

**DESAIN DAN ANALISA TEGANGAN SISTEM PERPIPAAN
PADA AIR COMPRESSOR MENGGUNAKAN SOFTWARE
CAESAR II 2019 PADA PROYEK UPGRADING FACILITY
PLANT**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu Teknik
Pada Program Studi Teknik Mesin
Universitas Islam Riau*



Oleh :

EDWIN

NPM. 16.331.0586

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2021**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Edwin

Npm : 16.331.0586

Fakultas/Prodi : Teknik/ Program Studi Teknik Mesin

Judul TA : *Desain dan Analisa Tegangan Sistem Perpipaan pada Air Compressor Menggunakan Software CAESAR II 2019 pada Proyek Upgrading Facility Plant*

Menyatakan dengan sebenarnya, bahwa penulisan Tugas Akhir ini adalah hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari Karya Tulis saya sendiri, baik dari naskah laporan maupun data-data yang tercantum sebagai bagian dari Tugas Akhir ini. Jika terdapat Karya Tulis milik orang lain, saya akan mencantumkan sumber dengan jelas di Daftar Pustaka.

Surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan serta ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Islam Riau.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan kondisi sehat serta tanpa paksaan dari pihak manapun.

Pekanbaru, Januari 2021
Yang Membuat Pernyataan,



Edwin
16.331.0586

HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

DESAIN DAN ANALISA TEGANGAN SISTEM PERPIPAAN PADA AIR
COMPRESSOR MENGGUNAKAN SOFTWARE CAESAR II 2019 PADA
PROYEK UPGRADING FACILITY PLANT

Oleh :

EDWIN
NPM : 163310586

Diperiksa Oleh :

Ir. Syawaldi, M.Sc
Dosen Pembimbing


Tanggal : 10/02-2021

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

DESAIN DAN ANALISA TEGANGAN SISTEM PERPIPAAN PADA AIR
COMPRESSOR MENGGUNAKAN SOFTWARE CAESAR II 2019 PADA
PROYEK UPGRADING FACILITY PLANT

Oleh :

EDWIN
NPM : 163310586

Disetujui dan Disahkan Oleh :

KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK MESIN

PEMBIMBING



Ir. Syawaldi. M.Sc



Ir. Syawaldi. M.Sc

DESAIN DAN ANALISA TEGANGAN SISTEM PERPIPAAN PADA AIR COMPRESSOR MENGGUNAKAN SOFTWARE CAESAR II 2019 PADA PROYEK UPGRADING FACILITY PLANT

Edwin^{1*}, Syawaldi¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

*Email : edwinmekatronika@gmail.com

ABSTRAK

Sistem perpipaan pada *air compressor* merupakan sistem distribusi udara bertekanan dengan suhu tertentu yang dapat menyebabkan tegangan berlebih (*overstress*). Perlu dilakukan analisa pada sistem perpipaan untuk mengetahui apakah ada terjadi *overstress* yang membuat sistem perpipaan tidak aman. Analisa dilakukan pada dua jalur *blasting-painting* dan *CNC plasma cutting* dengan menggunakan metode analisis berbasis *software CAESAR II 2019*. Hasil tegangan tertinggi pada *software* dibandingkan dengan nilai *allowable stress* sesuai standar ASME B31.3. Rasio pada nilai tegangan tertinggi tidak boleh melebihi 100%, jika lebih sistem perpipaan perlu dimodifikasi. Hasil menunjukkan terjadi *overstress* pada jalur *blasting-painting* pada nodal 760 dengan empat *loadcase* berbeda yang rasio tegangannya mencapai 227,8 % pada *loadcase* 10 dengan nilai tegangan 775561,9 kPa, 163,2 % pada *loadcase* 11 dengan nilai tegangan 555814,6 kPa, 172,4 % pada *loadcase* 14 dengan nilai tegangan 587012,9 kPa, 107,9 % pada *loadcase* 15 dengan nilai tegangan 367265,6 kPa. Nilai tegangan dibandingkan dengan nilai *allowable stress* yaitu 340477,7 kPa. Setelah dilakukan modifikasi terjadi penurunan tegangan pada nodal 760 yang mengalami *overstress* dengan rasio tegangannya menjadi 40,5 % pada *loadcase* 10 dengan nilai tegangan 138126,1 kPa, 29 % pada *loadcase* 11 dengan nilai tegangan 99003,34 kPa, 30,7 % pada *loadcase* 14 dengan nilai tegangan 104510,11 kPa, 19,2 % pada *loadcase* 15 dengan nilai tegangan 65386,98 kPa.

Kata kunci : CAESAR II 2019, Desain, Sistem Perpipaan, Software, Tegangan.

DESIGN AND STRESS ANALYSIS OF PIPING SYSTEM ON THE AIR COMPRESSOR USING CAESAR II 2019 SOFTWARE IN FACILITY PLANT UPGRADING PROJECT

Edwin^{1*}, Syawaldi¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Islamic University of Riau

*Email : edwinmekatronika@gmail.com

ABSTRACT

The piping system in the air compressor is a pressurized air distribution system with a certain temperature which can cause overstress. It is necessary to analyze the piping system to alert whether there is excessive pressure which makes the piping system unsafe. The analysis was carried out on two lines of blasting-painting and CNC plasma cutting using the CAESAR II 2019 software-based analysis method. The highest voltage results in the software were compared with the allowable stress values according to ASME B31.3 standards. The ratio at the highest rated stress should not exceed 100%, otherwise more piping systems can be carried out. The results showed that there was overstress in the blasting-painting line at nodal 760 with four different loadcases whose stress ratio reached 227.8% at loadcase 10 with a stress value of 775561.9 kPa, 163.2% at loadcase 11 with a stress value of 555814.6 kPa, 172, 4% on loadcase 14 with a stress value of 587012.9 kPa, 107.9% on loadcase 15 with a stress value of 367265.6 kPa. The stress value is compared with the allowable stress value, which is 340477.7 kPa. After modification of the stress drop at nodal 760 which experienced overstress with the stress ratio to 40.5% at loadcase 10 with a stress value of 138126.1 kPa, 29% at loadcase 11 with a stress value of 99003.34 kPa, 30.7% at loadcase 14 with a stress value of 104510.11 kPa, 19.2% at loadcase 15 with a stress value of 65386.98 kPa.

Keywords : CAESAR II 2019, Design, Piping System, Stress, Software.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah Subhanaa Wata'ala karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya yang berupa kemampuan, kesehatan dan juga kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Desain dan Analisa Tegangan Sistem Perpipaan Pada *Air Compressor* Menggunakan *Software CAESAR II 2019* Pada Proyek *Upgrading Facility Plant*”.

Adapun tujuan dari Penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik S1 pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Penulis dengan setulus hati mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Ir. Syawaldi, M.Sc., selaku pembimbing yang telah memberikan banyak masukan dan bimbingan kepada Penulis selama penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini, Dr. Kurnia Hastuti, S.T., M.T., dan Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc., selaku penguji yang banyak memberikan masukan dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Selama menyelesaikan Tugas Akhir ini Penulis memperoleh berbagai bantuan dan dukungan yang sangat berharga dari semua pihak. Oleh karena itu, Penulis ingin menyampaikan penghargaan, rasa hormat, dan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada Bapak Prof. Dr. Syafrinaldi, SH., M.CL., selaku Rektor Universitas Islam Riau, Bapak Dr. Eng. Muslim, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Kemudian kepada Ketua Program Studi Teknik Mesin, Bapak Ir. Syawaldi, M.Sc., Sekretaris Jurusan Bapak Rafil Arizona, S.T., M.Eng., dan seluruh Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dan semoga menjadi amal jariyah untuk semuanya.

Terima kasih kepada Ayahanda Sapri, dan Ibunda Rusiah yang telah membesarkan dan mendidik dengan penuh kasih sayang serta tidak pernah berhenti dalam mengingatkan dan mendo'akan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat waktu. Terima kasih kepada kakak Ria Syafitri, S.Kom serta suami Zulhariansyah, S.T., atas bantuan berupa moril maupun finansial semoga menjadi amal jariyah dan adik perempuan Tria Hastuti semoga dilancarkan studinya dan dimudahkan.

Dukungan terbesar yang hadir dari pihak keluarga telah memberikan kontribusi terbesar dalam menyelesaikan perkuliahan di Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau.

Terimakasih kepada pihak PT. Patria Maritim Perkasa Bapak Zulhariansyah, S.T., Saudara Ardhany W.S., S.T., dan jajaran karyawan lainnya yang telah membantu penulis dalam melaksanakan penelitian dengan memberikan izin serta bantuan sehingga dapat menyelesaikan perkuliahan di Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau.

Terimakasih kepada Viola Alleta Ayunda, S.T., Adilla Syifa Dwi Andini, S.Pd., Maysi Hidayah Ramadhani, S.Pd., Murni Kholilah Harahap, S.Pd., teman-teman kelas C, teman-teman jurusan Teknik Mesin Angkatan 2016 penulis sangat menghargai kebaikan, dukungan, motivasi, bantuan, dan telah menjadi jawaban dari kebutuhan penulis, semoga teman-teman sekalian selalu dimudahkan urusannya dan sukses di dunia maupun di akhirat serta dilancarkan studinya.

Penulis dengan segala kerendahan hatinya menyadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari kata sempurna dan masih memiliki kekurangan atau kelemahan, baik dari segi isi maupun dari pandangan pengetahuan Penulis miliki. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun guna kesempurnaan dan kelanjutan Tugas Akhir ini dimasa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak terutama Penulis sendiri. Aamiin ya Rabbal Alamiin.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Pekanbaru, Januari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 LANDASAN TEORI	5
2.1 Pengenalan Sistem Perpipaan	5
2.2 Kelas Perpipaan (<i>Piping Classes</i>)	6
2.2.1 Pipa	6
2.2.2 <i>Fitting</i>	18
2.2.3 <i>Flanges</i>	20
2.2.4 Katup (<i>Valve</i>).....	21
2.2.5 Gasket	25
2.2.6 <i>Support</i> (Penyangga).....	25
2.3 Analisis Tegangan Pipa	27

2.4	Teori Tegangan dan Regangan	27
2.5	Tegangan Dalam Pipa	28
2.5.1	Tegangan Normal	28
2.5.2	Tegangan Geser	31
2.6	Klasifikasi Beban	32
2.7	Analisis Berdasarkan Standar ASME B31.3	32
2.7.1	Beban <i>Sustain (Sustained Loads)</i>	32
2.7.2	Beban Ekspansi (<i>Expansion Loads</i>)	33
2.8	Definisi CAESAR II 2019	34
2.9	Proyek <i>Upgrading Facility Plant</i>	35
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		36
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	36
3.2	Diagram Alir Proses Penelitian	36
3.3	Pengumpulan Data	38
3.4	Persiapan Pemodelan	38
3.4.1	<i>Software</i> yang Digunakan	38
3.4.2	Standar dan Kode yang Digunakan	38
3.5	Data-data Untuk Pemodelan	39
3.5.1	Data Spesifikasi Material	39
3.5.2	Tabel <i>Spreadsheet</i>	40
3.5.3	Data Properti	41
3.5.4	Penentuan <i>Loadcase</i>	43
3.5.5	Penentuan Satuan	44
3.5.6	Skematik Diagram	45

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Pembuatan Model Sistem Perpipaan	46
4.1.1 Pengecekan Kesalahan (<i>Error Checking</i>).....	46
4.1.2 Visualisasi Pemodelan	47
4.2 Hasil Analisa	51
4.2.1 Hasil Analisa Tegangan pada Jalur <i>Blasting-Painting</i>	51
4.2.2 Hasil Analisa Tegangan pada Jalur <i>CNC Plasma Cutting</i>	53
4.3 Modifikasi Jalur Perpipaan.....	55
4.4 Data Hasil Setelah Modifikasi.....	57
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSAKA.....	64
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Contoh Ukuran Pipa.....	9
Tabel 2. 2 Ukuran Nominal <i>Pipe Size</i> (NPS) dan Diameter Nominal (DN).....	11
Tabel 2. 3 Ukuran dan Berat Pipa Hitam dan Galvanis <i>Schedule 40</i>	14
Tabel 2. 4. Ukuran dan Berat Pipa Hitam dan Galvanis <i>schedule 80</i>	15
Tabel 2. 5 Nilai Koefisien untuk $t < D/6$	17
Tabel 2. 6 Tegangan Izin untuk Material <i>Carbon Steel</i>	17
Tabel 2. 7 Tegangan Izin untuk Material <i>Carbon Steel</i> (lanjutan)	18
Tabel 2. 8 Klasifikasi Cara Membuka dan Menutup Katup.....	24
Tabel 2. 9 Material Gasket.....	25
Tabel 2. 10 <i>Suggested Piping Support Spacing (maximum span)</i>	26
Tabel 2. 11 Siklus Termal pada Pipa	34
Tabel 3. 1 Tabel Data Spesifikasi Material.....	40
Tabel 3. 2 Data Properti pada Pemodelan.....	42
Tabel 3. 3 Jenis <i>Loadcase</i> yang Digunakan pada Pemodelan.....	43
Tabel 3. 4 Satuan pada Pemodelan	44
Tabel 4. 1 Nilai Tegangan Tertinggi pada Jalur <i>Blasting-Painting</i>	52
Tabel 4. 2 Nilai Tegangan Tertinggi pada Jalur <i>CNC Plasma Cutting</i>	54
Tabel 4. 3 Hasil Tegangan Maksimum Setelah Modifikasi.....	58
Tabel 4. 4 HasilTegangan Tertinggi Setelah dan Sebelum Modifikasi	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Pembuatan <i>Seamless Pipe</i>	7
Gambar 2. 2 Proses Pembuatan <i>Welded Pipe</i> Secara Longitudinal.....	7
Gambar 2. 3 Jenis-jenis pipa Berdasarkan Proses Pembuatannya.....	8
Gambar 2. 4 Pengelompokan Material Pipa.....	8
Gambar 2. 5 Keterangan Ukuran Pipa.....	9
Gambar 2. 6 Pipa Galvanis.....	13
Gambar 2. 7 <i>Fitting Elbow</i>	19
Gambar 2. 8 <i>Fitting Tee</i>	19
Gambar 2. 9 <i>Concentric</i> dan <i>Eccentric Reducer</i>	20
Gambar 2. 10 Cap.....	20
Gambar 2. 11 Jenis-jenis <i>Flange</i>	21
Gambar 2. 12 Jenis-jenis Katup.....	22
Gambar 2. 13 Klasifikasi Katup Berdasarkan Fungsi.....	22
Gambar 2. 14 Klasifikasi Katup Berdasarkan Koneksi Ujung.....	23
Gambar 2. 15 Klasifikasi Katup Berdasarkan Cara Membuka dan Menutup.....	23
Gambar 2. 16 Klasifikasi Katup Berdasarkan Aktuator.....	25
Gambar 2. 17 Fungsi Utama <i>Rigid Support</i>	26
Gambar 2. 18 Tegangan Longitudinal.....	29
Gambar 2. 19 Tegangan Tekuk.....	29
Gambar 2. 20 Tegangan Tekan.....	30
Gambar 2. 21 <i>Hoop Stress</i>	31
Gambar 2. 22 Tegangan Akibat Gaya Geser V.....	31
Gambar 2. 23 Momen Puntir.....	32
Gambar 3. 1 Diagram Alir.....	37
Gambar 3. 2 Skematik Diagram.....	45
Gambar 4. 1 <i>Error Checking</i> pada jalur <i>Blasting-Painting</i>	46
Gambar 4. 2 <i>Error Checking</i> pada Jalur <i>CNC Plasma Cutting</i>	47
Gambar 4. 3 Jalur Pipa Kompresor GA-75 ke Titik Proses.....	48
Gambar 4. 4 Jalur Pipa Kompresor Proses ke <i>Port</i>	48
Gambar 4. 5 Jalur Pipa Kompresor Proses ke <i>Shelter</i>	49
Gambar 4. 6 Jalur Pipa <i>CNC Plasma Cutting</i> 1.....	50

Gambar 4. 7 Jalur Pipa <i>CNC Plasma Cutting</i> 2.....	50
Gambar 4. 8 Jalur Pipa Mengalami <i>Overstress</i>	53
Gambar 4. 9 Penambahan <i>Support Y+</i> pada nodal 560 dan 570	55
Gambar 4. 10 Penambahan <i>Support Y+</i> pada nodal 620 dan 630	56
Gambar 4. 11 Penambahan <i>anchor</i> pada nodal 650.....	56
Gambar 4. 12 (a) Sebelum Modifikasi (b) Setelah Modifikasi.....	56
Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Tegangan.....	60



DAFTAR NOTASI

t_m	= Minimum <i>thickness</i>
t	= Tebal pipa
E	= <i>Quality factor</i> dari Tabel A-1A atau A-1B pada ASME B31.3
P	= <i>Internal design gage pressure</i>
S	= Nilai <i>stress</i> material dari Tabel A-1A atau A-1B pada ASME B31.3
OD	= <i>Outside diameter</i>
W	= Kekuatan Sambungan lasan dari paragraf 302.5 (e) pada ASME B31.3
σ	= Tegangan, Pa
F	= Gaya, N
A	= Luas Penampang pipa, m ²
ϵ	= Regangan, tanpa satuan
ΔL	= Pertambahan panjang, m
L	= Panjang awal, m
F_{ax}	= Gaya aksial, in ²
d_m	= Diameter rata-rata pipa
d_i	= Diameter dalam pipa, in
d_o	= Diameter luar pipa, in
I	= Momen inersia penampang, in ⁴
M_b	= Momen <i>bending</i>
S_L	= Tegangan Longitudinal, kPa
i_i	= <i>In-plane</i> SIF
i_o	= <i>Out-plane</i> SIF
M_i	= Momen lendutan <i>in-plane</i> karena <i>sustained load</i> , Nm
M_o	= Momen lendutan <i>out-plane</i> karena <i>sustained load</i> , Nm
S_h	= <i>Basic allowable stress</i> pada suhu operasi, kPa
S_E	= <i>Displacement stress range</i> , kPa
S_A	= <i>Allowable stress</i> , kPa
S_b	= <i>Resultan bending stress</i> , kPa
S_t	= <i>Torsional Stress</i> , kPa
M_t	= <i>Torsional moment</i> , Nm
Z	= <i>Section modulus</i> pipa, m ³
S_c	= <i>Stress</i> yang diijinkan untuk bahan pipa saat pemasangan, kPa

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem perpipaan adalah suatu kombinasi dari berbagai komponen yang digunakan untuk mendistribusikan atau mengalirkan fluida ke berbagai variasi lokasi dengan laju aliran dan tekanan tertentu (Hardee, 2008). Pada dasarnya suatu sistem perpipaan dan detail dalam sebuah industri tidaklah jauh berbeda, perbedaan-perbedaan mungkin terjadi hanya pada kondisi khusus atau batasan tertentu yang diminta pada setiap proyek (Raswari, 1987). Proses dari aliran fluida yang mengalir harus bisa dipahami oleh seorang perancang, seperti bagaimana fluida bisa mengalir ke tempat yang dekat maupun jauh sekalipun, dari tempat yang rendah ke yang tinggi ataupun sebaliknya.

Dalam suatu proses sistem perpipaan membutuhkan beberapa komponen yang berguna untuk menjalankan sistem tersebut seperti pompa, pipa, katup, percabangan, *support*, dan lain-lain. Dari penggabungan komponen-komponen tersebut maka fluida bisa didistribusikan. Dalam mendistribusikan fluida ada dua hal yang harus diperhatikan yaitu berapa banyak kebutuhan fluida yang akan digunakan dan berapa tekanan kerja yang diberikan. Dari berbagai faktor lainnya yang salah satunya tekanan dapat memiliki dampak pada pipa berupa tegangan.

Tegangan yang terjadi pada pipa bisa saja berlebih (*overstress*) hingga kegagalan material dikarenakan adanya gesekan fluida pada pipa bagian dalam dan fluktuasi fluida pada tekanan dan temperatur dalam pipa setiap harinya (Husen, Cholis, & Setiadi, 2018). Untuk menghindari kegagalan material pada pipa perlu dilakukan analisa dan perhitungan untuk mengetahui apakah pada jalur pipa tersebut tegangannya masih berada pada kondisi tegangan yang diijinkan (*allowable stress*) atau tidak. Analisa tegangan yang dilakukan dengan perhitungan manual sulit dilakukan pada jalur pipa yang panjang, karena akan memerlukan waktu yang lama dan perhitungan yang rumit. Maka perlu dilakukan analisa tegangan serta perhitungan pada sistem perpipaan menggunakan bantuan *software*.

Penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan judul “Analisis Tegangan Pipa dan Defleksi pada Jalur Penghubung Reaktor (RE-101) pada *Vinylchloride Monomer* (VCM) Plant PT.

Asahimas Chemical Dengan Menggunakan *Software CAESAR II 2016*” oleh (Usman, 2018). Dalam penelitian ini dilakukan perancangan dengan mengumpulkan data-data pada sistem perpipaan dari PT Patria Maritim Perkasa lalu membuat pemodelan menggunakan *software CAESAR II 2019*. *Software CAESAR II 2019* digunakan karena dapat menganalisis tegangan pipa yang ukuran dan sistemnya memiliki kompleksitas dengan waktu cepat dan akurat lalu mengkalkulasikan hasil data yang sudah diinput. Hasil yang dikalkulasikan berupa perhitungan lalu di analisis dengan membandingkan nilai tegangan dengan batas tegangan diijinkan berdasarkan standar ASME B31.3.

Dalam penelitian dilakukan analisis sistem perpipaan *air compressor* pada proyek *upgrading facility plant* di PT Patria Maritim Perkasa yang merupakan industri perkapalan. *Air compressor* ini merupakan sistem udara bertekanan yang memiliki peran penting dalam proses pembangunan kapal, seperti kegiatan *goughing, air test tank, blowing, blasting-painting, airbag* untuk launching, dan lain-lain. Sistem perpipaan ini sudah ada sebelumnya tetapi demi efektifnya kegiatan produksi maka perlu dilakukan pembaharuan pada sistem perpipaan tersebut. Dengan analisis berbasis *software* teknik seperti *CAESAR II 2019* sangat membantu dan berperan penting dalam kemajuan dan perkembangan industri perkapalan, perminyakan, kimia, dan rumah serta hasil dapat dipahami dengan mudah karena berdasarkan gambar isometrik.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menghitung nilai tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan *air compressor* menggunakan *software*?
2. Bagaimana menentukan titik tegangan tertinggi yang terjadi pada sistem perpipaan *air compressor* menggunakan *software* ?
3. Apakah tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan *air compressor* masih dalam kondisi aman dan tidak melebihi batas tegangan yang diijinkan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa nilai tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan *air compressor* menggunakan *software*.
2. Mendapatkan lokasi titik tegangan tertinggi pada jalur sistem perpipaan *air compressor*.
3. Mendapatkan hasil sistem perpipaan yang baik dan aman dengan tidak melebihi batas tegangan yang diijinkan (*allowable stress*) sesuai dengan standar ASME B31.3 *process plant*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah selalu mengingat bahwa pentingnya melakukan analisis pada jalur pemipaan demi memastikan keamanan dan tegangan yang terjadi masih dalam tegangan yang diijinkan (*allowable stress*), dan dapat menggunakan *software CAESAR II 2019* sebagai acuan untuk menganalisa tegangan.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat pemodelan ulang menggunakan *software CAESAR II 2019*.
2. Analisa tegangan pipa hanya dilakukan dengan beban statik yang meliputi *empty weight* (berat tanpa fluida), *sustained loads* (beban *sustain*), *expansion loads* (beban ekspansi), *during operation* (selama sistem beroperasi).
3. Analisis dilakukan dengan menggunakan *software CAESAR II 2019* mengacu pada standar ASME B31.3 *Process Plant*.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini untuk memperoleh gambaran secara umum adalah sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bagian pendahuluan berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

Bab II Landasan Teori

Pada bab ini berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang difokuskan pada analisa sistem perpipaan.

Bab III Metodologi Penelitian

Pada bab ini memberikan informasi mengenai waktu dan tempat penelitian, diaram alir proses penelitian, pengumpulan data, persiapan pemodelan, data-data untuk pemodelan.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Pada hasil dan pembahasan berisikan tentang pembuatan model sistem perpipaan, hasil analisa yang didapatkan, modifikasi jalur perpipaan.

Bab V Penutup

Pada bab ini membahas kesimpulan dan saran apa saja yang didapatkan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Pengenalan Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan bisa diumpamakan seperti arteri dan vena yang ada di dalam tubuh manusia mereka berfungsi membawa darah dan menyalurkannya ke organ-organ vital manusia. Bisa juga seperti dalam sebuah kota modern yang mengangkut air dari sumber pasokan air ke titik distribusi. Demikian pula, jaringan pipa yang membawa minyak mentah dari sumur minyak ke tangki pertanian untuk penyimpanan atau ke pabrik pemurnian untuk dilakukan pemrosesan. Jalur transportasi dan distribusi gas alam menyalurkan gas alam dari sumber dan tangki penyimpanan ke titik-titik pemanfaatan, seperti pembangkit listrik, fasilitas industri, dan komunitas komersial (Nayyar, 2000).

Dalam industri perkapalan, sistem pipa dimanfaatkan untuk mentransfer fluida berupa udara bertekanan dari lokasi satu ke lokasi lain, yang mana udara bertekanan tersebut berguna untuk berbagai macam aktifitas produksi seperti, *blasting, painting, welding, air test tank*, dll. Singkatnya, sistem pipa merupakan bagian yang penting dalam integral dan peradaban modern kita sama seperti arteri dan vena yang penting bagi tubuh manusia, seperti arteri dan pemeliharaan berbagai sistem pipa, melibatkan pemahaman mengenai dasar-dasar, material, pertimbangan desain generik dan spesifik, pembuatan dan instalasi, di samping peraturan lokal, negara bagian dan federal (Nayyar, 2000).

Sistem perpipaan terdiri dari beragam benda atau unsur yang terhubung satu sama lain. Setiap benda dalam sistem pipa mempengaruhi pengoperasian benda lainnya. Benda yang terhubung dalam suatu sistem perpipaan itu terdiri dari jalur pipa, pompa, komponen, kontrol, *flow meter* (Hardee, 2008). Setelah memperoleh pemahaman tentang pengoperasian benda-benda tersebut kita akan menyelidiki interaksi di antara mereka untuk melihat bagaimana sistem pipa total beroperasi. Kita akan menyimpulkan dengan melihat seluruh sistem bagaimana berbagai bagian berkerja sama.

2.2 Kelas Perpipaan (*Piping Classes*)

Kelas pipa adalah salah satu spesifikasi yang paling penting untuk seorang *piping designer*. Ini dikembangkan oleh insinyur pemipaan, dan telah diterapkan pada sejumlah proyek. Kelas pipa dicantumkan dalam bentuk kode pendek yang digunakan untuk mencakup semua informasi yang berlaku untuk kelas pipa yang diberikan. Kelas pipa ini juga termasuk dalam nomor jalur sehingga seorang teknisi konstruksi lapangan dapat dengan mudah mengidentifikasi material yang dibutuhkan tanpa harus melakukan pengecekan berulang-ulang kali.

Adapun daftar kelas pipa yang ditetapkan berdasarkan kode standar ASME (B31.1 untuk pembangkit listrik dan B31.3 untuk proses perpipaan pada pabrik), jenis pipa, *schedule* pipa, material, *flange rating*, *fluid service*, batas korosi (corrosion allowance), kisaran suhu (temperature range), batas tekanan (*pressure limits*), NDE (*Non-Destructive Examination*), perlakuan panas (*heat treatment*), NPS (*Nominal Pipe Size*) range dan ketebalan dinding pipa (*wall thickness*), persiapan akhir (*end preparation*), katup (*valve*). Adapun komponen yang terdaftar dalam kode kelas pipa standar adalah sebagai berikut:

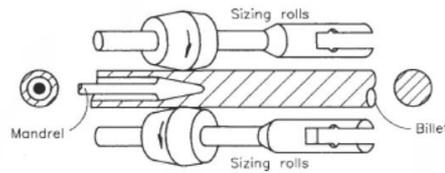
2.2.1 Pipa

Pipa merupakan suatu benda yang memiliki bentuk silinder yang memiliki lubang di tengahnya dengan material yang beragam, baik itu dari plastik hingga logam. Fungsi utama dari pipa adalah sebagai sarana dari fluida yang mengalir baik itu fluida air, gas, maupun udara bertekanan dengan mempertimbangkan efek seperti temperatur, tekanan fluida yang dialirkan, lokasi serta pengaruh lingkungan sekitar.

2.2.1.1 Jenis-jenis pipa

Dilihat dari cara pembuatannya pipa pada umumnya memiliki dua jenis pengelompokan, antara lain :

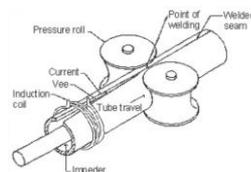
1. Pipa tanpa sambungan (*seamless pipe*), jenis pipa yang dibuat tanpa sambungan dari pengelasan dengan cara *billet* atau melubangi bagian tengah dari silindris pejal dan pengerolan pada bagian luar. Proses pembuatan *seamless pipe* bisa dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini:



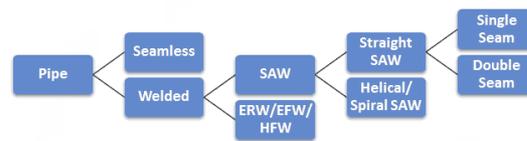
Gambar 2. 1 Proses Pembuatan *Seamless Pipe*
Sumber : theprocesspiping.com (2017)

Pada *seamless pipe* ini kegunaannya dikatergotikan dengan standar-standar seperti :

- ASME untuk uap bertekanan tinggi dengan menggunakan ketentuan ASME I, II, V, VIII, IX dan ASTM A 192, API 5L.
 - ANSI untuk industri perminyakan, gas bumi, dll dengan menggunakan ketentuan ANSI B31.1, B31.3, B31.4, B31.8 dan ASTM A 53, A 106, API 5L.
 - API 5A, 5AX digunakan untuk tubing dan pipa pengeboran (*drilling pipe*)
 - TEMA, USS *tube* yang digunakan untuk *heat exchanger*, instrumentasi, dll.
2. Pipa dengan sambungan (*Welded pipe*), jenis pipa yang dibuat dengan sambungan dari proses pengelasan. Berikut metode pengelasan pada pipa dan proses pembuatannya bisa dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini:
- SAW (*Submerged Arc Welding*) melakukan pengelasan secara longitudinal, dengan standar yang digunakan API 5L, API 5LX, API 1104.
 - TIG (*Tungsten Inert Gas*) digunakan untuk *heat exchanger tube* titanium.
 - ERW (*Electric Resistance Welding*) dengan ketentuan standar API 5L, API 5LX.



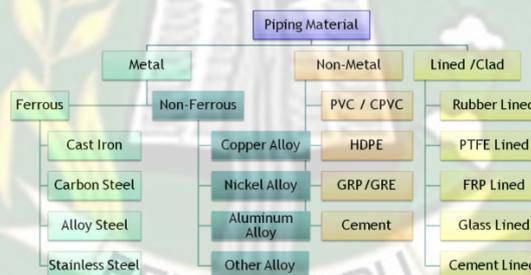
Gambar 2. 2 Proses Pembuatan *Welded Pipe* Secara Longitudinal
Sumber : theprocesspiping.com (2017)



Gambar 2. 3 Jenis-jenis pipa Berdasarkan Proses Pembuatannya
Sumber : Patel (2017)

2.2.1.2 Material pipa

Dengan fungsi utama sebuah pipa yaitu untuk mentransfer berbagai jenis fluida dan dengan banyaknya pengaruh dari fluida tersebut seperti, temperatur, tekanan, tegangan, dll. Maka dibutuhkan material yang sesuai pada pipa untuk dialirkan fluida tersebut, umumnya pipa terbuat dari beberapa jenis bahan seperti logam, paduan, keramik, kaca, *fiberglass*, beton, dan plastik. Pengelompokan material dari pipa bisa dilihat dari Gambar 2.4 di bawah ini:



Gambar 2. 4 Pengelompokan Material Pipa
Sumber : Patel (2017)

Untuk *line and clad pipe* merupakan pipa yang berbahan komposit, yang artinya pipa yang terbuat dari dua material yang berbeda untuk meningkatkan keandalan pipa selama beroperasi. Pipa komposit ini digunakan sebagai alternatif bahan paduan tinggi yang hemat biaya.

2.2.1.3 Standarisasi pada pipa dan material

Dalam pemilihan pipa diberlakukan standar-standar yang meliputi ukuran, berat, diameter, *schedule*, ketebalan, dan toleransi untuk berbagai tipe dan material pipa. Dalam pembahasan standar ini ada tiga standar yang dikususkan dan paling umum dikenal di Amerika dan juga dipakai dunia yaitu, ASME/ANSI (*American Society of Mechanical Engineering*), ASTM (*American Society of Testing Materials*), API (*American Petroleum Institute*). Standar diperlukan pada suatu

barang yang umum digunakan untuk memperoleh kesamaan kualitas produk dari bahan baku yang juga sama kualitasnya. Kualitas sama yang dimaksud adalah dari segi spesifikasi hingga diperoleh kekuatan material yang sama. Menurut Santoso (dalam Heryanto, 2013:44) menjelaskan bahwa dimensi dan material pipa dicakup oleh beberapa *standard code* antara lain:

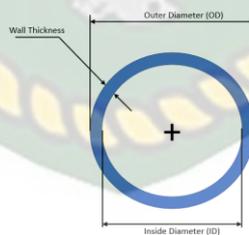
1. Standar ASME B36.10 untuk pipa *welded* dan *seamless wrought steel pipe* (*carbon & alloy steel*).
2. Standar ASME B36.19 untuk pipa *stainless steel*.

2.2.1.4 Dimensi pipa

Suatu dimensi dari pipa bisa diketahui dari ukuran dan *schedule*. Ada tiga istilah berbeda yang umum digunakan untuk menentukan dimensi dari pipa yaitu NPS (*Nominal Pipe Size*), NB (*Nominal bore*), DN (*Diameter Nominal*).

1. NPS (*Nominal Size Pipe*)

NPS adalah suatu angka yang menentukan ukuran pipa. Misalnya, ketika disebutkan pipa 6", itu adalah *nominal size* dari pipa tersebut. Untuk NPS 1/8 sampai 12 NPS dan OD (*Outer Diameter*) berbeda. Sebagai contoh OD dari NPS 12 adalah 12.75 inci (324 mm), sedangkan untuk NPS 14 ke atas nilai NPS dan OD sama, jadi untuk NPS 14 OD- nya juga 14 inci (360mm). Dari penjelasan di atas akan lebih mudah dipahami dengan melihat keterangan pada Gambar 2.5 dan Tabel 2.1.



Gambar 2. 5 Keterangan Ukuran Pipa

Tabel 2. 1 Contoh Ukuran Pipa

OD in Inch	OD in mm	Thickness in Inch	Thickness in mm	ID in Inch	ID in mm
For NPS 2 Schedule 40 pipe					
2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	52.5
For NPS 14 Schedule 40 pipe					
14	350	0.438	11.13	13.124	333.3

Dari Tabel 2.1 dapat menjelaskan bagaimana perbedaan antara NPS 1/8 sampai ke NPS 12 dan dari NPS 14 ke atas bahwa pada NPS 2 nilai OD-nya mendekati 2 sedangkan pada NPS 14 nilai OD-nya sama.

2. NB (*Nominal Bore*)

NPS (*Nominal Pipe Size*) sering disebut sebagai NB (*Nominal Bore*). Dengan demikian, tidak ada perbedaan antara NB dan NPS. NB juga merupakan cara Amerika untuk merujuk dimensi pipa. Ketika dimensi pipa ditunjukkan dalam mm (DN) orang merujuk ukuran pipa dalam NB (*Nominal Bore*). Jadi ketika seseorang mengatakan pipa 25 NB atau pipa 50 NB pada dasarnya mereka berbicara tentang DN (Diameter Nominal).

3. DN (*Diameter Nominal*)

DN (*Diameter nominal*) adalah sebutan internasional (SI atau *Metric Designator*) dan juga NPS yang setara di Eropa untuk menunjukkan ukuran pipa. Perlu dicatat bahwa DN menunjukkan ukuran pipa yang berbeda dari NPS. Karena NPS menunjukkan ukuran dalam inci sedangkan DN dalam mm. Sebagai contoh Pipa 2" secara sederhana disebutkan sebagai DN 50, nilai DN 50 didapat dari 2" dikalikan 25.

Diameter pipa dengan standar ASME B36.10 memiliki ketentuan umum seperti :

1. Mencakup berbagai ukuran pipa dari 1/8" hingga 80" NPD
2. Standar ini memberikan rumus untuk menghitung berat pipa dalam *lb/feet*, dan kg/m.
3. Ketebalan dinding pipa sch 5 dan 10 tidak diizinkan *threaded* sesuai ASME B1.20.1.
4. Ketebalan STD dan sch 40 identik hingga pipa 10". Ukuran yang lebih besar, semuanya memiliki ketebalan dinding 9,53 mm.
5. Ketebalan Extra Strong dan sch 80 identik hingga pipa 8". Ukuran di atas 8" memiliki ketebalan dinding sama yaitu 12,7 mm.
6. Pipa dengan ketebalan dinding selain nomor STD, XS, XXS, dan sch diadopsi dari spesifikasi API 5L.

Untuk melihat diameter pipa sesuai standar ASME B36.10 dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini:

Tabel 2. 2 Ukuran *Nominal Pipe Size* (NPS) dan Diameter Nominal (DN)

NPS (in)	DN (mm)	NPS (in)	DN (mm)
1/8	6	20	500
¼	8	22	550
3/8	10	24	600
½	15	26	650
¾	20	28	700
1	25	30	750
1 ¼	32	32	800
1 ½	40	36	900
2	50	40	1000
2 ½	65	42	1050
3	80	44	1100
3 ½	90	48	1200
4	100	52	1300
5	125	56	1400
6	150	60	1500
8	200	64	1600
10	250	68	1700
12	300	72	1800
14	350	76	1900
16	400	80	2000
18	450	Based on ASME B36.10	

2.2.1.5 Schedule pipa

Setiap pipa diproduksi dalam berbagai macam ketebalan yang sudah memiliki standar. *Schedule* adalah penamaan pada pipa untuk mengetahui ketebalan dari pipa tersebut. Pada awalnya ketebalan dari suatu pipa hanya dikelompokkan dalam ukuran seperti *Standard*, *XS (Extra strong)*, *XXS (Double extra strong)*. Tetapi saat ini penamaan pada ketebalan pipa sudah diganti menjadi SCH 5, 5S, 10, 10S, 20, 30, 40, 40S, 60, 80, 80S, 100, 120, 140, 160, STD, XS, dan XXS.

Dari *schedule number* yang disebutkan tadi ada dua kategori berdasarkan standar yaitu:

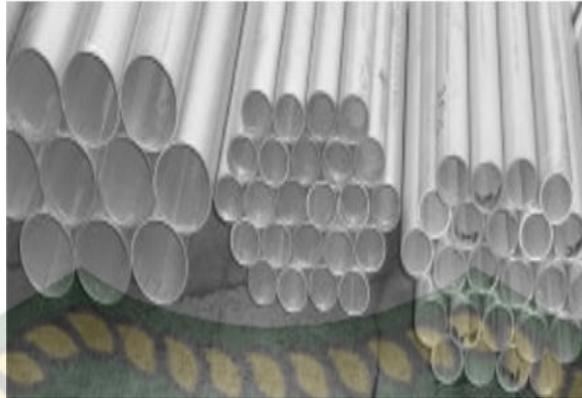
1. ASME B36.10 (untuk *carbon steel* dan *wrought iron pipe*) dengan *schedule* 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, STD, XS, XXS.
2. ASME B36.19 (untuk *stainless steel pipe*) dengan *schedule* 5S, 10S, 40S, 80S.

2.2.1.6 Pipa Galvanis

Umumnya pipa Menurut Munawir (2009) Untuk pemilihan pipa ada beberapa pertimbangan utama yang perlu diperhatikan yaitu:

1. *Design pressure* dari pipa diatas *maximum operating pressure*-nya.
2. Untuk pemilihan material, *objective*-nya lebih ke *environmental condition*, karakteristik fluida (korosif dan temperatur), *life time* dan tentu saja *cost (purchasing maintenance)*.

Menurut Priyotomo (dalam Sutrisna, 2008) menjelaskan baja galvanis merupakan baja karbon rendah yang handal dengan bagian luarnya dilapisi seng dan tingkat kemurnian sebesar 99,7% serta dengan penambahan sejumlah timah hitam, alumunium dalam jumlah tertentu dan diproses dengan kondisi bebas oksidasi.



Gambar 2. 6 Pipa Galvanis
Sumber : Munawar (2011)

Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah ASTM A53 *Grade B* galvanis. Menentukan berbagai jenis pipa membutuhkan ruang lingkup yang berbeda, dari tahapan proses manufaktur hingga kegunaan pipa untuk kebutuhan-kebutuhan tertentu. Pipa ASTM A53 *Grade B* yang dilapisi galvanis umum digunakan untuk kebutuhan sistem perpipaan udara bertekanan pada industri. Pemilihan jenis pipa ini ditetapkan dengan mempertimbangkan beberapa hal seperti kondisi lingkungan, karakteristik fluida (korosif dan temperatur), *life time* dan *cost* (*purchasing* dan *maintenance*).

Tabel 2. 3 Ukuran dan Berat Pipa Hitam dan Galvanis *Schedule 40*

Nominal Pipe Size (In)	Panjang (m)	OD (mm)	Tebal (mm)	Berat (kg)
1/8	6	10,29	1,73	2,19
¼	6	13,72	2,24	3,80
3/8	6	17,5	2,31	5,07
½	6	21,34	2,77	9,72
¾	6	26,67	2,87	10,11
1	6	33,40	3,38	15,01
1 ¼	6	42,16	3,56	20,33
1 ½	6	48,26	3,68	24,27
2	6	60,33	3,91	32,64
2 ½	6	73,03	5,16	51,82
3	6	88,80	5,49	67,75
3 ½	6	101,60	5,74	81,41
4	6	114,30	6,02	96,45
5	6	141,3	6,55	130,59
6	6	168,28	7,11	169,55
8	6	219,08	8,18	255,25
10	6	273,05	9,27	361,80
12	6	323,85	10,31	478,30
14	6	355,60	11,10	565,79
16	6	406,40	12,70	739,80

Sumber : pabrikrbcgivro.blogspot.com (2019)

Tabel 2. 4. Ukuran dan Berat Pipa Hitam dan Galvanis *schedule 80*

Nominal Pipe Size (In)	Panjang (m)	OD (mm)	Tebal (mm)	Berat (kg)
1/8	6	10,29	2,41	2,81
¼	6	13,72	3,02	4,78
3/8	6	17,5	3,20	6,60
½	6	21,34	3,73	9,72
¾	6	26,67	3,91	13,17
1	6	33,40	4,55	19,42
1 ¼	6	42,16	4,85	26,77
1 ½	6	48,26	5,08	32,46
2	6	60,33	5,54	44,91
2 ½	6	73,03	7,01	68,48
3	6	88,80	7,62	91,64
3 ½	6	101,60	8,08	111,80
4	6	114,30	8,56	113,92
5	6	141,3	9,53	185,80
6	6	168,28	10,97	255,33
8	6	219,08	12,70	387,81
10	6	273,05	15,06	573,87
12	6	323,85	17,45	791,09
14	6	355,60	19,05	948,61
16	6	406,40	21,40	1.219,04

Sumber : pabrikrbcgivro.blogspot.com (2019)

2.2.1.7 Penentuan ketebalan pipa

Dengan standar yang sudah ditetapkan pada ketebalan dinding pipa, perhitungan untuk menghitung ketebalan dinding pipa tetap dibutuhkan. Karena dengan *schedule* yang sudah ditentukan apakah sudah tepat atau bahkan kurang dari yang dibutuhkan. Berikut rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung ketebalan dinding pipa:

$$t_m = t + c \dots\dots\dots(2.1)$$

Menentukan nilai t dengan rumus :

$$t = \frac{PD}{2(SEW+PY)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

t_m = minimum *thicknes*, termasuk pula *corrosion allowance*.

c = jumlah dari *mechanical allowance*, misalnya ulir (*thread*), kedalaman *grove* atau coakan. Dapat pula *corrosion* atau *corrosion allowace* adalah 0,5 mm.

t = *thickness* berdasarkan *pressure design*, dicari sebelum t_m

E = *quality factor* dari tabel A-1A atau A-1B pada ASME B31.3

P = *internal design gage pressure*

S = Nilai *stress* material dari tabel A-1 atau A-1M pada ASME B31.3

D = *outside* diameter

W = kekuatan sambungan lasan dari paragraf 302.5(e) pada ASME B31.3

Y = koefisien dari Tabel 304.1.1, valid untuk $t < D/6$ dan untuk materi yang ditampilkan. Nilai Y mungkin diinterpolasi untuk suhu menengah untuk $t \geq D/6$.

Dari persamaan 2.1 dan 2.2 dibutuhkan beberapa data yang dapat dilihat pada Tabel 2.5, 2.6, dan 2.7 untuk menghitung ketebalan pipa menurut standar ASME B3.13 *Process Piping*:

Tabel 2. 5 Nilai Koefisien untuk $t < D/6$

Material	Temperature, °C (°F)							
	482 (900) and Below	510 (950)	538 (1,000)	566 (1,050)	593 (1,100)	621 (1,150)	649 (1,200)	677 (1,250) and Above
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
Nickel alloys UNS Nos. N06617, N08800, N08810, and N08825	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Gray iron	0.0	...	...	...	...	...	...	...
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

Sumber : ASME B3.13 *Process Piping* (2016)

Tabel 2. 6 Tegangan Izin untuk Material *Carbon Steel*

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/ Temper	Size, in.	P-No. (5)	Notes	Specified Min. Strength, ksi			Min. Temp.		
								Min. Temp., °F (6)	Tensile	Yield	to 100	200	300
Carbon Steel													
Pipes and Tubes (2)													
A285 Gr. A	A134	...	...	...	...	1	(8b)(57)	B	45	24	15.0	14.7	14.2
A285 Gr. A	A672	A45	K01700	...	...	1	(57)(59)(67)	B	45	24	15.0	14.7	14.2
Butt weld Smls & ERW	API 5L	A25	...	...	...	1	(8a)(77)	-20	45	25	15.0	15.0	14.7
	API 5L	A25	...	...	...	1	(57)(59)(77)	B	45	25	15.0	15.0	14.7
...	A179	...	K01200	...	...	1	(57)(59)	-20	47	26	15.7	15.7	15.3
Type F	A53	A	K02504	...	...	1	(8a)	20	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A139	A	...	...	...	1	(8b)	A	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A587	...	K11500	...	...	1	(57)(59)	-20	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A53	A	K02504	...	...	1	(57)(59)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A106	A	K02501	...	...	1	(57)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A135	A	...	...	...	1	(57)(59)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A369	FPA	K02501	...	...	1	(57)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	API 5L	A	...	...	...	1	(57)(59)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
A285 Gr. B	A134	...	...	...	...	1	(8b)(57)	B	50	27	16.7	16.5	15.9
A285 Gr. B	A672	A50	K02200	...	...	1	(57)(59)(67)	B	50	27	16.7	16.5	15.9
A285 Gr. C	A134	...	...	...	...	1	(8b)(57)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A524	II	K02104	...	...	1	(57)	-20	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A333	1	K03008	...	...	1	(57)(59)	-50	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A334	1	K03008	...	...	1	(57)(59)	-50	55	30	18.3	18.3	17.7
A285 Gr. C	A671	CA55	K02801	...	...	1	(59)(67)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
A285 Gr. C	A672	A55	K02801	...	...	1	(57)(59)(67)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
A516 Gr. 55	A672	C55	K01800	...	...	1	(57)(67)	C	55	30	18.3	18.3	17.7
A516 Gr. 60	A671	CC60	K02100	...	...	1	(57)(67)	C	60	32	20.0	19.5	18.9
A515 Gr. 60	A671	CB60	K02401	...	...	1	(57)(67)	B	60	32	20.0	19.5	18.9
A515 Gr. 60	A672	B60	K02401	...	...	1	(57)(67)	B	60	32	20.0	19.5	18.9
A516 Gr. 60	A672	C60	K02100	...	...	1	(57)(67)	C	60	32	20.0	19.5	18.9
...	A139	B	K03003	...	...	1	(8b)	A	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A135	B	K03018	...	...	1	(57)(59)	B	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A524	I	K02104	...	...	1	(57)	-20	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A53	B	K03005	...	...	1	(57)(59)	B	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A106	B	K03006	...	...	1	(57)	B	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A333	6	K03006	...	...	1	(57)	-50	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A334	6	K03006	...	...	1	(57)	-50	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A369	FPB	K03006	...	...	1	(57)	-20	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A381	Y35	...	...	...	1	...	A	60	35	20.0	20.0	20.0
...	API 5L	B	...	...	...	1	(57)(59)(77)	B	60	35	20.0	20.0	20.0

Sumber : ASME B3.13 *Process Piping* (2016)

Tabel 2. 7 Tegangan Izin untuk Material *Carbon Steel* (lanjutan)

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														
Basic Allowable Stress, S, ksi, at Metal Temperature, °F [Note (1)]														
400	500	600	650	700	750	800	850	900	950	1,000	1,050	1,100	Type/ Grade	Spec. No.
														Carbon Steel Pipes and Tubes (2)
13.7	13.0	12.3	11.9	11.5	10.7	9.2	7.9	5.9	...	...	...	...	...	A134
13.7	13.0	12.3	11.9	11.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A45	A672
14.2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A25	API 5L
14.2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A25	API 5L
14.8	14.1	13.3	12.8	12.4	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	...	A179
16.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A	A53
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	A	A139
16.0	16.0	15.3	14.6	12.5	10.7	9.2	7.9	...	...	...	...	...	...	A587
16.0	16.0	15.3	14.6	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A	A53
16.0	16.0	15.3	14.6	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A	A106
16.0	16.0	15.3	14.6	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A	A135
16.0	16.0	15.3	14.6	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	FPA	A369
16.0	16.0	15.3	14.6	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A	API 5L
15.4	14.7	13.8	13.3	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	...	...	...	...	...	A134
15.4	14.7	13.8	13.3	12.5	10.7	9.2	7.9	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A50	A672
17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	...	...	...	...	...	A134
17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5	...	...	II	A524
17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	1	A333
17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	1	A334
17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	CA55	A671
17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	A55	A672
17.1	16.3	15.3	14.8	14.3	13.0	10.8	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	C55	A672
18.2	17.4	16.4	15.8	15.3	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5	...	...	CC60	A671
18.2	17.4	16.4	15.8	15.3	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	CB60	A671
18.2	17.4	16.4	15.8	15.3	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	B60	A672
18.2	17.4	16.4	15.8	15.3	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	C60	A672
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	B	A139
19.9	19.0	17.9	17.3	16.7	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5	...	...	B	A135
19.9	19.0	17.9	17.3	16.7	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5	...	...	I	A524
19.9	19.0	17.9	17.3	16.7	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	B	A53
19.9	19.0	17.9	17.3	16.7	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	B	A106
19.9	19.0	17.9	17.3	16.7	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	6	A333
19.9	19.0	17.9	17.3	16.7	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	6	A334
19.9	19.0	17.9	17.3	16.7	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	FPB	A369
19.9	19.0	17.9	17.3	16.7	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	Y35	A381
19.9	19.0	17.9	17.3	16.7	13.9	11.4	8.7	5.9	4.0	2.5	1.6	1.0	B	API 5L

Sumber : ASME B3.13 *Process Piping* (2016)

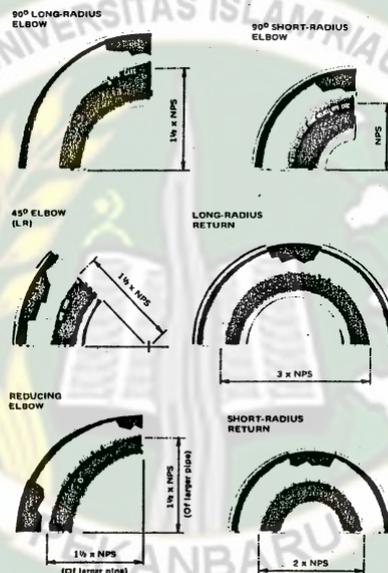
2.2.2 Fitting

Fitting adalah komponen perpipaan yang membantu dalam merubah arah aliran dari fluida yang mengalir, membagi arah aliran seperti percabangan, dan

mengubah diameter keluaran pada pipa. Adapun berbagai jenis *fitting* pipa yang digunakan dalam perpipaan antara lain :

2.2.2.1 Elbow

Elbow digunakan lebih banyak dari kelengkapan pipa lainnya. Ini memberikan fleksibilitas untuk mengubah arah pipa. Dimensi dari *elbow* ditetapkan dengan standar ASME B16.9. Ada dua *elbow* yang standar yaitu 90° dan 45° . *Elbow* tersedia dalam dua tipe radius, *short radius* (1D) dan *long radius* (1.5D). Jenis-jenis *elbow* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 *Fitting Elbow*
Sumber : David R Sherwood (2009)

2.2.2.2 Pipe Tee

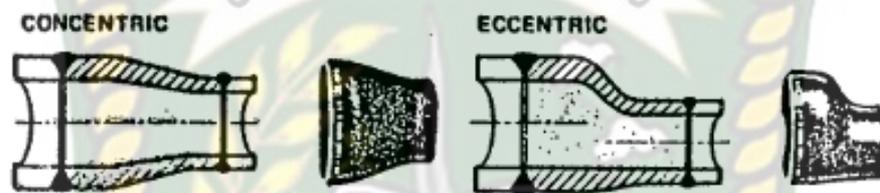
Tee merupakan komponen yang digunakan untuk mendistribusikan fluida dengan tiga cabang penghubung atau lebih. *Tee* dapat digambarkan seperti persimpangan pada sebuah jalan. Ada dua tipe *tee* yang digunakan adalah *straight/equal* dan *reducing tee* dan dimensi *tee* ditetapkan oleh standar ASME B16.9. Dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 *Fitting Tee*
Sumber : Patel (2017)

2.2.2.3 Pipe reducer

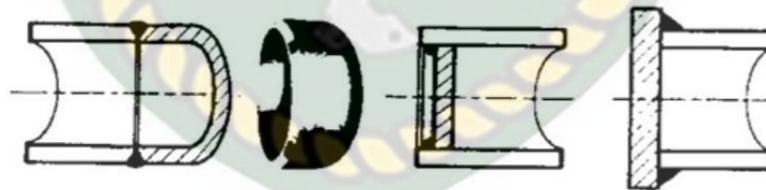
Reducer adalah sejenis *fitting* pipa yang digunakan dalam proses perpipaan yang fungsinya mengurangi ukuran diameter pipa dari yang besar ke yang lebih kecil, dalam hal ini diameter yang dihitung berdasarkan diameter dalam *reducer*. *Reducer* memungkinkan perubahan ukuran pipa untuk memenuhi persyaratan aliran hidraulik sistem, atau untuk menyesuaikan dengan perpipaan yang ada dengan ukuran berbeda. Panjang pengurangan biasanya sama dengan rata-rata diameter pipa yang lebih besar dan lebih kecil. Ada dua jenis *reducer* yaitu *concentric reducers* dan *eccentric reducers*. Bisa dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 *Concentric* dan *Eccentric Reducer*
Sumber : Patel (2017)

2.2.2.4 Cap

Cap merupakan salah satu komponen perpipaan yang posisinya berada pada ujung dari pipa yang berguna untuk menghentikan aliran dari fluida. Dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 *Cap*
Sumber : David R Sherwood (2017)

2.2.3 Flanges

Flange merupakan salah satu metode lain untuk melakukan penyambungan pipa selain dengan cara pengelasan. *Flange* terutama digunakan pada katup dan peralatan khusus. Beberapa tipe *flange* berdasarkan *facing type*-nya seperti FF (*flat face*), RF (*raised face*), RTJ (*ring joint*), T&G (*tongue and groove*), *male and female*. Ada dua kategori dimensi dari *flange* ditetapkan oleh standar ASME

berdasarkan NPS-nya yaitu, ASME B16.5 *pipe flanges* dan *flanged fittings* NPS ½ in hingga 24 in, ASME B16.47 untuk flange baja berdiameter besar dengan NPS 26 in hingga 60 in.

Berdasarkan material dari *flange*, *flange* ini biasanya ditempa tetapi ada pada beberapa kasus *flange* dibuat dari pelat tetapi pelat harus memenuhi kualitas yang dapat dilas. Pada standar ASME B16.5 hanya jenis *reducing flange* dan *blind flange* yang dibuat dari pelat. Bahan konstruksi yang biasa digunakan pada *flange* adalah ASTM A105 *Forged Carbon Steel*, ASTM A181 *Forged Carbon Steel for General Purpose*, ASTM A182 *Forged Alloy Steel and Stainless Steel*, ASTM A350 *Forged Alloy for Low Temperature Service*. Ada beberapa jenis-jenis dari flange dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Jenis-jenis *Flange*
Sumber : Wermac.org (2018)

Dari jenis-jenis *flange* pada Gambar 2.11 di atas, jenis *Slip-On Flange* dan *Blind Flange* lebih banyak digunakan pada PT Patria Maritim Perkasa karena pengaplikasiannya pada tekanan dan suhu serta biaya yang sudah sesuai dengan sistem perpipaannya.

2.2.4 Katup (Valve)

Secara umum katup adalah alat yang digunakan untuk mengatur, mengontrol, dan mengarahkan aliran fluida dengan membuka dan menutup atau menghalangi aliran fluida. Definisi secara sederhananya katup merupakan perangkat mekanis yang mengontrol aliran dan tekanan fluida dalam suatu sistem atau proses.

Dalam suatu sistem perpipaan pemilihan material sangatlah penting salah satunya untuk meminimalisir biaya, sebagai contoh memilih *ball valve* yang di atasnya ada *butterfly valve* yang memiliki fungsi yang sama maka akan membuat biaya yang dikeluarkan lebih mahal. Maka dari itu pada penelitian ini katup yang

umum digunakan adalah *ball valve* selain dari segi biaya, katup jenis ini cocok digunakan pada sistem udara bertekanan. Adapun jenis-jenis katup lainnya dapat dilihat pada Gambar 2.12.

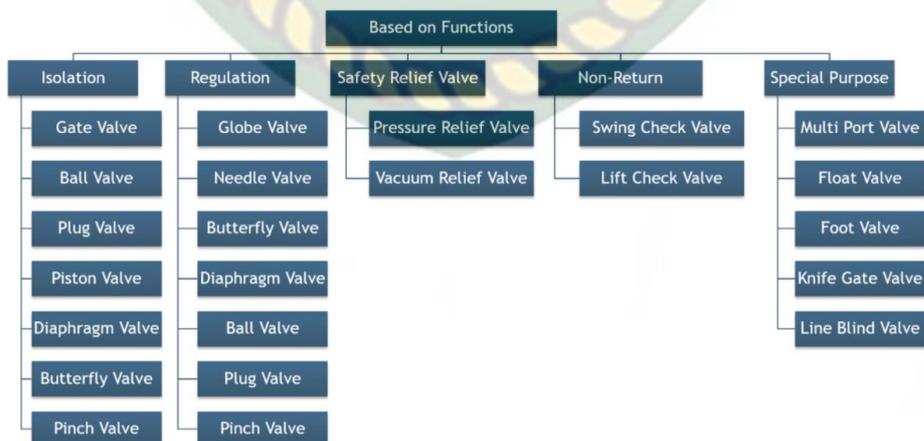


Gambar 2. 12 Jenis-jenis Katup
Sumber : theprocesspiping.com (2018)

Dari jenis-jenis katup pada Gambar 2.12, katup juga memiliki berbagai klasifikasi. Katup memiliki bagian-bagian yang berbeda baik itu secara fungsinya maupun secara fisik. Dapat diketahui klasifikasi dari katup sebagai berikut:

1. Klasifikasi berdasarkan fungsi

Selain fungsi utamanya sebagai mengatur, mengontrol fluida katup juga memiliki klasifikasi lain berdasarkan fungsi dari berbagai jenis yang telah disebutkan tadi, bisa dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Klasifikasi Katup Berdasarkan Fungsi
Sumber : Patel (2017)

2. Klasifikasi katup berdasarkan koneksi ujung

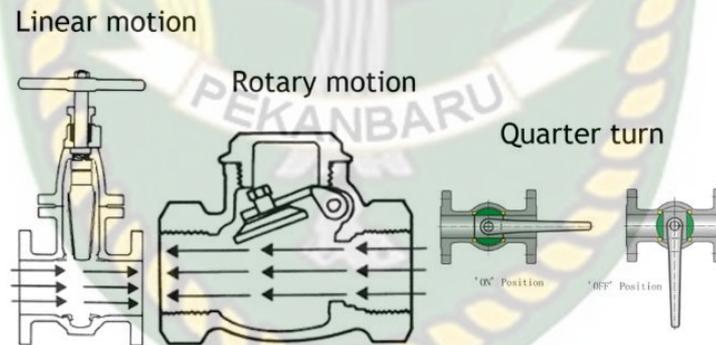
Pada koneksi ujung katup beragam jenis seperti berbentuk ulir, las, dan *flange*. Mayoritas perusahaan banyak menggunakan koneksi ujung dengan menggunakan *flange*. Seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Klasifikasi Katup Berdasarkan Koneksi Ujung
Sumber : Patel (2017)

3. Klasifikasi berdasarkan cara membuka dan menutup katup

Ada tiga acara yang digunakan untuk membuka dan menutup katup yaitu *linear motion*, *rotary motion*, dan *quarter turn*. Gambar 2.15 dari jenis-jenis yang sudah disebutkan.



Gambar 2. 15 Klasifikasi Katup Berdasarkan Cara Membuka dan Menutup
Sumber : Patel (2017)

Dari berbagai jenis-jenis katup yang telah ada, cara membuka dan menutup katup-katup tersebut memiliki perbedaan. Adapaun cara membuka dan menutup katup pada jenis-jenis katup yang sudah ada dapat dilihat pada Tabel 2.8.

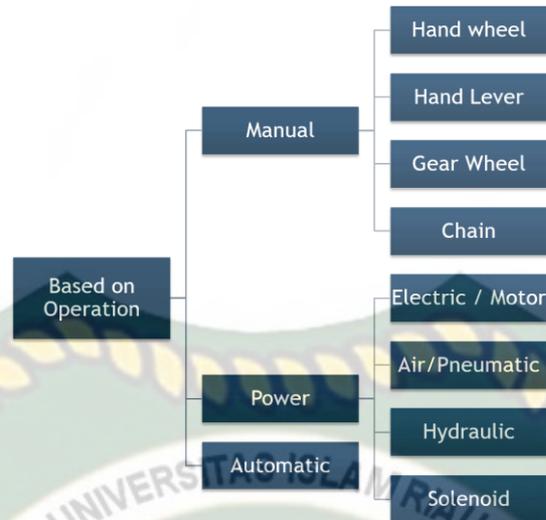
Tabel 2. 8 Klasifikasi Cara Membuka dan Menutup Katup

Valve type	Linear motion	Rotary motion	Quarter turn
Gate valve	X		
Globe valve	X		
Swing check valve		X	
Lift check valve	X		
Tilting-disc check valve		X	
Folding-disc check valve		X	
In-line check valve	X		
Stop check valve	X	X	
Ball valve		X	X
Pinch valve	X		
Butterfly valve		X	X
Plug valve		X	X
Diaphragm valve	X		
Safety valve	X		
Relief valve	X		

Sumber : Patel (2017)

4. Klasifikasi katup berdasarkan aktuator

Katup memiliki aktuator yang digunakan untuk mentransfer gerakan sehingga katup dapat dioperasikan. Ada berbagai cara untuk mengoperasikan katup yaitu dengan cara bantuan tangan, tuas, rantai, dan dengan roda gigi yang dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 Klasifikasi Katup Berdasarkan Aktuator
Sumber : Patel (2017)

2.2.5 Gasket

Gasket merupakan suatu bahan yang digunakan sebagai segel yang ditempatkan di antara *flange*. Fungsi utama dari gasket adalah untuk mencegah kebocoran di semua kondisi pengoperasian. Ada tiga tipe material gasket yaitu non metal, metal, dan komposit. Pembagian material gasket bisa dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Material Gasket

Non-Metallic	Metallic – Ring Gasket	Composite
Compressed Non-Asbestos Fibre Gasket (CNAF)	Oval Ring Gasket	Spiral Wound Gaskets
PTFE Gasket	Octagonal Ring Gasket	Camprofile Gaskets
Rubber Gasket		Metal Jacketed Gasket

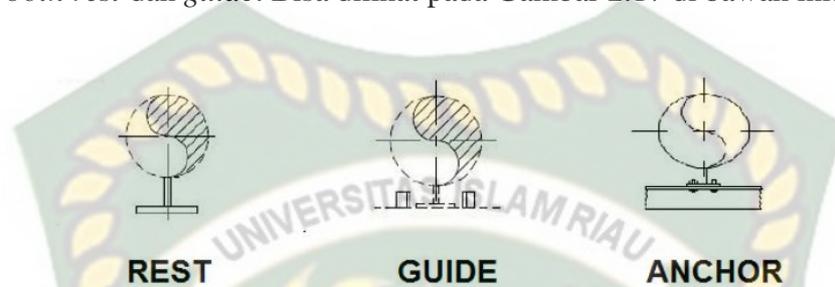
Sumber: Patel (2017)

2.2.6 Support (Penyangga)

Pipe support atau penyangga pipa adalah suatu elemen yang dirancang untuk mentransfer beban dari pipa ke struktur pendukung. Beban tersebut meliputi berat pipa, fluida dalam pipa, kelengkapan yang terpasang pada pipa, dan penutup pipa. Ada empat fungsi utama dari *pipe support* adalah menjangkar, mengarahkan, meredam guncangan, dan menopang beban tertentu. Ada beberapa tipe *support* sebagai berikut:

2.2.6.1 Rigid support

Fungsi utama dari support tipe ini adalah untuk membatasi pergerakan pipa ke arah tertentu tanpa membatasi fleksibilitas dari pipa tersebut. Ada empat jenis fungsi utama dari *rigid support* yaitu *anchor* atau 3D *stop*, *rest* atau *sliding support*, *guide*, *both rest* dan *guide*. Bisa dilihat pada Gambar 2.17 di bawah ini:



Gambar 2. 17 Fungsi Utama *Rigid Support*
Sumber : theprocesspiping.com (2018)

2.2.6.2 Spring support

Support jenis ini digunakan untuk beban yang terjadi secara simultan, dengan penyangga yang berbentuk pegas. Jenis ini secara luas diklasifikasikan menjadi dua yaitu *variable effort support* dan *constant effort support*.

2.2.6.3 Penentuan lokasi *support*

Lokasi penempatan *support* memiliki banyak pertimbangan seperti ukuran pipa, konfigurasi perpipaan, lokasi katup dan *fitting*. Ada jarak peletakan *support* yang disarankan seperti pada Tabel 2.10 di bawah ini:

Tabel 2. 10 *Suggested Piping Support Spacing (maximum span)*

NPS (DN)	Suggested maximum span, ft (m)	
	Water service	Steam, gas, or air service
1 (25)	7 (2.13)	9 (2.74)
2 (50)	10 (3.05)	13 (3.96)
3 (80)	12 (3.66)	15 (4.57)
4 (100)	14 (4.27)	17 (5.18)
6 (150)	17 (5.18)	21 (6.40)
8 (200)	19 (5.79)	24 (7.32)
12 (300)	23 (7.01)	30 (9.14)
16 (400)	27 (8.23)	35 (10.7)
20 (500)	30 (9.14)	39 (11.9)
24 (600)	32 (9.75)	42 (12.8)

Sumber: Nayyar (2000)

2.2.6.4 Referensi kode dan standar pada *support*

Beberapa standar *support* yang digunakan pada Amerika standar adalah sebagai berikut:

1. MSS SP-58, *Materials and Design of Pipe Supports*
2. MSS SP-69, *Selection and Application of Pipe Supports*
3. MSS SP-89, *Fabrication and Installation of Pipe Supports*
4. PFI ES-26, *Welded Load Bearing Attachments to Pressure Retaining Boundaries*
5. WRC *Bulletin* 198
6. NFPA (*National Fire Protection Association*)
7. AWS (*American Welding Society*)
8. AISC (*American Institute of Steel Construction*)

2.3 Analisis Tegangan Pipa

Analisa tegangan pipa adalah disiplin ilmu yang sangat terkait dengan tata letak perpipaan dan desain penyangga pipa (*pipe support*). Tata letak perpipaan harus dilakukan dengan mempertimbangkan persyaratan seperti cukupnya eksibilitas untuk ekspansi termal, desain *route* yang tepat sehingga sederhana dan penyangga pipa yang ekonomis dapat dibangun, bahan pipa dan bagian properti yang sepadan dengan layanan yang dimaksudkan, suhu, tekanan, dan pemuatan yang diantisipasi. Jika perlu, solusi tata letak harus diulangi sampai tercapai keseimbangan antara tekanan dan efisiensi tata letak tercapai (Mohinder Nayyar, 2000: B.109).

2.4 Teori Tegangan dan Regangan

Suatu gaya yang diberikan atau yang bekerja terhadap benda yang memiliki luas penampang disebut tegangan. Dari benda yang diberikan gaya tadi maka akan terjadi perubahan bentuk atau bertambah panjangnya benda dan itu disebut regangan. Adapun rumus tegangan dan regangan bisa dilihat pada persamaan 2.3, 2.4.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

σ : Tegangan (Pa)

ε : Regangan

F : Gaya (N)

ΔL : Pertambahan Panjang (m)

A : Luas Penampang (m²)

L : Panjang Awal (m)

2.5 Tegangan Dalam Pipa

Dalam suatu sistem peripaan lumrah terjadinya tegangan akibat beban-beban yang berlaku dan tiga kategori tegangan pada pipa, yaitu *primary stress* (respon pada beban statis dan dinamis), *secondary stress* (pemindahan tumpuan), *peak stress* (kegagalan kelelahan) (Nayyar, 2000). Untuk pengelompokannya tegangan yang terjadi pada pipa ada dua, antara lain tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*shear stress*) (Chamsudi, 2005).

2.5.1 Tegangan Normal

Intensitas gaya yang bekerja secara normal pada luas permukaan didefinisikan sebagai tegangan normal (Hibbeler, 2014). Tegangan normal dikelompokkan menjadi tiga kategori, antara lain:

2.5.1.1 Tegangan Longitudinal

Arah yang sejajar dengan sumbu pipa disebut arah longitudinal, tegangan yang terjadi pada arah longitudinal disebut Tegangan Longitudinal (S_L). Ada tiga jenis tegangan yang jika ditambahkan maka hasilnya merupakan tegangan longitudinal, yaitu tegangan aksial (*axial stress*), tegangan tekuk (*bending stress*), dan tegangan tekanan (*pressure stress*).

1. **Tegangan aksial (σ_{ax})** merupakan tegangan yang dihasilkan oleh gaya aksial F_{ax} yang sejajar terhadap sumbu pipa dan pada bagian ujung (Chamsudi, 2005). Menghitung nilai dari tegangan aksial dapat dilihat pada Persamaan 2.5 dan Gambar 2.18.

$$\sigma_{ax} = \frac{F_{ax}}{A_m} = \frac{F_{ax}}{\pi \cdot d_m \cdot t} = \frac{F_{ax}}{\frac{\pi (d_i + d_o)}{2} \cdot t} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

F_{ax} : Gaya dalam aksia, in²

d_i : Diameter dalam pipa, in

A_m : Luas area *cross section* pipa, in^2 d_0 : Diameter luar pipa, in
 d_m : Diameter rata-rata pipa, $(\frac{d_i+d_0}{2})$ P : *Pressure*, psi



Gambar 2. 18 Tegangan Longitudinal
 Sumber : Pridyatama (2014)

2. **Tegangan Tekuk (σ_b)** disebut jika suatu benda tidak dapat mempertahankan bentuk aslinya yang diakibatkan oleh momen (M) pada ujung pipa. Tegangan yang terjadi pada permukaan pipa disebut tegangan tekuk maksimum sedangkan tegangan yang terjadi pada sumbu pipa disebut tegangan tekuk minimum (Kannappan, 1986). Nilai dari tegangan tekuk dapat dicari dengan Persamaan 2.6, 2.7, 2.8, dan 2.9. Contoh tegangan tekuk dapat dilihat pada Gambar 2.19.

$$\sigma_b = \frac{M_b \cdot c}{I} = \frac{M_b \cdot R_0}{I} = \frac{M_b}{Z} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

I : Momen inersia penampang, in^4 ; $I = \pi(d_o^4 - d_i^4)/64 \dots\dots\dots(2.7)$

M_b : Momen *bending*, in-lb ; $M \frac{W \cdot L^2}{10} \dots\dots\dots(2.8)$

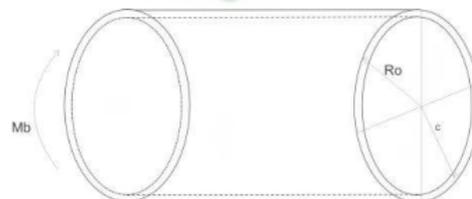
c : Jarak dari netral *axis*, in

Tegangan paling besar jika $c = R_0$, dan Z diperoleh dari:

$$Z = \frac{I}{R_0} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

Z : Modulus permukaan, in^3 R_0 = Radius luar pipa, in



Gambar 2. 19 Tegangan Tekuk
 Sumber : Pridyatama (2014)

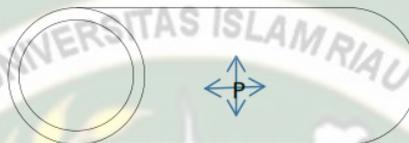
3. **Tegangan Tekan (σ_p)** adalah suatu tegangan yang terjadi di dalam pipa akibat gaya tekan (P) yang bekerja pada dinding pipa dan searah sumbu

pipa (Kannappan, 1986). Dapat dilihat pada Persamaan 2.10 dan Gambar 2.20.

$$\sigma_p = \frac{P \cdot A_i}{A_m} = \frac{P \cdot d_i^2}{4 \cdot t \cdot d_m} = \frac{P \cdot d_o}{4t} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

P : Gaya tekan *internal*, psi Do : Diameter *outside*, in
 di : Diameter *inside*, in dm : Diameter rata-rata, in
 Am : Luas penampang pipa, in² t : Tebal pipa, in



Gambar 2. 20 Tegangan Tekan
 Sumber : Pridyatama (2014)

Berdasarkan definisi dari tegangan longitudinal bahwa tegangan longitudinal merupakan penjumlahan dari tiga kategori tegangan yaitu tegangan aksial, tegangan tekuk, dan tegangan tekan. Maka didapatkan persamaan dari tegangan longitudinal yang bekerja pada suatu sistem perpipaan sebagai berikut (Chamsudi, 2005).

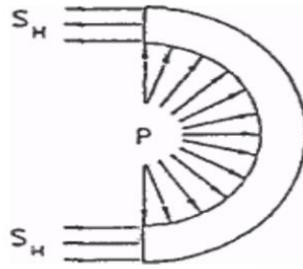
$$S_L = \frac{M_b}{Z} + \frac{F_{ax}}{A_m} + \frac{P \cdot d_o}{4 \cdot t} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

Mb : Momen bending pada *cross section*, in-lb P : *design pressure*, psig
 Z : Modulus permukaan, in³ do : *outside diameter*, in
 Fax : Gaya dalam aksial, in²
 Am : Luas area *cross section* pipa, in²
 t : *pressure design thickness*, psi

2.5.1.2 Tegangan tangensial (*Hoop stress*)

Tekanan internal yang bekerja secara melingkar atau tangensial dan bergantung pada tebal dinding pipa yang bervariasi tekanan itu berkerja (Chamsudi, 2005). Contoh gaya *hoop stress* dapat dilihat pada Gambar 2.21



Gambar 2. 21 Hoop Stress
Sumber : Chamsudi (2005)

2.5.1.3 Tegangan radial

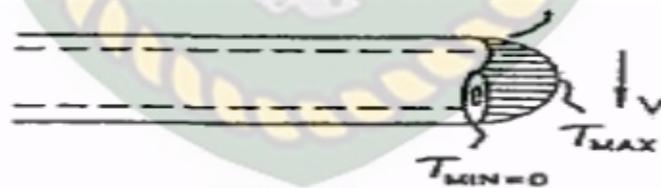
Tegangan adalah tegangan yang bekerja pada dalam arah radial pipa atau jari-jari pipa. Tegangan ini bervariasi dari dalam pipa ke permukaan luarnya (Chamsudi, 2005).

2.5.2 Tegangan Geser

Intensitas gaya yang bersinggungan dengan luas permukaan didefinisikan sebagai tegangan geser (Hibbeler, 2014). Ada dua kategori yang mengakibatkan tegangan geser itu terjadi yaitu akibat gaya geser dan akibat momen puntir

2.5.2.1 Akibat gaya geser V

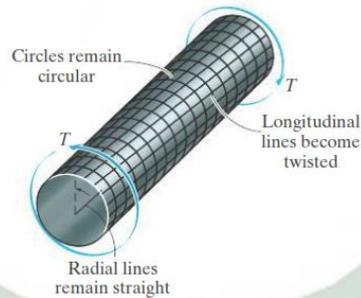
Tegangan akibat gaya geser ini bekerja ke arah penampang pipa yang bisa dijelaskan pada Gambar 2.22 di bawah ini:



Gambar 2. 22 Tegangan Akibat Gaya Geser V
Sumber : Chamsudi (2005)

2.5.2.2 Akibat momen puntir

Momen puntir adalah momen yang cenderung memelintir benda mengenai sumbu longitudinalnya. Untuk ilustrasinya bisa kita lihat pada Gambar 2.23 mengenai momen puntir tersebut (Hibbeler, 2014).



Gambar 2. 23 Momen Puntir
Sumber : Hibbeler (2014)

2.6 Klasifikasi Beban

Beban primer yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu mengenai beban statik dan dinamik pada pipa dapat dibagi menjadi dua kategori berdasarkan lamanya pembebanan. Kategori pertama adalah *sustained loads*, beban ini diperkirakan akan terus ada pada operasi pabrik yang normal. Tipikal dari *sustained loads* adalah tekanan dan berat beban pada saat pengoperasian tetap dalam kondisi normal. Kategori kedua adalah *occasional loads*, beban ini hadir pada interval yang jarang selama pengoperasian pada pembangkit listrik. Contoh dari *occasional loads* adalah gempa bumi, angin, dan pelepasan *relief valve*. Selain beban primer ada juga beban ekspansi, yaitu tegangan yang terjadi akibat ada penurunan atau kenaikan suhu sehingga terjadi kebocoran pada sambungan, *vessel*, dll (Nayyar, 2000).

2.7 Analisis Berdasarkan Standar ASME B31.3

Dalam penelitian ini dilakukan analisis dengan menggunakan standar ASME B31.3 (*Process Plant*) pada *Facility Plant Air Compressor System* untuk kegunaan seperti *blasting-painting*, *welding*, *air test tank*, dll. Dengan menggunakan standar ini dapat diketahui nilai aktual terhadap batasan yang diijinkan pada beban-beban yang berlaku yang akan dijelaskan pada poin berikut ini:

2.7.1 Beban *Sustain (Sustained Loads)*

Beban *sustain* merupakan beban statik yang muncul terus-menerus dan berkesinambungan selama sistem beroperasi akibat berat pipa, berat fluida, tekanan dalam pipa, tekanan dari luar pipa, dll. Kombinasi dari tegangan longitudinal (S_L) akibat tekanan internal, dan beban berat tidak boleh melebihi *basic allowable stress*

(S_h), $S_L < S_h$ (Manurung & Syam, 2013). Adapun persamaan yang menentukan batas aman untuk tegangan ini sebagai berikut:

$$S_L = \frac{F}{A_m} + \frac{\sqrt{(i_i \cdot M_i)^2 + (i_o \cdot M_o)^2}}{Z} + \frac{P \cdot D_o}{4 \cdot t} \leq S_h \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

- S_L : Tegangan longitudinal, kPa S_h : *Basic allowable stress* pada suhu operasi, kPa
 A_m : Luas penampang pipa, mm^2
 i_i : *in-plane* SIF t : Tebal dinding pipa, mm
 i_o : *out-plane* SIF
 M_i : Momen lendutan *in-plane* karena *sustained load*, Nm
 M_o : Momen lendutan *out-plane* karena *sustained load*, Nm
 P : Tekanan internal, kPa
 D_o : Diameter luar pipa, m

2.7.2 Beban Ekspansi (*Expansion Loads*)

Beban ini juga termasuk beban statik yang menyebabkan tegangan yang disebabkan oleh beban termal akibat pembatasan gerak oleh tumpuan (*support*) (Lazuardi, 2018). Batas tegangan ijin pada beban ekspansi lebih besar dari pada beban *sustain*, hal ini dikarenakan perbedaan sifat tegangan yang dihasilkan oleh kedua kasus pembebanan. Limitasi pada beban ini adalah $S_E < S_A$ (Reddy, Muruva, & Verma, 2019). Dapat dilihat pada Persamaan 2.13, 2.14, 2.15 untuk mengetahui batas aman dari beban ekspansi.

$$S_E = \sqrt{S_b^2 + 4 \cdot S_t^2} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(i_i \cdot M_i)^2 + (i_o \cdot M_o)^2}}{Z} \dots \dots \dots (2.14)$$

$$S_A = f(1,25S_c + 0,25S_h) \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan :

- S_E : *Displacement stress range*, kPa M_i : *In-plane bending moment*, Nm
 S_A : *Allowable stress*, kPa M_o : *Out-plane bending moment*, Nm
 S_b : *Resultan bending stress*, kPa S_t : $M_t/2 \cdot Z =$ *Torsional stress*, kPa
 i_i : *in-plane* SIF M_t : *Torsional moment*, Nm
 i_o : *out-plane* SIF Z : *Section modulus* pipa, m^3

f : Faktor yang tergantung pada jumlah siklus termal yang dialami pada pipa tersebut.

S_c : *Stress* yang diijinkan untuk bahan pipa saat pemasangan, kPa

S_h : *Stress* yang diijinkan untuk bahan pipa saat beroperasi, kPa

Adapun nilai f dan siklus termal pada pipa (N) = 1 per hari untuk daerah tropis dan perbaris merupakan akumulasi untuk 19 tahun desain sistem perpipaan dan berlaku kelipatan untuk baris selanjutnya (Usman, 2018). Nilai dari siklus termal pada pipa bisa kita lihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Siklus Termal pada Pipa

Siklus Termal (N)	f
< 7000	1
7000 < N < 14000	0,9
14000 < N < 22000	0,8
22000 < N < 45000	0,7
45000 < N < 100000	0,6
N > 100000	0,5

Sumber : Usman (2018)

2.8 Definisi CAESAR II 2019

CAESAR II 2019 adalah *software* analisis tegangan pipa lengkap yang memungkinkan analisis cepat dan akurat dari sistem perpipaan yang mengalami berat, tekanan, termal, seismik, dan beban statis serta dinamis. *Software* ini dapat menganalisis sistem perpipaan dengan ukuran atau kompleksitas apapun. *Software CAESAR II 2019* ini unik, menggabungkan metode perhitungan dan opsi analisis yang tidak ditemukan dalam program lain. Apakah merancang suatu sistem perpipaan baru atau melakukan penyelesaian masalah pada sistem perpipaan yang sudah ada, *CAESAR II 2019* menghasilkan hasil yang sepenuhnya menggambarkan perilaku sistem berdasarkan pedoman dan batas desain dari standar industri yang diterima (Reegan, 2015).

Dengan *CAESAR II 2019*, seorang peneliti dapat melakukan banyak hal dengan waktu yang lebih singkat dan dengan lebih sedikit kemungkinan kesalahan terjadi. Laporan *output* dari *software* dapat dibuat untuk menampilkan data apapun untuk setiap *loadcase*. *CAESAR II 2019* menyediakan empat mode representasi grafis. Modul tambahan *CAESAR II 2019* mengevaluasi peralatan, kapal, dan pembatas

yang terpasang. Bentuk dan hasil program lainnya mudah ditinjau secara grafis. Secara teknis *software CAESAR II 2019* yang luas dan fleksibel mencakup lebih banyak opsi dan kemampuan teknis yang lebih dari perangkat lunak kompetitif lainnya, dan peneliti dapat menyesuaikan program sesuai dengan kebutuhan (Reegan, 2015).

Penggunaan *software CAESAR II 2019* pada penelitian ini memiliki keunggulan berupa sistem yang memiliki update-an terbaru salah satunya yang digunakan pada penelitian ini adalah penentuan standar ASME B31.3 *Process Plant* dengan menggunakan standar ASME B31.3 2018, dibandingkan dengan CAESAR II 2018 yang menggunakan standar ASME B31.3 2016.

2.9 Proyek *Upgrading Facility Plant*

Sistem udara bertekanan memiliki peran penting dalam proses pembangunan kapal, seperti kegiatan *goughing*, *air test tank*, *blowing*, *blasting-painting*, *airbag* untuk *launching*, dll. PT Patria Maritim Perkasa saat ini memiliki kebutuhan udara bertekanan seperti contoh-contoh yang disebutkan tadi. PT Patria Maritim Perkasa memiliki 2 unit kompresor yang masih dalam perbaikan karena ada permasalahan pada sistem mekaniknya (*screw*). Sehingga untuk menunjang kebutuhan operasional, kekurangan *supply* ditanggualangi dengan cara rental unit kompresor. Untuk mengurangi pengeluaran pada biaya rental PEF (*Production Engineer and Facility*) departemen mengajukan untuk *upgrading system* dengan nama proyeknya sekarang adalah *Proyek Upgrading Facility Plant*. *Proyek Upgrading Facility Plant* salah satunya adalah untuk menunjang kebutuhan produksi pipa yaitu *blasting-painting*.

Pada penelitian ini menganalisa tegangan sistem perpipaan pada 2 jalur yang berbeda yaitu, jalur pipa kebutuhan *blasting-painting* dan jalur pipa *CNC plasma cutting*. Pada jalur pipa *blasting-painting* terletak pada bagian kanan *shipyard* dengan dua arah pipa yang berlawanan yaitu, arah *Port* (Pelabuhan) dan arah *shelter* (Penampungan) bagian ini dapat dilihat pada *blue print yard* di Lampiran. Pada jalur pipa untuk kebutuhan *CNC plasma cutting* terletak pada bagian depan *shipyard* yang mana kompresornya *portable* dengan jalur pipa yang tidak begitu panjang yang digunakan untuk memotong plat yang telah diberi kontur garis *marking*.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

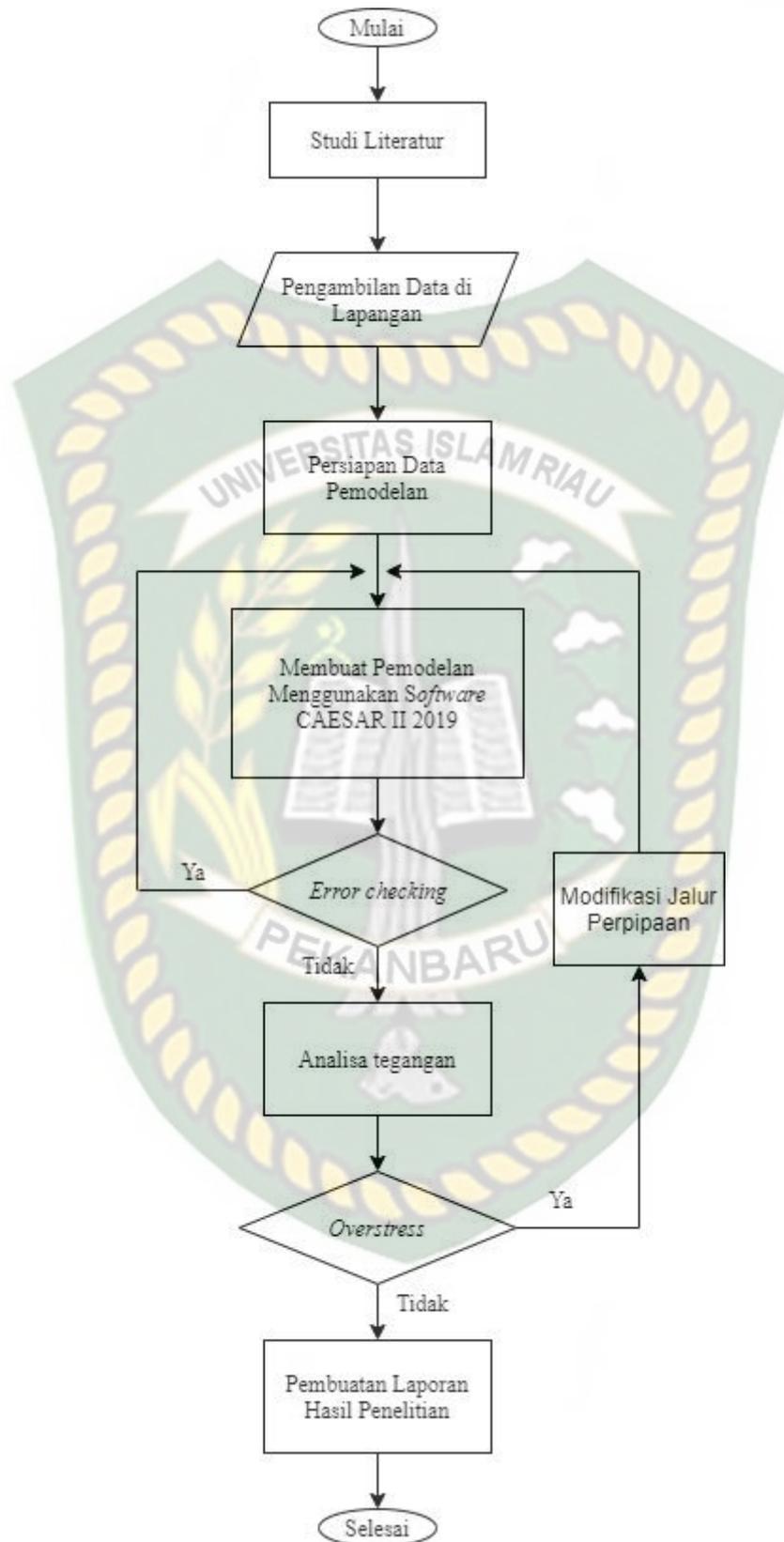
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian serta pengambilan data ini dilakukan di PT. Patria Maritim Perkasa yang beralamat di Jalan Sei Binti No.20, Sungai Lekop, Kec. Sagulung, Kota Batam, Kepulauan Riau 29432. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yang menjelaskan waktu pelaksanaan dibuat dalam bentuk *ghant chart* di bawah ini:

No	Jenis Kegiatan	September				Oktober				November				Desember			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Penulisan Proposal	■	■	■	■												
2	Seminar Proposal					■	■										
3	Persiapan Pengambilan Data					■	■	■									
4	Pengambilan Data							■									
5	Pembuatan Desain dan Analisis								■	■	■	■					
6	Penulisan Laporan									■	■	■	■				
7	Seminar Hasil													■	■		

3.2 Diagram Alir Proses Penelitian

Dalam proses penyelesaian penelitian pada Tugas Akhir ini metode yang digunakan adalah analisis dalam permasalahan tegangan pada sistem perpipaan dan selanjutnya akan dilakukan pengamatan untuk mendapatkan data-data dan dibuat pemodelan dari jalur pipa isometriknya dengan menggunakan *software CAESAR II 2019*. Ada beberapa tahapan yang dilakukan dan bisa kita lihat pada Gambar diagram alir 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini dilakukan ketika mengerjakan proyek *upgrade facility plant* perusahaan di PT. Patris Maritim Perkasa. Adapun data yang diperoleh pada penelitian ini dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pengamatan

Melakukan pengamatan pada tata letak perpipaan yang sudah ada dan tata letak perpipaan yang akan dilakukan penambahan.

2. Wawancara berstruktur

Tahap ini dilakukan peneliti dengan mengajukan permohonan untuk mendapatkan data berupa diagram skematik tata letak sistem perpipaan, spesifikasi, dan data material.

3.4 Persiapan Pemodelan

Adapun data yang diperoleh pada saat pengumpulan data berguna untuk membuat pemodelan pada sistem perpipaan dengan menggunakan beberapa *software*. Adapun tahapan persiapan pemodelan sebagai berikut:

3.4.1 Software yang Digunakan

Dalam pembuatan pemodelan sistem perpipaan ini dibutuhkan *software* yang mendukung, antara lain seperti :

1. *CAESAR II 2019* untuk melakukan pemodelan isometric dan analisis pada sistem perpipaan.
2. *AutoCAD* untuk pembuatan skematik sistem perpipaan dan *blue print yard* PT Patria Maritim Perkasa (dapat dilihat pada Lampiran 1)
3. *PipeData-PRO* sebagai database komponen pada sistem perpipaan.

3.4.2 Standar dan Kode yang Digunakan

Dalam penelitian ini dilakukan analisis yang mengacu pada standar dan kode yang telah ditetapkan yaitu standar ASME B31.3, yang mana mengatur tentang *Process Plant* pada suatu perusahaan. Berdasarkan standar yang ditetapkan ASME B31.3 dengan nilai tegangan yang diijinkan dilakukan perbandingan dengan tegangan yang dihasilkan pada analisa *software* yang dipengaruhi oleh beban

sustain dan ekspansi. Perbandingan ini digunakan dengan syarat $S_L < S_h$ (beban sustain) dan $S_E < S_A$ (beban ekspansi) dari nilai hasil tegangan yang diperoleh bisa dibuktikan dengan perhitungan manual menggunakan persamaan 2.12 , 2.13, 2.14, 2.15.

3.5 Data-data Untuk Pemodelan

Persiapan data pemodelan merupakan tahap mendesain jalur perpipaan dengan membutuhkan data-data di lapangan yang selanjutnya akan dilakukan analisa. Data yang diperoleh di PT Patria Maritim Perkasa seperti klasifikasi material yang akan digunakan pada desain, tabel *spreadsheet* geometri jalur perpipaan, dan data properti pada jalur perpipaan yang akan dijelaskan pada poin-poin berikut ini:

3.5.1 Data Spesifikasi Material

Data material yang digunakan meliputi karakteristik bahan dari material dan *rating*. Bahan seperti apa yang akan digunakan pada jalur perpipaan *Air Compressor* yang sesuai dengan kebutuhan dan standarnya. Data yang digunakan untuk kebutuhan desain dari klasifikasi material berupa jenis material, nominal *size*, ketebalan, dan *rating* dari komponen *flange*. Data yang diperoleh dari PT Patria Maritim Perkasa berupa material apa saja yang digunakan dalam jalur perpipaan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Tabel Data Spesifikasi Material

Pipe						*NOTE 1. PE (Plain ends) adalah bagian ujung pipa biasa digunakan dengan sambungan las tipe soket 2.SO-RF adalah singkatan dari Slip On-Raised Face artinya flange jenis Slip On-dengan sambungan Raised Face 3. ASTM (American Standard Testing and Material) adalah organisasi standarisasi teknik.
Nominal Size	Material	Product	End	Wall Thick	Reference To	
1"	ASTM A 53 Grade B	Seamless	*PE	Sch 40	ASME B36.10	
1 1/2"				Sch 40		
2"				Sch 80		
4"				Sch 80		
Flange						
Nominal Size	Material	Rating	Type Face	Thick	Reference To	
1"	ASTM	#150	*SO-RF	-	ASME B16.5	
1 1/2"						
2"						
4"						
Ball Valve						
Nominal Size	Material	Rating	End	Thick	Reference To	
1"	Stainless Steel	#150	RF	-	ASME B16.10	
1 1/2"						
2"						
4"						
Reducer						
Nominal Size	Material	Type	Type Face	Thick	Reference To	
2" x 1"	ASTM A 53 Grade B	-	Concentric Reducer	Sch 80	ASME B16.9	
4" x 2"						

Sumber : PT Patria Maritim Perkasa (2020)

3.5.2 Tabel Spreadsheet

Tabel *spreadsheet* merupakan *spreadsheet* data geometri dari jalur perpipaan yang akan diinput ke *software* sehingga dikonversikan menjadi visual desain isometri pada jalur perpipaan. Data geometri jalur pipa dapat dilihat pada Tabel *spreadsheet* jalur pipa *blasting-painting* dan jalur pipa *CNC plasma cutting* yang diletakkan di Lampiran 2. Data geometri dari pipa yang akan didesain ada dua dan dua jalur inilah yang akan dianalisa. Dua jalur yang akan didesain dan analisa antara lain:

1. Jalur pipa untuk kebutuhan *blasting-painting*

Proses ini merupakan proses *finishing* dari pembuatan kapal baik itu *barge* ataupun *tugboat*. Pada proses ini dibutuhkan tekanan kerja sebesar 8 bar dengan tekanan desain sebesar 10 bar.

2. Jalur pipa untuk kebutuhan *CNC plasma cutting*

Proses ini merupakan proses persiapan bahan dengan memotong pelat baja untuk pembuatan kapal menggunakan tekanan kerja sebesar 2 bar dengan tekanan desain sebesar 10 bar.

Dari kedua jalur diatas sudah diukur dan diketahui dimensinya maka data yang diperoleh akan disalin dalam bentuk tabel *spreadsheet* dengan menggunakan *Ms. Excel* . Pada Pada Tabel spreadsheet (dapat dilihat pada Lampiran 2) terdapat terdapat kode rating dari beberapa komponen yang digunakan seperti *flange* dengan *rating* 10K, katup dengan *rating* 10K-65 SCS13, 1000 WOG, dan *Compressor* GA-75. Dari *rating* kode tersebut terdapat keterangan seperti :

1. *Flange* dengan *rating* 10K adalah standar JIS yang artinya *flange rating* 10K dapat menahan tekanan sebesar 10 bar.
2. Katup dengan *rating* 10K-65 SCS13 juga standar JIS yang artinya dengan *pressure rating* 10 bar dan material SCS13 (*stainless steel*)
3. Katup dengan *rating* 1000 WOG artinya memiliki *pressure rating* 1000 psi atau 69 bar
4. *Compressor* GA-75 merupakan tipe produk dari Atlas Copco Compressor CO.,LTD yang memiliki *max. working pressure* sebesar 9,75 bar.

3.5.3 Data Properti

Data properti adalah data yang dibutuhkan untuk menentukan suhu, tekanan, densitas dari fluida, dan lainnya yang terjadi baik itu dalam keadaan beroperasi maupun desain pada visualisasi jalur perpipaan. Data properti ini akan diinput pada *software CAESAR II* pada saat membuat pemodelan. Data properti yang diperoleh di PT Patria Maritim Perkasa dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Data Properti pada Pemodelan

No	Deskripsi	Unit	Data
1	Material Pipa	1 "	ASTM A 53 Gr. B
		1 1/2"	
		2"	
		4"	
2	Suhu Ambien T3	°C	30
3	Suhu Desain T1	°C	57
4	Suhu Operasi T2	°C	47
5	Tekanan Desain P1 (Blasting & painting)	Bar	15
6	Tekanan Operasi P2(Blasting &Painting)	Bar	10
7	Tekanan Desain P1 (CNC Plasma Cutting)	Bar	10
8	Tekanan Operasi P1 (CNC Plasma Cutting)	Bar	2
9	Fluid density	kg/cu.m	1,2
10	Standar	-	ASME B31.3

Sumber : PT Patria Maritim Perkasa (2020)

3.5.4 Penentuan *Loadcase*

Penentuan *Loadcase* adalah bagian dari proses analisa pada jalur perpipaan untuk mensimulasikan kondisi pipa pada keadaan-keadaan tertentu. Dalam penelitian ini sistem perpipaan yang akan dianalisa perlu diketahui pembebanan apa saja yang berlaku. Dengan standar ASME B31.3 beban yang berlaku antara lain adalah beban *sustain* dan beban ekspansi. Adapun penambahan pada analisa ini dapat dilihat pada Tabel 3.3 yang terdapat beragam pembebanan yang akan dilakukan analisa dan pembebanan sudah ditetapkan secara *default* dari *software CAESAR II* ataupun bisa juga ditetapkan secara manual. Dalam penelitian ini pembebanan dilakukan secara *default* dari *software CAESAR II*.

Tabel 3. 3 Jenis *Loadcase* yang Digunakan pada Pemodelan

<i>Loadcase</i>	Deskripsi <i>Loadcase</i>
L1	<i>Weight No Contents (WNC)</i>
L2	<i>Operating Case Condition 1 (W+T1+P1)</i>
L3	Alternate Stress Based On Operating Condition 1 (W+P1)
L4	Operating Case Condision 2 (W+T2+P2)
L5	Alternate Stress Based On Operating Condition 2 (W+P2)
L6	Operating Case Condision 2 (W+T3+P2)
L7	Alternate Stress Based On Operating Condition 3 (W+P1)
L8	Sustained Case Condition 1 (W+P1)
L9	Sustained Case Condition 2 (W+P2)
L10	Expansion Case Condition 1 (L2-L8)
L11	Expansion Case Condition 2 (L4-L9)
L12	Expansion Case Condition 1-2 (L2-L4)
L13	Expansion Case Condition 3 (L6-L8)
L14	Expansion Case Condition 1-3 (L2-L6)
L15	Expansion Case Condition 2-3 (L4-L6)

3.5.5 Penentuan Satuan

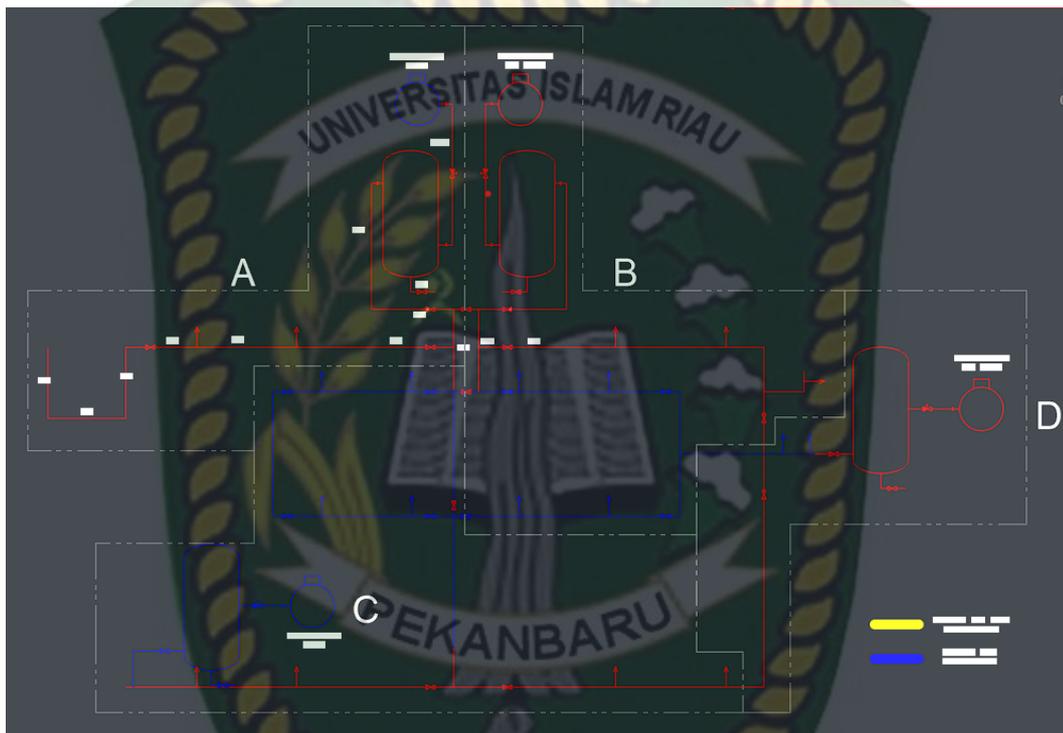
Penentuan satuan adalah menetapkan satuan yang akan digunakan pada saat menginput data di *software CAESAR II* dan ini sangat diperlukan untuk menyeragamkan satuan yang ada pada hasil analisa, gambar, dan spesifikasi material yang digunakan. Satuan yang digunakan pada pemodelan ini bisa di lihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Satuan pada Pemodelan

No	Item	Unit
1	Length	mm
2	Force	N
3	Mass Dynamics	Kg
4	Moment Input	Nm
5	Moment Output	Nm
6	Stress	kPa
7	Temperature	C
8	Pressure	Bars
9	Elastic Modulus	kPa
10	Pipe Density	kg/cu.m
11	Insulation Density	kg/cu.m
12	Fluid Density	kg/cu.m
13	Translational	N/mm
14	Rotational Stiff	Nm/deg
15	Unif. Load	N/mm
16	G load	g's
17	Wind Load	kN/sq.m
18	Elevation	mm
19	Cmpd Lng	mm
20	Diameter	in
21	Thickness	mm

3.5.6 Skematik Diagram

Skematik diagram adalah gambar dalam bentuk 2 dimensi yang digunakan untuk mengetahui skema dari jalur perpipaan yang akan dibuat gambar isometrik atau perancangan. Skematik diagram yang diperoleh dari perusahaan dapat digunakan untuk langkah awal pemrosesan pemodelan sistem perpipaan seperti pemodelan isometrik. Skematik diagram sistem perpipaan ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Skematik Diagram

Dapat dilihat pada Gambar 3.2 di atas merupakan skematik diagram dari jalur perpipaan yang ada di PT Patria Maritim Perkasa. Untuk gambar keseluruhan dan ukuran akan di tampilkan di halaman selanjutnya yaitu *blue print yard*.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Model Sistem Perpipaan

Pada tahap pembuatan model dilakukan dengan menginput data tabel *spreadsheet* geometri ke *software CAESAR II* dan akan dilakukan analisis sistem perpipaan yang telah didesain, tahapannya sebagai berikut:

4.1.1 Pengecekan Kesalahan (*Error Checking*)

Pengecekan kesalahan (*error checking*) adalah proses pemeriksaan jalur perpipaan yang sudah didesain apakah pada titik-titik tertentu ada terjadinya kesalahan (*error*) karena desain yang tidak sesuai dengan standar atau tidak. Pengecekan kesalahan (*error checking*) pada penelitian ini dilakukan pada dua jalur perpipaan antara lain:

1. Pengecekan Kesalahan pada jalur perpipaan *Blasting & Painting*

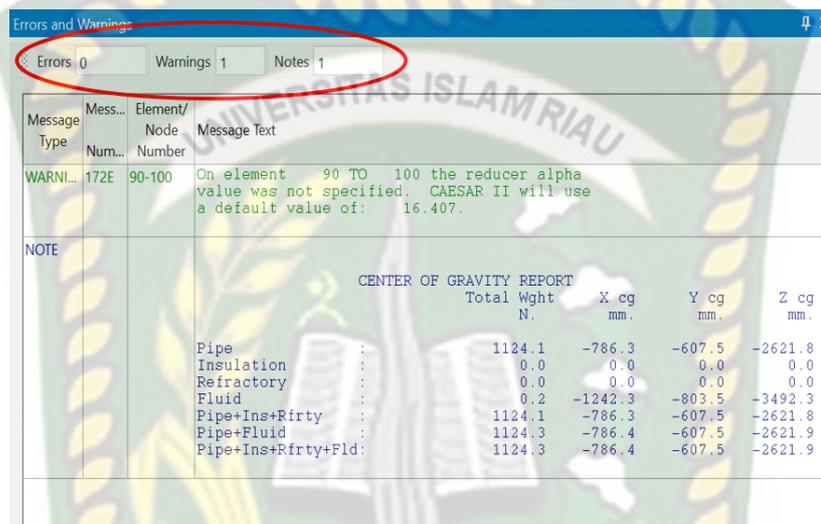
Jalur perpipaan *blasting & painting* ini merupakan jalur pipa yang dibutuhkan untuk kebutuhan *finishing* pada produksi kapal. Jalur perpipaan ini menggunakan kompresor GA-75 Atlas Copco dengan jalur yang memiliki dua arah berlawanan yaitu arah *port* (pelabuhan) dan arah *shelter* (penampungan). Setelah data diinput dan hasil visual dari desain telah selesai selanjutnya pada *software CAESAR II* klik *toolbar error checking*, kemudian akan muncul tampilan *check box* seperti pada Gambar 4.1 yang menjelaskan bahwa pada jalur perpipaan *blasting & painting* tidak ada terjadinya kesalahan. Tidak adanya kesalahan (*error*) pada *check box* menunjukkan bahwa jalur perpipaan sudah sesuai standar yang ditetapkan.

Message Type	Message Num...	Element Node Number	Message Text																																								
WARNI...	39E	80-110	Node 110 on element 80 TO 110 is specified as an INTERSECTION POINT and no valid geometric intersection can be located. SIF's will be calculated based on the smallest thickness and the largest diameter found for the pipes framing into the intersection.																																								
WARNI...	172E	170-180	On element 170 TO 180 the reducer alpha value was not specified. CAESAR II will use a default value of: 23.796.																																								
WARNI...	172E	410-420	On element 410 TO 420 the reducer alpha value was not specified. CAESAR II will use a default value of: 23.796.																																								
NOTE			<p style="text-align: center;">CENTER OF GRAVITY REPORT</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Total Wght N.</th> <th>X cg mm.</th> <th>Y cg mm.</th> <th>Z cg mm.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pipe</td> <td>7298.3</td> <td>41.9</td> <td>-3241.9</td> <td>-3308.5</td> </tr> <tr> <td>Insulation</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Refractory</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Fluid</td> <td>1.7</td> <td>-305.4</td> <td>-3256.6</td> <td>-3474.6</td> </tr> <tr> <td>Pipe+Ins+Rfrty</td> <td>7298.3</td> <td>41.9</td> <td>-3241.9</td> <td>-3308.5</td> </tr> <tr> <td>Pipe+Fluid</td> <td>7300.0</td> <td>41.8</td> <td>-3241.9</td> <td>-3308.5</td> </tr> <tr> <td>Pipe+Ins+Rfrty+Fld:</td> <td>7300.0</td> <td>41.8</td> <td>-3241.9</td> <td>-3308.5</td> </tr> </tbody> </table>		Total Wght N.	X cg mm.	Y cg mm.	Z cg mm.	Pipe	7298.3	41.9	-3241.9	-3308.5	Insulation	0.0	0.0	0.0	0.0	Refractory	0.0	0.0	0.0	0.0	Fluid	1.7	-305.4	-3256.6	-3474.6	Pipe+Ins+Rfrty	7298.3	41.9	-3241.9	-3308.5	Pipe+Fluid	7300.0	41.8	-3241.9	-3308.5	Pipe+Ins+Rfrty+Fld:	7300.0	41.8	-3241.9	-3308.5
	Total Wght N.	X cg mm.	Y cg mm.	Z cg mm.																																							
Pipe	7298.3	41.9	-3241.9	-3308.5																																							
Insulation	0.0	0.0	0.0	0.0																																							
Refractory	0.0	0.0	0.0	0.0																																							
Fluid	1.7	-305.4	-3256.6	-3474.6																																							
Pipe+Ins+Rfrty	7298.3	41.9	-3241.9	-3308.5																																							
Pipe+Fluid	7300.0	41.8	-3241.9	-3308.5																																							
Pipe+Ins+Rfrty+Fld:	7300.0	41.8	-3241.9	-3308.5																																							

Gambar 4. 1 *Error Checking* pada jalur *Blasting-Painting*

2. Pengecekan Kesalahan pada Jalur *CNC Plasma Cutting*.

Jalur perpipaan *CNC plasma cutting* merupakan jalur pipa kompresor untuk kebutuhan pemotongan pelat yang telah diberi kontur garis *marking* yang ditetapkan di dalam rencana pemotongan pelat (*cutting plan*). Sama dengan pengecekan yang dilakukan pada jalur perpipaan *blasting & painting* yaitu setelah 3D desain isometri selesai klik *toolbar error checking* kemudian akan muncul tampilan *check box* seperti pada Gambar 4.2 di bawah ini.



Message Type	Mess... Num...	Element/ Node Number	Message Text
WARNI...	172E	90-100	On element 90 TO 100 the reducer alpha value was not specified. CAESAR II will use a default value of: 16.407.
NOTE			
CENTER OF GRAVITY REPORT			
		Total Wght N.	X cg mm. Y cg mm. Z cg mm.
Pipe	:	1124.1	-786.3 -607.5 -2621.8
Insulation	:	0.0	0.0 0.0 0.0
Refractory	:	0.0	0.0 0.0 0.0
Fluid	:	0.2	-1242.3 -803.5 -3492.3
Pipe+Ins+Rfrty	:	1124.1	-786.3 -607.5 -2621.8
Pipe+Fluid	:	1124.3	-786.4 -607.5 -2621.9
Pipe+Ins+Rfrty+Fld	:	1124.3	-786.4 -607.5 -2621.9

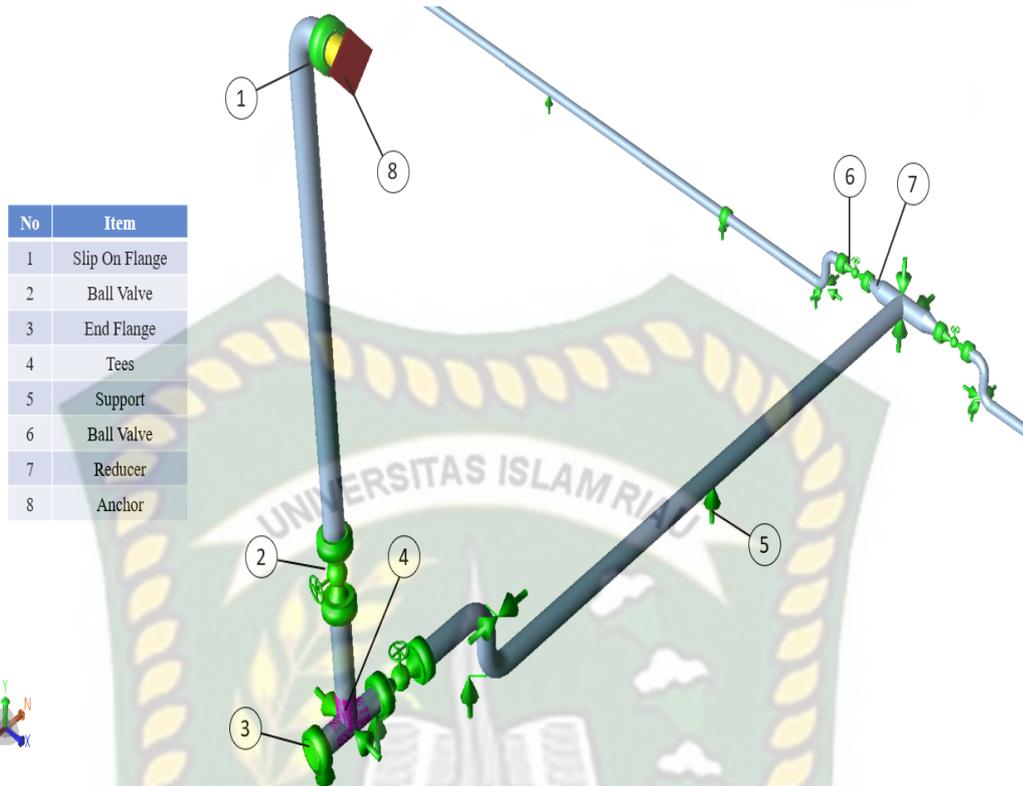
Gambar 4. 2 *Error Checking* pada Jalur *CNC Plasma Cutting*

Pada Gambar 4.1 dan 4.2 telah menunjukkan bahwa tidak ada terjadinya *error* atau dapat dikatakan pada jalur perpipaan Air Compressor di PT Patria Maritim Perkasa sudah sesuai dengan standar *ASME B31.3 Process Piping*, sehingga bisa dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu tahap analisa.

4.1.2 Visualisasi Pemodelan

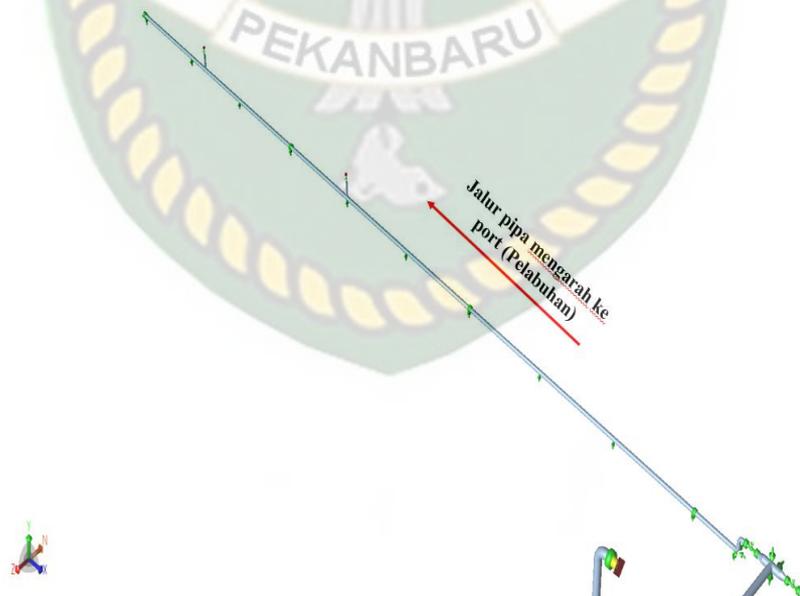
Visualisasi pemodelan adalah hasil dari desain jalur perpipaan dalam bentuk 3D desain isometri yang telah melalui tahap pengecekan kesalahan (*error checking*). Pada tahap sebelumnya tidak didapatkan adanya kesalahan (*error*) yang terjadi pada kedua jalur perpipaan *blasting & painting* dan *CNC plasma cutting*.

Desain 3D isometri dari jalur *blasting & painting* ini dikarenakan memiliki ukuran pipa yang panjang maka akan di bagi menjadi tiga gambar yaitu jalur dari kompresor GA-75 ke titik proses (Gambar 4.3), titik proses ke *port* (Gambar 4.4), dan titik proses ke *Shelter* (Gambar 4.5).



Gambar 4. 3 Jalur Pipa Kompresor GA-75 ke Titik Proses

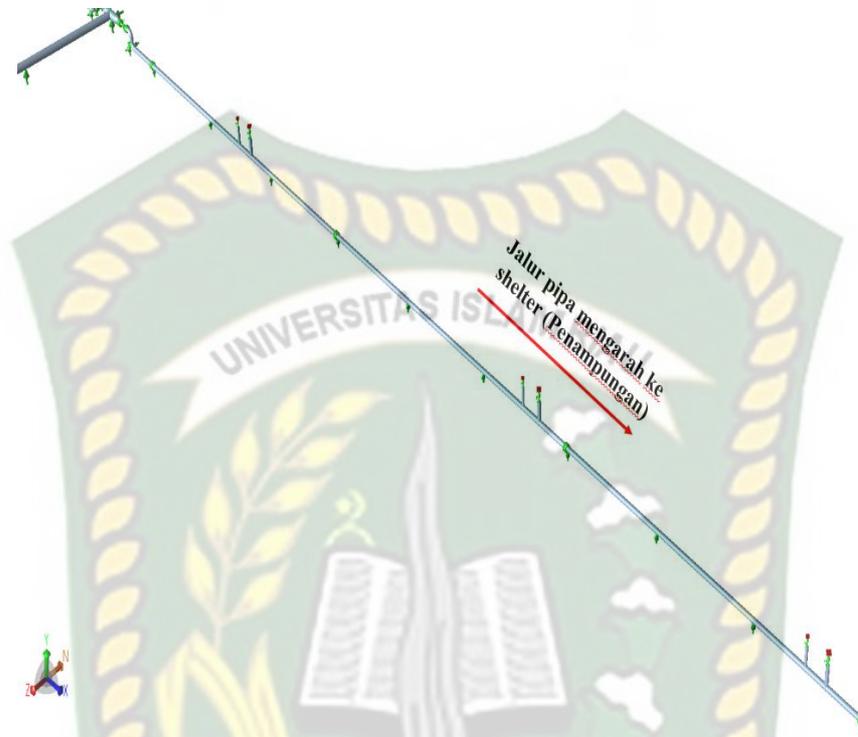
Pada Gambar 4.3 di atas merupakan jalur pipa dari kompresor GA-75 ke titik proses yang dialirkan untuk kegunaan *blasting-painting*.



Gambar 4. 4 Jalur Pipa Kompresor Proses ke Port

Dapat dilihat pada Gambar 4.4 di atas yang merupakan jalur pipa yang mengarah ke *port* (pelabuhan) untuk produksi *tugboat*. Pada jalur pipa tersebut terdapat tiga pipa dengan panjang 6 m dan diameter 2 in yang disambung

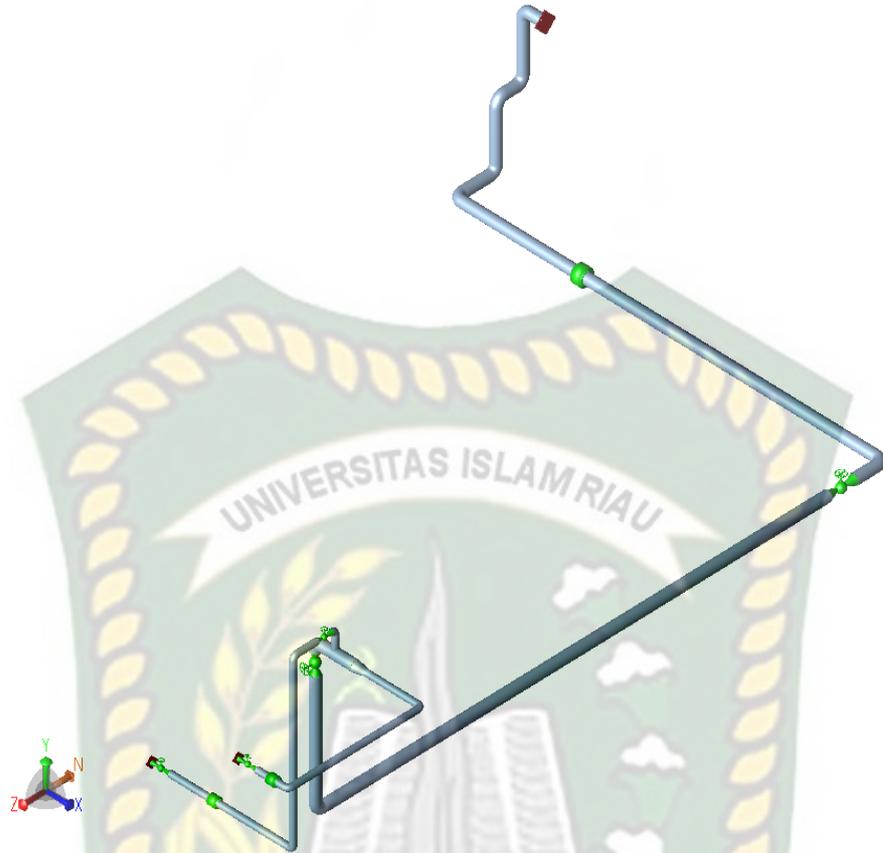
menggunakan *slip on flange*. Selain itu juga terdapat dua unit ball valve ukuran 1 in sebagai output udara yang dibutuhkan untuk *blasting & painting* yang akan disambungkan ke *blasting hose* atau *air hose*.



Gambar 4. 5 Jalur Pipa Kompresor Proses ke Shelter

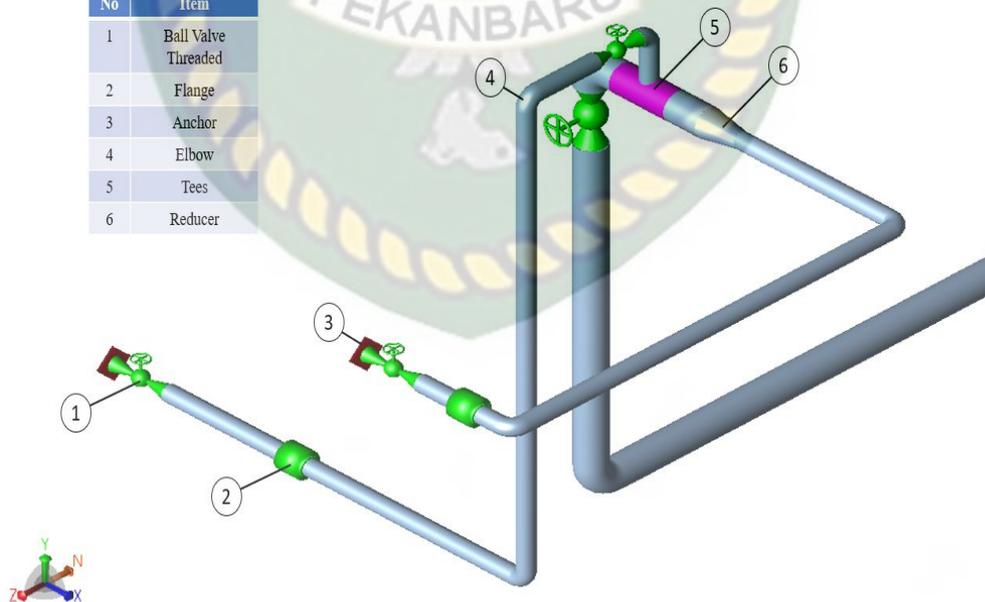
Pada Gambar 4.5 di atas merupakan jalur perpipaan untuk proses *blasting & painting* pada kapal *barge*, dimana terdapat 3 pipa dengan panjang 6 m dan ukuran 2 in yang disambung menggunakan *slip on flange*. Berbeda dengan pipa yang mengarah ke port (Pelabuhan) yang hanya terdapat dua output, pada jalur ini terdapat enam output dengan *ball valve* ukuran 1 in dan 1,5 in.

Pada jalur *CNC Plasma Cutting* yang merupakan perpipaan yang membutuhkan tekanan udara untuk memotong pelat. Kompresor yang digunakan pada jalur ini adalah tipe CSA15-10 produk dari *Ceccato Group*. Pada jalur perpipaan ini menggunakan pipa ASTM A 53 Grade B dengan diameter 1 in dan 2 in. Ball Valve pada jalur perpipaan ini menggunakan tipe sambungan threaded dengan ukuran 1 in dan 2 in yang dapat menahan tekanan sebesar 1000 WOG yang setara dengan 69 bar. Jalur perpipaan CNC plasma cutting dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.7.



Gambar 4. 6 Jalur Pipa CNC Plasma Cutting 1

No	Item
1	Ball Valve Threaded
2	Flange
3	Anchor
4	Elbow
5	Tees
6	Reducer



Gambar 4. 7 Jalur Pipa CNC Plasma Cutting 2

4.2 Hasil Analisa

Setelah melakukan *error checking* pada desain 3D pemodelan sudah selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan kalkulasi tegangan yang terjadi dengan pembebanan yang sudah ditentukan pada *software CAESAR II*. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan yang terjadi pada setiap nodal jalur perpipaan dengan nilai tegangan yang diijinkan berdasarkan standar ASME B31.3 *Process Piping* yang sudah tertera pada *software CAESAR II*.

4.2.1 Hasil Analisa Tegangan pada Jalur *Blasting-Painting*

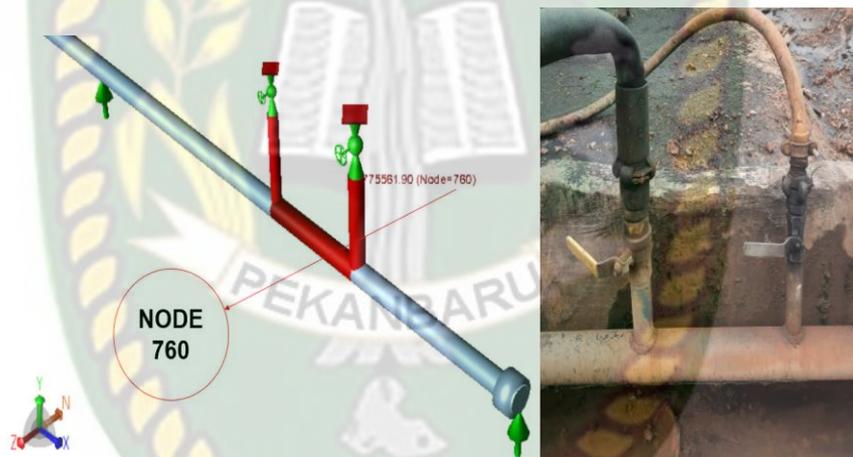
Hasil kalkulasi tegangan yang terjadi pada jalur *blasting-painting* didapatkan dengan melihat pada menu *stress summary* pada *static output processor* setelah dilakukan *run batch* pada *software CAESAR II*. Hasil dari analisa dapat dilihat pada Tabel 4.1 yang merupakan lokasi titik tegangan tertinggi yang terjadi di setiap *loadcase*.

Tabel 4. 1 Nilai Tegangan Tertinggi pada Jalur *Blasting-Painting*

Loadcase	Name	Node	Allowable Stress (kPa)	Code Stress (kPa)	Ratio (%)	Information
L1 = WNC (SUS)	Weight No Content	310	137892	2362,8	1,7	Safe
L2 = W+T1+P1 (OPE)	Operating Case Condition 1	760	0	771689,1	0	Safe
L3 = W+P1 (Alt SUS)	Alternate Sustained Stress Based On Operating Condition 1	570	137892	7261,0	5,3	Safe
L4 = W+T2+P2 (OPE)	Operating Case Condition 2	760	0	553724,0	0	Safe
L5 = W+P2 (Alt SUS)	Alternate Sustained Stress Based On Operating Condition 2	570	137892	5962,6	4,3	Safe
L6 = W+T3+P3 (OPE)	Operating Case Condition 3	760	0	184676,2	0	Safe
L7 = W+P1 (Alt SUS)	Alternate Sustained Stress Based On Operating Condition 3	570	137892	7261,8	5,3	Safe
L8 = W+P1 (SUS)	Sustained Case Condition 1	310	137892	5361,8	3,9	Safe
L9 = W+P2 (SUS)	Sustained Case Condition 2	310	137892	3962,6	2,9	Safe
L10 = L2-L8 (EXP)	Expansion Case Condition 1	760	340477,7	775561,9	227,8	Overstress
L11 = L4-L9 (EXP)	Expansion Case Condition 2	760	340477,7	555814,6	163,2	Overstress
L12 = L2-L4 (EXP)	Expansion Case Condition 1-2	760	340477,7	219747,3	64,5	Safe
L13 = L6-L8 (EXP)	Expansion Case Condition 3	760	340477,7	188549,1	55,4	Safe
L14 = L2-L6 (EXP)	Expansion Case Condition 1-3	760	340477,7	587012,9	172,4	Overstress
L15 = L4-L6 (EXP)	Expansion Case Condition 2-3	760	340477,7	367265,6	107,9	Overstress

Berdasarkan data analisis yang diperoleh pada jalur *blasting-painting* pada Tabel 4.1, hasil kalkulasi menggunakan *Software CAESAR II* menunjukkan terjadinya *overstress* dengan rasio melebihi 100% pada *loadcase* 10 (*Expansion case condition 1*) dengan rasio 227,8% dan nilai tegangan 775561,9 kPa, pada *loadcase* 11 (*Expansion case condition 2*) dengan rasio 163,2% dan nilai tegangan 555814,6 kPa, pada *loadcase* 14 (*Expansion case condition 1-3*) dengan rasio 172,4% dan nilai tegangan 587012,9 kPa, pada *loadcase* 15 (*Expansion case condition 2-3*) dengan rasio 107,9% dan nilai tegangan 367265,6 kPa. Semua beban berlebih terjadi pada nodal yang sama yaitu nodal 760.

Dapat dilihat pada Gambar 4.8 yang merupakan bagian jalur pipa yang mengalami *overstress*, terutama pada nodal 760 dengan rasio yang melebihi 100%. Dengan nilai tegangan yang dapat dilihat pada Tabel 4.1, maka perlu dilakukan modifikasi untuk mengurangi rasio tegangan yang terjadi pada jalur pipa tersebut.



Gambar 4. 8 Jalur Pipa Mengalami *Overstress*

4.2.2 Hasil Analisa Tegangan pada Jalur *CNC Plasma Cutting*

Hasil kalkulasi tegangan yang pada jalur *CNC plasma cutting* didapatkan dengan melihat pada menu *stress summary* pada *static output processor* setelah dilakukan *run batch* pada *software CAESAR II*. Hasil dari analisa dapat dilihat pada Tabel 4.2 yang merupakan lokasi titik tegangan tertinggi yang terjadi di setiap *loadcase*.

Tabel 4. 2 Nilai Tegangan Tertinggi pada Jalur *CNC Plasma Clutting*

Loadcase	Name	Node	Allowable Stress (kPa)	Code Stress (kPa)	Ratio (%)	Information
L1 = WNC (SUS)	Weight No Content	50	137892	110356,1	80	Safe
L2 = W+T1+P1 (OPE)	Operating Case Condition 1	50	0	148452,7	0	Safe
L3 = W+P1 (Alt SUS)	Alternate Sustained Stress Based On Operating Condition 1	50	137892	112992,9	81,9	Safe
L4 = W+T2+P2 (OPE)	Operating Case Condition 2	50	0	146383,1	0	Safe
L5 = W+P2 (Alt SUS)	Alternate Sustained Stress Based On Operating Condition 2	50	137892	110729,0	80,3	Safe
L6 = W+T3+P3 (OPE)	Operating Case Condition 3	50	0	149038,7	0	Safe
L7 = W+P1 (Alt SUS)	Alternate Sustained Stress Based On Operating Condition 3	50	137892	112992,9	81,9	Safe
L8 = W+P1 (SUS)	Sustained Case Condition 1	50	137892	112992,9	81,9	Safe
L9 = W+P2 (SUS)	Sustained Case Condition 2	50	137892	110729,5	80,3	Safe
L10 = L2-L8 (EXP)	Expansion Case Condition 1	48	237918	5862,7	2,5	Safe
L11 = L4-L9 (EXP)	Expansion Case Condition 2	48	237918	4202,2	1,8	Safe
L12 = L2-L4 (EXP)	Expansion Case Condition 1-2	48	237918	1660,6	0,7	Safe
L13 = L6-L8 (EXP)	Expansion Case Condition 3	48	237918	1426,8	0,6	Safe
L14 = L2-L6 (EXP)	Expansion Case Condition 1-3	48	237918	4435,9	1,9	Safe
L15 = L4-L6 (EXP)	Expansion Case Condition 2-3	48	237918	2775,3	1,2	Safe

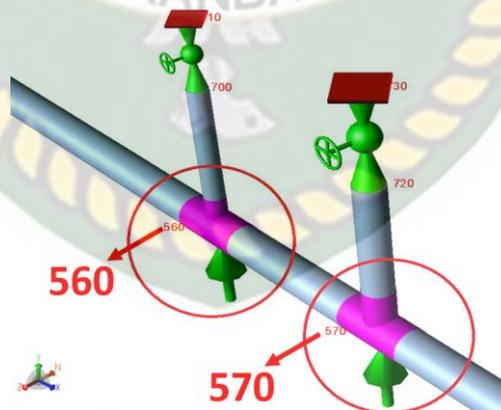
Berdasarkan data pada Tabel 4.2, data yang diperoleh pada kalkulasi tegangan jalur pipa *CNC Plasma Cutting* tidak terdapat tegangan berlebih atau *overstress* yang terjadi, tetapi pada nodal 50 memiliki rasio yang mendekati 100% yaitu 81,9% dengan nilai tegangan sebesar 112992,9 kPa. Maka perlu dilakukan pengecekan berkala untuk mengurangi resiko kerusakan yang terjadi.

4.3 Modifikasi Jalur Perpipaan

Berdasarkan hasil dari analisa, ada beberapa *overstress* yang terjadi pada jalur perpipaan untuk kebutuhan *blasting-painting* dan dapat dilihat pada Tabel 4.1, *overstress* terjadi pada nodal 760 dimana terdapat pipa arah Y dengan tambahan dua *ball valve* sebagai output dari sistem perpipaan sehingga berat dari pipa berlebih dan adanya pengaruh *thermal expansion* pada nodal 760. Untuk mengurangi rasio dari *overstress* yang terjadi maka perlu ditambahkan *support* pada sumbu Y+ (y positif) di setiap nodal yang memiliki cabang untuk kebutuhan *ouput*. *Support* ditambahkan pada lokasi berikut ini:

1. Penambahan *Support* Y+ pada nodal 560 dan 570

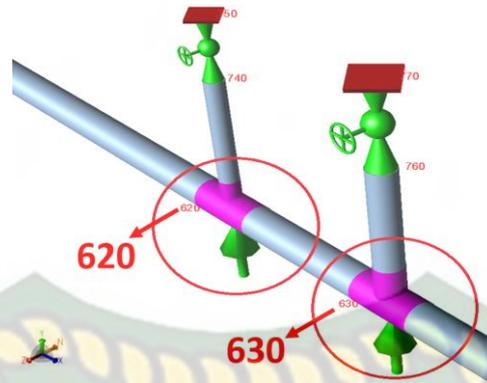
Pada nodal 560 dan 570 yang ditambahkan *support* Y+ yang memiliki sambungan ke nodal 700,710 dan 720, 730 sebagai *output*. Dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Penambahan *Support* Y+ pada nodal 560 dan 570

2. Penambahan *Support* Y+ pada nodal 620 dan 630

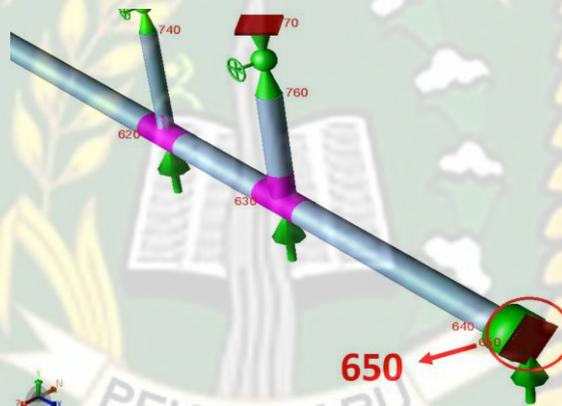
Pada nodal 620 dan 630 yang ditambahkan *support* Y+ yang memiliki sambungan ke nodal 740,750 dan 760, 770 sebagai *output*, seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Penambahan Support Y+ pada nodal 620 dan 630

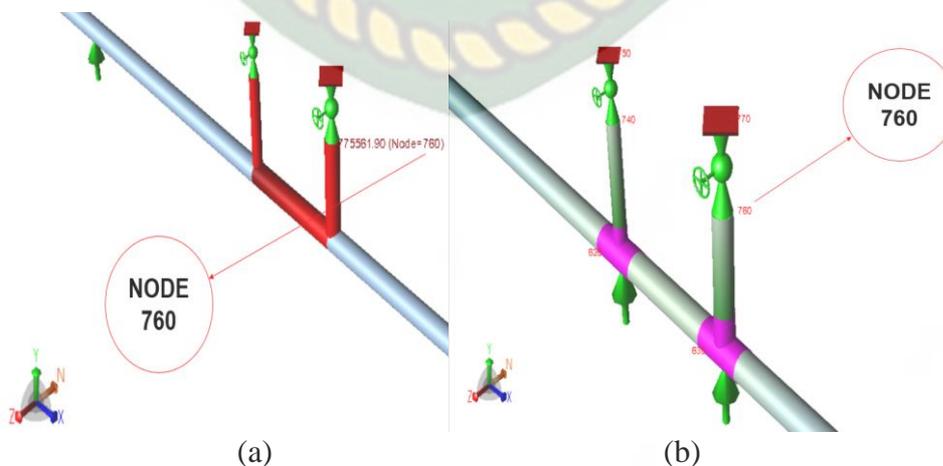
3. Penambahan Anchor pada nodal 650

Pada nodal 650 ditambahkan *restraint* jenis *anchor* yang berfungsi untuk membatasi pergerakan pipa dalam satu arah. Dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Penambahan anchor pada nodal 650

Setelah dilakukan modifikasi pada jalur pipa yang mengalami *overstress*, ada terjadi perubahan dari segi warna pada jalur pipa. Tampilan jalur pipa setelah modifikasi dapat dilihat pada menu *3D plot*, seperti pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 (a) Sebelum Modifikasi (b) Setelah Modifikasi

Pada Gambar 4.12 (a) menunjukkan tampilan jalur pipa sebelum modifikasi dengan berwarna merah yang menandakan adanya *overstress* yang terjadi. Setelah dimodifikasi dengan menambahkan *support* maka *overstress* tidak terjadi lagi, dapat dilihat pada Gambar 4.12 (b) yang menunjukkan tampilan jalur pipa dengan warna hijau yang menandakan tegangan pada jalur tersebut tidak terjadi lagi.

4.4 Data Hasil Setelah Modifikasi

Hasil analisa tegangan maksimum yang terjadi pada jalur pipa *blasting-painting* setelah dilakukan modifikasi seperti pada Gambar 4.12 menandakan tidak lagi adanya *overstress* dan untuk membuktikannya maka dapat dilihat dari data hasil analisa pada Tabel 4.3. Pada tabel 4.3 berisikan nilai dari tegangan tertinggi setelah jalur perpipaan dan Tabel 4.4 berisikan data perbandingan tegangan yang terjadi pada nodal 760 sebelum dimodifikasi dan sesudah dimodifikasi, lalu dari data perbandingan tersebut dibuat grafik *line* pada Gambar 4.13 untuk membandingkan tegangan berlebih (*overstress*), tegangan yang diijinkan (*allowable stress*), dan tegangan yang tidak mengalami *overstress*.

Tabel 4. 3 Hasil Tegangan Maksimum Setelah Modifikasi

Loadcase	Name	Node	Allowable Stress (kPa)	Code Stress (kPa)	Ratio (%)	Information
L1 = WNC (SUS)	Weight No Content	310	137892	2362,8	1,7	Safe
L2 = W+T1+P1 (OPE)	Operating Case Condition 1	10	0	235382,2	0	Safe
L3 = W+P1 (Alt SUS)	Alternate Sustained Stress Based On Operating Condition 1	110	137892	6872,0	5	Safe
L4 = W+T2+P2 (OPE)	Operating Case Condition 2	10	0	167199,2	0	Safe
L5 = W+P2 (Alt SUS)	Alternate Sustained Stress Based On Operating Condition 2	110	137892	5046,3	3,7	Safe
L6 = W+T3+P3 (OPE)	Operating Case Condition 3	10	0	58121,4	0	Safe
L7 = W+P1 (Alt SUS)	Alternate Sustained Stress Based On Operating Condition 3	110	137892	6872,0	5	Safe
L8 = W+P1 (SUS)	Sustained Case Condition 1	310	137892	5361,8	3,9	Safe
L9 = W+P2 (SUS)	Sustained Case Condition 2	310	137892	3962,6	2,9	Safe
L10 = L2-L8 (EXP)	Expansion Case Condition 1	10	340477,7	232927,0	68,9	Safe
L11 = L4-L9 (EXP)	Expansion Case Condition 2	10	340477,7	166401,5	49,2	Safe
L12 = L2-L4 (EXP)	Expansion Case Condition 1-2	10	340477,7	66525,4	19,7	Safe
L13 = L6-L8 (EXP)	Expansion Case Condition 3	10	340477,7	55217,4	16,3	Safe
L14 = L2-L6 (EXP)	Expansion Case Condition 1-3	10	340477,7	177709,6	52,6	Safe
L15 = L4-L6 (EXP)	Expansion Case Condition 2-3	10	340477,7	111184,2	32,9	Safe

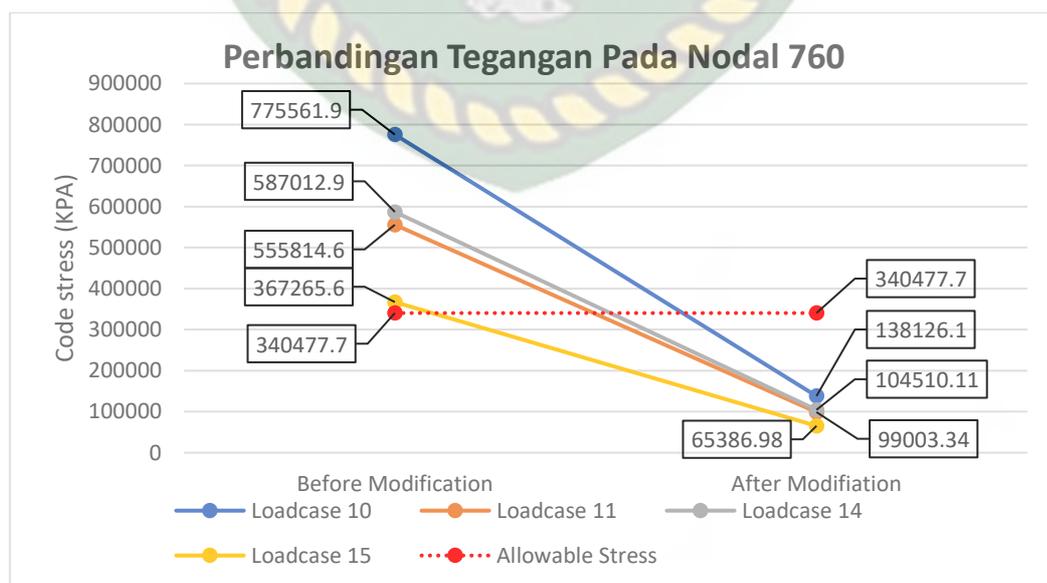
Tabel 4. 4 Hasil Tegangan Tertinggi Setelah dan Sebelum Modifikasi

Loadcase	Name	Node	Allowable Stress (kPa)	Code Stress (kPa)	Ratio (%)	Information	After Modification				Information
							Node	Allowable Stress (kPa)	Code Stress (kPa)	Ratio (%)	
L1 = WNC (SUS)	Weight No Content	310	137892	2362,8	1,7	Safe	310	137892	2362,8	1,7	Safe
L2 = W+T1+P1 (OPE)	Operating Case Condition 1	760	0	771689,1	0	Safe	760	0	134276,1	0	Safe
L3 = W+P1 (Alt SUS)	Alternate Sustained Stress Based On Operating Condition 1	570	137892	7261,0	5,3	Safe	570	137892	4017,8	2,91	Safe
L4 = W+T2+P2 (OPE)	Operating Case Condition 2	760	0	553724,0	0	Safe	760	0	96936,1	0	Safe
L5 = W+P2 (Alt SUS)	Alternate Sustained Stress Based On Operating Condition 2	570	137892	5962,6	4,3	Safe	570	137892	2235,2	1,6	Safe
L6 = W+T3+P3 (OPE)	Operating Case Condition 3	760	0	184676,2	0	Safe	760	0	29766,5	0	Safe
L7 = W+P1 (Alt SUS)	Alternate Sustained Stress Based On Operating Condition 3	570	137892	7261,8	5,3	Safe	570	137892	4017,8	2,91	Safe
L8 = W+P1 (SUS)	Sustained Case Condition 1	310	137892	5361,8	3,9	Safe	310	137892	5361,8	3,9	Safe
L9 = W+P2 (SUS)	Sustained Case Condition 2	310	137892	3962,6	2,9	Safe	310	137892	3962,6	2,9	Safe
L10 = L2-L8 (EXP)	Expansion Case Condition 1	760	340477,7	775561,9	227,8	Overstress	760	340477,7	138126,1	40,5	Safe
L11 = L4-L9 (EXP)	Expansion Case Condition 2	760	340477,7	555814,6	163,2	Overstress	760	340477,7	99003,34	29,0	Safe
L12 = L2-L4 (EXP)	Expansion Case Condition 1-2	760	340477,7	219747,3	64,5	Safe	760	340477,7	340477,7	64,5	Safe
L13 = L6-L8 (EXP)	Expansion Case Condition 3	760	340477,7	188549,1	55,4	Safe	760	340477,7	340477,7	55,4	Safe
L14 = L2-L6 (EXP)	Expansion Case Condition 1-3	760	340477,7	587012,9	172,4	Overstress	760	340477,7	104510,11	30,7	Safe
L15 = L4-L6 (EXP)	Expansion Case Condition 2-3	760	340477,7	367265,6	107,9	Overstress	760	340477,7	65386,98	19,2	Safe

Berdasarkan data pada Tabel 4.3 dapat dipastikan bahwa hasil kalkulasi menggunakan *Software CAESAR II* menunjukkan *overstress* atau tegangan yang melebihi batas yang diijinkan tidak terjadi lagi karena sudah dilakukan modifikasi pada nodal yang mengalami *overstress* dengan cara menambahkan *support* dan *anchor*. Tegangan maksimum yang terjadi sebelumnya sudah berkurang dan berdasarkan data tegangan tertinggi berada di *Loadcase* 10 yaitu sebesar 232927 kPa dengan rasio 68,9% dan ini masih dikatakan dalam keadaan aman karena tidak melebihi 100%.

Selanjutnya pada Tabel 4.4 dapat dilihat nilai menunjukkan perbandingan dari nilai tegangan maksimum yang terjadi pada jalur pipa *blasting & painting* sebelum dan sesudah dimodifikasi. Dari nilai yang didapatkan yaitu pada *loadcase* 10,11,14, dan 15 sebelum dimodifikasi terjadi *overstress* dengan urutan rasio 227,8%, 163,2%, 172,4%, dan 107,9% pada nodal 760 lalu setelah dimodifikasi dengan cara menambahkan *support* +Y pada nodal 760 rasio berkurang menjadi 40,5%, 29%, 30,7%, dan 19,2%. Selain rasio dari nodal 760 yang berkurang, modifikasi juga memberi dampak terhadap *loadcase* lainnya yang sebelumnya tidak terjadi tegangan berlebih (*overstress*) sehingga rasio juga ikut berkurang.

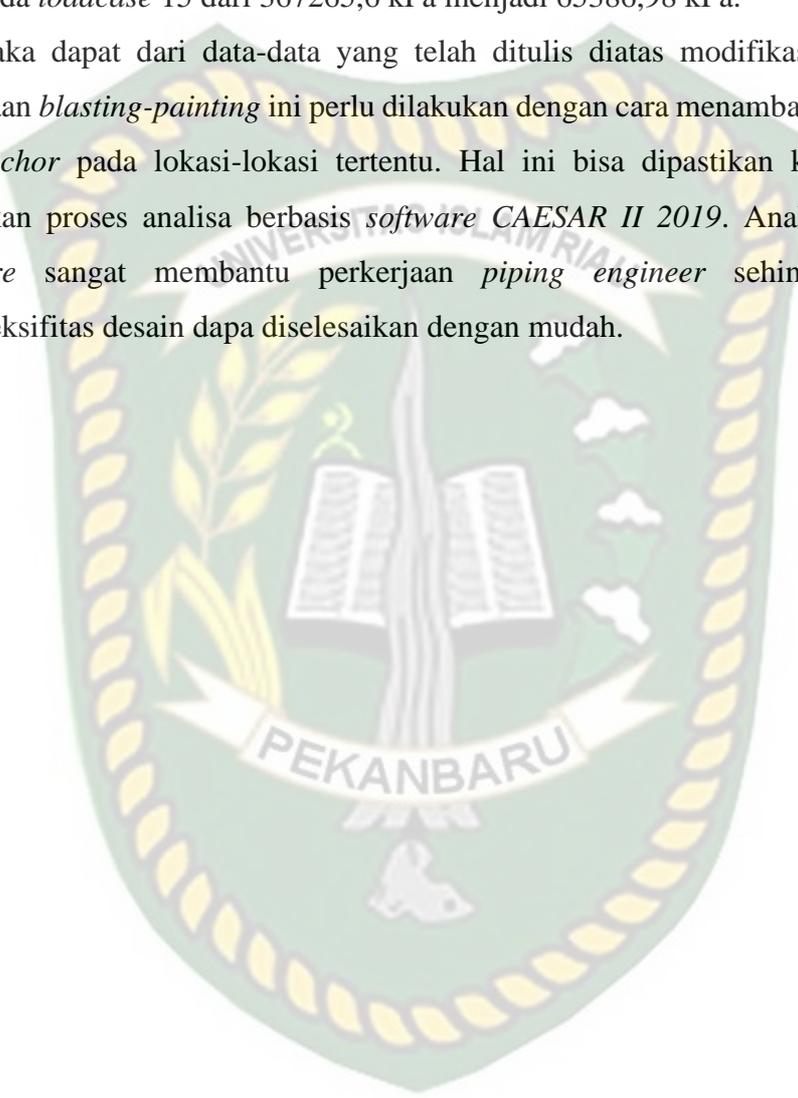
Perbandingan dari nilai tegangan terhadap *loadcase* yang mengalami tegangan berlebih (*overstress*) yang terjadi pada nodal 760 dapat dilihat di grafik pada Gambar 4.13. dari Grafik dapat dijelaskan bagaimana kurva naik atau turunnnya tegangan pada *loadcase* yang terjadi tegangan berlebih (*overstress*).



Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Tegangan

Dari grafik diatas dapat diketahui nilai tegangan pada loadcase yang mengalami tegangan berlebih (*overstress*) berkurang, dapat dilihat pada *loadcase* 10 dari 775561,9 kPa menjadi 138126,1 kPa, pada *loadcase* 11 dari 555814,6 kPa menjadi 99003,34 kPa, pada *loadcase* 14 dari 587012,9 kPa menjadi 104510,11 kPa, pada *loadcase* 15 dari 367265,6 kPa menjadi 65386,98 kPa.

Maka dapat dari data-data yang telah ditulis diatas modifikasi pada jalur perpipaan *blasting-painting* ini perlu dilakukan dengan cara menambahkan *support* dan *anchor* pada lokasi-lokasi tertentu. Hal ini bisa dipastikan karena sudah dilakukan proses analisa berbasis *software CAESAR II 2019*. Analisis berbasis *software* sangat membantu pekerjaan *piping engineer* sehingga dengan kompleksifitas desain dapa diselesaikan dengan mudah.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang telah didapatkan dari analisis pada sistem perpipaan *air compressor* di PT Patria Maritim Perkasa adalah sebagai berikut:

1. Sistem perpipaan yang dianalisis dan hasil dari kalkulasi *software CAESAR II* menunjukkan bahwa pada jalur *CNC Plasma Cutting* tidak ada terjadinya *overstress* sedangkan pada jalur *Blasting & Painting* terjadi *overstress*.
2. Tegangan tertinggi pada jalur *Blasting & Painting* berada pada nodal 760 dengan 4 *loadcase* yang rasio tegangannya mencapai 227,8% pada *loadcase* 10 dengan nilai tegangan 775561,9 kPa, 163,2% pada *loadcase* 11 dengan nilai tegangan 555814,6 kPa, 172,4% pada *loadcase* 14 dengan nilai tegangan 587012,9 kPa, 107,9% pada *loadcase* 15 dengan nilai tegangan 367265,6 kPa dan nilai tegangan tersebut dibandingkan dengan batas tegangan ijin yaitu 340477,7 kPa.
3. Dilakukan modifikasi untuk mendapat sistem perpipaan yang tidak melebihi batas tegangan ijin sesuai standar ASME B31.3 *Process Plant*. Modifikasi yang dilakukan yaitu:
 - a. Pada nodal 560 dan 570 yang ditambahkan *support Y+* yang memiliki sambungan ke nodal 700,710 dan 720, 730 sebagai output.
 - b. Pada nodal 620 dan 630 yang ditambahkan *support Y+* yang memiliki sambungan ke nodal 740,750 dan 760, 770 sebagai output.
 - c. Pada nodal 650 ditambahkan restraint jenis anchor yang berfungsi untuk membatasi pergerakan pipa dalam satu arah.

Dari modifikasi yang dilakukan yaitu terjadi penurunan tegangan pada nodal 760 yang mengalami *overstress* dengan rasio tegangannya menjadi 40,5% pada *loadcase* 10 dengan nilai tegangan 138126,1 kPa, 29% pada *loadcase* 11 dengan nilai tegangan 99003,34 kPa, 30,7% pada *loadcase* 14 dengan nilai tegangan 104510,11 kPa, 19,2% pada *loadcase* 15 dengan nilai tegangan 65386,98 kPa.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dibutuhkan dalam sistem perpipaan air compressor di PT Patria Maritim Perkasa adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan modifikasi pada jalur blasting & painting terutama pada output yang membuat nilai rasio tegangan melebihi 100%
2. Melakukan pengecekan rutin pada jalur pipa kritis untuk mengetahui apakah tegangan maksimum yang terjadi memberi dampak pada saat sistem beroperasi terutama pada penggunaan udara bertekanan ketika proses produksi kapal dilakukan.
3. Modifikasi pada penelitian ini bisa dijadikan referensi bagi PT Patria Maritim Perkasa untuk mendapatkan sistem perpipaan yang baik dan aman.



DAFTAR PUSAKA

- ASME. (2016). *Process Piping ASME Code for Pressure Piping B31.3*. New York.
- Chamsudi, A. (2005). *Diktat - Piping Stress Analysis*. Jakarta: Chamsudi Copyright.
- Hardee, R. T. (2008). *Piping System Fundamentals*. United States of America: Engineered Software.
- Heryanto, R. (2013). *Penentuan Tegangan, Defleksi, dan Kebocoran Flange Menggunakan Perangkat Lunak Caesar II Ver. 5.00 Pada Jalur Pipa (Studi Kasus Pelatihan Pipe Stress Analysis Di PT AP-Greid Jakarta)*. Yogyakarta: UMY Repository.
- Hibbeler, R. (2014). *Mechanics of Materials*. New York: Pearson Prentice Hall.
- Husen, A., & Jamaludin, A. (2019). Analisis Tegangan Sistem Perpipaan pada Sisi Tekan Pompa P-003E Menggunakan Program CAESAR II dan Perhitungan Manual. *Bina Teknika*, 8-28.
- Husen, A., Cholis, N., & Setiadi, A. N. (2018). Analisis Tegangan Pipa pada Sistem Instalasi Perpipaan Geothermal di Proyek X. *Bina Teknika*, 63.
- Kannappan, S. (1986). *Introduction to Pipe Stress Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.
- Lazuardi, B. (2018). Desain Insulasi dan Expansion loop pada Penggantian Jalur Pipa Transfer Ammonia (NH₃) Diameter 8 Inch (Studi Kasus di PT. Petrokimia Gresik). *Jurnal PPNS*.
- Manurung, P., & Syam, B. (2013). Analisa Tegangan Pipa pada Sistem Perpipaan Heavy Fuel Oil dari Daily Tank Unit 1 dan Unit 2 Menuju Heat Exchanger PLTU Belawan. *E-Dinamis*, 39-40.
- Maulana, A. (2016). Perhitungan Tegangan Pipa Dari Discharge Kompresor Menuju Air Cooler Menggunakan Software CAESAR II 5.10 pada Proyek Gas Lift Compressor Station. *JTM*, 50-63.
- Nayyar, M. (2000). *Piping Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Pridyatama, P. A. (2014). *Analisa Rancangan Pipe Support pada Sistem Perpipaan High Pressure Vent Berdasarkan Stress Analysis dengan Pendekatan Caesar II*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Raswari. (1987). *Perencanaan dan Penggambaran Sistem Perpipaan*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Reddy, G., Muruva, H. P., & Verma, A. K. (2019). *Textbook of Seismic Design : Structures, Piping Systems, and Components*. Springer.
- Reegan, C. e. (2015). Product Analysis and Stress Analysis of Process Piping Routing by Using CAESAR II. *ISSN*, 156.
- Sherwood, D. R., & Whistance, D. J. (2009). *the Piping Guide for the Design and Drafting of Industrial Piping System*. Construction Trades Press.
- Usman, N. A. (2018). *Analisis Tegangan Pipa dan Defleksi Pada Jalur Penghubung Reaktor (Re-101) Pada Vinylchloride Monomer (Vcm) Plant PT Asahimas Chemical Dengan Menggunakan Software Ceasar II 2016*. Yogyakarta: UMY Repository.
- Wijaya, I. (2018). ANALISIS TEGANGAN PIPA, DEFLEKSI, DAN PENGECEKAN KEBOCORAN FLANGE MENGGUNAKAN CAESAR II 2013 PADA JALUR PIPA TN-S177RC TUNU PHASE 11A PT. TOTAL E&P INDONESIA. *UMY Repository*.