

Re-desain Jalur Pipeline Junction-K Menuju PLTP Unit 3 dan 4 pada Proyek Debottlenecking SAGS Ulubelu, Lampung

Bagus Syaiful Rahman^{1*}, Adi Wirawan Husodo², Mahasin Maulana Ahmad³

Program studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permisinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*}

Program studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permisinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²

Program studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permisinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

Email: bagussyaiful19@student.ppns.ac.id^{1*}; adi_wirawan@ppns.ac.id^{2*}; mahasinmaulanaahmad@ppns.ac.id^{3*};

Abstract - The Debottlenecking SAGS Ulubelu project performs the addition of new pipeline junction-K line towards PLTP units 3 and 4. There's a problem with the layout. First on the support PS-7 area, because the pipeline design collides with the existing pipe. Second on the box culvert, because there's the addition of box culvert beside the existing box culvert. To solve these two problems, it is necessary to redesign. To carry out the re-design, the things that need to be done are calculating the allowable pipe span, flexibility in the pipe, and stress. The allowable pipe span calculation takes the smallest value between the minimum distance based on the stress limit and deflection limit as well as the table in ASME B31.1 and obtains a value of 14.3 m. The flexibility calculation has a value less than 30 SA/EC is 0.008, so this pipeline route is declared flexible. For the voltage analysis process using stress analysis software. The highest stress values on sustained load, occasional load, and thermal expansion load are less than the normal stress, with values of 3991.4, 18550.5, and 17395.9 (psi), then the re-design of this line has been in accordance with ASME B31.1 standard.

Keyword : Allowable Pipe Span, Flexibility, Pipeline, Stress Analysis

Nomenclature

L_s	Limitation Of Stress (ft)
L_d	Limitation Of Deflection (ft)
Z	Section Modulus (psi)
S_h	Allowable Tensile Stress (psi)
w	Berat Total (lb/ft)
Δ	Allowable Deflection (in)
E	Modulus Elastisitas (psi)
I	Momen Inersia (in ⁴)
Y	Resultan Of Total Displacement (in)
OD	Outside Diameter (in)
ID	Inside Diameter (in)
S_a	Allowable Displacement Stress Range (psi)
E	Modulus Elastisitas (psi)
L	Panjang Total Pipa (ft)
U	Jarak Antar Anchor (ft)
I	Momen Inersia (in ⁴)
S_a	Allowable Displacement Stress Range (Psi)
S_L	Tegangan Akibat Beban Sustain (psi)
S_{tp}	Longitudinal Pressure Test (psi)
M_a	Resultan Beban Momen Akibat Beban Sustained (N.mm)
M_b	Resultan Beban Momen Akibat Beban Occasional (N.mm)
M_c	Resultan Beban Momen Akibat Beban Displacement (N.mm)
P_o	Tekanan Beban Occasional (psi)

P	Tekanan Internal (psi)
t_n	Tebal Dinding (mm)
S_E	Tegangan Beban Ekspansi Termal (psi)
i	Factor Intensifikasi Tegangan

1. PENDAHULUAN

Proyek Debottlenecking SAGS Ulubelu merupakan proyek penambahan jalur pipa baru. Tujuan adanya proyek ini untuk menyalurkan fluida *hot steam* dari sumur produksi Cluster-J menuju PLTP unit 3 dan 4 untuk memutar turbin pembangkit. Proyek ini memiliki kendala pada *layout*. Pertama pada area *support* PS-7, karena desain jalur pipa bertabrakan dengan pipa *existing*. Kedua pada area *box culvert*, karena ada penambahan *box culvert* disamping *box culvert existing*. Perlu dilakukan re-desain untuk mengatasi masalah ini. Untuk melakukan re-desain perlu menghitung *allowable pipe span*, fleksibilitas, dan stress pada pipa [5],[6], dan [7].

Pada penelitian terdahulu, penentuan *allowable pipe span* meliputi perhitungan berat total pipa, perhitungan maksimum jarak yang diijinkan antara penyangga pipa, perhitungan maksimum tegangan bending dan defleksi [5]. Untuk melakukan perhitungan berat total pipa yaitu pertama menghitung berat pipa, berat fluida dan berat insulasi. Langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan maksimum jarak yang diijinkan berdasarkan batas defleksi dan batas

tegangan. Nilai *allowable pipe span* diambil dari nilai terkecil dari perhitungan tersebut [5]. Setelah dilakukan perhitungan *allowable pipe span*, re-desain perlu dilakukan perhitungan fleksibilitas.

Perhitungan fleksibilitas berfungsi untuk memastikan apakah tegangan, gaya dan defleksi statik akibat beban tekanan dan berat dalam keadaan aman. Beberapa kajian terkait perhitungan fleksibilitas cukup banyak dilakukan [6]. Setelah dilakukan perhitungan fleksibilitas, re-desain perlu dilakukan perhitungan tegangan pada pipa.

Analisis tegangan yaitu kegiatan untuk memperoleh perilaku sistem perpipaan. Analisis tegangan meliputi *sustained*, *occasional* dan *thermal expansion load* serta analisis beban nozzle pada jalur pipa yang terhubung dengan vessel dan nilai yang diambil dari kondisi desain dan kondisi operasi [7].

Pada penelitian ini dilakukan perubahan desain terhadap desain awal karena adanya kesalahan pada layout. Ada dua masalah yaitu pada area *support PS-7* dan area *box culvert*. Dengan adanya perubahan desain maka perlu dilakukan perhitungan kembali pada *allowable pipe span*, nilai fleksibilitas, dan analisis tegangan pada nilai tegangan akibat *sustained load*, *occasional load*, dan *thermal expansion* agar sesuai dengan tegangan ijin yang diperbolehkan menurut ASME B31.1.

2. METODOLOGI.

2.1 Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan merupakan sistem yang mengalirkan fluida baik cair maupun gas dari satu titik ke titik lain dengan menggunakan media pipa. Pipa merupakan komponen yang berbentuk silinder panjang dan mempunyai NPS (*Nominal Pipe Size*) yang setiap pipa mempunyai spesifikasi tersendiri [8]. Untuk setiap system perpipaan akan memiliki spesifikasi dari pipa itu sendiri. Pada Tabel 1 menunjukkan data material pipa dan pada Tabel 2 menunjukkan data kondisi operasi sistem perpipaan.

Tabel 1 Data Material Pipa

NO	Parameter	Nilai	Satuan
1	Nominal Pipe Size	42	in
2	Schedule	XS	-
3	Outside Diameter	42	in
4	Inside Diameter	41	in
5	Wall Thickness	0.5	in
6	Pipe Density	0.283	lb/in ³

Tabel 2 Data Kondisi Operasi

NO	Parameter	Nilai	Satuan
1	Density Fluida	0.052	lb/in ³
2	Temperature Desain	194.7	C
3	Temperature Operasi	187	C
4	Tekanan Desain	186.5	psi
5	Tekanan Operasi	155.5	psi
6	Tekanan Hydrostatic Test	256.6	psi

2.2 Allowable Pipe Span

Perhitungan *allowable pipe span* digunakan untuk menentukan jarak antar *support*. Berikut merupakan perhitungan *allowable pipe span* berdasarkan *limitation of stress* dan *limitation of deflection*.

Limitation of stress

$$Ls = \frac{\sqrt{0.4.Z.S_h}}{w}$$

(1)

Limitation of deflection

$$Ld = \frac{\sqrt[4]{\Delta.E.I}}{13.5.w}$$

(2)

Persamaan (1) dan (2) menunjukkan persamaan perhitungan *allowable pipe span* berdasarkan *limitation of stress* dan *limitation of deflection*. [4].

2.3 Fleksibilitas Pada Pipa

ASME B31.1 memberikan sebuah rumus sederhana yang dapat digunakan sebagai dasar apakah sebuah kalkulasi formal dari tegangan akibat ekspansi termal pada sistem perpipaan diperlukan atau tidak. Bila hasil perhitungan menyatakan $\leq 30 \frac{SA}{Ec}$, maka tidak diperlukan analisis formal, dan desain sudah bisa dikatakan fleksibel. Nilai fleksibilitas pipa dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (3). Untuk mencari beberapa variabel yang terdapat pada persamaan tersebut maka dapat mengikuti langkah-langkah di bawah ini dengan mengacu pada [1].

$$\frac{DY}{(L-U)^2} \leq 30 \frac{SA}{Ec} \tag{3}$$

2.4 Pemodelan Software Analisis Tegangan

Software analisis tegangan adalah sebuah program perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan perhitungan analisis tegangan pada sebuah sistem perpipaan. Penggunaan *software* analisis tegangan dapat memodelkan desain dan mendefinisikan beban yang terjadi. *Software* analisis tegangan merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis tegangan pipa akibat beberapa load case yang ada, seperti *sustained load*, *occasional load*, dan *thermal expansion load* [2].

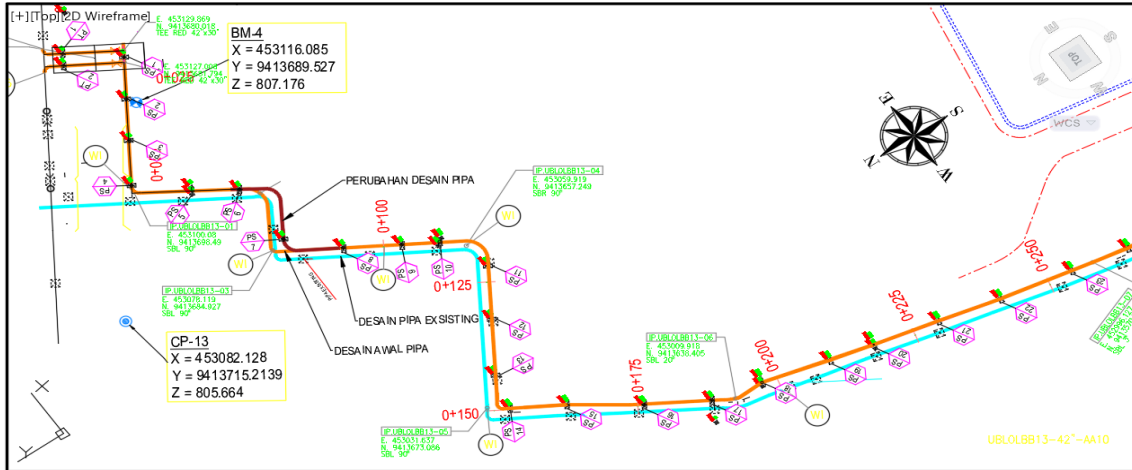
2.5 Tegangan Pada Pipa

Tegangan (*stress*) dapat disebabkan oleh beban statis dan dinamis yang merupakan resultan dari gaya gravitasi, perubahan temperatur, tekanan di dalam maupun luar pipa dan perubahan debit fluida. Tegangan yang terjadi pada sistem

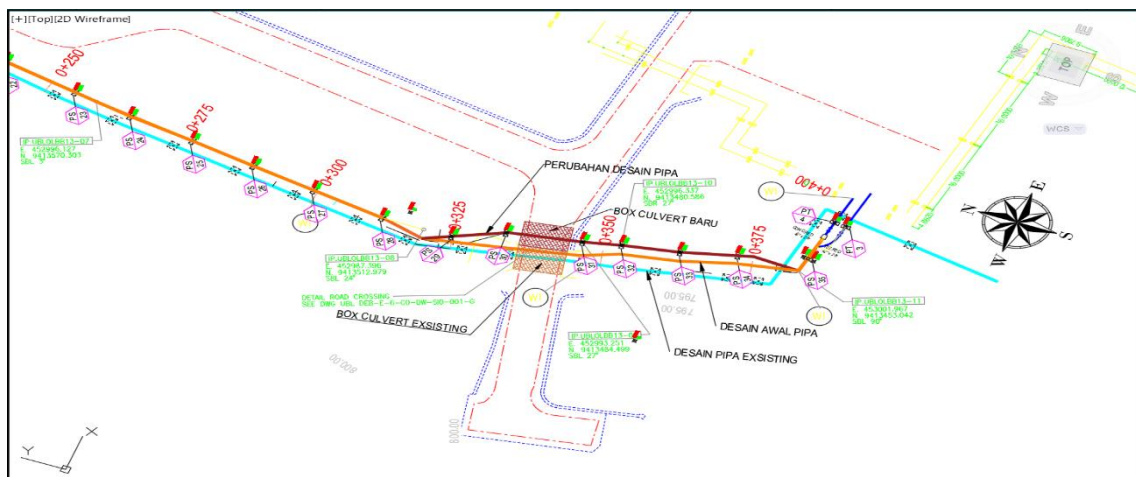
perpipaan dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*shear stress*) [3] pada perhitungan stress terdapat 3 akibat yaitu tegangan akibat *sustained load*, *occasional laad*, dan *thermal expansion load*.

merupakan somasi yang tak hingga jumlahnya dari pergerakan tanah yang sifatnya siklus [7]. Untuk mencari nilai *sustained load* menggunakan rumus pada persamaan (5).

$$P_0 = \frac{P_{Do}}{1000(4tn)} + \frac{0,75iMa}{Z} + \frac{0,75iMb}{Z} \tag{5}$$



Gambar 1. Re-Desai Jalur Pipeline Junction-K Menuju PLTP Unit 3 dan 4 Sheet 1



Gambar 2. Re-Desain Jalur Pipeline Junction-K Menuju PLTP Unit 3 dan 4 Sheet 2

2.5.1 Tegangan Akibat Sustained Load

Beban *Sustained* adalah beban yang bekerja secara terus menerus pada pipa. Tegangan yang terjadi pada beban *Sustained* merupakan hasil dari jumlah tegangan longitudinal SL akibat tekanan, berat, dan beban *Sustained* lain dengan tidak melebihi dari *Sh* ($SL < Sh$) [3]. Untuk mencari nilai *sustained load* menggunakan rumus pada persamaan (4), (5), dan (6).

$$SL = Slp + \frac{0,75iMa}{Z} \tag{4}$$

2.5.2 Tegangan Akibat Occasional Load

Beban *occasional* ini disebabkan oleh Bergeraknya tanah secara acak yang melalui anchor struktur/pipa ke tanah dan menyebabkan beban inersia dari struktur/pipa yang terinduksi. Pergerakan tanah yang acak ini sebenarnya

2.5.3 Tegangan Akibat Thermal Expansion

Beban ekspansi adalah beban dinamik yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur fluida yang dialirkan di dalam pipa dan temperatur pada dinding pipa. Jika temperatur menurun maka akan menyebabkan penyusutan pada pipa, sedangkan ketika temperatur naik akan terjadi pemuaian pada pipa. Untuk mencari nilai *sustained load* menggunakan rumus pada persamaan (6).

$$S_E = 1000 \frac{iMc}{Z} \tag{6}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Desain

Pemodelan jalur *pipeline junction-k* menuju PLTP unit 3 dan 4 menggunakan *software* dengan melakukan redesain terhadap desain

awal. Hal ini bertujuan agar *pipeline* dapat diaplikasikan di lapangan untuk proses kontruksi. Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan hasil desain pemodelan jalur *pipeline junction-k* menuju PLTP unit 3 dan 4 yang telah dilakukan redesain. Hasil re-desain ini digunakan untuk proses perhitungan selanjutnya.

Tabel 3 Hasil Perhitungan *Maximum Allowable Pipe Span*

DESCRIPTION	VALUE	UNIT
Density of Pipe	0.283	lb/inch ³
Density of Fluid	0.00143	lb/inch ³
Section Modulus (Z)	668.371	inch ³
Moment Inertia (I)	14035.801	inch ⁴
Allowable Deflection (Δ)	0.625	inch
Allowable Stress (Sh)	9200	psi
Modulus Elasticity (E)	27557860	psi
Weight of Pipe	221.378	lb/ft
Weight of Fluid	823.839	lb/ft
Weight of Insulation	0.597	lb/ft
Total of Weight (w)	1045.815	lb/ft
Based on Limitation of Stress	48.496	ft
Based on Limitation of Deflection	64.327	ft

Tabel 4 Hasil Perhitungan Analisis Fleksibilitas Pipa

DESCRIPTION	VALUE	UNIT
L pipa X	400.425	ft
L pipa Y	50.676	ft
L pipa Z	963.978	ft
Coefficient B	2.64	in./100ft
Allowable stress at min. temp (Sc)	14600	psi
Allowable stress at max.temp (Sh)	9200	psi
ΔX	10.566	in
ΔY	1.339	in
ΔZ	25.449	in
Resultant Displacement (Y)	27.588	in
L total	1414.899	ft
Jarak kedua anchor (U)	1044.996	ft
Factor (f)	0.93	-
Sa	19111.5	psi
Ec	27557860	psi
$\frac{DY}{(L-U)^2}$	0.008468253	-

Tabel 5 *Output Stress* Pada *Software* Analisis Tegangan

NO	LOAD CASE	Code Stress (lb/in ²)	Allowable Stress (lb/in ²)
1	L3 (SUSTAINED) L3 = W + P1	3991.4	17099.6
2	L4 (OCCASIONAL) L4 = W + P1 + U1	18550.5	19664.5
3	L8 (EXPANSION) L8 = L2-L3	17395.9	39655.1

3.2 *Maximum Allowable Pipe Span*

Dalam pengerjaan ini digunakan Persamaan (1) dan (2). Untuk perhitungan berdasarkan batas tegangan diperoleh nilai sebesar 48.496 *ft*, hasil perhitungan berdasarkan batas defleksi sebesar 64.327 *ft*, sedangkan menurut ASME B31.1 sebesar 46.916 *ft*. Hasil perhitungan jarak

minimum antar penyangga diambil dari nilai yang paling kecil diantara nilai jarak minimum berdasarkan batas tegangan, berdasarkan batas defleksi, dan berdasarkan ASME B31.1. Sehingga nilai yang digunakan ialah berdasarkan ASME B31.1 sebesar 46.916 *ft*. Hasil perhitungan *allowable span* dapat dilihat pada Tabel 3.

3.3 Analisis Fleksibilitas Pipa

Perhitungan fleksibilitas pipa mengacu pada Persamaan (3). Hasil perhitungan dari fleksibilitas pipa yaitu sebesar 0.008468253. Nilai ini masih dibawah dari ketentuan $30 \frac{SA}{Ec}$, sehingga hasil perhitungan dapat dinyatakan fleksibel. Perhitungan analisis fleksibilitas dapat dilihat pada Tabel 4.

3.4 Analisis Tegangan

Perhitungan tegangan pada pipa akan dilakukan di 3 macam akibat yaitu tegangan akibat *sustained load* mengacu pada persamaan (4), tegangan akibat *occasional load* mengacu pada persamaan (5), dan tegangan akibat *thermal expansion load* mengacu pada persamaan (6).

3.4.1 Tegangan Akibat Sustained Load

Perhitungan nilai tegangan akibat *sustained load* mengacu pada persamaan (4). Tabel 5 merupakan hasil *output stress* di beberapa segmen pada desain baru. Nilai tegangan tertinggi berada pada node 90-100 dengan nilai sebesar 3991.4 *psi*. Hasil tersebut menunjukkan nilai tegangan tertinggi akibat pembebanan sustain pada kondisi desain yang masih di bawah batas izinnnya.

3.4.2 Tegangan Akibat Occasional Load

Perhitungan nilai tegangan mengacu pada persamaan (5). Tabel 5 merupakan hasil *output stress* pada beberapa segmen pada desain baru. Nilai tegangan tertinggi berada pada node 430-440 dengan nilai sebesar 18550.5 *psi*. Hasil tersebut menunjukkan nilai tegangan akibat pembebanan okasional pada kondisi desain yang masih di bawah batas izinnnya.

3.4.3 Tegangan Akibat Thermal Expansion

Perhitungan nilai tegangan akibat pembebanan ekspansi termal mengacu pada persamaan (6). Tabel 3 merupakan hasil *output stress* pada beberapa hal segmen pada desain baru. Nilai tegangan tertinggi berada pada node 190-200 dengan nilai sebesar 17395.9 *psi*. Hasil tersebut menunjukkan nilai tegangan akibat pembebanan ekspansi termal pada kondisi desain yang masih di bawah batas izinnnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan diatas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil re-desain pada jalur *pipeline junction-K* menuju PLTP unit 3 dan 4, khususnya pada area *support* PS-7 dan area *box culvert* di dalam PLTP dapat diterapkan di lapangan untuk proses konstruksi.
2. Nilai maksimum *allowable pipe span* pada jalur *pipeline junction-K* menuju PLTP unit 3 dan 4, berdasarkan *limitation of stress* sebesar 14,8 m atau 582,7 in, sementara berdasarkan *limitation of deflection* sebesar 19,6 m atau 771,6 in. Selain itu berdasarkan hasil interpolasi ASME B31.1 sebesar 14,3 m atau 563 in. Dari ketiga indikator tersebut nilai terkecil diambil sebagai nilai *allowable pipe span* untuk proses konstruksi. Maka nilai *allowable pipe span* pada jalur *pipeline junction-K* menuju PLTP unit 3 dan 4 sebesar 14,3 m atau 563 in.
3. Fleksibilitas pipa pada jalur *pipeline junction-K* menuju PLTP unit 3 dan 4 adalah 0,008 sementara nilai dari $30 \frac{S_A}{E_c}$ sebesar 0,021. Maka dari itu nilai fleksibilitas ini sudah memenuhi kriteria nilai fleksibilitas $\leq 30 \frac{S_A}{E_c}$, sehingga desain dapat diterima.
4. Nilai tegangan tertinggi pada jalur *pipeline junction-K* menuju PLTP unit 3 dan 4 berdasarkan *sustained load* yaitu sebesar 3.991,4 psi pada node 90-100, berdasarkan *occasional load* yaitu sebesar 18.550,5 psi pada node 430-440, dan berdasarkan *thermal expansion load* yaitu sebesar 17.395,9 psi pada node 190-200. Nilai tegangan untuk masing-masing *load case* tidak melebihi batas ijin *allowable stress* berdasarkan ASME B31.1.

5. PUSTAKA

- [1] ASME B31.1. (2022). *Power Piping*. U.S.A: ASME Code For Pressure Piping, B31.1.
- [2] Aufabi, R. (2021). Analisis Stress Pada Perubahan Jalur Pipa *Steam Condensate Line Number Scc-150-C2aafsx-L81307-Eho*. Tugas Akhir. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- [3] Chamsudi, A. (2005). *Piping Stress Analysis*. Serpong: Badan Tenaga Nuklir Nasional Puspitek.
- [4] Kannappan, S. (1986). *Introduction To Pipe Stress Analysis*. U.S.A: John Wiley & Sons, Inc.
- [5] P. Mahardhika, "Penentuan Allowable Span Antar Penyangga Pipa Sif Berdasarkan Tegangan, Defleksi, Frekuensi Alami," J.

IPTEK, vol. 21, no. 2, p. 27, 2017, doi: 10.31284/j.ipitek.2017.v21i2.149.

- [6] P. Mahardhika, E. Julianto, A. Indartono, and G. E. Kusuma, "Analisa Pengaruh Kenaikan Tekanan Fluida Terhadap Tegangan Dan Fleksibilitas Pipa Blowdown a106 Grade a Berdasarkan Asme B31.3," *Teknik*, vol. 39, no. 1, p. 67, 2018, doi: 10.14710/teknik.v39i1.17118.
- [7] Pratama, T. (2004). *Pelatihan Dasar Analisa Tegangan Pipa*. Jakarta: Pt. Tijara Pratama.
- [8] Yulva, Y. I. (2023). *Desain Expansion Loop Jalur Pipa Avtur Pada Proyek Pembangunan Depot Pengisian Pesawat Udara Di Kulon Progo*. Tugas Akhir. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.