka dapat dihitung minimum jumlah *support* yang dibutuhkan menggunakan persamaan (6) dan didapatkan hasil sebanyak 7 buah *support*.

Pada pipa 12 inch untuk perhitungan pipa lurus berdasarkan batas tegangan diperoleh nilai sebesar 42,306 ft, sedangkan hasil perhitungan berdasarkan batas defleksi sebesar 42,842 ft. Hasil perhitungan jarak minimum antar penyangga diambil dari nilai yang paling kecil diantara nilai jarak minimum berdasarkan batas tegangan dan berdasarkan batas defleksi. Sehingga nilai yang digunakan ialah berdasarkan batas tegangan sebesar 42,306 ft. Untuk pipa pada belokan didapatkan nilai *allowable span* sebesar 32,153 ft. Sedangkan untuk pipa pada beban terpusat sebesar 21,592 ft. Dari nilai *allowable span* yang didapatkan maka dapat dihitung minimum jumlah *support* yang dibutuhkan menggunakan persamaan (6) dan didapatkan hasil sebanyak 19 buah *support*.

3.4 Analisis Fleksibilitas Pipa

Sebelum melakukan perhitungan dibutuhkan beberapa data pendukung antara lain untuk menghitung nilai fleksibilitas pipa yang tertera pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Data Pendukung Perhitungan Fleksibilitas

Parameter	Units	Nilai
L pipa X	Ft	10,302
L pipa Y	Ft	8,005
L pipa Z	Ft	31,398
Umur desain pipa	Tahun	30
Coefficient of thermal expansion	in./100 ft	2,67
Allowable stress at min. temp (Sc)	Psi	17100
Allowable stress at max. temp (Sh)	Psi	10800
Modulus Elastisitas	Psi	27545000

Perhitungan mengacu pada Persamaan (7). Hasil perhitungan dari fleksibilitas pipa yaitu sebesar 0.0098. Nilai ini masih dibawah dari ketentuan K1, sehingga dari hasil perhitungan desain system perpipaan dapat dinyatakan fleksibel dan dapat beroperasi dengan aman.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis, hasil perhitungan *allowable pipe span* dapat diterima karena jumlah *support* memenuhi jumlah minimum yang dibutuhkan. Sedangkan untuk hasil analisis fleksibilitas masih dibawah ketentuan yang diatur dalam [3], sehingga jalur perpipaan tersebut dapat dinyatakan fleksibel dan aman.

5. PUSTAKA

- [1] Mahardhika, P. (2018). Analisis *Symmetrical* dan *Nonsymmetrical Vertical Expansion Loop* untuk Meningkatkan Fleksibilitas dan Menurunkan Tegangan Pipa Berdasarkan ASME B31.3. *Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Kerekayasaan*, Volume 42.1, pp 63-70.
- [2] Sandy, D. (2022). Pipeline Design Basis PT. Gaspro Sentraco
- [3] ASME. (2018). ASME B31.1 Power Piping. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- [4] Chamsudi, A. (2005). Piping Stress Analisis. Diktat - Piping Stress Analisis. Jakarta.
- [5] Kannappan, Sam. (1986). *Introduction for Pipe Stress Analysis*. USA: John Wiley & Sons, Inc.