

Analisa Tegangan Pipa untuk Kebutuhan *Reverse Engineering* Pipa Penyalur

Sigit Marseno¹, Yanto^{1,2*}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jakarta, Jalan Sudirman 51 Jakarta 12930

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jakarta. Jalan Raya Cisauk-Lapan No. 10, Cisauk, Tangerang, Banten 15345

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i> Received October 21, 2025 Accepted November 7, 2025 <i>Keywords:</i> <i>Pipeline, Support, Pipe Stress, Autopipe</i>	<i>This study aims to evaluate the structural integrity of the piping system and optimize its design. The method began with the collection of actual data from piping system which was then input for modeling and simulation using AutoPIPE software. Analysis which was done: calculating stress due to sustained loads (internal pressure, pipe/fluid weight) and occasional loads (earthquakes), as well as examining the forces on the pipe and supports, displacement, and rotation of the pipe. Initial results indicated high stress (ratio above 1.0) under the combined sustained and earthquake loads, indicating that the initial design does not meet safety standards. As a solution, additional pipe supports at critical points were recommended. By adding appropriate supports, the stress on the pipe due to the combined sustained and earthquake loads was successfully reduced to the design code's allowable limits. This was very effective in improving the safety and compliance of piping systems with standards, reducing the risk of failure, and ensuring stable operation.</i>

Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i> Diterima: 21 October 2025 Disetujui: 07 November 2025 <i>Kata Kunci:</i> <i>Pipa penyalur, Penyangga Pipa, Tegangan Pipa, Autopipe</i>	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi integritas struktural sistem perpipaan dan mengoptimalkan desainnya. Metode diawali dengan pengumpulan data aktual sistem pipa yang menjadi input untuk pemodelan dan simulasi dengan perangkat lunak AutoPIPE. Analisis yang dilakukan: perhitungan stress akibat beban sustained (tekanan internal, berat pipa/fluida) dan beban okasional (gempa), serta pemeriksaan gaya pada pipa dan support, pergerakan (displacement), dan rotasi pipa. Hasil awal menunjukkan stress tinggi (rasio di atas 1.0) pada kombinasi beban sustained dan gempa, mengindikasikan bahwa desain awal tidak memenuhi standar keamanan. Sebagai solusi, direkomendasikan penambahan <i>pipe support</i> pada titik kritis. Penambahan support yang tepat, stress pada pipa akibat kombinasi beban sustained dan gempa berhasil diturunkan sampai dalam batas izin kode desain. Hal ini efektif meningkatkan keamanan dan kepatuhan sistem perpipaan terhadap standar, mengurangi kegagalan, dan memastikan operasi yang stabil.

*Corresponding author. Yanto
Email address: yanto@atmajaya.ac.id

1. PENDAHULUAN

Pipa Penyalur merupakan peralatan dalam industri migas yang berfungsi untuk menyalurkan fluida (gas atau cair) dari satu lokasi ke lokasi lain dengan efisien, aman, dan berkelanjutan. Minyak mentah diangkut dari sumur pengeboran menuju fasilitas pemrosesan atau kilang, sementara gas alam disalurkan melalui jaringan pipa ke pusat distribusi atau langsung ke konsumen. Dalam pembuatan bangunan lepas pantai pasti terdapat sistem perpipaan, sistem perpipaan berfungsi untuk mendistribusikan fluida dari suatu tempat ketempat yang lain dengan memanfaatkan tekanan pada sistem perpipaan. Fluida yang mengalir di dalamnya bisa berupa air, gas, ataupun cairan yang mempunyai suhu tertentu (Pridyatama dan Kurniawan, 2014). Bagian-bagian dari sistem perpipaan itu sendiri antara lain dipisahkan dari perpipaannya sendiri, kemudian sambungan perpipaan (aksesoris), seperti pengikat kabel, reduksi, siku-siku dan komponen perpipaan lainnya (seperti flensa, ring, baut dan mur, kaca mata buta katup dan penyangga pipa). Suatu jaringan perpipaan, baik piping system maupun pipeline yang sudah terpasang pada suatu plant, didesain untuk tetap beroperasi sesuai dengan jangka waktu yang telah ditetapkan sebelum dilakukan maintenance. Saat beroperasi, pipa akan menerima beban terus-menerus. Gambar 1 menyajikan ilustrasi pipa penyalur secara umum.

Pembuatan rancangan sistem perpipaan yang aman sangat menjamin kelangsungan dari proses serta lama pemakaian sistem perpipaan sesuai dengan estimasi siklus rancangan. Keamanan sistem pipa sendiri ialah ketika pipa bisa menahan tekanan yang diterimanya tanpa terjadi perubahan signifikan yang dapat mempengaruhi kelangsungan proses sistem, tekanan yang diterima pipa dapat diminimalisasi menggunakan piping support (Saputra *et al.*, 2020). Sistem pipa harus dirancang sedemikian rupa supaya terhindar dari kecelakaan yang diakibatkan oleh kelebihan beban/Overload maupun kelebihan panas atau overheat. Salah satu cara untuk membuat sistem perpipaan aman, maka dibuat sebuah loop untuk menjaga supaya tidak terjadi expansion thermal.



(a)

Gambar 1.

Pipa penyalur secara umum



(b)

Gambar 1. (lanjutan)
Pipa penyalur secara umum

Analisis tegangan pipa dilakukan untuk memastikan sistem perpipaan dapat beroperasi secara aman dan andal dalam berbagai kondisi beban. Proses ini mengikuti tahapan sistematis yang melibatkan pemodelan, analisis, evaluasi, serta dokumentasi hasil. Pada Peraturan Menteri ESDM No 32 tahun 2021 tentang *Inspeksi Teknis dan Pemeriksaan Keselamatan Instalasi dan Peralatan pada Kegiatan Usaha Minyak dan Gas Bumi* terdapat Keputusan Direktur Teknik dan Lingkungan Minyak dan Gas Bumi selaku Kepala Inspeksi Minyak dan Gas Bumi Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 182.K/HK.02/DMT/2024 tentang Mekanisme Reverse Engineering yang mengharuskan kalkulasi Pipe Stress Analysis sebagai bagian dari Reverse Engineering untuk mengetahui tegangan dan regangan pada pipa dalam berbagai kondisi. Pada studi kasus dalam jurnal ini membahas Pipe Stress Analysis pada Reverse Engineering PT PPRL Paser – Kalimantan Timur.

2. METODE PELAKSANAAN

Analisa Pipe Stress Pipa Penyalur menggunakan software Bentley Autopipe V8i standard version yang menggunakan referensi ASME B31.4 (ASME, 2022). Metode penelitian pada paper ini dilaksanakan dengan beberapa tahapan meliputi melakukan modeling dan simulasi sistem perpipaan, menganalisa hasil output report gaya pada pipa, menganalisa hasil output report gaya pada penopang pipa, menganalisa hasil output report pergerakan (*displacement*) pipa, menganalisa hasil output report rotasi pipa, serta menganalisa hasil output report translasi dan rotasi akibat frekuensi (getaran).

SAanalisis tegangan pipa dilakukan untuk memastikan sistem perpipaan dapat beroperasi secara aman dan andal dalam berbagai kondisi beban. Proses ini mengikuti tahapan sistematis yang melibatkan pemodelan, analisis, evaluasi, serta dokumentasi hasil. Modelling pada software membutuhkan data aktual pipa flowline di lapangan mencakup data spesifikasi pipa dimensi pipa, panjang pipa, data ketebalan pipa, dokumentasi visual,

data beban seismic sesuai dan data beban angin aktual lokasi pipa dipasang. Data spesifikasi pipa diperoleh melalui dokumen yang dimiliki oleh owner ataupun melalui informasi pada nameplate dan Visual Inspeksi dan dimensional aktual dilapangan.

Tabel 1

Data Spesifikasi Pipa

No	Data spesifikasi	Spesifikasi
1.	Spesifikasi Material	A-106 Gr.B
2.	Service	Crude Oil
3.	Specific Gravity	0.80
4.	Dimensi	3 Inch Sch. 40
5.	Panjang	±150 meter
6.	Tekanan Desain	52,02 kg/cm ² / 740 Psig
7.	Tekanan Operasi	0,28 – 1,62 kg/cm ² / 4 – 23 Psig
8.	Temperatur Desain	100 °F / 37,78 °C
9.	Temperatur Operasi	85 – 90 °F / 29,44 – 32,22 °C
10.	Flange Rating Class	#300

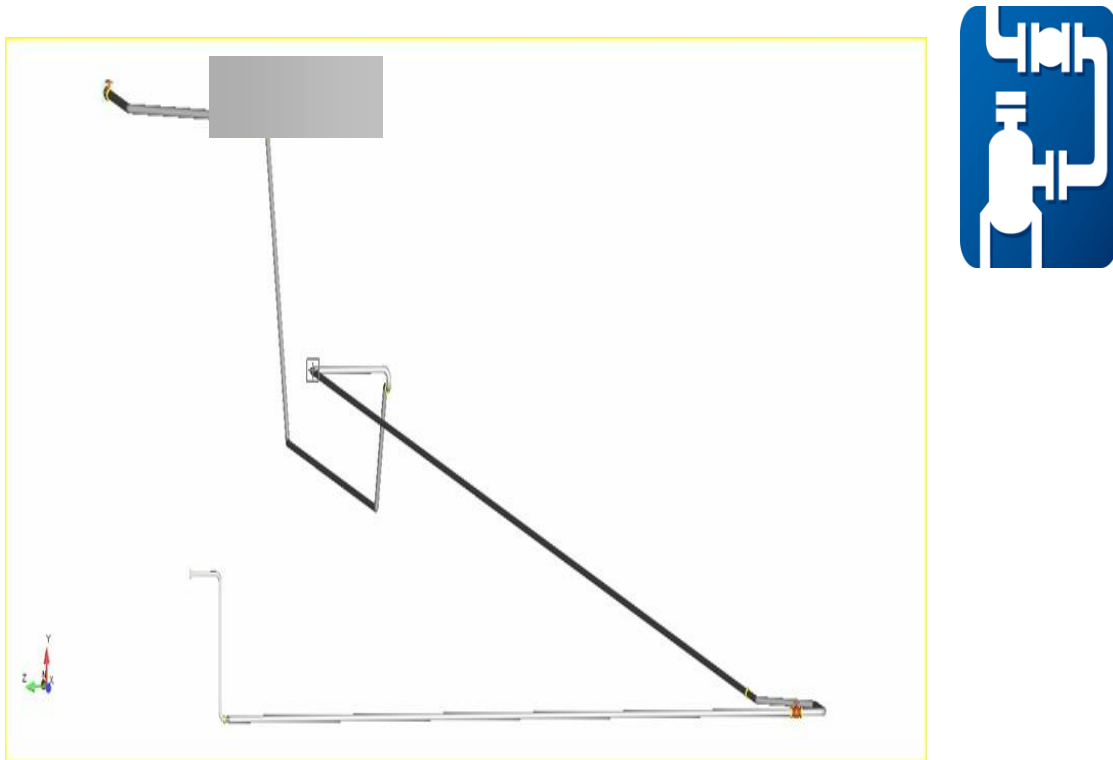
Analisis tegangan pipa dilakukan untuk memastikan sistem perpipaan dapat beroperasi secara aman dan andal dalam berbagai kondisi beban. Proses ini mengikuti tahapan sistematis yang melibatkan pemodelan, analisis, evaluasi, serta dokumentasi hasil. Data ketebalan pipa dan elbow diambil menggunakan metode on-destructive test (NDT) ultrasonic pada sepanjang pipa dengan satu sampel diambil 4 titik dari 0°, 90°, 180° dan 270° dan didapatkan thickness minimum 5,04 mm pada segment elbow.



Gambar 2

Pengambilan Data Ketebalan

Setelah data didapatkan lalu bisa ke tahap selanjutnya memodelkan sistem perpipaan secara digital, dimulai dengan memasukkan geometri pipa, termasuk panjang, diameter, dan ketebalan dinding, serta lokasi belokan (elbow), tee, dan komponen lainnya. Selanjutnya, kita menentukan material pipa, seperti baja karbon A106 GrB, yang akan secara otomatis mengimpor properti material yang relevan. Auto Pipe Merupakan salah satu program untuk melakukan Analisa sistem perpipaan, Analisa yang dilakukan ialah tegangan sistem perpipaan berorientasi pada berat, tekanan, temperatur, seismic, dan angin. Dengan menggunakan program Auto Pipe pengerjaan rancangan akan mempersingkat waktu dalam melakukan pemecahan kasus bagi engineer (Saputra *et al.*, 2020; Mahardika *et al.*, 2023).



Gambar 3
Model Pipa Penyalur dalam Bentley Autopipe v8i

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 menyajikan rangkuman analisis pipe stress sebelum penambahan support. Tabel 3 menyajikan summary maximum displacement sebelum penambahan support. Gambar 3 menyajikan maximum result stress sebelum penambahan support. Sementara itu, Tabel 4, menyajikan summary hasil Stress pada pipa penyalur setelah penambahan support. Hasil ini merupakan hasil modeling dan simulasi pada pipa penyalur crude oil pada segment yang mengalami tegangan terbesar akibat kondisi dan kombinasi beban yang sesuai dengan spesifikasi pipa dan data lingkungan aktual pipa dipasang.

Terdapat Anomaly bahwa pada titik A17 M (Tabel 2) stress melebihi batas allowable stress sesuai ASME B31.4 diakibatkan beban **Sus + E1(3)** atau beban sustained (beban selama operasi) dikombinasikan dengan beban **E** atau Earthquake atau beban gempa sesuai dengan lokasi aktual pipa penyalur dipasang yang mana beban sustained atau beban pada pipa penyalur. Setelah Analisa dan Evaluasi lebih lanjut maka dilakukan penyesuaian untuk

mengurangi stress yang diakibatkan beban **Sus + E1(3)** pada pipa penyalur, maka opsi penambahan support pada titik setelah A17 M seperti pada Gambar 5 untuk menopang pipa sebelum pipa masuk ke segment underground atau bawah tanah. Gambar 6 menyajikan hasil penambahan support di lapangan.

Tabel 2

Summary Pipe Stress Analysis sebelum penambahan support

Result Summary	Point Name	Stress Ratio (Kg/cm ² g)	Allowable Stress (Kg/cm ² g)	Ratio	Load Combination	Remark
Maximum Sustained Stress	A51	1103	1846	0.60	GR+MaxP(3)	OK
Maximum Displacement Stress	A00	207	5504	0.06	Amb to T2(2)	OK
Maximum Occasional Stress	A17 M	2137	1969	1.09	Sus + E1(3)	NOT OK
Maximum Hoop Stress	A06	1717	1772	0.97	Max P2	OK



Gambar 4

Maximum Result Stress sebelum penambahan support

Stress pada pipa akibat kombinasi beban sustained dan earthquake berhasil diturunkan setelah penambahan support pada titik setelah A17 M, dari stress sebelum penambahan support pada titik A17 M sebesar 2137 Kg/cm²g setelah penambahan support stress pipa menjadi 1662 Kg/cm²g pada titik A17 N. Penambahan *support* tersebut telah efektif dalam mendistribusikan beban gempa dan mengendalikan respons dinamis pipa, sehingga mencegah konsentrasi tegangan yang tidak diinginkan.

Tabel 3

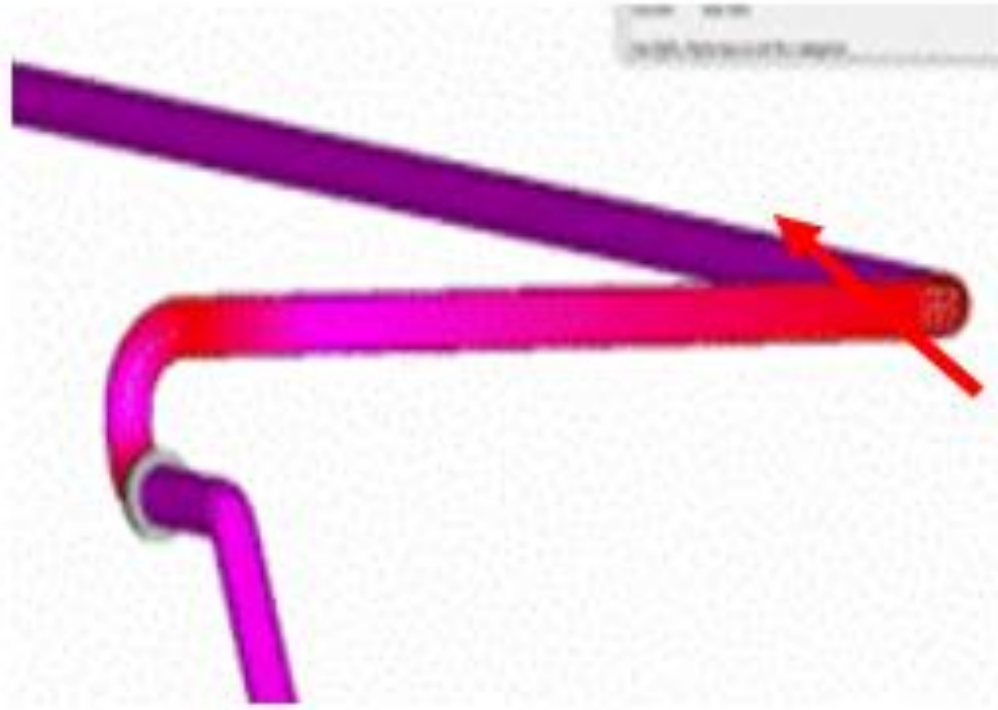
Summary Maximum Displacement sebelum penambahan support

Maximum Displacement (mm)	Point	Load Combination
Dx	16.91	A59
Dy	-1.19	A12 M
Dz	-5.50	A55

Tabel 4

Summary Pipe Stress Analysis sesudah penambahan support

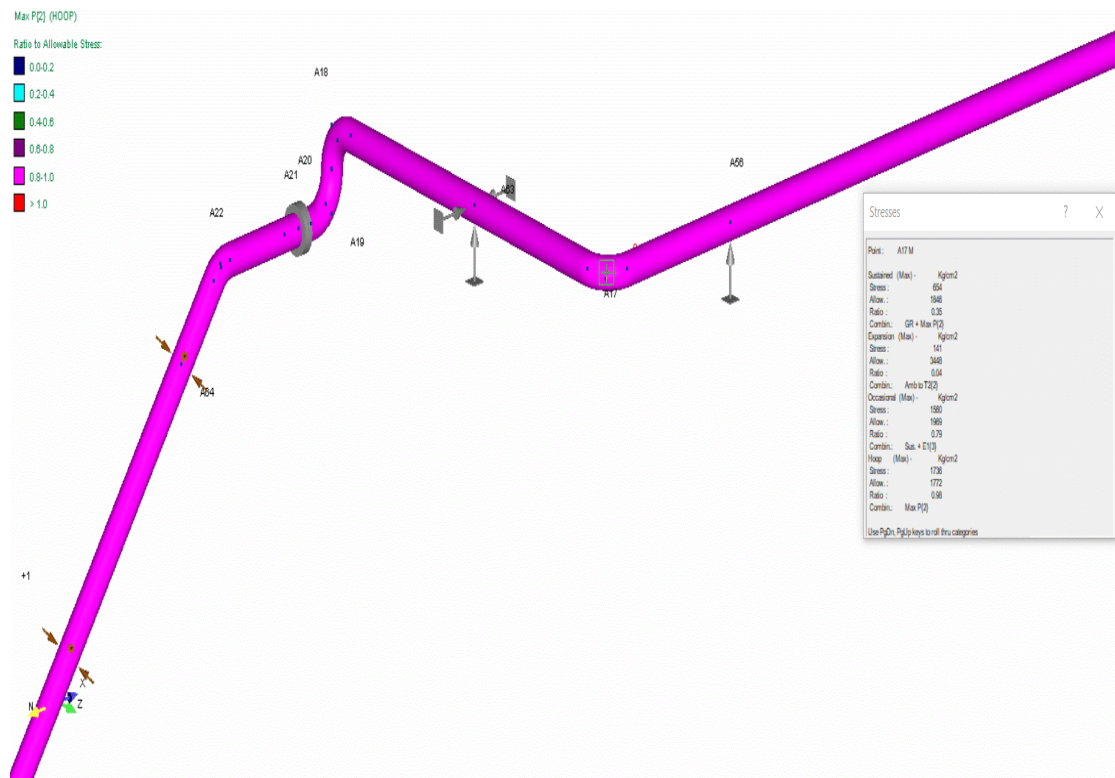
Result Summary	Point Name	Stress Ratio (Kg/cm ² g)	Allowable Stress (Kg/cm ² g)	Ratio	Load Combination	Remark
Maximum Sustained Stress	A55	917	1846	0.50	GR+MaxP(2)	OK
Maximum Displacement Stress	A25 M	298	3435	0.09	Amb to T2(2)	OK
Maximum Occasional Stress	A17 N	1662	1969	0.84	Sus + E1(3)	OK
Maximum Hoop Stress	A06	1736	1772	0.98	Max P2	OK



Gambar 5
Titik Penambahan Support



Gambar 6
Titik Penambahan Support berdasarkan foto di lapangan



Gambar 7
Maximum Result Stress sebelum penambahan support

Tabel 5
Summary Maximum Displacement sebelum penambahan support

Maximum Displacement (mm)		Point	Load Combination
Dx	24.49	A58	GE1(2)
Dy	3.01	A12 M	Static Seismic 1 (3)
Dz	9.72	A58	GE1(2)

4. KESIMPULAN

Proses analisis dimulai dengan pengumpulan data aktual di lapangan, data ini kemudian dimasukkan ke perangkat lunak AutoPIPE untuk pemodelan digital sistem perpipaan, lengkap dengan geometri, material, dan konfigurasi support. Simulasi AutoPIPE kemudian dilakukan untuk menghitung tegangan (baik sustained, expansion, maupun occasional), serta mengevaluasi respons terhadap beban eksternal seperti gempa. Ketika hasil menunjukkan stress tinggi (rasio melebihi 1.0), berarti tegangan aktual melampaui batas izin kode desain, menandakan potensi risiko kegagalan. Solusi meliputi mengoptimalkan pipe support dengan menambah jumlah, atau jenisnya Stress akibat kombinasi beban sustained dan gempa berhasil diturunkan dengan penambahan support, ini mengindikasikan bahwa desain kini lebih aman dan telah memenuhi standar kode, mengurangi risiko dan meningkatkan

keandalan operasional sistem perpipaan. Secara singkat, keberhasilan penurunan stress menunjukkan bahwa strategi penambahan support adalah solusi yang efektif dan memadai untuk meningkatkan integritas struktural sistem perpipaan terhadap beban gempa, memastikan keamanan operasional dan kepatuhan terhadap standar industri.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. ASME. (2022). *B31.4 Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries*. USA: The American Society of Mechanical Engineers.
2. BSN. (2011). *SNI 3473:2011 Sistem Transportasi Pipa Penyalur untuk Cairan Hidrokarbon dan Cairan lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
3. Mahardika, P., Wardani, D., Akbar A. H. (2023) Analisa fleksibilitas sistem perpipaan pada suction dan discharge air gan compressor. *Jurnal Integrasi*, 15(1), 56-62.
4. Saputra, I., Saputra, H., Gemala, M. (2020). Analisa rancangan pipe support pada aliran fuel gas menggunakan auto pipe. *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan*. 2(2), 80-85
5. Pridyatama, P.A., Kurniawan, B.A. (2014). analisa rancangan pipe support pada sistem perpipaan high pressure vent berdasarkan stress analysis dengan pendekatan caesar ii. *Jurnal Teknik POMITS*, 3(2), F-168.