

REROUTING JALUR PIPA AVTUR PADA PROYEK PEMBANGUNAN DEPOT PENGISIAN PESAWAT UDARA DI KULON PROGO

Yusditya Imroni Yulva^{1*}, Adi Wirawan Husodo², Tarikh Azis Ramadani³

Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1,2,3}

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

Abstract – The construction phase of the Airplane Refueling Station project has begun, but a construction error occurred, resulting in the crash of line number 31-6"-JA-A-511 with the platform and causing displacement due to thermal expansion loads. Based on this issue, two alternative rerouting options were proposed: alternative rerouting 1 and alternative rerouting 2. The calculation of the allowable pipe span for both designs resulted in a value of 7.27 ft with 9 supports, using rest guides and u-bolts as support types. The flexibility values for both new designs were found to be below KI, meeting the criteria. The largest sustained load stress was calculated to be 4019 psi, the largest occasional load stress was 4211 psi, and the largest thermal expansion load stress was 5404 psi. These stress values were obtained from alternative rerouting 1, indicating that alternative rerouting 1 has higher stress values compared to alternative rerouting 2. Stress calculations for both alternative rerouting 1 and alternative rerouting 2 were performed using stress analysis software. The cost analysis results for alternative rerouting 1 amounted to Rp 50,364,623, while the cost analysis for alternative rerouting 2 amounted to Rp 49,080,623. Therefore, based on the comparison of stress analysis and cost analysis, alternative rerouting 2 is chosen as it has lower stress values and more affordable costs.

Keyword: Rerouting, Stress Analysis, Sustained Load, Occasional Load, Thermal Expansion Load

Nomenclature

OD	Outside Diameter (in)
ID	Inside Diameter (in)
L_s	Limitation Of Stress (ft)
L_d	Limitation Of Deflection (ft)
W	Berat Total (lb/ft)
W_{pipe}	Berat Total Pipa (lb/ft)
W_{fluid}	Berat Total Fluida (lb/ft)
E	Modulus Elastisitas (psi)
I	Moment Inersia (in ⁴)
Z	Section Modulus (in ³)
S_a	allowable displacement stress range (psi)
S_h	allowable tensile stress (psi)
Y_1	Resultant of total displacement (in)
U	Jarak kedua anchor (ft)
L	Panjang pipa (ft)

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang memiliki potensi sumber daya alam berupa minyak dan gas bumi [1]. Salah satu perusahaan minyak dan gas negara sedang melakukan proyek pembangunan Depot Pengisian Pesawat Udara (DPPU) yang berlokasi di Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Depot Pengisian Pesawat Udara (DPPU) berfungsi untuk menerima, menimbun, dan mendistribusikan fluida berupa bahan bakar pesawat terbang khususnya pesawat udara bermesin turbin.

PT. X ditunjuk dalam proses pembangunan Depot Pengisian Pesawat Udara (DPPU). Namun,

dalam fase konstruksi DPPU, terdapat kendala yaitu terdapat pipa yang mengalami *crash* dengan *platform* yang telah terpasang terlebih dahulu dan digunakan sebagai akses operator. Pipa yang mengalami *crash* dengan *platform* menyebabkan terjadinya *displacement* akibat beban ekspansi termal setelah dilakukan analisis tegangan menggunakan *software*. Sistem perpipaan yang mengalami *crash* yaitu sistem line number 31-6"-JA-A-511 yang mengalirkan fluida avtur (Jet A-1) dari *discharge header* menuju ke *filter separator*. Pipa ini merupakan material API 5L Gr B dengan diameter 6", terbuat dari material *carbon steel*, dan memiliki SCH 40.

Karena adanya permasalahan tersebut akan dilakukan *rerouting* alternatif baru. Dalam melakukan *rerouting* alternatif baru maka juga akan menentukan *allowable pipe span* dan fleksibilitas pipa. Pipa dan fluida memiliki berat sehingga memerlukan penyangga. Maksimum jarak yang diijinkan antara penyangga pipa dibatasi 3 faktor utama yaitu tegangan tekuk, defleksi vertikal, dan frekuensi alami. Untuk menentukan *allowable span* meliputi perhitungan berat total pipa, perhitungan maksimum jarak yang diijinkan antara penyangga pipa, dan perhitungan maksimum tegangan tekuk dan defleksi [2]. Perhitungan fleksibilitas pipa menggunakan metode *simplified flex analysis* akan menunjukkan apakah jalur pipa tersebut fleksibel atau non fleksibel [3].

Pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan *rerouting* alternatif baru, perhitungan nilai *allowable pipe span*, perhitungan fleksibilitas pipa, perhitungan nilai tegangan *sustained load*,

occasional load, thermal expansion dan analisis biaya material. Serta akan dilakukan perbandingan analisis tegangan dan analisis biaya pada hasil *rerouting* alternatif sistem perpipaan jalur avtur line number 31-6"-JA-A-511.

2. METODOLOGI

2.1 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan *rerouting* alternatif baru yang efektif dan ekonomis. Dimana akan dibuat 2 *rerouting* alternatif baru. Untuk mendapatkan *rerouting* alternatif baru yang efektif yaitu dengan cara penentuan nilai *allowable pipe span*, lalu mencari nilai fleksibilitas pipa, dan selanjutnya melakukan analisis tegangan menggunakan *software* analisis tegangan berdasarkan *sustained load, occasional load, dan thermal expansion load*. Lalu dari segi ekonomis akan dilakukan analisis biaya material, sehingga dapat dilakukan perbandingan antara kedua *rerouting* alternatif.

2.2 Pemodelan Software Analisis Tegangan

Software analisis tegangan adalah sebuah program perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan perhitungan analisis tegangan pada sebuah sistem perpipaan. Pengguna *software* analisis tegangan dapat memodelkan desain dan mendefinisikan beban yang terjadi. *Software* analisis tegangan merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis tegangan pipa yang tersedia sekarang dan umumnya menggunakan metode kekakuan [4].

2.3 Allowable Pipe Span

Pemilihan peletakan penyangga yang tepat perlu dilakukan [5]. Perhitungan *allowable pipe span* digunakan untuk melakukan peletakan *pipe support*. Penelitian ini dilaksanakan dengan metode perhitungan secara manual untuk menentukan maksimum jarak yang diijinkan antara penyangga pipa (*Ls*) [6]. Berikut ini perhitungan *allowable pipe span* berdasarkan *limitation of stress* dan *limitation of deflection*.

Limitation of stress

$$Ls = \sqrt{\frac{0.33 \times Z \times Sh}{W}} \quad (1)$$

Limitation of deflection

$$Ld = \sqrt[4]{\frac{\Delta EI}{22.5 \times W}} \quad (2)$$

Persamaan (1) dan (2) menunjukkan persamaan perhitungan *allowable pipe span* berdasarkan *limitation of stress* dan *deflection*. Dimana *L* merupakan *allowable pipe span* (in), *Z* merupakan *modulus of section* pada pipa (in³), *Sh* merupakan *allowable tensile stress* pada material pipa (psi), *w* merupakan total berat dibagi panjang pipa (lb/in), *I* merupakan *area moment inertia of pipe* (in⁴), dan *E* merupakan modulus elastisitas dari material pipa (psi). Sedangkan, perhitungan jumlah support dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3) berikut.

$$nSupport = \frac{L_{pipa}}{Ls} \quad (3)$$

Persamaan 3 menunjukkan persamaan perhitungan minimum jumlah support. Dimana *nSupport* merupakan jumlah support, *Lpipa* merupakan panjang pipa, dan *Ls* merupakan maksimum jarak yang diijinkan antara penyangga pipa.

2.4 Fleksibilitas Pipa

Perhitungan fleksibilitas dapat dicari dengan menggunakan persamaan 4 dan persamaan 5.

$$\frac{DY_1}{(L-U)^2} \leq K1 \quad (4)$$

Persamaan 4 menunjukkan perhitungan fleksibilitas pipa dimana nilai *D* merupakan *outside diameter* pipa (inch), *Y₁* merupakan *resultant of total displacement* (inch), *L* panjang pipa (ft), dan *U* merupakan jarak kedua *anchor* (ft). Sedangkan, persamaan 5 disini digunakan untuk menentukan nilai *K1*.

$$K1 = 30 \times \frac{Sa}{Ea} \quad (5)$$

Dimana *Sa* merupakan *allowable displacement stress range* (psi) dan *Ea* merupakan nilai modulus elastisitas (psi).

2.5 Tegangan pada Sistem Perpipaan

Analisis Tegangan pada pipa meliputi tegangan akibat pembebanan *sustain, occasional* dan ekspansi termal. Analisis tegangan pada sistem perpipaan ini menggunakan analisis pada *software* yang dijelaskan pada sub bab di bawah:

2.5.1 Tegangan Akibat Beban Sustain

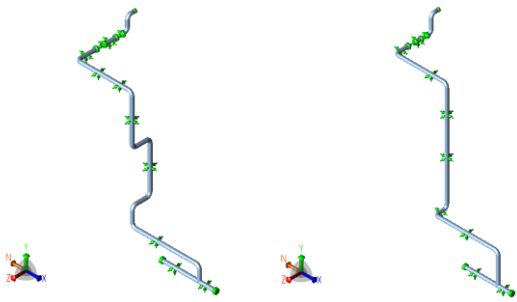
Analisis tegangan akibat pembebanan *sustain* pada setiap segmen dicari menggunakan *load case 3 (L3)* pada *Software*. Kombinasi beban pada *load case 3 (L3)* dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah. Dimana *W* merupakan berat total pada sistem perpipaan, *P1* merupakan tekanan desain pada sistem perpipaan.

2.5.2 Tegangan Akibat Beban Occasional

Pada *software*, analisis tegangan akibat beban *occasional* pada setiap segmen dicari menggunakan *load case 4 (L4)* dan *load case 5 (L5)*. Kombinasi beban pada *load case 4 (L4)* dan *load case 5 (L5)* dapat dilihat pada Tabel 1. Dimana *W* merupakan berat total pada sistem perpipaan, *P1* merupakan tekanan desain pada sistem perpipaan, *U1* merupakan *uniform load*, dan *WIN1* merupakan *wind load*.

Tabel 1 Load Case pada Software

Symbol	Description	Load Combination
L2	Operating	OPE = W+T1+P1
L3	Sustained	SUS = W+P1
L4	Occasional	OCC = W+P1+U1
L5	Occasional (Wind)	OCC = W+P1+WIN1
L6	Expansion	EXP = L2-L3



Gambar 1 Hasil Pemodelan Rerouting Alternatif 1 (kiri) dan Rerouting Alternatif 2 (kanan)

2.5.3 Tegangan Akibat Beban Ekspansi Termal

Pada *software*, analisis tegangan akibat beban ekspansi termal pada setiap segmen dicari menggunakan *load case 6 (L6)*. Kombinasi beban pada *load case 6 (L6)* merupakan pengurangan dari *load case 2 (L2)* dan *load case 3 (L3)* yang dapat dilihat pada Tabel 1. Beban ekspansi termal ini diakibatkan oleh adanya panas yang berasal dari luar dengan temperatur fluida yang mengalir di dalamnya dan berdampak pada pemuaihan pipa, sehingga mengakibatkan ekspansi termal.

2.6 Analisis Biaya Material

Analisis biaya material ini dilakukan untuk menentukan alternatif *rerouting* mana yang lebih terjangkau. Sehingga dapat dijadikan pemilihan dalam menentukan desain *rerouting* mana yang akan digunakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemodelan dengan *Software* Analisis Tegangan

Hasil *pemodelan* didapat 2 gambar *rerouting* yaitu *rerouting* alternatif 1 dan *rerouting* alternatif 2 yang terdapat pada Gambar 1.

3.2 Perhitungan *Allowable Pipe Span*

Perhitungan *allowable pipe span rerouting* alternatif 1 dan *rerouting* alternatif 2 menggunakan persamaan (1) dan (2).

- Berat Pipa

$$W_{\text{pipe}} = \frac{\pi}{4} \times (OD^2 - ID^2) \times \text{Density of Steel} \times \text{length}$$

$$= \frac{\pi}{4} \times (6.625^2 - 6.065^2) \times 0.283 \times 12$$

$$= 18.95 \text{ lb/ft}$$

- Berat Fluida

$$W_{\text{fluid}} = \frac{\pi}{4} \times (ID^2) \times \text{length} \times \text{Density of fluid}$$

$$= \frac{\pi}{4} \times (6.065^2) \times 12 \times 0.03024$$

$$= 10.48 \text{ lb/ft}$$

- Berat Total

$$W_{\text{total}} = W_{\text{pipe}} + W_{\text{fluid}} + W_{\text{component}}$$

$$= 18.95 + 10.48 + 1031.18$$

$$= 1060.62 \text{ lb/ft}$$

- *Based on Limitation of Stress*

$$L_s = \sqrt{\frac{0.33 \times Z \times S_h}{W}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.33 \times 8.5 \times 20000}{1060.62}}$$

$$= 7.27 \text{ ft}$$

- *Based on Limitation of Deflection*

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

$$= \sqrt[4]{\frac{0.625 \times 28800000 \times 28.1}{22.5 \times 1060.62}}$$

$$= 12.07 \text{ ft}$$

Dari perhitungan nilai *allowable pipe span* berdasarkan *based on limitation of stress* dan *based on limitation of deflection* maka dipilih nilai yang paling kecil yaitu 7.27 ft. Lalu untuk jumlah *support* dapat dihitung dengan persamaan (3).

- Perhitungan Jumlah *Support Rerouting* Alternatif 1

$$n_{\text{Support}} = \frac{L_{\text{pipa}}}{L_s}$$

$$= \frac{61.59}{7.27}$$

$$= 8.47 \text{ (9 Support)}$$

- Perhitungan Jumlah *Support Rerouting* Alternatif 2

$$n_{\text{Support}} = \frac{L_{\text{pipa}}}{L_s}$$

$$= \frac{65.58}{7.27}$$

$$= 9.01 \text{ (9 Support)}$$

Dari perhitungan jumlah *support* maka masing-masing *rerouting* dapat dibuat dengan minimal jumlah 9 *support*. Dan jenis *support* yang digunakan yaitu *rest guide* dan *u-bolt*.

3.3 Perhitungan *Fleksibilitas Pipa*

Berikut ini merupakan perhitungan *fleksibilitas* pipa *rerouting* alternatif 1 dan *rerouting* alternatif 2 menggunakan persamaan (4).

- Perhitungan *Fleksibilitas Rerouting* Alternatif 1

$$\frac{DY_1}{(L - U)^2} \leq K1$$

$$0.003975 \leq 0.03125$$

- Perhitungan *Fleksibilitas Rerouting* Alternatif 2

$$\frac{DY_1}{(L - U)^2} \leq K1$$

$$0.00404 \leq 0.03125$$

Hasil perhitungan *fleksibilitas* dari kedua *rerouting* memiliki nilai kurang dari K1, sehingga kedua *rerouting* alternatif tersebut dapat dikatakan *fleksibel*.

3.4 Analisis Tegangan Perpipaan

Analisis tegangan perpipaan dilakukan pada *rerouting* alternatif 1 dan *rerouting* alternatif 2 menggunakan *software* analisis tegangan. Analisis tegangan berdasarkan *sustained load*, *occasional load*, dan *thermal expansion load*. Nilai tegangan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2 menunjukkan nilai tegangan tertinggi pada masing-masing *load case*. Pada *sustained load* sebesar 4019 psi, *occasional load* sebesar 4211 psi, dan *thermal expansion load*

sebesar 5404 psi. Sedangkan untuk *allowable stress* dari *sustained load* sebesar 20000 psi, *occasional load* sebesar 26600 psi, dan *thermal expansion load* sebesar 30000 psi. Maka, dapat dikatakan bahwa nilai tegangan hasil output *software* analisis tegangan masih dibawah nilai *allowable stress* yang berarti kedua sistem perpipaan tersebut aman.

3.5 Analisis Biaya Material

Setelah dilakukan analisis tegangan selanjutnya dilakukan analisis biaya material dari kedua desain *rerouting* tersebut. Analisis biaya material dapat dilihat pada Tabel 3.

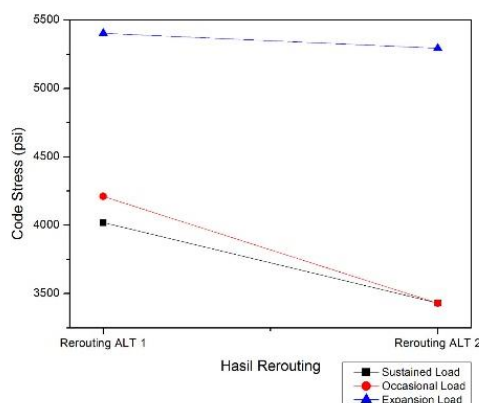
Tabel 2 Hasil Analisis Tegangan Rerouting Alternatif 1 dan Rerouting Alternatif 2

No	Hasil Rerouting	Sustained Load (psi)	Occasional Load (psi)	Expansion Load (psi)
		Code Stress	Code Stress	Code Stress
1.	Alternatif Rerouting 1	4019	4211	5404
2.	Alternatif Rerouting 2	3430.3	3430.2	5294.1

Tabel 3 Analisis Biaya Material Rerouting Alternatif 1 dan Rerouting Alternatif 2

No	Hasil Rerouting	Total Biaya Material
1.	Alternatif Rerouting 1	Rp 50,364,623
2.	Alternatif Rerouting 2	Rp 49,080,623

Tabel 4 Perbandingan Analisis Tegangan dan Analisis Biaya



Gambar 2 Grafik Perbandingan Analisis Tegangan Rerouting Alternatif 1 dan Rerouting Alternatif 2

No	Hasil Rerouting	Sustained Load (psi)		Occasional Load (psi)		Expansion Load (psi)		Total Biaya
		Code Stress	Allowable Stress	Code Stress	Allowable Stress	Code Stress	Allowable Stress	
1.	Alternatif Rerouting 1	4019	20000	4211	26600	5404	30000	Rp 50,364,623
2.	Alternatif Rerouting 2	3430.3	20000	3430.2	26600	5294.1	30000	Rp 49,080,623

3.6 Perbandingan Analisis Tegangan dan Analisis Biaya

Perbandingan analisis tegangan dan analisis biaya dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4 perbandingan analisis tegangan diatas diambil nilai tegangan (*code stress*) tertinggi dan *allowable stress* dari masing-masing *load case*. Dari Tabel 4 nilai tegangan akibat *sustained load*, *occasional load*, dan *expansion load* yang terendah adalah desain *rerouting* alternatif 2 dan begitu juga sebaliknya. Nilai tegangan dari kedua desain masih berada di bawah nilai *allowable stress* berdasarkan ASME B31.3. Dari segi ekonomi dapat dilihat dari Tabel 4 total biaya pembuatan desain *rerouting* alternatif 2 memiliki biaya lebih rendah dibandingkan dengan pembuatan alternatif desain *rerouting* 1 dan begitu juga sebaliknya. Grafik perbandingan analisis tegangan dapat dilihat pada Gambar 2.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dibahas maka dapat disimpulkan bahwa desain yang dibuat *rerouting* berjumlah 2, *allowable pipe span rerouting* alternatif 1 dan *rerouting* alternatif 2 memiliki nilai yang sama dan dapat diterima, nilai fleksibilitas dari kedua *rerouting* sudah memenuhi kriteria dan dapat diterima. Nilai tegangan tertinggi terjadi pada *rerouting* alternatif 1, akan tetapi masih memenuhi batas *allowable stress* sehingga masih dikatakan aman. Analisis biaya material didapatkan bahwa alternatif *rerouting* 2 memiliki harga yang lebih terjangkau daripada alternatif *rerouting* 1. Oleh karena itu, berdasarkan analisis tegangan dan analisis biaya material maka desain yang dipilih yaitu *rerouting* alternatif 2.

5. PUSTAKA

- [1] A. Fauzi, R. Nonci and D. Thamrin, Analisis Neraca Minyak dan Gas (Study Kasus Lapangan "X"), Bandung: IPB University, 2020.
- [2] P. Mahardika, "Penentuan Allowable Span antar Penyangga Pipa SLF Berdasarkan Tegangan Defleksi Frekuensi Alami," *Jurnal Iptek*, vol. 21.2, pp. 27-34, 2017.
- [3] P. Mahardika, "Analisis Syimmetrical dan Nonsymmetrical Vertical Expansion Loop untuk Meningkatkan Fleksibilitas dan Menurunkan Tegangan Pipa Berdasarkan ASME B31.3," *Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Kerekayasaan*, vol. 42.1, pp. 63-70, 2021.

- [4] T. Pratama, *Pelatihan Dasar Analisis Tegangan Pipa*, Jakarta: PT. Tijara Pratama, 2004.
- [5] R. Z. Aufabi, *Analisis Stress pada Perubahan Jalur Pipa Steam Condensate Line Number SCC-150-C2AAFSX-L81307-EHO*, Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 2021.
- [6] P. Mahardika, “Analisis Kenaikan Tekanan Fluida Terhadap Tegangan Dan Fleksibilitas Pipa Blowdown A106 Grade A Berdasarkan ASME B31.3,” *Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Kerekayasaan*, vol. Volume 39.1, pp. 67-77, 2018.