

Analisis efektivitas dummy support terhadap reduksi tegangan berlebih pada sistem perpipaan berdasarkan ASME B31.3 dengan simulasi CAESAR II

Analysis of dummy support effectiveness on excessive stress reduction in piping systems based on ASME B31.3 with CAESAR II simulation

SKRIPSI

Oleh:
Nama: Fadli Tias Fauzan
NPM: 233030093



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Fadli Tias Fauzan

Nomor Pokok Mahasiswa : 233030093

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarism.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 23 Februari 2026

Penulis,



Fadli Tias Fauzan

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a: Fadli Tias Fauzan

NPM: 233030093

Program Studi: Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya: Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Analisis efektivitas dummy support terhadap reduksi tegangan berlebih pada sistem perpipaan berdasarkan ASME B31.3 dengan simulasi CAESAR II”

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 23 Februari 2026

Yang menyatakan,



Fadli Tias Fauzan

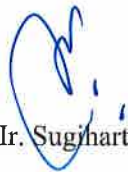
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Analisis Efektivitas Dummy Support terhadap Reduksi Tegangan Berlebih pada Sistem Perpipaan Berdasarkan ASME B31.3 dengan Simulasi CAESAR II



Nama: Fadli Tias Fauzan
NPM: 233030093

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

Pembimbing Pendamping



Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Analisis Efektivitas Dummy Support terhadap Reduksi Tegangan Berlebih pada Sistem Perpipaan Berdasarkan ASME B31.3 dengan Simulasi CAESAR II



Nama: Fadli Tias Fauzan
NPM: 233030093



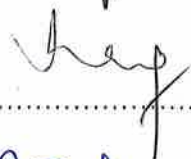

Tanggal sidang skripsi: 23 Februari 2026

Ketua : Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

Sekretaris : Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T.

Anggota : Prof. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T.

Anggota : Ir. Agus Sentana, M.T.


.....

.....

.....

.....

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT. yang telah memberikan karunia, rahmat serta hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan laporan usulan penelitian dengan judul “Analisis efektivitas dummy support terhadap reduksi tegangan berlebih pada sistem perpipaan berdasarkan ASME B31.3 dengan simulasi CAESAR II”. Adapun tujuan dari penulisan skripsi ini, yaitu untuk memenuhi Sidang Skripsi di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan.

Dalam penyusunan laporan skripsi ini penulis menyampaikan terima kasih atas bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan ini. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih pada:

1. Allah SWT. yang senantiasa memberikan karunia, kekuatan dan kesabaran dalam menyusun laporan usulan penelitian.
2. Orang Tua atas doa dan dukungan untuk melanjutkan pendidikan pada jenjang selanjutnya dan mendukung selalu disetiap proses.
3. Bapak Sugiharto, selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan nasihat dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis.
4. Bapak Reza Hermawan yang telah senantiasa menjadi Dosen Pendamping dalam penulisan makalah ini.
5. PT PGAS Solution yang telah memberikan dukungan, kepercayaan, serta kesempatan kepada penulis untuk tetap melanjutkan pendidikan di tengah kesibukan pekerjaan.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan selama penelitian dan penulisan skripsi. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk laporan ini agar dapat dijadikan evaluasi dan pembelajaran dikemudian hari.

Akhir kata dan tidak lupa saya mengucapkan alhamdulillah, saya berharap semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis, pada khususnya dan umumnya bagi semua pihak yang membaca. Terima kasih.

Bandung, 23 Februari 2026

Penulis,


Fadli Tias Fauzan

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	I
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	II
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR GAMBAR.....	VIII
DAFTAR TABEL	IX
ABSTRAK	X
ABSTRACT	XI
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah	2
3. Tujuan.....	2
4. Manfaat.....	2
5. Lingkup masalah.....	3
6. Sistematika penulisan.....	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
1. Sistem Perpipaan	5
2. Tegangan	7
3. Pipe Support	12
4. Dummy Support.....	14

5. ASME B31.3	16
6. CAESAR II.....	18
BAB III METODOLOGI	22
1. Tahapan penelitian.....	22
2. Tempat penelitian	23
3. Peralatan penelitian.....	23
4. Data penelitian	24
5. Analisis	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
1. Nilai stress pada sistem perpipaan	34
2. Pengaruh penambahan dummy support terhadap nilai tegangan.....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	37
1. Kesimpulan.....	37
2. Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	41
1. Mark-up piping & instrument diagram (P&ID)	41
2. Piping 3D modelling	42
3. Spreadsheet perhitungan manual tegangan pipa.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Arah tegangan pipa [10]	8
Gambar 2. Tegangan radial pada pipa [4]	8
Gambar 3. Tegangan akibat momen bending dan torsi [4].....	10
Gambar 4. Hoop stress pada pipa [4]	11
Gambar 5. Longitudinal stress pada pipa [4].....	11
Gambar 6. Jenis-jenis pipe support [14].....	13
Gambar 7. Sketsa dummy support [16].....	15
Gambar 8. CAESAR II User interface [20].....	19
Gambar 9. Lokasi penelitian	23
Gambar 10. Piping 3D model [22]	25
Gambar 11. Dimensi dan berat flange [24]	27
Gambar 12. Dimensi dan berat valve [24].....	27
Gambar 13. Desain dummy support [25]	28
Gambar 14. Sistem koordinat [29]	29
Gambar 15. Design A (tanpa dummy support) [30]	30
Gambar 16. Load case analyzed (failure) [31]	31
Gambar 17. Design B (dengan dummy support) [31].....	32
Gambar 18. Load case analyzed (success) [31].....	32
Gambar 19. Nilai stress tertinggi pada node 190.....	34
Gambar 20. Grafik reduksi tegangan akibat penambahan dummy support	36

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Definisi load case pada CAESAR II [19]	20
Tabel 2. Basic combination load pada CAESAR II [19]	21
Tabel 3. Kondisi Operasi.....	24
Tabel 4. Material sistem perpipaan	24
Tabel 5. Dimensi dan berat pipa [23]	26
Tabel 6. Material for dummy support.....	28
Tabel 7. Load case for simulation [7].....	31
Tabel 8. Basic allowable stress for ASTM A106 Gr.B [31]	33
Tabel 9. Perbandingan nilai stress	35

ABSTRAK

Sistem perpipaan berperan penting dalam menjaga kelancaran proses transportasi fluida pada industri minyak dan gas, di mana keamanan dan keandalan struktur pipa menjadi faktor utama dalam operasi. Salah satu permasalahan yang sering muncul adalah timbulnya tegangan berlebih akibat kombinasi beban internal, beban termal, serta berat material dan fluida, yang berpotensi menyebabkan deformasi maupun kegagalan mekanis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi tegangan pada sistem perpipaan dan mengevaluasi pengaruh penambahan dummy support terhadap penurunan tegangan menggunakan perangkat lunak CAESAR II. Analisis dilakukan dengan mengacu pada standar ASME B31.3 Process Piping, yang menjadi acuan utama dalam penilaian kelayakan desain. Model perpipaan disusun berdasarkan kondisi operasi aktual dengan parameter tekanan internal, berat total sistem, dan ekspansi termal. Evaluasi dilakukan pada beberapa load case yang merepresentasikan kondisi kerja normal dan kritis untuk mengidentifikasi titik dengan tegangan maksimum. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tanpa dummy support, beberapa load case menghasilkan tegangan yang melebihi batas ijin material sehingga sistem dikategorikan tidak aman. Setelah dilakukan penambahan dummy support pada titik-titik kritis, tegangan maksimum berkurang secara signifikan dan seluruh nilai berada di bawah allowable stress, menandakan peningkatan integritas serta kestabilan sistem. Berdasarkan hasil tersebut, penggunaan dummy support efektif dalam mengoptimalkan distribusi beban dan memastikan sistem perpipaan memenuhi kriteria keselamatan yang disyaratkan oleh standar ASME B31.3.

Kata kunci: Sistem Perpipaan, Tegangan Pipa, Dummy Support, CAESAR II, ASME B31.3

ABSTRACT

The piping system plays a crucial role in ensuring the smooth transportation of fluids in the oil and gas industry, where the safety and reliability of the pipe structure are key operational factors. One of the common problems encountered is the occurrence of excessive stress caused by the combination of internal loads, thermal expansion, and the weight of the material and fluid, which can lead to deformation or mechanical failure. This study aims to analyze the stress distribution in a piping system and evaluate the effect of adding dummy supports on stress reduction using the CAESAR II software. The analysis refers to the ASME B31.3 Process Piping standard, which serves as the main guideline for assessing the design feasibility of piping systems. The piping model was developed based on actual operating conditions, including parameters such as internal pressure, total system weight, and thermal expansion. Several load cases representing normal and critical operating conditions were evaluated to identify points with maximum stress. The simulation results show that, without dummy support, several load cases generate stress values exceeding the allowable limits, indicating that the system is unsafe. After the addition of dummy supports at critical points, the maximum stress was significantly reduced, and all values fell below the allowable stress, indicating improved structural integrity and stability. Based on these results, the use of dummy supports is proven effective in optimizing load distribution and ensuring that the piping system meets the safety criteria required by the ASME B31.3 standard.

Keywords: Piping System, Pipe Stress, Dummy Support, CAESAR II, ASME B31.3

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Sistem perpipaan merupakan salah satu elemen vital yang menunjang kelancaran proses operasional di berbagai sektor industri, seperti minyak dan gas, petrokimia, pembangkit listrik, serta manufaktur. Pipa berfungsi sebagai media transportasi fluida, baik cair maupun gas, dari satu titik ke titik lain secara aman, cepat, dan efisien. Keandalan sistem perpipaan menjadi faktor krusial karena gangguan pada salah satu komponennya dapat menghambat proses produksi, menurunkan kualitas produk, hingga menimbulkan risiko kecelakaan kerja [1].

Dalam operasinya, sistem perpipaan mengalami berbagai macam beban yang berasal dari faktor internal maupun eksternal. Beban internal meliputi tekanan fluida dan suhu operasi, sedangkan beban eksternal dapat berupa berat pipa, berat fluida yang diangkut, ekspansi termal akibat perubahan suhu, beban angin, beban seismik, hingga getaran dari peralatan mekanis. Kombinasi beban-beban tersebut dapat menimbulkan tegangan (*stress*) pada dinding pipa. Apabila tegangan yang timbul melebihi batas yang diizinkan oleh standar, dapat terjadi deformasi, retakan, kebocoran, bahkan kegagalan total (*failure*) yang berimplikasi pada keselamatan, kerusakan lingkungan, dan kerugian finansial [2]. Salah satu metode efektif untuk mengendalikan tegangan berlebih pada sistem perpipaan adalah dengan pemasangan pipe support yang tepat. Dummy support merupakan salah satu jenis pipe support tambahan yang dipasang pada bagian luar pipa untuk membantu menahan beban serta mengurangi defleksi dan tegangan pada titik-titik kritis [3]. Analisis tegangan pipa menggunakan perangkat lunak seperti CAESAR II memungkinkan visualisasi distribusi tegangan dan evaluasi kinerja struktur sebelum dan sesudah pemasangan dummy support secara kuantitatif. Berdasarkan pedoman ASME B31.3 Process Piping, analisis ini membantu memastikan sistem memenuhi kriteria kelayakan dan keselamatan desain [4].

Hasil analisis diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain yang efektif dalam mengurangi tegangan, meningkatkan keandalan sistem, serta memperpanjang umur pakai pipa. Selain itu, temuan dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi praktisi industri dalam pemilihan dan perancangan pipe support yang sesuai dengan kondisi operasi.

2. Rumusan masalah

Dilihat dari latar belakang di atas, maka didapatlah perumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana pengaruh pemasangan dummy support terhadap distribusi tegangan pada sistem perpipaan berdasarkan hasil simulasi CAESAR II?
2. Apakah pemasangan dummy support mampu menurunkan tegangan hingga berada di bawah batas allowable stress sesuai ASME B31.3?

3. Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh pemasangan dummy support terhadap distribusi tegangan pada sistem perpipaan menggunakan simulasi CAESAR II.
2. Menilai efektivitas dummy support dalam menurunkan tegangan hingga memenuhi batas tegangan yang diizinkan (allowable stress) sesuai ASME B31.3.

4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Memberikan referensi rancangan dummy support yang dapat digunakan untuk mengurangi tegangan pada sistem perpipaan.
2. Menambah literatur dan pengetahuan terkait perancangan serta analisis dummy support sesuai standar internasional, khususnya pada bidang piping engineering.
3. Memberikan contoh penerapan perangkat lunak analisis tegangan (pipe stress analysis software) CAESAR II dalam evaluasi pipe support.
4. Meningkatkan pemahaman terkait penerapan standar ASME B31.3 dalam pengendalian tegangan pada sistem perpipaan.
5. Memberikan solusi yang dapat diadaptasi pada berbagai industri yang menggunakan sistem perpipaan. Bagian penelitian berisikan uraian manfaat yang dihasilkan dari dilaksanakannya penelitian/skripsi.

5. Lingkup masalah

Penelitian ini berfokus pada analisis tegangan berlebih pada sistem perpipaan sesuai standar ASME B31.3, dengan pendekatan analisis berbasis simulasi menggunakan CAESAR II. Efektivitas dummy support ditinjau dari perbandingan distribusi tegangan sebelum dan sesudah pemasangan penopang tambahan tersebut.

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Analisis difokuskan pada evaluasi efektivitas dummy support dalam mengurangi tegangan berlebih pada sistem perpipaan sesuai ketentuan ASME B31.3.
2. Konfigurasi sistem perpipaan yang dianalisis adalah model tertentu yang telah ditentukan sebelumnya, tanpa membahas variasi layout yang berbeda.
3. Kondisi operasi seperti tekanan (pressure), suhu (temperature), jenis fluida, dan massa jenis fluida sudah ditentukan dan tidak divariasikan.
4. Hasil analisis hanya bersifat simulasi (pipe stress analysis) menggunakan perangkat lunak CAESAR II, tanpa pengujian fisik di lapangan.
5. Penelitian ini tidak mencakup pembahasan mengenai prosedur, teknik pengelasan, atau detail fabrikasi dummy support.

6. Sistematika penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan gambaran umum penelitian yang dilakukan. Di dalamnya mencakup latar belakang yang menjelaskan alasan dan urgensi penelitian, rumusan masalah yang merinci permasalahan utama yang akan diselesaikan, tujuan penelitian yang menggambarkan hasil yang ingin dicapai, serta manfaat penelitian baik dari sisi akademik maupun praktis di industri. Selain itu, bab ini juga memuat lingkup penelitian yang menjelaskan batasan masalah agar pembahasan lebih terarah, serta sistematika penulisan yang memberikan gambaran singkat isi setiap bab dalam laporan ini.

BAB II STUDI LITERATUR

Bab ini berisi kajian teori dan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik analisis tegangan pada sistem perpipaan. Pembahasan meliputi konsep dasar tegangan dan regangan pada pipa, teori beban dan kombinasi load case, dan standar desain perpipaan seperti ASME B31.3. Selain itu, bab ini juga memuat hasil-hasil penelitian terdahulu sebagai dasar pembandingan dan penguat argumen penelitian yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI

Bab ini menjelaskan langkah-langkah penelitian secara sistematis. Pembahasan mencakup pengumpulan data desain dan operasi sistem perpipaan, perancangan model perpipaan menggunakan perangkat lunak analisis, penentuan kondisi batas (boundary conditions), serta penetapan kombinasi beban (load case) sesuai standar yang berlaku. Selanjutnya dijelaskan pula proses analisis tegangan, evaluasi hasil terhadap batas tegangan ijin, serta interpretasi hasil analisis untuk menentukan kelayakan desain.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis yang diperoleh dari simulasi tegangan pada sistem perpipaan. Pembahasan mencakup perbandingan nilai tegangan pada berbagai load case, evaluasi terhadap batas tegangan ijin, serta analisis pengaruh penambahan dummy support terhadap reduksi tegangan. Data hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi. Selain itu, dibahas pula implikasi hasil terhadap keamanan dan keandalan sistem perpipaan secara keseluruhan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, yang menjawab tujuan serta rumusan masalah penelitian. Selain itu, disampaikan juga saran-saran yang dapat dijadikan acuan dalam pengembangan penelitian selanjutnya, seperti optimasi desain support, perbaikan konfigurasi sistem perpipaan, atau pengujian eksperimental untuk validasi hasil simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi sumber-sumber referensi yang digunakan dalam penelitian ini, baik berupa buku teks, standar, jurnal ilmiah, maupun dokumen teknis lainnya yang mendukung teori dan analisis yang dilakukan.

LAMPIRAN

Lampiran berisi data atau informasi pendukung yang digunakan dalam penelitian namun tidak dimasukkan ke dalam bab utama karena bersifat terlalu rinci atau sebagai pelengkap. Bagian ini dapat mencakup hasil output simulasi lengkap, gambar model, tabel perhitungan, spesifikasi material, atau data input yang mendukung analisis.

BAB II STUDI LITERATUR

1. Sistem Perpipaan

Istilah piping mengacu pada keseluruhan jaringan pipa, sambungan (fittings), flange, katup (valves), dan komponen lainnya yang membentuk suatu sistem saluran untuk mengalirkan fluida. Baik sistem perpipaan digunakan hanya untuk memindahkan fluida dari satu titik ke titik lain, maupun untuk memproses dan mengondisikan fluida tersebut, setiap komponen perpipaan memiliki peran penting dalam struktur dan operasi sistem [1].

Sistem yang digunakan hanya untuk mengalirkan fluida mungkin terdiri dari sedikit komponen, seperti katup dan sambungan pipa, sedangkan sistem pemrosesan kimia yang kompleks dapat mencakup beragam komponen yang berfungsi untuk mengukur, mengendalikan, mengondisikan, dan mengalirkan fluida [1].

Sistem perpipaan (*piping system*) merupakan suatu konfigurasi terintegrasi yang terdiri dari pipa, fitting, valve, instrumen, dan pipe support, yang dirancang untuk mentransportasikan fluida secara terkendali dari satu titik ke titik lain sesuai dengan kebutuhan proses. Fluida yang dialirkan dapat berupa *liquid* atau *gas* dengan parameter operasi yang bervariasi, seperti tekanan, temperatur, laju aliran, dan sifat kimia [5].

Dalam perancangan piping system, setiap komponen memiliki fungsi spesifik yang harus selaras dengan standar teknis, seperti ASME B31.3, guna menjamin integritas struktural dan keselamatan operasi. Kondisi operasi industri, yang seringkali melibatkan tekanan tinggi, temperatur ekstrem, sifat fluida yang korosif atau abrasif, serta beban dinamis, menuntut pemilihan dan konfigurasi komponen yang tepat. Kegagalan salah satu komponen dapat mengakibatkan gangguan sistemik, penurunan produktivitas, bahkan insiden keselamatan [1], [6].

Dalam rekayasa sistem perpipaan penentuan parameter desain menjadi hal yang sangat penting. Parameter-parameter ini berperan sebagai acuan utama dalam penentuan dimensi, material, metode penyambungan, serta strategi proteksi terhadap beban yang mungkin terjadi selama umur operasi [7]. Pemilihan parameter desain yang tepat sangat krusial untuk menjamin keamanan, keandalan, dan efisiensi sistem. Secara umum, parameter desain perpipaan meliputi:

a) Tekanan Desain (*Design Pressure*)

Tekanan desain adalah nilai tekanan maksimum yang digunakan sebagai dasar perhitungan kekuatan pipa dan komponennya. Nilai ini biasanya lebih tinggi dari tekanan operasi normal untuk mengantisipasi kemungkinan kenaikan tekanan [7].

b) Temperatur Desain (*Design Temperature*)

Temperatur desain merupakan temperatur maksimum atau minimum yang diharapkan terjadi pada sistem selama masa operasi. Nilai ini mempengaruhi pemilihan material karena sifat mekanik logam, seperti kekuatan tarik dan ketahanan terhadap deformasi plastis, sangat bergantung pada temperatur. Selain itu, perbedaan temperatur juga memicu ekspansi termal yang dapat menghasilkan tegangan tambahan pada pipa [7].

c) Laju Aliran dan Karakteristik Fluida

Parameter ini mencakup laju aliran volumetrik atau massa, densitas, viskositas, dan sifat korosif atau abrasif fluida. Karakteristik fluida mempengaruhi perhitungan diameter pipa, rugi tekanan (*pressure drop*), dan strategi pengendalian kecepatan aliran untuk mencegah erosi atau kavitasi [7].

d) *Corrosion Allowance*

Tambahan ketebalan pipa untuk mengantisipasi penipisan akibat korosi selama pemakaian [6], [7].

e) *Mill Tolerance*

Toleransi deviasi ketebalan akibat proses manufaktur [6], [7].

f) Umur Rancang (*Design Life*)

Periode waktu yang direncanakan sistem dapat beroperasi dengan aman tanpa penggantian komponen utama [7], [8].

g) Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan digunakan untuk memastikan pipa mampu menahan beban di luar kondisi normal. Nilai ini ditentukan berdasarkan tingkat risiko, sifat fluida, serta lingkungan operasi [9].

2. Tegangan

Tegangan dalam yang terjadi pada pipa di sebabkan oleh tekanan dari dalam pipa, beban luar seperti berat mati dan pemuaiian thermal, dan bergantung pada bentuk geometri pipa serta jenis material pipa [10]. Secara umum, tegangan terbagi menjadi tiga kategori utama:

a) Tegangan Normal (Normal Stress)

Terjadi ketika gaya bekerja tegak lurus terhadap bidang penampang material, misalnya tegangan tarik dan tegangan tekan [10].

b) Tegangan Geser (Shear Stress)

Timbul ketika gaya bekerja sejajar terhadap bidang penampang, menyebabkan deformasi geser pada material [10].

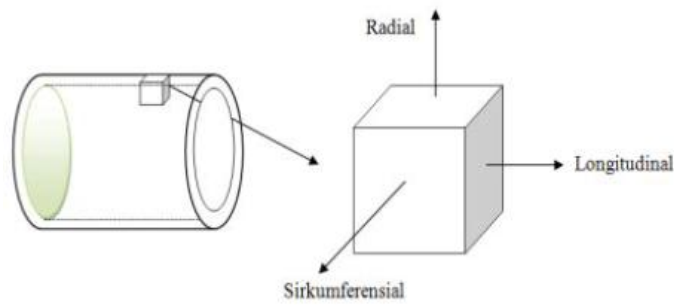
c) Tegangan Termal (Thermal Stress)

Dihasilkan oleh perubahan temperatur yang memaksa material memuai atau menyusut, tetapi pergerakan tersebut terhalang [10].

Dalam rekayasa teknik, tegangan perlu dianalisis bersama dengan regangan (strain) dan modulus elastisitas material, sesuai Hukum Hooke, untuk memahami respon deformasi. Apabila tegangan melebihi batas elastis (yield strength), material akan mengalami deformasi plastis yang tidak dapat kembali ke bentuk semula. Jika tegangan melebihi kekuatan tarik maksimum (ultimate tensile strength), maka material akan mengalami kegagalan atau patah [4].

Dalam penerapan kode dan standar desain, perancangan sistem perpipaan wajib memenuhi prinsip fundamental terkait tegangan pipa (pipe stress) serta aspek-aspek yang berkaitan dengannya. Suatu pipa dapat dinyatakan mengalami kegagalan (failure) apabila tegangan dalam (internal stress) yang timbul melebihi nilai tegangan batas (allowable stress) material sebagaimana ditetapkan oleh standar [11].

Tegangan (stress) merupakan besaran vektor yang memiliki nilai (magnitude) sekaligus arah (direction). Secara matematis, tegangan didefinisikan sebagai gaya (F) yang bekerja pada suatu penampang dibagi dengan luas penampang tersebut (A). Untuk mendeskripsikan arah tegangan pada pipa, digunakan sistem sumbu utama (principal axes) yang saling tegak lurus satu sama lain. Sumbu-sumbu ini memudahkan analisis distribusi tegangan pada pipa sesuai orientasi pembebanan dan geometri komponen [4], [11].



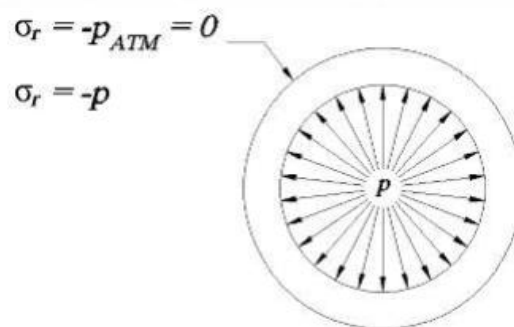
Gambar 1. Arah tegangan pipa [10]

Tegangan dalam pada pipa dapat diakibatkan oleh berbagai sumber beban, antara lain tekanan internal fluida, beban eksternal seperti berat mati (dead weight) dan beban akibat pemuaian atau penyusutan termal (thermal expansion/contraction). Besarnya tegangan ini dipengaruhi oleh geometri pipa, konfigurasi sistem, dan sifat mekanis material pipa. Secara prinsip, pembebanan pada pipa menghasilkan tegangan gabungan (combined stresses), di mana komponen-komponen tegangan bekerja secara simultan dan saling mempengaruhi. Hubungan antar komponen ini biasanya dianalisis menggunakan teori kegagalan material, seperti Maximum Shear Stress Theory (Tresca) atau Distortion Energy Theory (von Mises), untuk mendapatkan equivalent stress yang kemudian dibandingkan dengan batas yang diizinkan [4], [10].

Jenis tegangan utama pada sistem perpipaan meliputi:

a) Tegangan Radial

Tegangan radial merupakan tegangan yang bekerja ke arah radial pipa atau sepanjang jari-jari pipa. Besarnya tegangan radial muncul akibat adanya tekanan dari dalam pipa, yang nilainya bervariasi mulai dari dinding bagian dalam hingga dinding bagian luar pipa. Tegangan radial maksimum terjadi pada dinding bagian dalam pipa, sedangkan tegangan radial minimum terdapat pada dinding bagian luar pipa [4].



Gambar 2. Tegangan radial pada pipa [4]

Rumus perhitungan tegangan radial pada pipa adalah:

$$S_r = P \frac{1}{(R_o^2 - R_i^2)} \cdot R_i^2 - \left(\frac{R_o^2 - R_i^2}{R^2} \right) \quad (1)$$

Di mana

$$R = \frac{R_o - R_i}{2} \quad (2)$$

Keterangan:

S_r = Tegangan Radial (MPa)

P = Tekanan Desain (N/mm²)

R_o = Jari-jari Diameter Luar (mm)

R_i = Jari-jari Diameter Dalam (mm)

R = Rata-rata dari Jari-jari (mm)

b) Torsional and Bending Stress

Torsional stress adalah tegangan yang timbul akibat adanya beban puntir pada pipa. Beban puntir ini dapat terjadi karena adanya gaya kopel pada benda kerja, yang memungkinkan terjadinya perputaran terhadap sumbu longitudinalnya [4].

$$\tau_T = \frac{T_c}{J} \quad (3)$$

Atau

$$\tau_T = \frac{M_t}{2Z} \quad (4)$$

Di mana

$$J = \frac{\pi}{32} (D_o^4 - D_i^4) \quad (5)$$

Keterangan:

τ_T = Tegangan Torsional (N/mm²)

T = Torsi (N.mm)

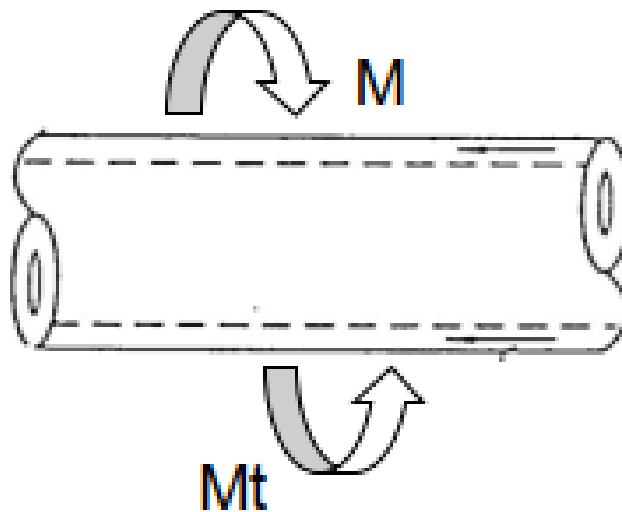
c = Jarak dari sumbu netral ke permukaan luar (mm)

J = Momen Inersia pada pipa (mm^4)

M_t = Momen torsional (N.mm)

Z = Modulus penampang pipa (mm^3)

Bending Stress merupakan tegangan yang terjadi diakibatkan adanya momen lentur (bending) yang terjadi pada benda kerja [4].



Gambar 3. Tegangan akibat momen bending dan torsi [4]

$$S_b = \sqrt{S_{by}^2 + S_{bz}^2} = \frac{1}{Z} \sqrt{M_y^2 + M_z^2} \quad (6)$$

Keterangan:

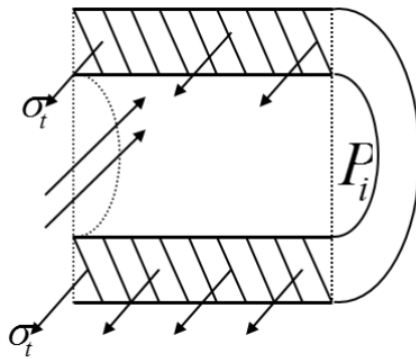
S_b = Tegangan longitudinal akibat momen lentur (KPa)

M_y, M_z = Momen lentur pada penampang pipa (N.mm)

Z = Modulus permukaan pipa (mm^3)

c) Tegangan Lingkaran (Hoop Stress)

Dihasilkan oleh tekanan internal fluida terhadap dinding pipa, bekerja secara radial mengelilingi pipa.



Gambar 4. Hoop stress pada pipa [4]

Persamaannya adalah:

$$\sigma_H = \frac{P \cdot D_i}{2t} \quad (7)$$

Keterangan:

σ_H = Tegangan Hoop (N/mm²)

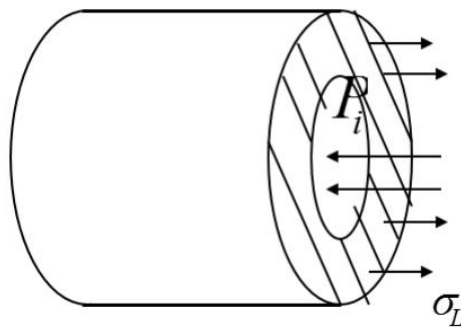
P = Tekanan Internal (MPa)

D_i = Diameter dalam (mm)

t = Ketebalan dinding pipa (mm)

d) Tegangan Memanjang (Longitudinal Stress)

Bekerja sejajar sumbu pipa akibat kombinasi tekanan internal, gaya aksial, momen lentur, dan perubahan panjang akibat temperatur. Dalam desain, tegangan ini sering dihitung bersama tegangan lentur sebagai bagian dari sustained stress [4], [10].



Gambar 5. Longitudinal stress pada pipa [4]

Persamaannya adalah:

$$\sigma_L = \frac{P \cdot D_i}{2t} \quad (8)$$

Keterangan:

σ_L = Tegangan Longitudinal (N/mm²)

P = Tekanan Internal (MPa)

D_i = Diameter dalam (mm)

t = Ketebalan dinding pipa (mm)

e) Tegangan Geser (Shear Stress)

Umumnya timbul akibat gaya puntir (torsion) atau gaya geser transversal. Meskipun pada banyak kasus nilainya lebih kecil dibanding tegangan normal, tegangan geser tetap diperhitungkan pada desain yang melibatkan beban torsi signifikan [10].

f) Tegangan Termal (Thermal Stress)

Disebabkan oleh pemuaian atau penyusutan pipa akibat perubahan temperatur operasi. Jika pergerakan pipa dibatasi oleh penyangga atau peralatan, timbul tegangan sekunder yang dapat bersifat siklik dan memicu fatigue failure [4], [12]. Besarnya perubahan panjang akibat temperatur diberikan oleh:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T \quad (9)$$

Keterangan:

α = Koefisien Muai Panjang

L = Panjang Pipa (m)

ΔT = Perubahan Temperatur (°C)

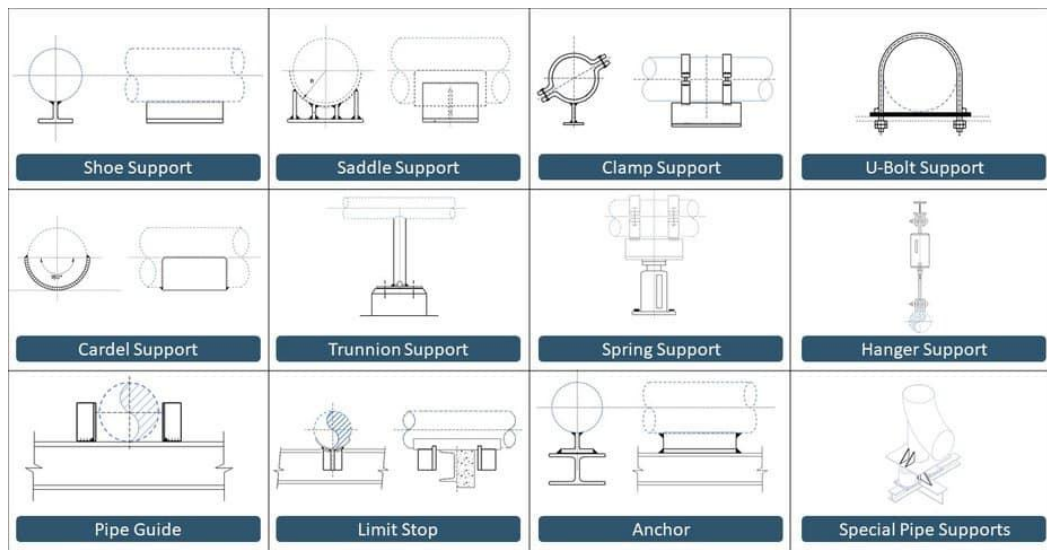
Tegangan yang timbul pada pipa dapat berasal dari berbagai sumber, seperti beban internal (internal pressure), beban eksternal (sustained load), beban perpindahan akibat ekspansi termal (thermal expansion), maupun beban sesaat akibat kondisi darurat (occasional load).

3. Pipe Support

Pipe support adalah komponen atau sistem penopang yang digunakan untuk menahan, mengarahkan, dan mengontrol pergerakan pipa agar sistem perpipaan dapat beroperasi secara aman dan andal. Dukungan ini dirancang untuk memikul beban dari pipa itu sendiri,

fluida yang dialirkan, peralatan yang terpasang, serta beban tambahan seperti tekanan internal, getaran, dan beban lingkungan (*environmental loads*) [1], [5].

Pipe support tidak hanya berfungsi sebagai tumpuan mekanis, tetapi juga berperan dalam menjaga kestabilan struktur pipa, mengurangi tegangan berlebih, dan melindungi sambungan dari kegagalan akibat beban statis maupun dinamis. Tanpa sistem penopang yang tepat, pipa dapat mengalami defleksi berlebihan, misalignment, hingga kerusakan structural [5], [13].



Visit Now - <https://hardhatengineer.com>

Gambar 6. Jenis-jenis pipe support [14]

Fungsi utama pipe support mencakup:

- Menopang beban gravitasi – Termasuk berat pipa, fluida, dan komponen yang terpasang.
- Mengendalikan pergerakan – Membatasi atau mengarahkan pergerakan pipa akibat ekspansi termal, kontraksi, atau gaya eksternal.
- Mengurangi tegangan – Menghindari konsentrasi tegangan pada titik kritis.
- Meredam getaran – Mengurangi dampak flow-induced vibration atau getaran dari peralatan mekanis.
- Mencegah kerusakan structural – Menghindari deformasi atau kegagalan material pada pipa dan struktur pendukung.

Menurut [13], [15], pipe support dapat dikategorikan berdasarkan fungsinya sebagai berikut:

1) *Rigid Support*

a. *Rest Support (Shoe, Saddle, atau Cradle)*

Digunakan untuk menopang pipa pada permukaan horisontal. Tipe ini mentransfer beban vertikal langsung ke struktur tanpa membatasi pergerakan aksial akibat pemuaian [14].

b. *Anchor Support*

Mengunci pipa pada satu titik, mencegah semua pergerakan translasi dan rotasi. Biasanya ditempatkan pada titik strategis untuk mengontrol arah ekspansi pipa [14].

c. *Guide Support*

Membatasi pergerakan lateral (ke samping) namun membiarkan pergerakan aksial. Berguna untuk mengarahkan pipa dalam jalur tertentu [14].

2) *Flexible Support*

a. *Spring Hanger / Spring Support*

Menggunakan pegas untuk menopang beban vertikal dan mengakomodasi pergerakan pipa. Tipe ini dibedakan menjadi variable spring support (perubahan beban terjadi seiring pergerakan pipa) dan constant spring support (beban konstan meski terjadi pergerakan) [14].

b. *Snubber*

Dirancang untuk menahan pergerakan mendadak akibat beban dinamis (gempa, water hammer), namun tetap membiarkan pergerakan lambat akibat pemuaian [14].

3) *Special Support*

a. *Dummy Leg / Dummy Support*

Pipa tambahan yang dipasang di bawah elbow atau titik tertentu untuk menopang beban vertikal. Sering digunakan pada pipa horizontal yang memiliki fitting berat atau beban lokal tinggi [14].

b. *Trunnion Support*

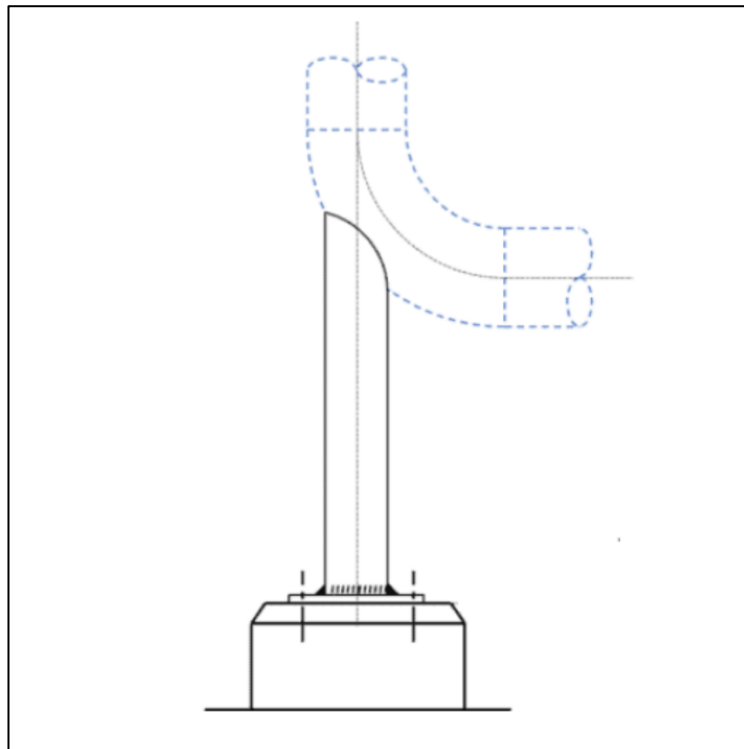
Modifikasi dari dummy leg, biasanya dipasang tegak lurus pada pipa untuk digunakan sebagai tumpuan di roller atau shoe [14].

4. Dummy Support

Dummy support, atau yang sering disebut dummy leg, adalah salah satu jenis special pipe support yang berbentuk potongan pipa dan dihubungkan secara permanen ke pipa utama melalui sambungan las. Komponen ini berfungsi untuk menyalurkan beban dari pipa utama

ke struktur pendukung, sehingga mengurangi beban berlebih, defleksi, dan tegangan pada titik tertentu di sistem perpipaan [16].

Berdasarkan [15], *dummy support* termasuk dalam kategori *structural attachments*, yaitu komponen yang dipasang langsung pada pipa dan menjadi bagian integral dari sistem penopang. [6] mengatur bahwa semua penopang, termasuk *dummy support*, harus dirancang untuk menahan kombinasi beban operasi, beban sesaat, dan beban perpindahan (displacement).



Gambar 7. Sketsa dummy support [16]

Secara prinsip, *dummy support* bekerja dengan menyediakan jalur penyaluran beban yang lebih langsung dari titik kritis di pipa menuju struktur penyangga [17]. Dengan demikian, momen lentur, gaya geser, dan tegangan lokal yang bekerja pada pipa dapat berkurang.

Penggunaan *dummy support* biasanya dipertimbangkan ketika:

- Tidak memungkinkan memasang penopang standar seperti rest support atau hanger langsung di titik kritis [17].
- Dibutuhkan dukungan tambahan untuk mengurangi defleksi pipa yang berlebihan [17].

- Lokasi pipa berada di area yang sulit diakses atau tidak tersedia struktur pendukung langsung di bawahnya [17].

Secara geometris, *dummy support* dapat berupa pipa lurus dengan diameter yang sama atau lebih kecil dari pipa utama [16]. Panjangnya disesuaikan agar mencapai struktur pendukung tanpa mengganggu elemen lain di sekitarnya [16]. Untuk mencegah korosi internal akibat akumulasi fluida, ujung dummy leg biasanya diberi lubang kecil (*weep hole*) untuk drainase dan *venting* [16].

Desain dummy support harus mempertimbangkan sejumlah parameter penting yang menentukan efektivitas dan keandalan penopang dalam kondisi operasional yang bervariasi. Berikut parameter utama yang harus diperhatikan:

1) Panjang Dummy Support (Leg Length)

Panjang dummy support harus cukup untuk mencapai struktur pendukung tanpa menimbulkan interferensi dengan peralatan atau elemen lain, dan menyediakan ruang yang memadai untuk pergerakan termal pipa. Panjang ini biasanya ditentukan berdasarkan tata letak pipa dan jarak ke pipe rack atau beam terdekat [16].

2) Diameter dan Ketebalan Dinding Dummy Support

Dimensi dummy leg disesuaikan dengan kapasitas beban yang akan diterima. Diameter umumnya sama dengan diameter nominal pipa utama atau sedikit lebih kecil, dengan ketebalan dinding yang memenuhi persyaratan kekuatan dan kemudahan fabrikasi. Ketebalan dinding juga harus memperhatikan standar minimum yang ditentukan oleh standar ASME [14], [16].

3) Material Dummy Support

Material dummy support harus kompatibel dengan pipa utama untuk menghindari masalah seperti korosi galvanik. Umumnya, material yang digunakan adalah baja karbon ASTM A106 Grade B atau setara, sesuai dengan material pipa utama. Sifat mekanik material seperti modulus elastisitas, tegangan leleh (*yield strength*), dan koefisien pemuaian termal harus diperhitungkan dalam desain [14], [16].

5. ASME B31.3

ASME (American Society of Mechanical Engineers) adalah organisasi profesional internasional yang berfokus pada pengembangan standar teknis, kode desain, serta peningkatan praktik rekayasa di berbagai bidang Teknik [18]. Didirikan pada tahun 1880 di Amerika Serikat, ASME menjadi salah satu otoritas global dalam menetapkan spesifikasi desain, fabrikasi, pengujian, dan inspeksi peralatan mekanis, termasuk bejana tekan, pipa,

dan sistem utilitas industri lainnya [18]. Standar yang diterbitkan oleh ASME digunakan secara luas di berbagai industri untuk memastikan keselamatan, keandalan, dan efisiensi peralatan [18].

ASME B31.3 (Process Piping) merupakan salah satu standar internasional yang banyak digunakan dalam perancangan, fabrikasi, inspeksi, dan pengujian sistem perpipaan pada industri proses, seperti minyak dan gas, petrokimia, pembangkit listrik, dan industri kimia [18]. Standar ini diterbitkan oleh American Society of Mechanical Engineers (ASME) dan memberikan panduan komprehensif untuk memastikan integritas mekanis, keselamatan operasi, serta keandalan sistem perpipaan selama masa layanannya [18].

Kode ini memuat ketentuan teknis yang mencakup pemilihan material, metode perhitungan tegangan, kriteria batas tegangan yang diizinkan (allowable stress), faktor keamanan, ketentuan terhadap beban kombinasi, serta prosedur inspeksi dan pengujian. Tujuan utama penerapan ASME B31.3 adalah memastikan bahwa sistem perpipaan dapat beroperasi pada tekanan dan suhu yang direncanakan tanpa mengalami kegagalan struktural [6].

Salah satu aspek penting dalam ASME B31.3 adalah konsep allowable stress. Nilai allowable stress ditentukan berdasarkan sifat mekanis material, seperti tensile strength, yield strength, dan creep strength, dengan mempertimbangkan faktor-faktor keamanan tertentu. Tegangan yang dihitung dari hasil analisis harus berada di bawah nilai allowable stress agar pipa dinyatakan aman secara struktural. Apabila tegangan melebihi batas ini, risiko kegagalan seperti deformasi permanen, retak, atau kebocoran akan meningkat secara signifikan [6], [8].

ASME B31.3 menetapkan kriteria evaluasi tegangan untuk memastikan bahwa sistem perpipaan mampu beroperasi dengan aman di bawah kondisi beban yang diharapkan. Evaluasi ini dilakukan dengan membandingkan tegangan yang dihitung (calculated stress) terhadap tegangan yang diizinkan (allowable stress), yang ditentukan berdasarkan sifat mekanis material, faktor keamanan, dan ketentuan spesifik dalam kode [6]. Secara umum, tegangan dalam sistem perpipaan dibagi ke dalam tiga kategori utama:

1) Sustained Stress (SUS)

Tegangan yang timbul akibat kombinasi beban tekanan internal dan beban berat (berat pipa, fluida, isolasi, dan komponen lain) yang bekerja secara terus-menerus selama operasi normal [6].

$$S_L \leq S_H \quad (10)$$

Keterangan:

S_L = Longitudinal Stress yang dihitung (Psi)

S_H = Allowable Stress pada temperatur operasi (Psi)

2) Occasional Stress (OCC)

Tegangan yang dihasilkan oleh beban sesaat atau tidak terduga seperti angin, gempa bumi, water hammer, atau beban operasi darurat lainnya [6].

$$S_L + S_O \leq 1,33 \times S_H \quad (11)$$

Keterangan:

S_L = Longitudinal Stress yang dihitung (Psi)

S_O = Allowable Stress pada temperatur operasi (Psi)

S_H = Tegangan akibat beban insidental (Psi)

3) Expansion Stress (EXP)

Tegangan yang timbul akibat perubahan temperatur yang menyebabkan pemuaian atau penyusutan pipa [6].

$$S_E \leq S_A \quad (12)$$

Di mana:

$$S_A = f \times (1,25 \times S_C + 0,25 \times S_H) \quad (13)$$

Keterangan:

S_A = Allowable Stress pada temperatur dingin (Psi)

S_E = Allowable Stress pada temperatur panas (Psi)

f = Stress Range Reduction Factor berdasarkan jumlah siklus operasi

6. CAESAR II

CAESAR II adalah perangkat lunak analisis tegangan perpipaan (pipe stress analysis software) yang dikembangkan oleh Intergraph (Hexagon PPM). Aplikasi ini digunakan secara luas di industri minyak dan gas, petrokimia, pembangkit listrik, dan sektor teknik lainnya untuk melakukan perhitungan tegangan sesuai standar internasional, termasuk ASME B31.1, ASME B31.3, ASME B31.8, dan standar relevan lainnya [19].

Perangkat ini memungkinkan untuk memodelkan sistem perpipaan secara tiga dimensi, menentukan kondisi pembebanan, dan menganalisis respons tegangan terhadap berbagai skenario operasi. CAESAR II juga menyediakan antarmuka visual yang

sebagai bukti kepatuhan terhadap standar yang berlaku. Dengan kombinasi fitur-fitur tersebut, CAESAR II menjadi alat yang efektif untuk melakukan analisis dan optimasi sistem perpipaan, termasuk dalam penelitian ini untuk menilai pengaruh pemasangan dummy support terhadap distribusi tegangan [19].

Dalam perangkat lunak CAESAR II, load case merupakan konfigurasi kombinasi pembebanan yang digunakan untuk memodelkan berbagai skenario kerja dan kondisi khusus pada sistem perpipaan. Setiap load case mewakili situasi tertentu, baik itu kondisi operasi normal, kondisi pengujian, maupun kondisi insidental seperti beban angin atau gempa. Penyusunan load case memiliki peranan yang sangat krusial karena menjadi landasan bagi seluruh proses evaluasi tegangan, defleksi, dan reaksi penumpu yang dilakukan oleh perangkat lunak. Tanpa definisi load case yang tepat, hasil analisis tidak akan mampu merepresentasikan kondisi lapangan secara akurat, sehingga berpotensi menghasilkan desain yang tidak aman atau tidak efisien. Oleh sebab itu, pemahaman yang mendalam mengenai jenis dan fungsi load case menjadi salah satu aspek utama dalam analisis rekayasa perpipaan menggunakan CAESAR II [19], [21].

Setiap load case dibangun dari komponen pembebanan elementer seperti berat sendiri sistem (Weight/W), tekanan internal (Pressure/P), gradien temperatur atau perubahan temperatur (Temperature/T), serta beban lingkungan seperti angin (Wind Load) dan gempa (Seismic Load). Kombinasi dari komponen-komponen ini disusun sesuai tujuan evaluasi sehingga menghasilkan kategori pembebanan yang terstandarisasi dalam analisis [21].

Tabel 1. Definisi load case pada CAESAR II [19]

Loads Defined in Input	
W - Weight	W = Weight of pipe with fluid contents and insulation weight (if any).
T1 - Thermal Case #1	WW = Weight of pipe filled with water
T2 - Thermal Case #2	HP = Hydro test pressure
P1 - Pressure Case #1	P1 = Design Pressure
P2 - Pressure Case #2	P2 = Operating Pressure
HP - Hydro. Pressure	T1 = Maximum Design Temperature
U1 - Unif Load Case #1	T2 = Maximum Operating Temperature
U2 - Unif Load Case #2	WIN1 = Wind Loads in +X direction
U3 - Unif Load Case #3	WIN2 = Wind Loads in -X direction
WIN1 - Wind Load Case #1	WIN3 = Wind Loads +Z Direction
WIN2 - Wind Load Case #2	WIN4 = Wind Loads -Z Direction
WIN3 - Wind Load Case #3	U1 = Seismic acceleration in X axis
WIN4 - Wind Load Case #4	U2 = Seismic acceleration in Y axis
WW - Water Filled Weight	U3 = Sesimic acceleration in Z axis
WNC - Weight No Contents	

Kategori Sustained Load biasanya terdiri dari beban berat dan tekanan internal, digunakan untuk memeriksa tegangan primer yang bersifat konstan sepanjang umur operasi. Operating Load mencakup kombinasi berat, tekanan, dan efek termal pada temperatur operasi, sehingga merepresentasikan kondisi riil selama sistem beroperasi. Expansion Load memfokuskan pada tegangan sekunder akibat ekspansi atau kontraksi termal yang muncul dari perbedaan temperatur antara kondisi referensi (misalnya saat instalasi) dan kondisi operasi. Occasional Load digunakan untuk menilai respons sistem terhadap beban sesekali seperti angin atau gempa, dengan kriteria tegangan yang diatur lebih longgar oleh kode desain. Sementara itu, Hydrotest Load merepresentasikan kondisi saat uji hidrostatik, di mana tekanan pengujian biasanya melampaui tekanan operasi normal untuk memastikan integritas dan ketiadaan kebocoran pada sistem [19], [21].

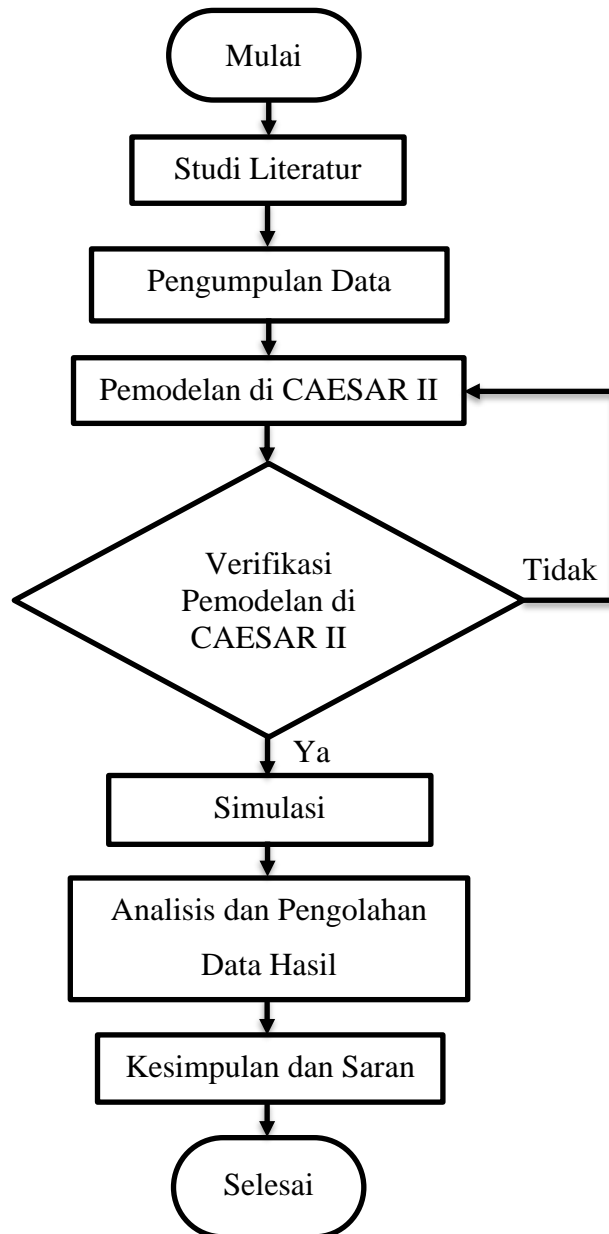
Tabel 2. Basic combination load pada CAESAR II [19]

NO.	LOAD CASE	DESCRIPTION	COMBINE METHOD	NO. LOAD CASE
A.	HYDROTEST			
	Weight of water (WW) + Hydrotest Pressure (HP)	WW + HP		L2
B.	SUSTAINED			
	Design: Weight (W) + Internal Design Press. (P1)	W + P1		L5
	Operating: Weight (W) + Internal Operating Press. (P2)	W + P2		L6
C.	OPERATING			
	Weight No Content	WNC		L1
	Maximum Design Temperature & Pressure	W+P1+T1		L3
	Normal Operating Temperature & Pressure	W+P2+T2		L4
	Operating + WIN Load Case #1	W+T1+P1+ WIN1		L7
	Operating + WIN Load Case #2	W+T1+P1- WIN1		L8
	Operating + WIN Load Case #3	W+T1+P1+ WIN2		L9
	Operating + WIN Load Case #4	W+T1+P1- WIN2		L10
	Operating + UNIF Load Case #1	W+P1+U1+T1		L11
	Operating + UNIF Load Case #2	W+P1-U1+T1		L12
	Operating + UNIF Load Case #3	W+P1+U2+T1		L13
	Operating + UNIF Load Case #4	W+P1-U2+T1		L14
	Operating + UNIF Load Case #5	W+P1+U3+T1		L15
	Maximum Restraint Load	L2,L3,L4,L5		L36

BAB III METODOLOGI

1. Tahapan penelitian

Tahapan pengujian agar didapat data dengan baik maka dilakukan pengujian dengan menggunakan diagram alir sebagai berikut.



2. Tempat penelitian

Penelitian analisis efektivitas dummy support terhadap reduksi tegangan berlebih pada sistem perpipaan dilakukan di Universitas Pasundan, Kampus IV.

Alamat : Jl. Dr. Setiabudhi No.193



Gambar 9. Lokasi penelitian

3. Peralatan penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

- 1) Laptop
- 2) Software Caesar II

4. Data penelitian

1) Kondisi Operasi

Penelitian ini didasarkan pada analisis sistem perpipaan yang beroperasi dalam kondisi proses industri dengan parameter desain tertentu. Kondisi operasi yang digunakan mengacu pada data perancangan (*design basis*) yang telah ditetapkan sesuai dengan standar industri dan persyaratan keselamatan. Parameter utama yang menjadi dasar dalam analisis meliputi tekanan desain, temperatur desain, jenis fluida, dan lokasi pemasangan.

Tabel 3. Kondisi Operasi

Pressure	Design	1350	psig
	Operating	1150	psig
Temperature	Design	150	°F
	Operating	71,5	°F
	Ambient	78	°F
Gas Density		0,00283	lb/in ³
Corrossion Allowance		0,125	in
Fluid		Natural Gas	
Pipe Material		ASTM A106 Gr.B	

2) Sistem Perpipaan

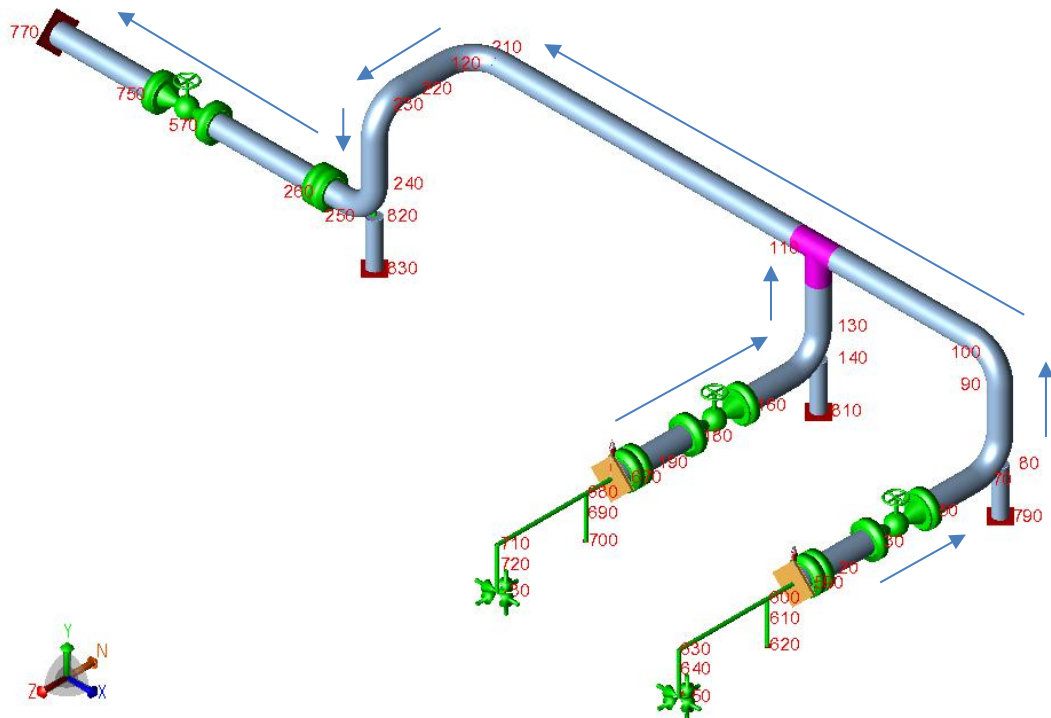
Detail spesifikasi material sistem perpipaan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. Material sistem perpipaan

Material for Piping System			
No.	Item	Spesification	Size
1	Pipe	Seamless, Sch 80, Carbon Steel, ASME B36.10, ASTM A106 Gr.B	16"
2	Elbow 90°	LR, Sch 80, Carbon Steel, ASME B16.9, ASTM A234 WPB	16"
3	Equal Tee	Sch 80, Carbon Steel, ASME B16.9, ASTM A234 WPB	16"

4	Flange	WN, RF, Sch.80, Carbon Steel, 150#, ASME B16.5, ASTM A105	16"
5	Gasket	Spiral Wound, 600#, Flexible Graphite, 316SS Outer and Inner, 4.5mm Thick, ASME B16.20	16"
6	Stud Bolt & Nuts	A193 Gr. B7 c/w 2 ea Heavy Hex Nuts to A194 Gr.2H, Fluorocarbon coated	1+1/2" x 255 mm
7	Ball Valve	Flanged, Carbon Steel, ASME B16.10, Trunnion Mounted, Full Bore	16"

Gambar 10 menunjukkan model isometrik tiga dimensi dari sistem perpipaan yang menjadi objek analisis pada penelitian ini. Sistem perpipaan terdiri atas beberapa segmen pipa lurus yang dihubungkan oleh elbow serta dilengkapi katup (valve), dengan perbedaan elevasi yang membentuk jalur perpipaan bertingkat. Setiap segmen pipa ditandai dengan nomor node sebagai acuan pemodelan, pembebanan, dan evaluasi tegangan, sementara lokasi pipe support ditampilkan untuk merepresentasikan kondisi penumpuan aktual. Model isometrik ini digunakan sebagai dasar analisis tegangan menggunakan perangkat lunak CAESAR II, di mana parameter tekanan, temperatur, berat pipa, dan komponen dimasukkan untuk menghasilkan evaluasi distribusi tegangan yang akurat sesuai dengan standar ASME B31.3.



Gambar 10. Piping 3D model [22]

Tabel 3 menunjukkan dimensi dan berat pipa baja sesuai standar ASME B36.10M [23]. Data ini digunakan untuk menentukan parameter geometri pipa yang akan dianalisis, termasuk diameter luar (outside diameter), tebal dinding (wall thickness), dan massa per satuan panjang (plain end mass).

Pada penelitian ini, pipa yang digunakan memiliki spesifikasi NPS 16, Sch. 80, dengan diameter luar 16 in dan tebal dinding 0.844 in. Berdasarkan tabel, massa pipa adalah 136.74 lb/ft, yang akan menjadi salah satu parameter input penting dalam analisis.

Tabel 5. Dimensi dan berat pipa [23]

ASME B36.10M-2004

WELDED AND SEAMLESS WROUGHT STEEL PIPE

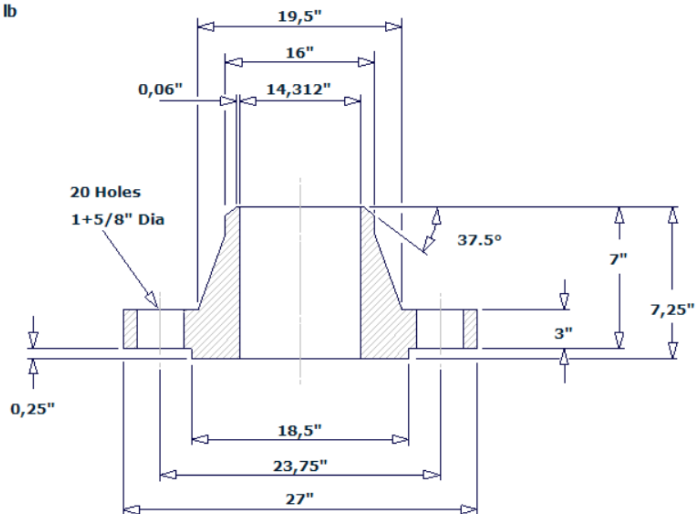
Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (Cont'd)

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
14	14.000	0.344	50.22	...	...	350	355.6	8.74	74.76
14	14.000	0.375	54.62	STD	30	350	355.6	9.53	81.33
14	14.000	0.406	59.00	...	...	350	355.6	10.31	87.79
14	14.000	0.438	63.50	...	40	350	355.6	11.13	94.55
14	14.000	0.469	67.84	...	...	350	355.6	11.91	100.95
14	14.000	0.500	72.16	XS	...	350	355.6	12.70	107.40
14	14.000	0.562	80.73	...	...	350	355.6	14.27	120.12
14	14.000	0.594	85.13	...	60	350	355.6	15.09	126.72
14	14.000	0.625	89.36	...	...	350	355.6	15.88	133.04
14	14.000	0.688	97.91	...	...	350	355.6	17.48	145.76
14	14.000	0.750	106.23	...	80	350	355.6	19.05	158.11
14	14.000	0.812	114.48	...	...	350	355.6	20.62	170.34
14	14.000	0.875	122.77	...	...	350	355.6	22.23	182.76
14	14.000	0.938	130.98	...	100	350	355.6	23.83	194.98
14	14.000	1.000	138.97	...	...	350	355.6	25.40	206.84
14	14.000	1.062	146.88	...	...	350	355.6	26.97	218.58
14	14.000	1.094	150.93	...	120	350	355.6	27.79	224.66
14	14.000	1.125	154.84	...	...	350	355.6	28.58	230.49
14	14.000	1.250	170.37	...	140	350	355.6	31.75	253.58
14	14.000	1.406	189.29	...	160	350	355.6	35.71	281.72
14	14.000	2.000	256.56	...	...	350	355.6	50.80	381.85
14	14.000	2.125	269.76	...	...	350	355.6	53.98	401.52
14	14.000	2.200	277.51	...	...	350	355.6	55.88	413.04
14	14.000	2.500	307.34	...	...	350	355.6	63.50	457.43
16	16.000	0.165	27.93	...	5	400	406.4	4.19	41.56
16	16.000	0.188	31.78	...	...	400	406.4	4.78	47.34
16	16.000	0.203	34.28	...	...	400	406.4	5.16	51.06
16	16.000	0.219	36.95	...	...	400	406.4	5.56	54.96
16	16.000	0.250	42.09	...	10	400	406.4	6.35	62.65
16	16.000	0.281	47.22	...	...	400	406.4	7.14	70.30
16	16.000	0.312	52.32	...	20	400	406.4	7.92	77.83
16	16.000	0.344	57.57	...	...	400	406.4	8.74	85.71
16	16.000	0.375	62.64	STD	30	400	406.4	9.53	93.27
16	16.000	0.406	67.68	...	...	400	406.4	10.31	100.71
16	16.000	0.438	72.86	...	...	400	406.4	11.13	108.49
16	16.000	0.469	77.87	...	...	400	406.4	11.91	115.87
16	16.000	0.500	82.85	XS	40	400	406.4	12.70	123.31
16	16.000	0.562	92.75	...	...	400	406.4	14.27	138.00
16	16.000	0.625	102.72	...	...	400	406.4	15.88	152.94
16	16.000	0.656	107.60	...	60	400	406.4	16.66	160.13
16	16.000	0.688	112.62	...	...	400	406.4	17.48	167.66
16	16.000	0.750	122.27	...	...	400	406.4	19.05	181.98
16	16.000	0.812	131.84	...	...	400	406.4	20.62	196.18
16	16.000	0.844	136.74	...	80	400	406.4	21.44	203.54
16	16.000	0.875	141.48	...	...	400	406.4	22.23	210.61
16	16.000	0.938	151.03	...	...	400	406.4	23.83	224.83
16	16.000	1.000	160.35	...	...	400	406.4	25.40	238.66
16	16.000	1.031	164.98	...	100	400	406.4	26.19	245.57

Gambar 11 dan 12 menunjukkan data berat flange dan valve yang digunakan. Data berat komponen flange dan valve merupakan parameter penting dalam analisis tegangan perpipaan karena berkontribusi langsung terhadap beban gravitasi yang diterima sistem. Berdasarkan data spesifikasi pabrik, 16" NPS Weldneck Flange 600# RF Sch-80 memiliki berat 414.56 lb, dengan tambahan stud bolts dan nuts sebesar 149.01 lb. Sementara itu, 16" NPS Flanged Ball Valve 600# RF tipe long pattern memiliki berat 2228.87 lb.

16"NPS Weldneck Flange 600# RF Sch-80

Flange Wt = 414,56 lb
S/Bolts and Nuts = 149,01 lb

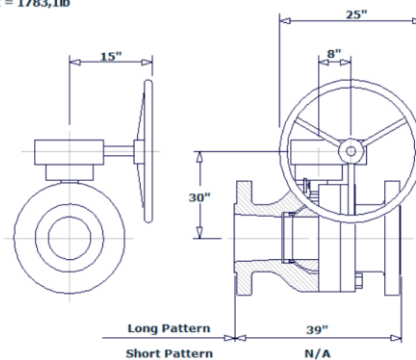


StudBolt Size : 1+1/2" UNC (or M39) x 10" Long

Gambar 11. Dimensi dan berat flange [24]

16"NPS Flanged Ball Valve 600# RF

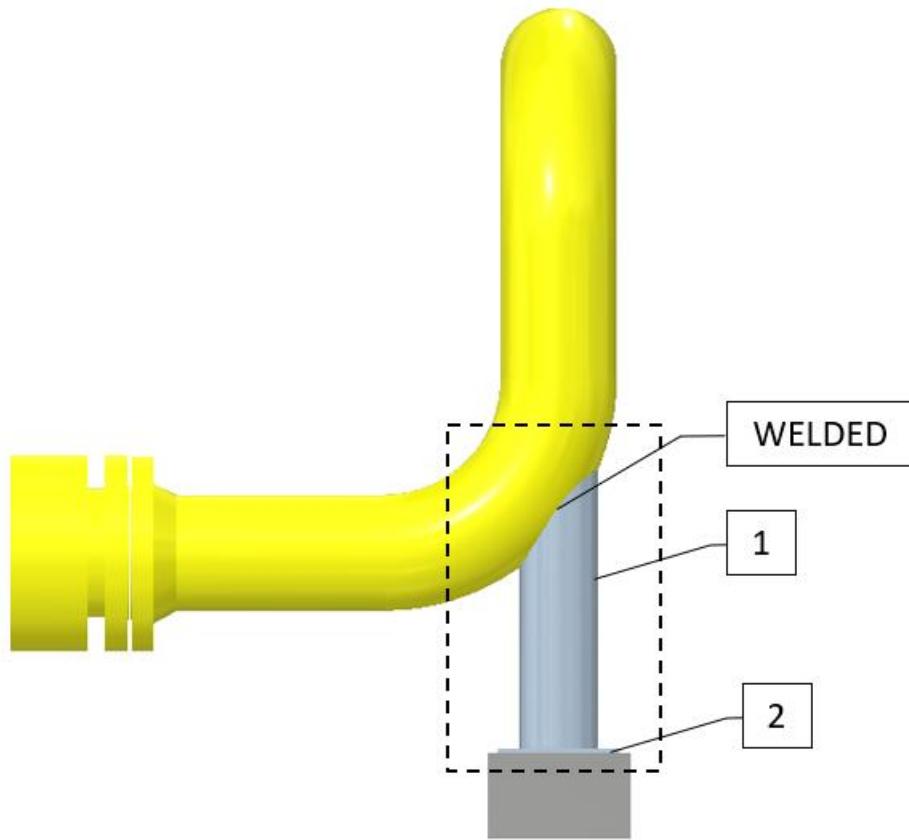
Long Pattern Valve Weight = 2228,87lb
Short Pattern Valve Weight = 1783,1lb



Weight based on 'Schlumberger/Cameron' reduced bore valves

Gambar 12. Dimensi dan berat valve [24]

1) Desain Dummy Support



Gambar 13. Desain dummy support [25]

Struktur utama dummy support menggunakan pipa 10" NPS Seamless Sch 40 material ASTM A106 Gr.B sebagai kolom penopang, dan base plate dari Carbon Steel ASTM A36 berukuran 450 mm × 450 mm × 20 mm sebagai media distribusi beban ke pondasi.

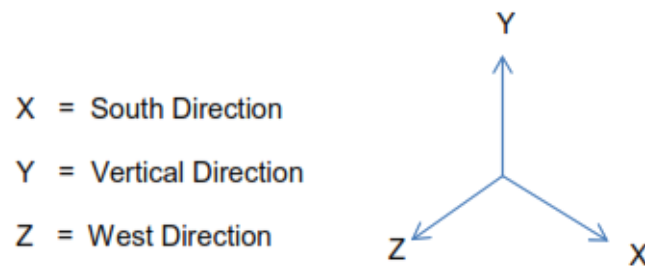
Tabel 6. Material for dummy support

Material for Dummy Support			
No.	Item	Spesification	Size
1	Pipe	Seamless, Sch 40, Carbon Steel, ASME B36.10, ASTM A106 Gr.B	16"
2	Base Plate	Carbon Steel, ASTM A36	450mmx450mmx20mm

5. Analisis

Tahap analisis merupakan langkah penting dalam memastikan bahwa rancangan *dummy support* mampu berfungsi mengatasi tegangan pada sistem perpipaan sesuai dengan persyaratan teknis dan standar keselamatan yang berlaku. Setelah spesifikasi pipa, material, serta kondisi operasi diidentifikasi, *piping system* dan *dummy support* dimodelkan menggunakan *software* Caesar II [26].

Metode ini digunakan untuk memprediksi respon struktur pipa terhadap berbagai kombinasi beban yang relevan, mencakup beban internal seperti tekanan operasi dan temperatur, serta beban eksternal seperti berat sendiri, gaya akibat angin, dan beban gempa [26]. Dalam pemodelan ini, geometri pipa, jenis sambungan, material, serta penempatan support dimasukkan secara rinci untuk mendapatkan representasi model yang mendekati kondisi lapangan. Analisis dilakukan mengacu pada standar ASME B31.3 Process Piping [27]. Koordinat sistem perpipaan yang digunakan pada analisis ini adalah seperti berikut:



Gambar 14. Sistem koordinat [27]

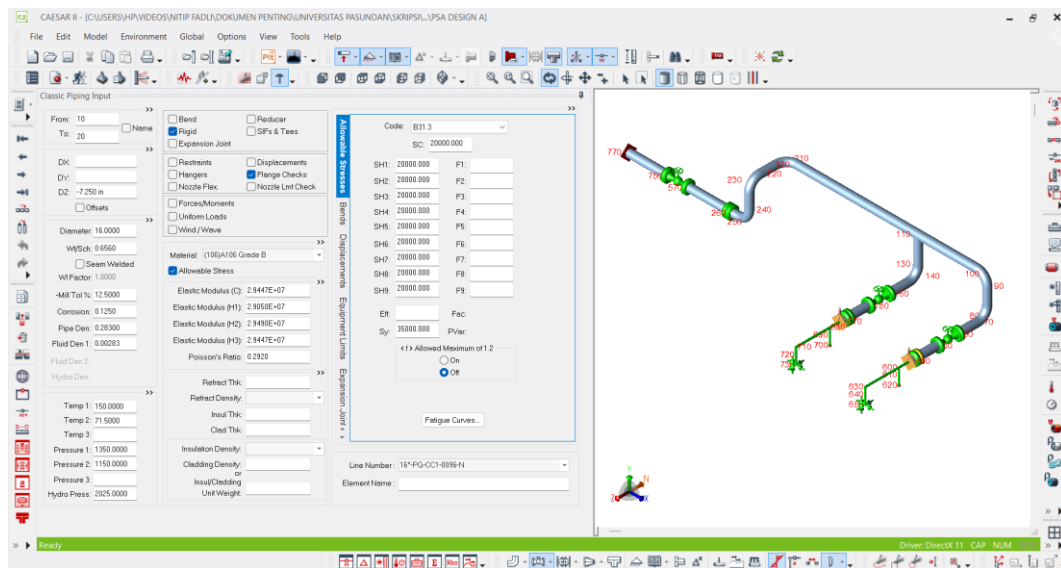
1) Pemodelan 3D sistem perpipaan pada CAESAR II

Tahap awal analisis tegangan perpipaan dilakukan dengan membangun model tiga dimensi sistem perpipaan di perangkat lunak pipe stress analysis CAESAR II. Parameter dimensi dan sifat material diinput secara rinci, meliputi diameter luar pipa, tebal dinding, material grade, allowable stress, modulus elastisitas, Poisson's ratio, serta massa jenis. Selain itu, kondisi operasi diwakili oleh parameter seperti temperatur operasi (Temp 1, Temp 2), tekanan internal (P1, P2), serta tekanan uji hidrostatik. Berat komponen seperti flange dan valve juga diperhitungkan untuk memastikan akurasi distribusi beban gravitasi pada analisis [27].

Pada tahap ini, model belum dilengkapi dengan pemodelan pipe support, baik berupa standard support maupun dummy support. Pendekatan ini dilakukan secara sengaja untuk memungkinkan analisis perbandingan antara kondisi tanpa dummy support dan kondisi

dengan dummy support, sehingga dapat diidentifikasi pengaruh keberadaan dummy support terhadap distribusi tegangan dan deformasi sistem perpipaan.

Pemodelan ini mengacu pada kode desain ASME B31.3 untuk sistem perpipaan proses, sehingga batas tegangan yang digunakan pada setiap kondisi beban sesuai dengan persyaratan allowable stress yang tercantum di dalam kode tersebut. Setelah model geometri dan properti material selesai, sistem siap untuk diberikan skenario pembebanan melalui penentuan load cases yang akan dianalisis.



Gambar 15. Design A (tanpa dummy support) [28]

2) Menentukan load case

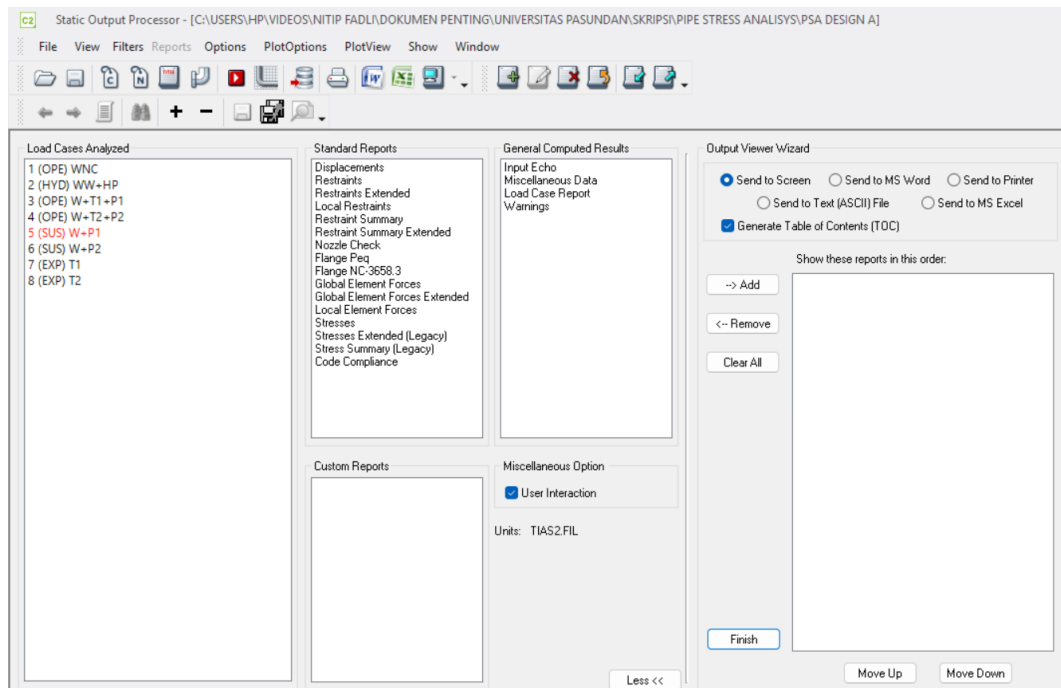
Setelah model geometri dan parameter material selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah menentukan load case pada CAESAR II. Load case berfungsi untuk mengkombinasikan berbagai kondisi pembebanan yang mungkin dialami sistem perpipaan selama siklus hidupnya, baik saat operasi normal, pengujian, maupun akibat ekspansi termal.

Pada analisis ini, load case disusun mengacu pada kombinasi beban yang direkomendasikan oleh ASME B31.3, meliputi beban berat sendiri, beban tekanan internal, beban temperatur, dan beban akibat pengujian hidrostatis. Pemilihan dan pengaturan load case bertujuan memastikan bahwa semua kondisi kritis telah diperhitungkan dalam evaluasi tegangan.

Tabel 7. Load case for simulation [7]

Exclude	Definition	Name	Stress Type	Alternate SUS/OCC	Load Cycles	Output Status	Output Type
<input type="checkbox"/>	WNC	WEIGHT NO CONTENT	OPE			Keep	Disp/Force/Stress
<input type="checkbox"/>	WW+HP	HYDRO TEST CASE	HYD			Keep	Disp/Force/Stress
<input type="checkbox"/>	W+T1+P1	OPERATING CASE CONDITIO	OPE			Keep	Disp/Force/Stress
<input type="checkbox"/>	W+T2+P2	OPERATING CASE CONDITIO	OPE			Keep	Disp/Force/Stress
<input type="checkbox"/>	W+P1	SUSTAINED CASE CONDITIO	SUS	<input type="checkbox"/>		Keep	Disp/Force/Stress
<input type="checkbox"/>	W+P2	SUSTAINED CASE CONDITIO	SUS			Keep	Disp/Force/Stress
<input type="checkbox"/>	T1	EXPANSION CASE CONDITIO	EXP			Keep	Disp/Force/Stress
<input type="checkbox"/>	T2	EXPANSION CASE CONDITIO	EXP			Keep	Disp/Force/Stress

3) Identifikasi kegagalan

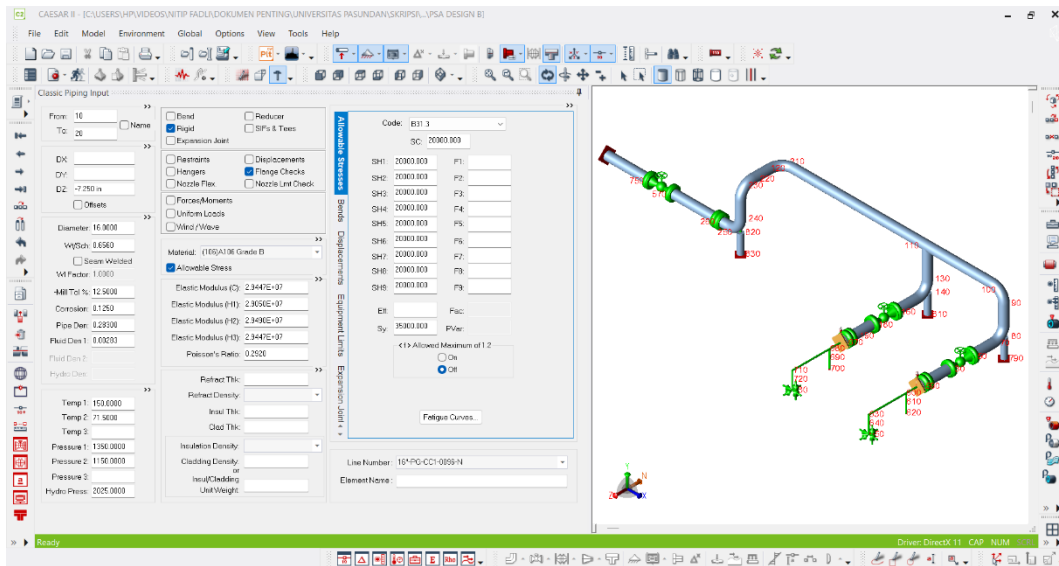


Gambar 16. Load case analyzed (failure) [29]

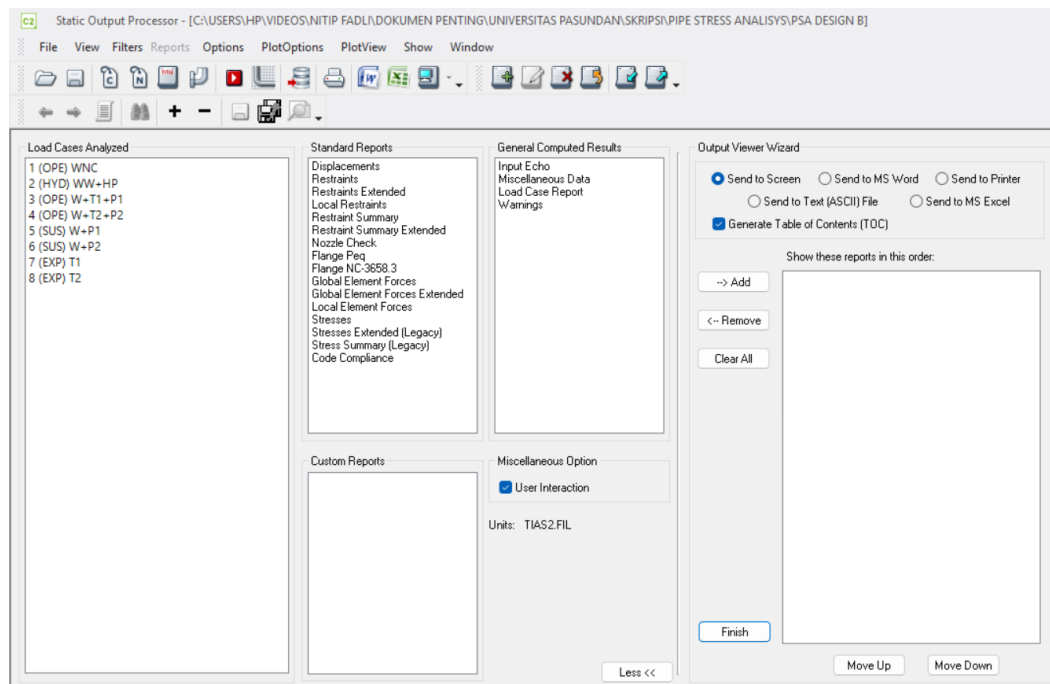
Software CAESAR II dapat mengidentifikasi kesalahan pada desain sebelum melakukan proses analisis atau perhitungan. Pada Gambar 31. Load case analyzed (failure), Desain sistem perpipaan yang dibuat tanpa menggunakan dummy support akan mengalami kegagalan pada load case 5 yaitu ketika kondisi sustained (SUS).

4) Penggunaan dummy support

Untuk mengatasi masalah pada Gambar 16. Load case analyzed (failure), maka perlu diperlukan penambahan dummy support untuk mereduksi tegangan berlebih pada sistem perpipaan.



Gambar 17. Design B (dengan dummy support) [29]



Gambar 18. Load case analyzed (success) [29]

Pada Gambar 71. Load case analyzed (success), masalah pada load case 5 dapat teratasi. Sehingga dapat diambil kesimpulan awal bahwa, penambahan dummy support pada sistem perpipaan yang dibuat dapat mereduksi tegangan berlebih sampai di bawah batas allowable stress menurut ASME B31.3.

5) Allowable Stress

Nilai-nilai batas tegangan yang diizinkan pada temperatur tertentu harus sesuai dengan Appendix A dalam ASME B31.3 [30].

Tabel 8. Basic allowable stress for ASTM A106 Gr.B [31]

ASME B31.3-2020

Table A-1 Basic Allowable Stresses in Tension for Metals (Cont'd)

Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated

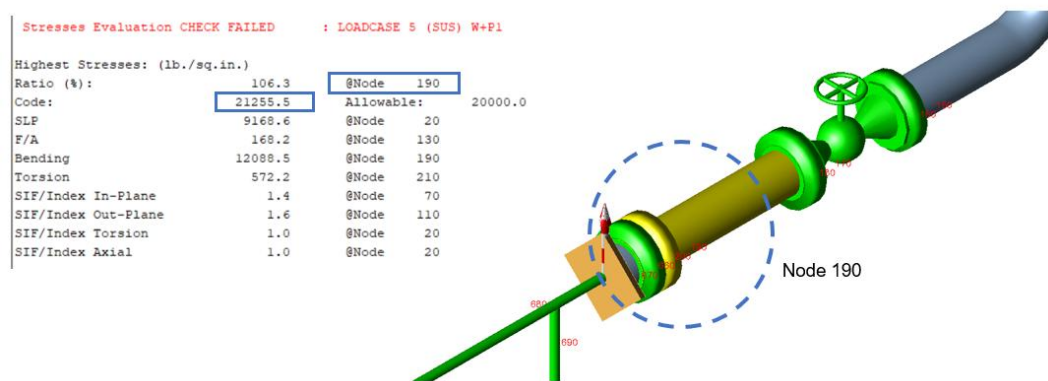
Material	Spec. No.	Type/Grade	UNS No.	Class/Condition/Temp	Size, in.	P-No. (5)	Notes	Min. Temp., °F (6)	Specified Min. Strength, ksi		Basic Allowable Stress, S, ksi, at Metal Temperature, °F [Notes (1), (4a)]	
									Tensile	Yield	to 100	200
Carbon Steel — Pipes and Tubes												
...	A53	B	K03005	...	...	1	(57) (59)	B	60	35	20.0	20.0
...	A106	B	K03006	...	...	1	(57)	B	60	35	20.0	20.0
...	A333	6	K03006	...	...	1	(57)	-50	60	35	20.0	20.0
...	A334	6	K03006	...	...	1	(57)	-50	60	35	20.0	20.0
...	A369	FPB	K03006	...	...	1	(57)	-20	60	35	20.0	20.0
...	A381	Y35	...	...	...	1	...	A	60	35	20.0	20.0
...	API 5L	B	...	...	...	1	(57) (59) (77)	B	60	35	20.0	20.0
...	A139	C	K03004	...	...	1	(8b)	A	60	42	20.0	20.0
...	A139	D	K03010	...	...	1	(8b)	A	60	46	20.0	20.0
...	API 5L	X42	...	...	...	1	(55) (77)	A	60	42	20.0	20.0
...	A381	Y42	...	...	...	1	...	A	60	42	20.0	20.0
...	A381	Y48	...	...	...	1	...	A	62	48	20.7	20.7

Berdasarkan tabel pada ASME B31.3, material ASTM A106 Grade B pada temperatur operasi yang digunakan memiliki nilai allowable stress sebesar 20000 psi [31]. Nilai ini menjadi batas maksimum tegangan yang dapat diterima untuk memastikan integritas pipa selama operasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Nilai stress pada sistem perpipaan

Analisis tegangan pada sistem perpipaan dilakukan pada titik yang sama, yaitu node 190, yang merupakan area dengan nilai tegangan tertinggi berdasarkan simulasi CAESAR II. Analisis ini dilakukan untuk membandingkan kondisi tanpa dummy support dan dengan dummy support pada berbagai kombinasi load case yang meliputi kondisi operasi (OPE), sustained (SUS), dan expansion (EXP).



Gambar 19. Nilai stress tertinggi pada node 190

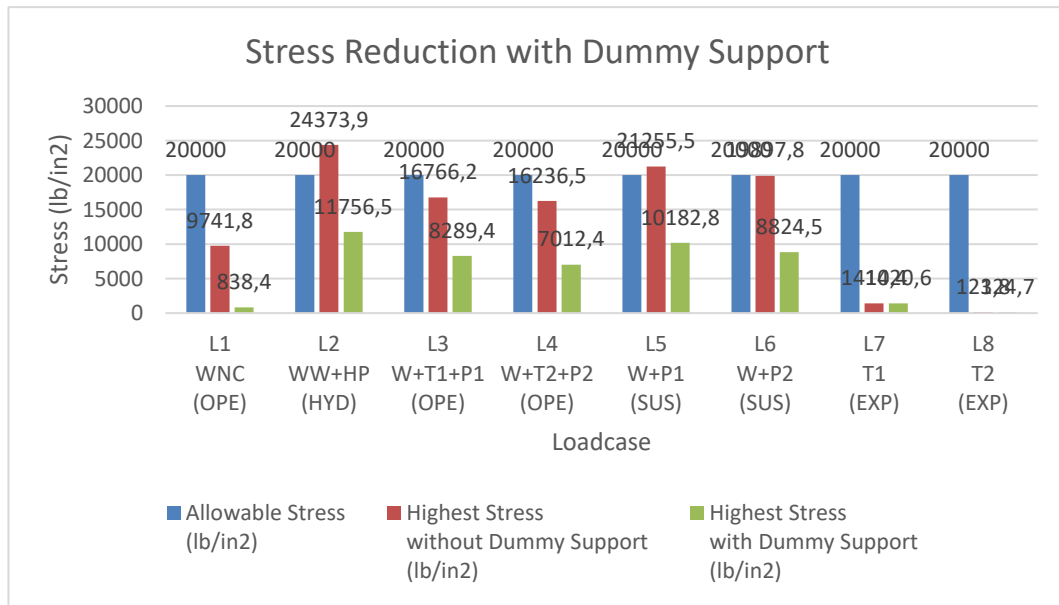
Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 13. Perbandingan nilai stress, kondisi sustained stress (SUS) yang merepresentasikan kombinasi beban berat dan tekanan internal (W+P1) menjadi perhatian utama karena bekerja secara kontinu selama operasi sistem perpipaan. Pada load case L5 (W+P1), nilai tegangan maksimum tanpa dummy support tercatat sebesar 21255,5 lb/in², yang melampaui batas allowable stress ASME B31.3 sebesar 20000 lb/in², sehingga sistem dinyatakan tidak memenuhi kriteria keselamatan (NOT OK).

Tabel 9. Perbandingan nilai stress

STRESS VALUE			
Loadcase	Allowable Stress (lb/in ²)	Highest Stress without Dummy Support (lb/in ²)	Highest Stress with Dummy Support (lb/in ²)
L1 WNC (OPE)	20000	9741,8	838,4
L2 WW+HP (HYD)	20000	24373,9	11756,5
L3 W+T1+P1 (OPE)	20000	16766,2	8289,4
L4 W+T2+P2 (OPE)	20000	16236,5	7012,4
L5 W+P1 (SUS)	20000	21255,5	10182,8
L6 W+P2 (SUS)	20000	19897,8	8824,5
L7 L3+L5 (EXP)	20000	1410,4	1420,6
L8 L4+L6 (EXP)	20000	123,8	124,7
Remarks		NOT OK	OK

Kondisi ini menunjukkan bahwa beban berkelanjutan memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan tegangan pada titik kritis, yang berpotensi mempercepat terjadinya deformasi atau kegagalan jangka panjang jika tidak dikendalikan. Setelah dilakukan penambahan dummy support, tegangan maksimum pada load case L5 berhasil diturunkan secara signifikan menjadi 10182,8 lb/in², dan seluruh nilai tegangan berada di bawah batas yang diizinkan, sehingga sistem memenuhi kriteria desain (OK).

2. Pengaruh penambahan dummy support terhadap nilai tegangan



Gambar 20. Grafik reduksi tegangan akibat penambahan dummy support

Pada Gambar 18. Grafik reduksi tegangan akibat penambahan dummy support, menunjukkan perbandingan antara nilai allowable stress, highest stress without dummy support, dan highest stress with dummy support pada delapan kondisi pembebanan (load case) yang diuji.

Analisis ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas penambahan dummy support dalam menurunkan tingkat tegangan yang terjadi di sistem perpipaan pada node 190, yang sebelumnya diidentifikasi sebagai titik dengan konsentrasi tegangan tertinggi.

Dari grafik terlihat jelas bahwa sistem tanpa dummy support mengalami tegangan yang sangat tinggi, khususnya pada load case L5 (W+P1). Nilai tegangan maksimum pada ketiga kondisi tersebut melebihi batas ijin sebesar 20000 lb/in², dengan nilai mencapai 21255,5 lb/in².

Setelah dilakukan penambahan dummy support, terjadi penurunan drastis pada seluruh nilai tegangan di setiap load case. Nilai tegangan pada node 190 hanya mencapai 10182,8 lb/in² pada kondisi sustained load (L5).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Pemasangan dummy support berpengaruh signifikan terhadap distribusi tegangan pada sistem perpipaan. Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak CAESAR II menunjukkan bahwa pada kondisi sustained (Load Case L5: W + P1), sistem perpipaan tanpa dummy support menghasilkan tegangan maksimum sebesar 21255,5 lb/in², yang melebihi batas allowable stress ASME B31.3 sebesar 20000 lb/in², sehingga terjadi konsentrasi tegangan yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktur
- Dummy support terbukti efektif dalam menurunkan tegangan hingga memenuhi kriteria keselamatan ASME B31.3. Setelah penambahan dummy support pada titik kritis, tegangan maksimum pada kondisi sustained menurun menjadi 10182,8 lb/in², berada di bawah batas allowable stress. Hasil ini menunjukkan bahwa dummy support mampu mengoptimalkan distribusi beban, mengurangi konsentrasi tegangan, dan meningkatkan keandalan sistem perpipaan.

2. Saran

- Desain dummy support sebaiknya mempertimbangkan faktor fleksibilitas pipa dan kemudahan inspeksi di lapangan.
- Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menganalisis pengaruh variasi dimensi dummy support atau posisi pemasangan terhadap efektivitas reduksi tegangan.
- Perlu dilakukan verifikasi eksperimental untuk memvalidasi hasil simulasi dan memastikan kesesuaian dengan kondisi operasional nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Nayyar, R. King, and S. Crocker, *Piping handbook*. 2000. [Online]. Available: http://tuboserw.agilityhoster.com/pages/pdf/Piping_Handbook.pdf
- [2] S. M. W. A. Poe, *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing*. 2015. doi: 10.1016/c2013-0-15625-5.
- [3] Vakharia and Farooq, "Determination of maximum span between pipe supports using maximum bending stress theory," *Int. J. Recent Trends Eng.*, vol. 1, no. 6, p. 46, 2009.
- [4] T. L. Group, T. O. N. The, and T. Icon, "Piping Stress Analisis. Diktat-Piing Stress Analisis, 99," p. 670, 1863.
- [5] P. . Paul R. Smith, "Piping and Pipe Support Systems," 2001.
- [6] American Society of Mechanical Engineers, "ASME B31.3-2014, Process Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31," *Chem. Eng.*, vol. 76, no. 8, pp. 95–108, 2020.
- [7] S. Kannapan, "Introduction to Pipe Stress Analysis," 1985.
- [8] A. Bhatia, "Process Piping Fundamentals, Codes and Standards," *Contin. Educ. Dev. Inc [https://www.cedengineering.com/userfiles/Process% 20Piping% 20Fundamentals,% 20Codes% 20and% 20Standards](https://www.cedengineering.com/userfiles/Process%20Piping%20Fundamentals,%20Codes%20and%20Standards)*, vol. 20, no. Id, pp. 3–4, 2016.
- [9] American Society of Mechanical Engineers, "ASME B31.1-2007 Power Piping ASME Code for Pressure Piping, B31," vol. 1, 2007.
- [10] A. Husen, A. Setiyadi, and N. Cholis, "Analisis Tegangan Pipa 043-Gn-31004 Pada Scrub Coloumn Vessel Menuju Vessel Coloumn Proyek Tangguh Expansion Train 3 Papua," *Bina Tek.*, vol. 14, no. 2, p. 139, 2018, doi: 10.54378/bt.v14i2.342.
- [11] K. Eberle and P. Eng, "A Recommended Approach to Piping Flexibility Studies to Avoid Compressor System Integrity Risk," 2011.
- [12] S. Y. Hwang, M. S. Kim, and J. H. Lee, "Thermal stress analysis of process piping system installed on lng vessel subject to hull design loads," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 11, pp. 1–16, 2020, doi: 10.3390/jmse8110926.
- [13] M. SP-69, "Pipe Hangers and Supports - Selection and Application," 2002.

- [14] HardHat Engineer, "Types of Pipe Support Use in Oil and Gas Pipeline – A Complete Overview." [Online]. Available: <https://hardhatengineer.com/types-of-pipe-support-use-in-pipeline/>
- [15] M. SP-58, "Pipe Hangers and Supports - Materials, Design, Manufacture, Selection, Application, and Installation.," no. 703, 2018.
- [16] C. Konstruksi, "Fungsi Dummy dan Trunion Support dalam Sistem Pipa." [Online]. Available: <https://www.cnzahid.com/2021/09/fungsi-dummy-dan-trunion-support.html>
- [17] P. Mahardhika, "Desain Peletakan Penyangga Dan Evaluasi Tegangan Pada Sistem Perpipaan Fluida Masseurite Dari Reheater Menuju Feed Mixer," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.*, vol. 6, no. 1, p. 39, 2020, doi: 10.31884/jtt.v6i1.247.
- [18] American Society of Mechanical Engineers, "The American Society of Mechanical Engineers." [Online]. Available: <https://www.asme.org/>
- [19] O. & G. D. Course, "Pipe Stress Analysis CAESAR II," pp. 1–165.
- [20] Hexagon, "CAESAR II User Interface." [Online]. Available: <https://hexagon.com/id/products/caesar-ii>
- [21] C. Engineering, S. Sponsored, F. Computer, and C. Derby, "Pipe Stress Analysis using CAESAR II Presented by COADE Engineering Software Sponsored by Fern Computer Consultancy," no. March, 2007.
- [22] Autodesk AutoCAD, "Isometric Drawing for Piping System," 2025.
- [23] American Society of Mechanical Engineers, "ASME B16.10-2022 Face-to-Face and End-to-End Dimensions of Valves," 2002.
- [24] Zeataline, "Pipedata-Pro," 2016.
- [25] A. AutoCAD, "Dummy Support AutoCAD," 2025.
- [26] L.-C. Peng and T.-L. Peng, "Pipe Stress Engineering," *Pipe Stress Eng.*, 2010, doi: 10.1115/1.802854.
- [27] K. Ramakrishnan, "CAESAR II Tutorial I," *Eur. Univ. Inst.*, no. 2, pp. 2–5, 2004, [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679&from=PT%0Ahttp://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52012PC0011:pt:NOT>
- [28] C. I. Hexagon, "3D Modeling Piping System CAESAR II," 2025.

- [29] CAESAR II Hexagon, “Load Case CAESAR II,” 2025.
- [30] J. R and R. K, “Design and Analysis of Piping System with Supports Using CAESAR II,” *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Comput. Syst. Eng.*, vol. 10, no. 5, pp. 1–5, 2016, [Online]. Available: <https://publications.waset.org/10004702/design-and-analysis-of-piping-system-with-supports-using-caesar-ii>
- [31] American Society for Testing and Materials, “ASTM-A106-standard-specification,” 2014.

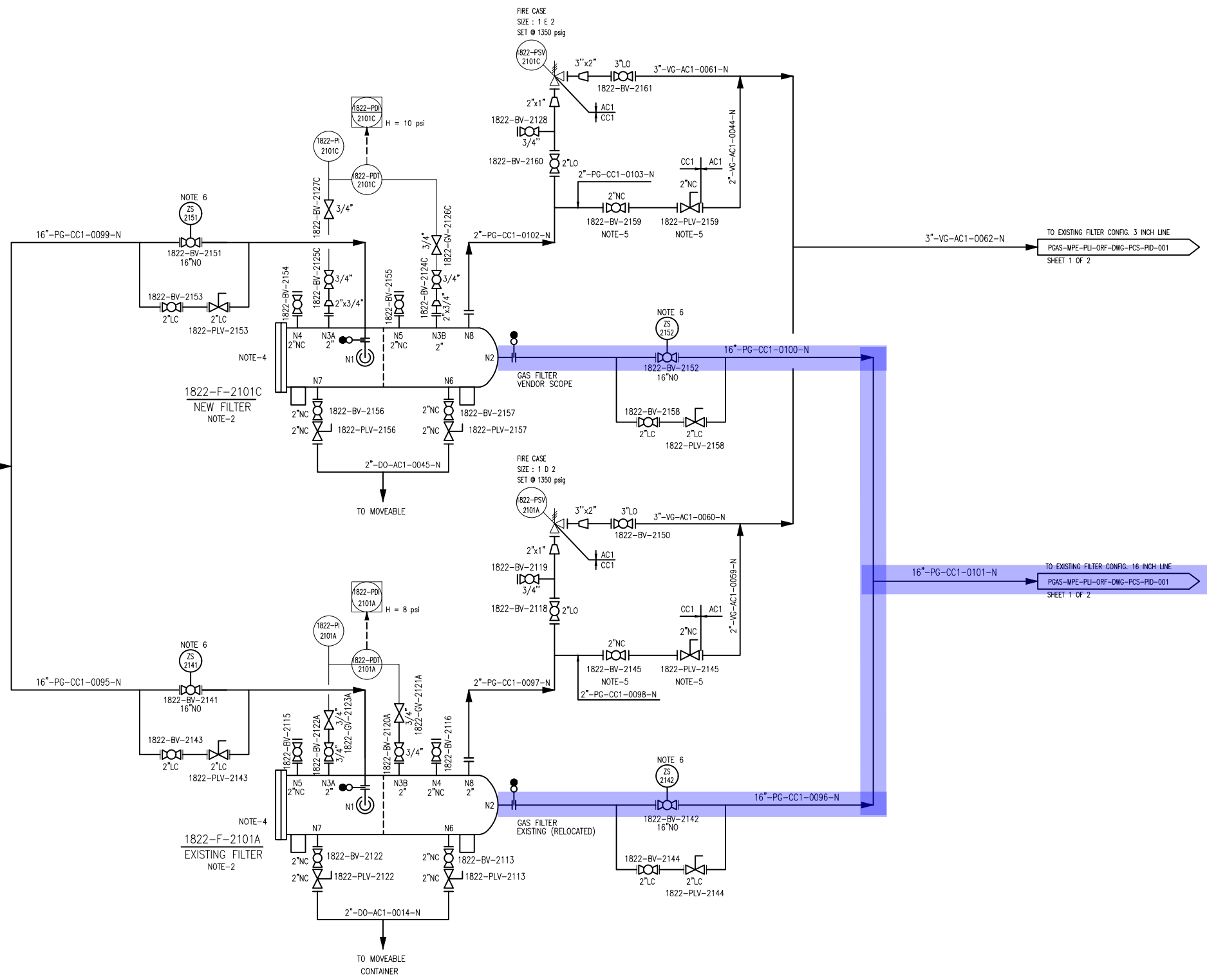
LAMPIRAN

1. Mark-up piping & instrument diagram (P&ID)

Lampiran ini memuat Piping & Instrument Diagram (P&ID) yang telah diberi tanda mark-up sebagai dasar perancangan dan analisis sistem perpipaan. Gambar ini menunjukkan konfigurasi proses, alur fluida, jenis dan ukuran pipa, peralatan utama, instrumen, serta valve yang terlibat dalam sistem. Mark-up dilakukan untuk menandai batas sistem yang dianalisis, kondisi operasi, serta titik-titik penting yang dijadikan acuan dalam pemodelan dan analisis tegangan pipa.

ITEM NO.	1822-F-2101A
ITEM NAME	FILTER
OPERATING PRESSURE (PSIG)	1150
DESIGN PRESSURE (PSIG)	1350
OPERATING TEMPERATURE (°F)	71.5
DESIGN TEMPERATURE (°F)	150
OD (INCH)	24
LENGTH T/T (FT)	8.14
CAPACITY (MMSCFD)	240

ITEM NO.	1822-F-2101C
ITEM NAME	FILTER
OPERATING PRESSURE (PSIG)	1150
DESIGN PRESSURE (PSIG)	1350
OPERATING TEMPERATURE (°F)	71.5
DESIGN TEMPERATURE (°F)	150
OD (INCH)	711.2 mm
LENGTH T/T (FT)	2400 mm
CAPACITY (MMSCFD)	240



NOTES


UNIVERSITAS PASUNDAN

PROJECT :
 ANALISIS EFEKTIVITAS DUMMY SUPPORT TERHADAP REDUKSI TEGANGAN BERLEBIH PADA SISTEM PERPIPAAN BERDASARKAN ASME B31.3 DENGAN SIMULASI CAESAR II

TITLE :
 PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM (P&ID)

16 INCH LINE FROM NEW FILTER CONFIGURATION

SHEET 2 OF 2

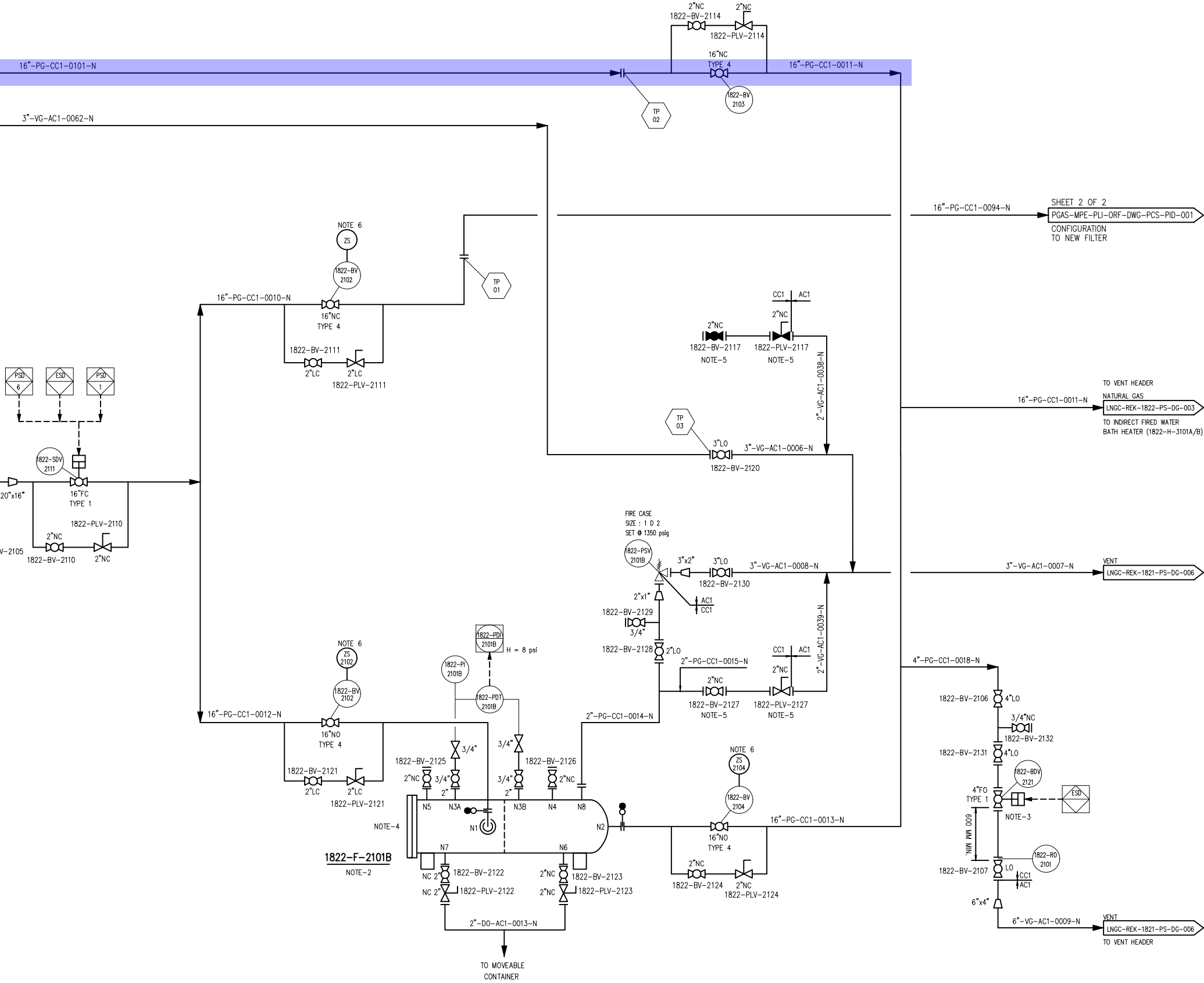
3 INCH LINE FROM NEW FILTER CONFIGURATION

SHEET 2 OF 2

NATURAL GAS FROM ONSHORE PIPELINE

1822-BV-2108 3/4"NC 1822-BV-2109 3/4"NC 1822-BV-2105 16"NC

FUTURE CONNECTION



SHEET 2 OF 2 PGAS-MPE-PLI-ORF-DWG-PCS-PID-001 CONFIGURATION TO NEW FILTER

TO VENT HEADER NATURAL GAS LNGC-REK-1822-PS-DG-003 TO INDIRECT FIRED WATER BATH HEATER (1822-H-3101A/B)

VENT LNGC-REK-1821-PS-DG-006

TO VENT HEADER

TO VENT HEADER



PROJECT : ANALISIS EFEKTIVITAS DUMMY SUPPORT TERHADAP REDUKSI TEGANGAN BERLEBIH PADA SISTEM PERPIPAAN BERDASARKAN ASME B31.3 DENGAN SIMULASI CAESAR II

TITLE : PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM (P&ID)

2. Piping 3D modelling

Lampiran ini menampilkan model tiga dimensi sistem perpipaan yang disusun berdasarkan P&ID dan data desain aktual. Piping 3D Modelling ini berfungsi sebagai dasar visual sebelum sistem dimodelkan lebih lanjut ke dalam perangkat lunak analisis tegangan.

3. Spreadsheet perhitungan manual tegangan pipa

Lampiran ini memuat spreadsheet perhitungan manual nilai tegangan pipa yang disusun berdasarkan formulasi dalam standar ASME B31.3. Perhitungan ini dilakukan untuk memverifikasi hasil analisis tegangan yang diperoleh dari perangkat lunak CAESAR II, khususnya pada kondisi pembebanan berkelanjutan (sustained).



PIPE STRESS CALCULATION

Analisis efektivitas dummy support terhadap reduksi tegangan berlebih pada sistem perpipaan berdasarkan ASME B31.3 dengan simulasi CAESAR II

Load case no. : 5
 Load case definition : SUS (W+P1)
 Node : 190

Inside diameter (D_i)	$D_i = D_o - 2t$	D_o (in)	t (in)	D_i (in)
		16	0,656	14,688

Cross-sectional metal area (A)	$A = \frac{\pi}{4}(D_o^2 - D_i^2)$	D_o (in)	D_i (in)	A (in ²)
		16	14,688	31,622

Momen inertia (I)	$I = \frac{\pi}{64}(D_o^4 - D_i^4)$	D_o (in)	D_i (in)	I (in ⁴)
		16	14,688	932,336

Section Modulus (Z)	$Z = \frac{I}{\frac{D_o}{2}}$	I (in ⁴)	D_o (in)	Z (in ³)
		932,336	16	116,542

Beban merata akibat berat W_{total} (w)	$w = \frac{W_{total}}{L}$	W_{total}	L	w (lb/ft)	w (lb/in)
		9331,040	14,804	630,305	52,525

Momen bending akibat beban merata (M_w)	$M_w = \frac{wL^2}{8}$	w (lb/ft)	L	M_w (ft.lb)	M_w (in.lb)
		630,305	14,804	17267,090	207205,074

Bending stress (σ_B)	$\sigma_B = \frac{i \cdot M_w}{Z}$	i	M_w (in.lb)	Z	σ_B (lb/in ²)
		1,000	207205,074	116,542	1777,943

Longitudinal stress (σ_L)	$\sigma_L = \frac{P \cdot D_o}{4t}$	P (lb/in ²)	D_o (in)	t (in)	σ_L (lb/in ²)
		1350,000	16	0,656	8231,707

Sustained stress (S_L)	$S_L = \sigma_L + \sigma_B$	σ_L (lb/in ²)	σ_B (lb/in ²)	S_L (lb/in ²)
		8231,707	1777,943	10009,650

Acceptance Criteria (menurut ASME B31.3)	$S_L \leq S_H$	S_L (lb/in ²)	S_H (lb/in ²)	Result
		10009,650	20000,000	OK

Perbandingan hasil			
CAESAR II (lb/in ²)	Perhitungan Manual (lb/in ²)	Selisih (lb/in ²)	Presentase Selisih (%)
10182,8	10009,650	173,150	1,730%