

Redesain Pipe Support Location Jalur Outlet Gas 2nd Stage Gas Lift Suction Scrubber Menuju Suction 2nd Stage Gas Lift Compressor Akibat Clash

Gigih Ramadhan^{1*}, George Endri Kusuma², Adi Wirawan Husodo¹

Program studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik

Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi Teknologi Rekeyasa Energi Berkelanjutan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²

Email: gigihramadhan@student.ppns.ac.id^{1*}; kusuma.george@ppns.ac.id^{2*}; adi_wirawan@ppns.ac.id

Abstract - This study presents the stress analysis and redesign of the 12"-PG-B1-2303 piping system within the gas compressor module of the Forel FPSO Time Charter project. The modification was necessary due to a clash identified during construction between the pipe support and two adjacent lines connecting the outlet of the second gas lift scrubber (23 MBF-002) to the inlet of the second compressor package (23 CAE-002). Limited H-beam locations and restrictions on direct deck installation required repositioning of the support. The allowable pipe span was evaluated using the Kellog, Kannappan, and Timoshenko methods, with the minimum allowable span of 14.779 m adopted as the design reference. Static stress analysis, conducted in accordance with ASME B31.3, confirmed the structural integrity of the system. The support was relocated 1.021 m along the X-axis, producing maximum stresses of 8670.2 psi (43.4% allowable) for sustained load, 9946.5 psi (37.4%) for occasional load, and 4565.5 psi (15.2%) for thermal expansion. Nozzle load verification yielded forces of 1560 lb and 1755 lb, with corresponding moments of 8343.8 lb-ft and 7859.9 lb-ft for the scrubber outlet and compressor suction, respectively. Material Take-Off (MTO) estimation resulted in a cost of IDR 194,387,569. The findings demonstrate that all stress and displacement values remained within allowable limits, validating the reliability and compliance of the redesigned configuration under ASME B31.3.

Keyword: Pipe Support, Allowable Span, , Stress Analysis, Clash, Redesign

Nomenclature

Δ	Allowable deflection (in)
E	Modulus of elasticity (psi)
I	Area moment of inertia of pipe (in ⁴)
L	Panjang pipa (ft)
L_s	Pipe span limitation of stress (ft)
L_d	Pipe span limitation of deflection (ft)
M	Massa pipa (lb/in ⁴)
σ_h	Allowable tensile stress (psi)
S_L	Tegangan akibat beban sustained (lb/in ²)
S_a	Axial stress (lb/in ²)
S_b	Bending stress (lb/in ²)
S_t	Torsional stress (lb/in ²)
S_c	Minimum stress (lb/in ²)
w	Berat total pipa (lb/ft)
Z	Modulus of selection (in ³)

1. PENDAHULUAN

Dalam industri minyak dan gas, sistem perpipaan memegang peranan penting dalam mendistribusikan fluida di antara peralatan proses. Salah satu aspek penting yang mempengaruhi keandalan sistem adalah penempatan *pipe support*. *Support* pipa berfungsi untuk menahan beban akibat tekanan internal, berat sendiri, temperatur operasi, serta beban eksternal seperti angin dan gempa [1] [2].

Penempatan *support* yang tidak tepat dapat menyebabkan tegangan berlebih, perpindahan tidak terkendali, hingga kebocoran atau kerusakan peralatan.

Dalam proyek ini pada masa konstruksi, terjadi *clash* antara *pipe support* dan komponen struktural atau jalur pipa lain sering terjadi, terutama pada area sempit seperti modul *offshore*. Penanganan *clash* ini menuntut adanya desain ulang sistem *support* agar tetap memenuhi persyaratan kekuatan dan fleksibilitas perpipaan [3] [4].

Studi ini dilakukan pada proyek *Forel FPSO Time Charter*, khususnya pada jalur pipa 12"-PG-B1-2303 yang menghubungkan *outlet* dari *second gas lift suction scrubber* (23 MBF-002) menuju *inlet compressor package* (23 CAE-002). Pada tahap konstruksi, ditemukan adanya *clash* antara *pipe support* dan dua jalur pipa lainnya. Selain keterbatasan lokasi H-beam, terdapat ketentuan teknis yang tidak memperkenankan pemasangan *support* langsung di atas plat dek.

Pada penelitian ini dilakukan analisis tegangan karena dilakukan redesign *pipe support* location. Perancangan dan analisis desain dilakukan dengan perangkat lunak analisis tegangan berdasarkan standar [7]. Dalam merancang ulang posisi *pipe support* menggunakan pendekatan teoritis dari [5], [4], dan [6] dalam perhitungan *allowable span*. Hasil evaluasi diharapkan dapat memberikan acuan

praktis dalam menangani masalah penempatan *support* pada sistem modular *offshore*.

2. METODOLOGI

2.1 Allowable Pipe Span

Perancangan peletakan penyangga pada pipa harus dilakukan dengan menghitung jarak maksimum yang diizinkan antar penyangga pipa [8]. Perhitungan *allowable pipe span* akan dilakukan dengan Persamaan (1), (2), (3), (4), (5), dan (6) berdasarkan [4], [5], [6].

Limitation of Stress and Deflection (Simple Beam)

$$L_s = \sqrt{\frac{0,33 \cdot Z \cdot S_h}{w}} \quad (1)$$

$$L_d = \sqrt[4]{\frac{\Delta \cdot E \cdot I}{22,5 \cdot w}} \quad (2)$$

Limitation of Stress and Deflection (Both and Fixed)

$$L_s = \sqrt{\frac{0,4 \cdot Z \cdot S_h}{w}} \quad (3)$$

$$L_d = \sqrt[4]{\frac{\Delta \cdot E \cdot I}{13,5 \cdot w}} \quad (4)$$

Limitation of Deflection (Timoshenko)

$$L = \sqrt[4]{\frac{384 \cdot E \cdot \Delta \cdot I}{5 \cdot w}} \quad (5)$$

Limitation of Deflection (Kellogg)

$$L = \sqrt[4]{\frac{E \cdot \Delta \cdot I}{17,1 \cdot w}} \quad (6)$$

Evaluasi mencakup *allowable pipe span* berdasarkan parameter tegangan dan defleksi.

2.2 Tegangan pada Pipa

Analisis tegangan pada sistem perpipaan mencakup tegangan yang disebabkan oleh beban *sustained*, *ekspansi thermal*, dan beban *occasional* [7]. Proses analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *pipe stress analysis*. Hasil tegangan yang diperoleh harus memenuhi batasan yang ditetapkan dalam standar ASME B31.3.

2.2.1 Tegangan Akibat Beban *Sustained*

Beban *sustained* adalah beban yang bekerja secara kontinu pada sistem perpipaan selama operasi berlangsung. Beban ini terdiri atas

kombinasi dari tekanan internal fluida atau gas serta beban berat dari pipa dan komponennya. Berdasarkan ASME B31.3, analisis beban *sustained* mempertimbangkan tegangan aksial, tegangan akibat tekukan (*bending*), serta tegangan puntir. Perhitungan tegangan akibat beban *sustained* dapat dilihat pada persamaan (7) [7].

$$S_L = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2} \quad (7)$$

2.2.2 Tegangan Akibat Beban *Thermal Expansion*

Berdasarkan ASME B31.3, beban akibat ekspansi termal tidak boleh melebihi tegangan izin material. Tegangan ini dapat dihitung dengan menggunakan beberapa nilai, yaitu faktor pengurang rentang tegangan, tegangan pada suhu logam minimum, dan tegangan pada suhu logam maksimum, sesuai dengan Persamaan (8) [7].

$$S_A = f (1,25 S_c + 0,25 S_h) \quad (8)$$

2.2.3 Tegangan Akibat Beban *Occasional*

Berdasarkan ASME B31.3, ketentuan 302.3.6 (a1) menyebutkan bahwa jumlah tegangan longitudinal yang disebabkan oleh tekanan, berat, beban *sustained* lainnya, serta tegangan yang dihasilkan oleh beban *occasional* seperti angin atau gempa bumi, tidak boleh melebihi 1,33 kali tegangan yang diizinkan (S_h). Beban ini dikenal juga sebagai beban seismik, yang timbul akibat pergerakan tanah secara acak dan ditransmisikan melalui *anchor* pada struktur atau pipa menuju tanah [9]. Besarnya tegangan izin yang berlaku untuk beban *occasional* ditentukan menggunakan Persamaan (9) [7].

$$S \text{ due to occasional load} \leq 1,33 S_h \quad (9)$$

2.3 Beban *Nozzle*

Beban aktual yang diterima oleh *nozzle* hasil dari analisis sistem perpipaan dapat dikategorikan aman apabila nilainya masih berada dalam batas toleransi atau tidak melebihi nilai ambang yang ditetapkan dalam standar atau peraturan perusahaan untuk *equipment* [3]. Adapun ambang batas beban untuk *nozzle* pompa yang terdapat pada standar manufaktur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Maximum Allowable Pipe Span

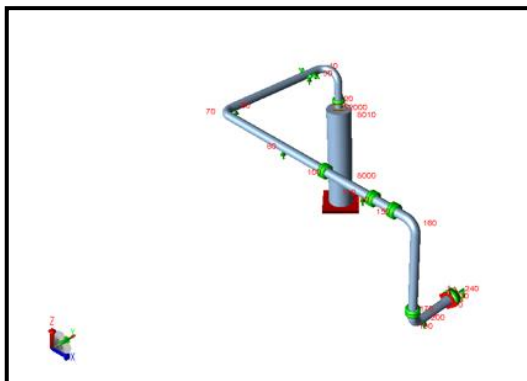
Analisis *maximum allowable pipe span* bertujuan untuk menentukan ukuran serta jumlah penyangga yang dibutuhkan guna meminimalkan defleksi pada sistem perpipaan. Jumlah penyangga diperoleh berdasarkan perhitungan jarak maksimum antar tumpuan agar defleksi

Tabel 1 Allowable Pipe Span

Parameter	Nilai	Satuan	Code and Standard/Reference
Limitation of Stress (Simple Beam)	75,618	ft	Sam Kannapan's Formula
Limitation of Deflection (Simple Beam)	45,271	ft	Sam Kannapan's Formula
Limitation of Stress (Both and Fixed)	83,253	ft	Sam Kannapan's Formula
Limitation of Deflection (Both and Fixed)	51,438	ft	Sam Kannapan's Formula
Limitation of Deflection (Timoshenko)	63,46	ft	Timoshenko's Formula
Limitation of Deflection (Kellog)	48,486	ft	Kellog's Formula

tetap dalam batas yang diizinkan. Perhitungan tersebut memerlukan data teknis, antara lain berat pipa, berat fluida di dalamnya, *section modulus*, momen inersia, tegangan tarik yang diizinkan, batas defleksi yang diperbolehkan, serta modulus elastisitas material pipa. Berikut contoh pada *line suction* untuk pengerjaan *perhitungan allowable pipe span* berdasarkan *limitation of stress* dan *limitation of deflection* dengan menggunakan Persamaan (1), (2), (3), (4), (5), dan (6) berdasarkan [4], [5], [6].

Nilai *allowable pipe span* untuk jalur suction dan discharge diperoleh berdasarkan batasan tegangan (*stress limitation*) dan batasan defleksi (*deflection limitation*), sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 2 Modelling Jalur Sistem Perpipaan

Tabel 2 Nilai Hasil Tegangan

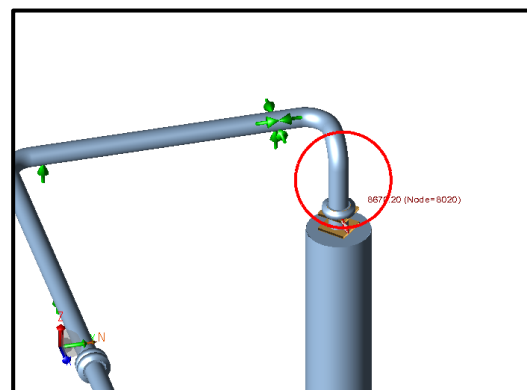
Load Case	Node	Code Stress (lb/in ²)	Allowable Stress (lb/in ²)	Keterangan
SUSTAIN = W + P1	8020	8670,2	19990	Diterima
EXPANSION THERMAL = L2 - L4 OCCASION AL = L13,L14,L15 ,L16,L17	40	4565,5	29997,5	Diterima
	190	9946,5	26586,7	Diterima

3.2 Pemodelan Desain Pipe Support Location

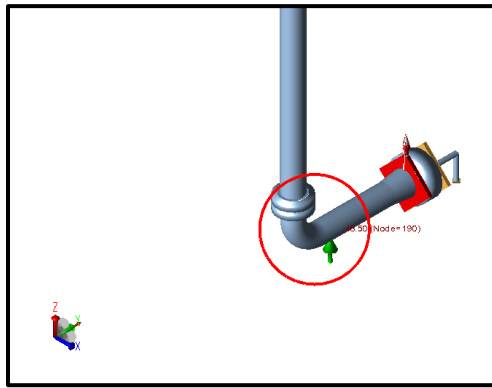
Redesain *pipe support location* pada jalur outlet dari *second gas lift suction scrubber* (23 MBF-002) menuju *inlet compressor package* (23 CAE-002) dilakukan untuk memperoleh konfigurasi posisi atau letak *support* yang paling optimal. Tujuan dari pemodelan ini adalah untuk menghasilkan sistem perpipaan yang memenuhi batasan desain sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Gambar 1 menyajikan hasil pemodelan sistem perpipaan setelah dilakukan penempatan ulang *support*.

3.3 Tegangan pada Pipa

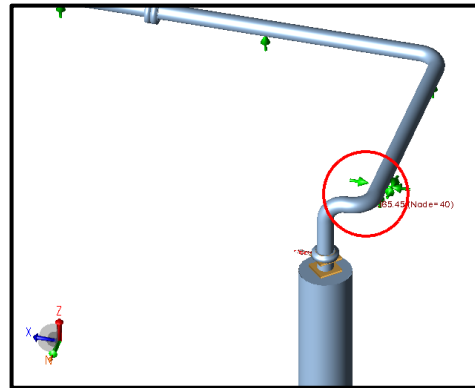
Analisis tegangan pada sistem perpipaan dengan redesign *pipe support location* dilakukan menggunakan perangkat lunak *pipe stress analysis*, yang mencakup evaluasi tegangan akibat beban *sustained*, ekspansi termal (*thermal expansion*), dan beban *occasional*. Hasil analisis tegangan ditampilkan pada Tabel 2. Berdasarkan hasil tersebut, seluruh nilai tegangan yang dihasilkan dari ketiga jenis beban telah berada dalam batas yang diizinkan sesuai dengan ketentuan standar ASME B31.3. Gambar 2 (a), (b), dan (c) merupakan posisi tegangan tertinggi untuk setiap *load case*.



Gambar 1(a) Tegangan Tertinggi Akibat Pembebanan Sustain



Gambar 2(b) Tegangan Tertinggi Akibat Pembebanan Occasional



Gambar 2 (c) Tegangan Tertinggi Akibat Pembebanan Thermal Expansion

3.4 Analisis Beban Nozzle

Analisis beban *nozzle* pada *outlet second scrubber* dan *inlet second gas compressor package* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Pipe Stress Analysis* untuk memperoleh nilai gaya dan momen yang terjadi. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan batas maksimum berdasarkan standar manufaktur. Analisis mempertimbangkan kondisi temperatur desain dan operasi, serta dilakukan setelah konfigurasi sistem perpipaan diubah melalui penyesuaian lokasi *support* guna memastikan kesesuaian terhadap batas beban *nozzle* yang diizinkan. Hasil analisis disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa redesain penempatan *pipe support* pada jalur pipa 12"-PG-B1-2303 dalam sistem modul gas kompresor proyek *Forel FPSO Time Charter* berhasil mengatasi permasalahan *clash* yang terjadi pada tahap konstruksi. Pemindahan posisi support sejauh 1,021 m pada sumbu X, dengan dasar evaluasi nilai *allowable span minimum* sebesar 14,779 m, telah menghasilkan konfigurasi penyangga pipa yang memenuhi standar kelayakan teknis.

Analisis tegangan menggunakan standar ASME B31.3 membuktikan bahwa seluruh tegangan maksimum akibat beban *sustained*,

Tabel 4 Nilai Nozzle Load Scrubber

Komponen Forces (lbf)	Ope	Sus	Occ	Exp	Allowable	Kriteria
Fa	-1347	-852	1171	-495	2395	Diterima
Fb	2211	5	763	2205	2937	Diterima
Fc	2556	200	828	2356	2937	Diterima
Moments (lbf.ft)						
Ma	-7251,1	-459,8	4931,6	-6791,3	13888,9	Diterima
Mb	-3035,1	-953	159,6	-2939,8	9821,1	Diterima
Mc	7516,1	-827,6	3804,5	8343,8	9821,1	Diterima

Tabel 3 Nilai Nozzle Load Compressor

Komponen Forces (lbf)	Ope	Sus	Occ	Exp	Allowable	Kriteria
Fa	1259	643	1912	616	3751	Diterima
Fb	899	-661	1190	1560	9398	Diterima
Fc	729	63	1566	666	9398	Diterima
Moments (lbf.ft)						
Ma	4957,1	396,4	7859,9	4560,7	18786,5	Diterima
Mb	4063,2	234,1	5265,7	3829,1	9399,9	Diterima
Mc	-3377,7	-1301,4	7369,2	-2076,3	9399,9	Diterima

occasional, dan *thermal expansion* berada jauh di bawah batas tegangan yang diizinkan. Evaluasi terhadap beban *nozzle* pada *outlet scrubber* dan *suction compressor* menunjukkan nilai yang masih dalam ambang aman sesuai dengan spesifikasi vendor peralatan. Desain ulang ini dapat dijadikan acuan untuk penanganan kasus serupa dalam sistem modular *offshore* yang memiliki keterbatasan ruang dan risiko kegagalan antar jalur perpipaan. Seluruh parameter hasil analisis dan desain berada dalam batas yang diizinkan sesuai ketentuan ASME B31.3.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. . Paul R. Smith, "piping_and_pipe_support_systems.pdf," 1987.
- [2] L.-C. Peng and T.-L. Peng, "Pipe Stress Engineering," *Pipe Stress Eng.*, 2010, doi: 10.1115/1.802854.
- [3] A. Chamsudi, "Piping Stress Analysis," *Diktat-Piing Stress Anal.*, p. 99, 2005.
- [4] S. Kannappan and J. W. Ley, "Sam Kannappan," 1986.
- [5] M. KELLOG, "Design of piping systems," 1956. doi: 10.1016/0016-0032(56)90101-6.
- [6] S. Timoshenko, "Timoshenko S - Strength Of Materials. parts I_ Elementary Theory and Problems-D. Van Nostrand (1941).pdf," 1941.
- [7] A. Code and P. Piping, "Process Piping," vol. 2018, 2018.
- [8] P. Mahardhika, "Desain Peletakan Penyangga Dan Evaluasi Tegangan Pada Sistem Perpipaan Fluida Masecuite Dari Reheater Menuju Feed Mixer," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.*, vol. 6, no. 1, p. 39, 2020, doi: 10.31884/jtt.v6i1.247.
- [9] COADE, "pdf-kupdfcom-coade-pipe-stress-analysis-seminar-notespdf_compress.pdf," 1998.