

**SKRIPSI**

**ANALISIS TEGANGAN INSTALASI PIPA PELUMAS PADA  
KAPAL**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD YUSUF  
D091181318**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

# LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

## ANALISIS TEGANGAN INSTALASI PIPA PELUMAS PADA KAPAL

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD YUSUF**  
**D091181318**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 29-11-2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



SURYA HARIYANTO, S.T., M.T.  
NIP 197107022000121001

Pembimbing Pendamping,



M. RUSYDI ALWI, S.T., M.T.  
NIP 1973011232000121001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Ir. Faisal Mahnuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng  
NIP 198102112005011003



Optimized using trial version [www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;  
Nama : Muhammad Yusuf  
NIM : D091181318  
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### ANALISIS TEGANGAN INSTALASI PIPA PELUMAS PADA KAPAL

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 29 November 2023

Yang Menyatakan



METERAL TEMPEL  
5CEAKX707096927

muhammad Yusuf



## ABSTRAK

**MUHAMMAD YUSUF** ANALISIS TEGANGAN INSTALASI PIPA PELUMAS PADA KAPAL (dibimbing oleh Surya Haryanto, S.T., M.T. dan M. Rusydi Alwi, S.T., M.T)

Kapal memiliki sistem instalasi pipa pelumas yang sangat penting untuk menjamin stabilitas dikapal. Suatu beban akan tercipta oleh fluida yang melewati sistem pipa pelumasan. Akibatnya, ada kemungkinan jalur pipa yang krusial akan menyebabkan pipa mengalami tekanan. Ketika tegangan melebihi batas yang diizinkan yang ditetapkan menggunakan peraturan dari ASME B31.3, hal itu dikatakan berbahaya jika melewati batas izin tegangan aman. Beban yang terus-menerus menyebabkan defleksi pada pipa selain menimbulkan tegangan, sehingga pipa tersebut berisiko rusak. Metode penelitian yang digunakan *Ansys software* dan analisis manual penelitian untuk menentukan besar tegangan dan besar defleksi pada sistem pipa pelumas. Pembuatan desain berdasarkan diagram pipa yang diberikan oleh pihak galangan yang dianalisis. Kemudian melakukan variasi desain untuk mengoptimalkan desain dibawah batas izin tegangan dan batas maksimal defleksi. Desain sistem pelumasan mesin utama yang ditawarkan pertama sepanjang 38,52 meter dengan menggunakan 11 support. Tegangan yang dihasilkan sistem pelumasan mesin utama yang ditawarkan pertama sebesar 115,38 MPa dan untuk defleksi yang dihasilkan sebesar 0,341 mm. Adapun variasi desain pipa pelumasan mesin utama memiliki panjang 42,8 m dengan menggunakan 13 support. Tegangan yang dihasilkan sistem pelumasan mesin utama yang ditawarkan pertama sebesar 102,76 MPa dan untuk defleksi yang dihasilkan sebesar 0,287 mm. Sedangkan untuk sistem pelumasan mesin bantu yang ditawarkan pertama sepanjang 29,5 meter dengan menggunakan 9 support. Tegangan yang dihasilkan sistem pelumasan mesin bantu sebesar 69,168 MPa, dan untuk defleksi yang dihasilkan sebesar 1,013 mm. Adapun variasi desain pipa pelumasan mesin bantu memiliki panjang 32,35 m dengan menggunakan 10 support. Tegangan yang dihasilkan variasi desain sistem pelumasan mesin bantu sebesar 68,913 MPa, dan untuk defleksi yang dihasilkan sebesar 0,47 mm.

Kata Kunci : analisis tegangan, *ansys software*, maksimal defleksi, ASME B31.3



## ABSTRACT

**MUHAMMAD YUSUF STRESS ANALYSIS OF LUBRICANT PIPE INSTALLATION ON A SHIP** (supervised by Surya Haryanto, S.T., M.T. and M. Rusydi Alwi, S.T. M.T.)

*The Ship have a lubricant pipe installation system which is very important to ensure ship stability. A load will be created by the fluid passing through the lubrication pipe system. As a result, there is a possibility that a crucial pipeline route will cause the pipe to experience pressure. When the voltage exceeds the permissible limits determined using the regulations of ASME B31.3, it is said to be dangerous if it exceeds the safe voltage permissible limits. Continuous loads cause deflection in the pipe in addition to creating stress, putting the pipe at risk of damage. Ansys software and manual analysis using formulas are two research methods for determining the amount of stress and the amount of deflection in the lubricant pipe system. Making designs based on pipe diagrams provided by the shipyard being analyzed. Then carry out design variations to optimize the design below the stress permit limits and maximum deflection limits. The first main engine lubrication system design offered is 38.52 meters long using 11 supports. The stress generated by the main engine lubrication system offered first is 115.38 MPa and the resulting deflection is 0.341 mm. The design variation for the main engine lubrication pipe is 42.8 m long and uses 13 supports. The stress generated by the main engine lubrication system offered first is 102.76 MPa and the resulting deflection is 0.287 mm. Meanwhile, the first auxiliary engine lubrication system offered is 29.5 meters long using 9 supports. The stress generated by the auxiliary engine lubrication system is 69.168 MPa, and the resulting deflection is 1.013 mm. The design variation for the auxiliary engine lubrication pipe is 32.35 m long and uses 10 supports. The stress produced by variations in the design of the auxiliary engine lubrication system is 68.913 MPa, and the resulting deflection is 0.47 mm.*

*Keywords: Stress analysis, ansys software, maximum deflection, ASME B31.3*



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pengertian Umum.....	4
2.1.4 Beban Pipa.....	8
2.2 Defleksi.....	9
2.2.1 Defleksi Sistem Perpipaan.....	10
2.3 Tegangan Pipa.....	12
2.3.1 Perhitungan Tegangan Pipa.....	12
2.3.2 Tegangan Izin Pada Pipa.....	17
2.3.3 <i>Code and Standard</i> .....	19
2.4 <i>Ansys Software</i> .....	20
BAB 3 Metode penelitian.....	22
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	22
3.2 Studi Literatur.....	22
3.3 Pengumpulan data.....	22
3.4 Langkah Analisis Data.....	26
3.5 Kerangka Penelitian.....	28
BAB IV Hasil dan pembahasan.....	29
4.1 Gambaran Umum.....	29
4.2 Pembuatan Desain Pipa Sistem Pelumas.....	32
4.3 Pemodelan Dengan Variasi Desain Pipa Pelumas.....	51
BAB V PENUTUP.....	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....	75
LAMPIRAN.....	76



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Size Pipa .....	5
Gambar 2 Support hangers .....	7
Gambar 3 Support guide .....	7
Gambar 4 Support restrain.....	8
Gambar 5 Support U bolt .....	8
Gambar 6 Maksimal defleksi .....	11
Gambar 7 Tegangan aksial.....	13
Gambar 8 Tegangan tekuk .....	14
Gambar 9 Tegangan tekan .....	15
Gambar 10 Tegangan hoop .....	16
Gambar 11 Tegangan geser.....	16
Gambar 12 Tegangan torsi .....	17
Gambar 13 General Arrangement Kapal Lembar Lintas Padang Bai.....	22
Gambar 14 Diagram pipa minyak lumas mesin utama Kapal Lintas Lembar Padang Bai.....	25
Gambar 15 Diagram pipa minyak lumas mesin bantu Kapal Lintas Lembar Padang Bai.....	26
Gambar 16 Skema desain pipa pelumas mesin utama .....	29
Gambar 17 Skema desain pipa pelumas mesin bantu .....	29
Gambar 18 Tampak depan desain pipa minyak lumas mesin utama .....	36
Gambar 19 Desain geometry pipa minyak lumas mesin utama.....	36
Gambar 20 Desain geometry pipa minyak lumas mesin bantu.....	38
Gambar 21 Pemeshingan desain geometry pipa minyak lumas mesin utama .....	40
Gambar 22 Pemeshingan desain geometry pipa minyak lumas mesin bantu .....	40
Gambar 23 Hasil dari simulasi tegangan pipa minyak lumas mesin utama.....	41
Gambar 24 Hasil dari simulasi tegangan pipa minyak lumas mesin bantu.....	43
Gambar 25 Hasil dari simulasi defleksi pada pipa minyak lumas mesin utama...	45
Gambar 26 Hasil dari simulasi defleksi pada pipa minyak lumas mesin bantu....	48
Gambar 27 Grafik perbandingan kalkulasi manual, <i>ansys software</i> dan izin tegangan aman.....	51
Gambar 28 Tampak depan variasi desain pipa minyak lumas mesin utama.....	52
Gambar 29 Desain variasi lain geometry pipa minyak lumas mesin utama .....	52
Gambar 30 Tampak depan variasi desain pipa minyak lumas mesin bantu .....	54
Gambar 31 Desain geometry pipa minyak lumas lain yg ditawarkan .....	54
Gambar 32 Pemeshingan desain geometry pipa minyak lumas mesin utama yang telah dimodifikasi .....	56
Gambar 33 Pemeshingan desain geometry pipa minyak lumas mesin bantu lain yang ditawarkan .....	56
Gambar 34 Hasil dari simulasi tegangan pipa sistem minyak lumas mesin utama lain yang ditawarkan.....	60
Gambar 35 Hasil dari simulasi tegangan pipa minyak lumas mesin bantu lain yang ditawarkan .....	63
Gambar 36 Hasil dari simulasi defleksi pipa minyak lumas mesin utama setelah dimodifikasi.....	65



Gambar 37 Hasil dari simulasi defleksi pipa minyak lumas mesin bantu lain yang ditawarkan ..... 68

Gambar 38 Grafik perbandingan desain tawaran pertama, variasi desain yang ditawarkan dan batas izin tegangan..... 70



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Daftar Maksimal Defleksi .....	10
Tabel 2 Data Komponen Sistem Pipa Minyak Lumas .....	23
Tabel 3 Data Parameter Spesifikasi Pipa Minyak Lumas Mesin Utama .....	24
Tabel 4 Data Spesifikasi Pipa Minyak Lumas Mesin Bantu.....	24
Tabel 5 Hasil Nilai Tegangan Perhitungan Manual .....	35
Tabel 6 Detail node pipa mesin utama .....	36
Tabel 7 Detail node pipa mesin bantu.....	38
Tabel 8 Node dengan tegangan tertinggi pipa minyak lumas mesin utama.....	41
Tabel 9 Node dengan tegangan tertinggi pipa minyak lumas mesin bantu.....	43
Tabel 10 Node dengan defleksi tertinggi pipa minyak lumas mesin utama .....	46
Tabel 11 Node dengan defleksi tertinggi pipa minyak lumas mesin bantu .....	48
Tabel 12 Detail node pipa mesin utama .....	53
Tabel 13 Detail node pipa mesin bantu.....	55
Tabel 14 Hasil Nilai Tegangan Perhitungan Manual .....	60
Tabel 15 Node dengan tegangan tertinggi pipa minyak lumas mesin utama lain yang ditawarkan .....	61
Tabel 16 Node dengan tegangan tertinggi pipa minyak lumas mesin bantu lain yang ditawarkan .....	63
Tabel 17 Node dengan defleksi tertinggi pipa minyak lumas mesin utama lain yang ditawarkan .....	65
Tabel 18 Node dengan defleksi tertinggi pipa minyak lumas mesin bantu lain yang ditawarkan .....	68



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
Ls	Pipa Scan	(ft) (in) (mm)
OD	Diameter Luar	(in) (mm)
ID	Diameter Dalam	(in) (mm)
BEP	Diameter Nominal	(in) (mm)
SCH	<i>Schedule</i>	(in) (mm)
Sh	Tegangan yang diizinkan	(Psi)
Z	Section modulus pipa	(in <sup>3</sup> )
w	Berat total pipa / satuan panjang	(lb/in)
$\Delta$	Defleksi yang diizinkan	(In)
$\delta$	Defleksi maksimum	(In)
I	Momen inersia pada bentangan pipa	(In <sup>4</sup> )
C	Koefisien ekspansi termal	(In/In/F°)
L	Panjang pipa	(ft)
$\Delta T$	Perbedaan temperatur	(F°)
E	Modulus elastisitas	(Psi)
$\alpha$	Linear ekspansi termal	(In/100ft)
A	Luas permukaan pipa	(In <sup>2</sup> )



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 General Arrangement Kapal Lembar Lintas Padang Bai .....	77
Lampiran 2 Data Pompa Minyak Lumas Kapal Lembar Lintas Padang Bai .....	78
Lampiran 3 Katalog Flange.....	79
Lampiran 4 Data Dimensi Pipa Sch-40.....	80
Lampiran 5 Tabel Spesifikasi Minimum Tensil Strength pada ASME B31.3.....	81
Lampiran 6 Tabel tegangan izin ASME B31.3 .....	82
Lampiran 7 Tabel Properti Pipa Dari Buku Sam Kannapan .....	83
Lampiran 8 Tabel Modulus Elastisitas pada ASME B31.3 .....	84



## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Wr.Wb*

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rezeki, rahmat, dan karunia-Nya lah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Tegangan Instalasi Pipa Pelumas Pada Kapal Lembar Lintas Padang Bai Menggunakan Metode *Risk Based Design*”. Skripsi ini disusun dan dibuat sebagai salah satu syarat yang harus dilengkapi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Selesainya Skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui ini penulis memberikan ucapan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada beberapa pihak yang berjasa kepada selama saya kuliah:

1. Kedua orang tua beserta keluarga penulis karena telah menjadi orang tua yang selalu memberikan motivasi dan berdoa agar skripsi ini cepat selesai.
2. Bapak Surya Haryanto, S.T., M.T. yang memberikan berbagai ilmu serta masukan dalam pembuatan skripsi saya, serta berkenan menjadi Dosen Pembimbing I dalam skripsi saya.
3. Bapak M. Rusydi Alwi selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing serta mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Bapak Baharuddin, S.T., M.T. dan Ibu Balqis Shintarahayu S.T., M.Sc. selaku dosen penguji.
5. Bapak Ir. Zulkifli, M.T dan Bapak Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T. selaku dosen yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama penelitian ini berlangsung.
6. Dosen-dosen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, motivasi serta bimbingannya selama proses perkuliahan.  
Staf Tata Usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan dan



juga dalam penyelesaian skripsi ini.

8. Teman-teman ZIZTER18 yang telah membantu penulis mengerjakan tugas-tugas dari awal semester 1 hingga pengerjaan skripsi selesai.
9. Teman-Teman Bidadari ZIZTER18 yang telah membantu penulis untuk tetap giat dan semangat dalam mengerjakan skripsi ini.
10. Teman – Teman Zamberlap yang selalu mengisi hari – hari penulis dengan ke unikan mereka sendiri.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran sebagai bahan untuk memenuhi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Wassalamualaikum  
Wr. Wb.

Gowa, 09 September 2023



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kapal merupakan salah satu alat transportasi yang memiliki banyak sistem perpipaan didalamnya, termasuk instalasi untuk permesinan, sistem untuk pelayanan kapal, dan segala jenis jasa distribusi lainnya yang diproses oleh sistem perpipaan. Fakta ini merujuk kesimpulan bahwa pemasangan pipa di kapal merupakan suatu sistem yang penting.

Komponen utama sistem perpipaan yang mendistribusikan fluida adalah pipa. Ada beberapa sistem perpipaan dikapal. Biro Klasifikasi Indonesia mengatur kategori kelas pipa berdasarkan tekanan dan temperatur kerjanya. Sistem pipa dipasang dengan lengkungan dan bila memungkinkan, dilas atau dibrazing dengan flens atau sambungan yang dapat dilepas dan dipindahkan sesuai kebutuhan. Salah satunya adalah pemasangan sistem pelumas. Selain mengurangi gesekan, sistem pelumas juga melindungi mesin dari keausan. Tanpa adanya sistem pelumasan yang baik, komponen-komponen yang ada pada mesin kapal tidak akan bekerja secara maksimal, bahkan seiring berjalannya waktu juga bisa rusak. Berdasarkan dari pengamatan pada sistem pelumas maka ada kemungkinan tegangan yang besar dapat terjadi diproses pelumasan di kapal. Hal ini bisa menimbulkan tegangan primer maupun tegangan sekunder. Sistem instalasi pipa pelumas mengangkut fluida cair yaitu minyak lumas.

Beban yang ditimbulkan oleh fluida yang bergerak melalui sistem pipa pelumas meliputi beban termal, fluida, dan pipa sebagai akibat perbedaan temperatur antara temperatur awal dan temperatur kerja. Mengingat adanya material yang diangkut, pertimbangan harus diberikan pada beban yang akan diterima oleh pipa. Kemungkinan terjadinya pipa yang mengalami tekanan akan terjadi karena tidak semua pipa yang dipasang berfungsi dengan baik. Jika tegangan melebihi batas atas yang ditetapkan oleh *code and standard* hal ini mungkin dianggap berbahaya. Secara spesifik untuk pipa pelumas yang akan dianalisa nanti memiliki batasan tegangan bergantung terhadap dengan menentukan berdasarkan temperatur, maka desain harus san tegangan. Dengan pipa melewati batas tegangan ini bisa timbulnya daerah kritis ini oleh beban sustain sehingga menyebabkan



bentuk aliran dalam pipa berubah dari laminar menjadi turbulen sehingga jalur pipa menghasilkan defleksi.

Defleksi, yaitu perubahan bentuk material, termasuk perubahan dimensi dan struktur yang dikarenakan beban luar, merupakan dampak lain dari tegangan berlebihan. Oleh karena itu, penting untuk mengkaji keadaan sistem instalasi pipa yang akan dibangun di PT. IKI Persero, penulis akan menawarkan desain sistem instalasi pelumasan berdasarkan diagram pipa yang diberikan oleh pihak galangan dengan mesin utama berjumlah 2 unit dan untuk mesin bantu sebanyak 3 unit dengan jumlah pompa mesin utama 2 unit dan untuk mesin bantu 1 unit.

Dari pernyataan diatas, maka penulis akan menganalisa berapa besar tegangan dan defleksi yang dihasilkan oleh tekanan pompa pada pipa pada instalasi sistem pelumas pada kapal Lembar Lintas Padang Bai berdasarkan desain ditawarkan penulis berdasarkan diagram pipa yang diberikan oleh pihak galangan guna membantu pembuatan sistem instalasi pelumas yang akan dibuat nantinya yang tegangannya tidak melebihi batas tegangan izin aman dengan judul **“Analisis Tegangan Instalasi Pelumas Pada Kapal”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Terdapat beberapa rumusan masalah yang diambil yaitu :

1. Berapa besar nilai tegangan (*stress*) yang dihasilkan pada variasi desain sistem instalasi pelumas Kapal Lintas Lembar Padang Bai pada analisis *Ansys Software* ?
2. Berapa besar nilai defleksi yang dihasilkan pada variasi desain sistem instalasi pelumas Kapal Lintas Padang Bai ?

## 1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui besar nilai tegangan (*stress*) yang dihasilkan pada variasi desain sistem instalasi pelumas Kapal Lintas Lembar Padang Bai pada analisis *Ansys Software*.
2. Mengetahui besar nilai defleksi yang dihasilkan pada variasi desain sistem instalasi al Lembar Lintas Padang Bai.



## 1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui berapa besar tegangan (*stress*) pipa pada variasi desain sistem instalasi pelumas Kapal Lembar Lintas Padang Bai.
2. Untuk mengetahui berapa besar nilai defleksi yang dihasilkan pada variasi desain sistem instalasi pelumas Kapal Lembar Lintas Padang Bai.

## 1.5 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan skripsi ini, terdapat beberapa rumusan masalah agar penelitian yang dilakukan dapat terfokus pada tujuan dan membatasi permasalahan agar tidak terlalu luas. Berikut Batasan masalah skripsi ini :

1. Pada penelitian ini dikhususkan pada Kapal Lembar Lintas Padang Bai yang masih pada tahap proses pembangunan di PT. IKI Persero.
2. Penelitian ini dibatasi hanya pipa sistem pelumas yang berada pada kamar mesin.
3. Pada penelitian ini lebih difokuskan terhadap tegangan normal atau *primary stress* pada sistem instalasi pipa pelumas kapal.
4. Untuk nilai ketetapan dan koefisien lainnya mengacu pada *code dan standard* ASME.
5. Penelitian ini menggunakan *Ansys software* untuk menganalisa tegangan (*stress*).



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Umum

Pada umumnya pipa memiliki fungsi untuk mengalirkan fluida (zat cair maupun gas) dari satu atau beberapa titik ke satu atau beberapa titik lainnya. Dalam mengalirkan fluida pipa tidak boleh bocor dan pengaliran fluida perlu ada perbedaan tekanan antara titik awal dan titik akhir, serta gesekan yang terjadi antara pipa dan fluida harus diatasi.

#### 2.1.1 Jenis dan Bahan Pipa

Pipa merupakan suatu benda yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan karakteristik seperti liquid, gas, flapor, liquid solid serta powder. (Paniser,Roy 2002).

Berdasarkan manufakturnya pipa dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

- Metode *Butt Wilded* Pipa, metode pembuatan terbuat dari plat yang disambungkan dengan cara *Roll*.
- Metode *Spiral Wilded* Pipa, metode pembuatan dari plat yang dispiralkan lalu disambungkan dengan cara *welding*.
- Metode *Seamless* Pipa, metode pembuatan tanpa sambungan, dari silinder kerja dibuat lubang menggunakan mandrel.

Pipa diidentifikasi menjadi tiga kategori ukuran yang berbeda, yakni:

- Diameter Nominal (DN)
- *Schedule* (Sch), dan
- *Nominal Pipe Size* (NPS).

Bahan-bahan pipa yg dimaksud yakni struktur bahan pipa tersebut yang dapat dikategorikan secara umum sebagai berikut:

- *Carbon Moly*
- *Carbon steel*
- *Ferro Nikel*
- *Galvanized*

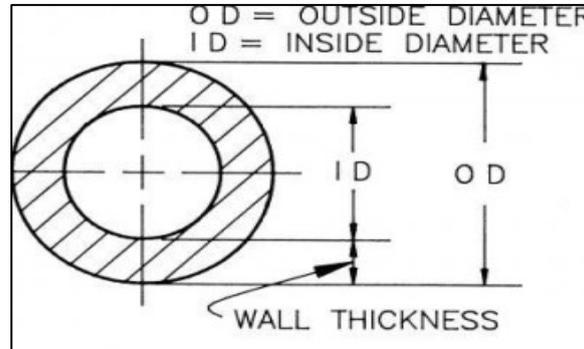


ulon)

teel.

### 2.1.2 Size Pipa

Diameter luar (DO) dan Diameter dalam (DI). Serta untuk satuan dari nilai *size* pipa bisa menggunakan satuan imperial (inch) dan metrik (mm).



Gambar 1 Size Pipa  
(Sumber : <https://new-tp.ppns.ac.id/post/pipa>)

*Nominal Pipe Size* (NPS) digunakan untuk penamaan pipa saja. Dalam pembentukannya istilah nominal mengacu pada penamaan pipa. Cara ini digunakan agar lebih mudah mengetahui suatu material. Sedangkan untuk *size* diameter luar (DO) dan diameter dalam (DI) mengacu pada ukuran diameter pipa dengan ukuran sebenarnya dimana letak pengukuran sesuai dengan namanya. (Husodo, 2021)

Ketebalan atau *wall tickness*, memiliki batasan izin juga, untuk korosi. Nilai *wall tickness* dapat dilihat pada tabel *schedule* pipa. Nilai dari *wall tickness* akan dibandingkan pada nilai korosi yang dapat ditentukan dengan cara:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 (S \cdot E \cdot W + P \cdot Y)} \quad (1)$$

Kemudian nilai dari  $t_m$  akan ditambah dengan koefisien  $c$ , maka persamaannya:

$$t_m = t + c \quad (2)$$

Dimana:

$P$  = Tekanan (MPa)

$c$  = Jumlah batas perlakuan material (mm)

$D$  = Diameter Luar Pipa (mm)

$E$  = Fako Kualitas



faktor reduksi kekuatan sambungan pengelasan  
Nilai Tegangan Izin pada ASME B31,3  
koefisien Y

Dalam proses perpipaan, metode *sizing* pipa mempertahankan diameter luar yang seragam sambil memvariasikan diameter dalam. Metode ini mencapai kekuatan yang diinginkan yang diperlukan untuk pipa untuk melakukan fungsi yang dimaksudkan saat beroperasi di bawah berbagai suhu dan tekanan. Untuk nilai *size* atau ukuran pipa mengacu pada standar internasional *The American Society Of Mechanical Engineers* atau dikenal dengan singkatan ASME dimana pada ASME B36 10M dan ASME B36 19M. Dalam dunia perpipaan pipa untuk pendeskripsianya dikenal *Nominal Piping Size* (NPS), *wall tickness* pada pipa disebut juga dengan *Schedule* (Sch).

### 2.1.3 Komponen dan *Support* Pipa

Sistem instalasi pipa terdiri dari komponen yang mendukung proses pemindahan fluidanya. Komponen perpipaan harus dibuat berdasarkan spesifikasi, standar yang terdaftar dalam simbol dan code yang telah dipilih maupun dibuat sebelumnya. Komponen perpipaan yang dimaksud sebagai berikut :

- *Pipe* (pipa)
- *Flange* (flens)
- *Fitting* (sambungan)
- *Valve* (katup)
- *Bolting* (baut)
- *Gasket*

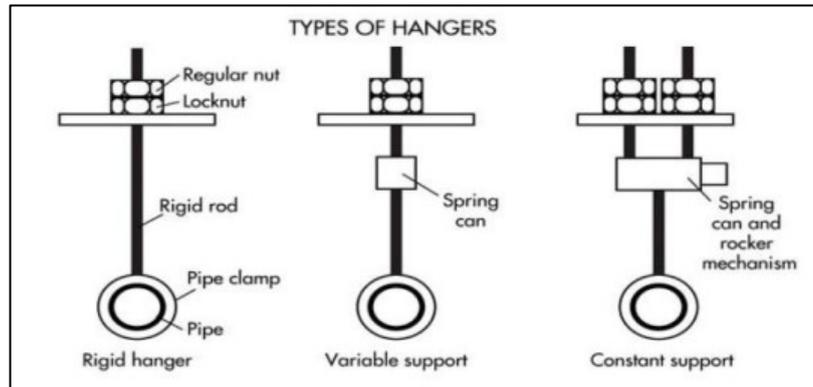
*Support* tersebut dibuat untuk menahan berbagai beban statis dan dinamis. Pergerakan sistem perpipaan dan profil pembebanan yang mungkin terjadi dalam berbagai kondisi harus dipertimbangkan saat menempatkan penyangga. *Support* pada pipa tidak hanyadiperlukan sebagai penahan beban pada pipa karena juga harus menahan beban tambahan, seperti beban thermal atau beban oksional, selain menopang berat pipa. (Azmi et al., 2018)

- *Support Hanger*

*Support hanger* berfungsi ketika beban seperti berat fluida, berat pipa, atau berat diterima oleh sistem perpipaan dan kemudian disalurkan oleh support, dan tersebut diteruskan oleh gantungan penyangga. Sebagai alternatif dari kaku, gantungan dan penyangga pegas (juga dikenal sebagai penyangga lunak) digunakan bila diperlukan untuk menopang berat pipa tetapi tidak perlu



mengontrol atau mengkompensasi perpindahan yang disebabkan oleh ekspansi termal.



Gambar 2 Support hangers  
(Sumber : mechasource.blogspot)

- *Guide Support*

Guide adalah suatu bentuk penyangga yang menjaga agar pipa tidak bergerak kesamping. Biasanya, bahan balok yang telah dipotong sesuai ukuran digunakan untuk membuat pemandu. Karena tidak ada kontak fisik antara pipa dan bahan pemandu, korosi pada pipa berinsulasi atau tidak berinsulasi tidak terpengaruh oleh bahan pemandu. Desain menentukan di mana pemandu harus ditempatkan pada pipa kritis dan non-kritis.



Gambar 3 Support guide  
(Sumber : axis-india.com/product-category)

- *Pipe Restrain*

*Pipe restrain* dirancang khusus untuk menahan beban yang disebabkan oleh ekspansi termal atau pergerakan pipa. Di sini, pergerakan pipa dapat disebabkan



eksternal seperti angin selain variasi suhu pipa yang tinggi atau rendah. mendukung pergerakan yang disebabkan oleh kandungan termal atau ri sistem perpipaan, penahan pipa lebih canggih.



Gambar 4 Support restrain  
(Sumber : <https://www.dipa.de/en/product>)

- *U Bolt Support*

U bolt merupakan Jenis penyangga yang paling populer sering digunakan. Dukungan ini terjangkau, mudah diterapkan, dan bermanfaat. Mur baut berfungsi sebagai pengikat pada U bolt. Digunakan U bolt yang dimasukkan secara melintang pada pipa dan menyerupai cincin. Ini digunakan untuk membatasi pergerakan pipa ke atas, ke kiri, dan ke kanan. Baut U adalah penyangga yang dapat menopang beban yang disebabkan oleh pemuaian termal atau, lebih khusus lagi, beban yang disebabkan oleh pergerakan pipa. Di sini, pergerakan pipa dapat disebabkan oleh faktor eksternal seperti angin selain variasi suhu pipa yang tinggi atau rendah.



Gambar 5 Support U bolt  
(Sumber : <https://offer.alibaba.com/cps>)

#### 2.1.4 Beban Pipa

Ada beberapa bagian pada pipa, antara lain :



kit Beban Statik (sustain, ekspansi dan *operating*)

Tegangan sebenarnya (tekanan, berat, dll.) pada beban penopang. Intinya, ini adalah beban yang disebabkan oleh faktor internal, seperti tekanan, suhu, dan berat material pipa serta komponen sistem lainnya.

- **Beban Termal**

Beban yang timbul akibat ekspansi dari panas. Beban termal dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan sumber penyebabnya, yaitu:

1. Beban termal yang disebabkan oleh pembatasan pergerakan oleh penyangga; beban-beban ini (gaya dan momen) timbul ketika tumpuan menghalangi pipa untuk mengembang atau berkontraksi secara bebas karena panas.
2. Beban termal yang disebabkan oleh perbedaan suhu, termasuk distribusi suhu yang tidak merata akibat aliran panas yang kuat melalui dinding pipa. Beban ini disebabkan oleh fluktuasi suhu yang signifikan dan cepat.
3. Beban termal akibat variasi koefisien muai; beban ini muncul dalam sistem pipa yang terbuat dari bahan dengan koefisien muai berbeda.

## 2.2 Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk pada suatu benda yang disebabkan oleh pembebanan yang diberikan pada suatu benda. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi suatu nilai defleksi sebagai berikut :

1. Kemampuan suatu benda untuk menahan beban tanpa mengubah bentuk atau deformasi disebut kekakuan. Lendutan yang lebih kecil dapat terjadi pada material dengan nilai kekakuan yang lebih tinggi.
2. Lendutan berbanding lurus dengan nilai pembebanan. Lendutan yang dihasilkan meningkat seiring dengan meningkatnya beban yang diterapkan pada suatu benda, dan sebaliknya.
3. Tumpuan mempunyai dampak karena setiap jenis reaksi mempunyai jumlah tanggapan yang berbeda dan arah yang berbeda, sehingga mempengaruhi cara terjadinya defleksi.
4. Beban titik dan beban merata keduanya mempunyai kurva defleksi yang berbeda.



Defleksi yang muncul pada bagian terdekat dari batang ketika beban kan secara merata lebih besar dari pada kemiringan titik. Hal ini

disebabkan oleh beban yang ditemui batang sepanjang batang tersebut. (Hariandja, 1996)

### 2.2.1 Defleksi Sistem Perpipaan

Ketentuan jarak antara kedua tumpuan atau penopang pada pipa dibuat untuk mencegah terjadinya kegagalan pada sistem perpipaan. Gunakan rumus ini saja ketika menghitung sistem pipa yang terhubung ke komponen dengan menggunakan *bending stress / base on limitation stress* dan *vertical deflection / base on limitation deflection*. (Sam Kannappan, 1985)

Untuk pipa yang ujungnya diasumsikan *simply support* yakni tumpuan sederhana yang bisa dirotasi. Satuan dari persamaan ini Imperial (Inch):

$$L_s = \sqrt[4]{\frac{\Delta I E}{22,5 w}} \quad \text{Based on Limitations of Deflection} \quad (3)$$

Dimana:

$L_s$  = Pipa Span (ft)

$Z$  = Section modulus pipa (in<sup>3</sup>)

$W$  = Berat total pipa / satuan Panjang (lb/in)

$\Delta$  = Defleksi yang diizinkan (In)

$I$  = Moment inersia pada bentangan pipa (in<sup>4</sup>)

$E$  = Modulus elastisitas pada temperatur desain (psi)

Menurut (Sherwood, 1973) dalam Tabel S-1, jarak maksimal *pipe span* (jarak antar *support*) dapat dikelompokkan berdasarkan bahan pipa dan standar ketebalan dinding pipa. Berikut tabel S-1 yang dapat digunakan dalam menentukan defleksi maksimal berdasarkan schedule pipa:

Tabel 1 Daftar Maksimal Defleksi

Nominal Pipe Size	Pipe Span		Weight Of Water Filled Pipe Span (Lb)	Maximum Deflection (In)
	Ft	In		
<b>1.0 – INCH</b>	16	1.07	33	0.244
<b>1.5 – INCH</b>	19	0.49	69	0.237
<b>2.0 – INCH</b>	20	11.53	107	0.230



<b>2.5 – INCH</b>	23	3.20	183	0.234
<b>3.0 – INCH</b>	25	3.65	273	0.227
<b>4.0 – INCH</b>	28	1.01	458	0.218
<b>6.0 – INCH</b>	32	10.37	1,035	0.202
<b>8.0 – INCH</b>	36	7.40	1,836	0.193
<b>10.0 – INCH</b>	40	0.55	2,987	0.185
<b>12.0 – INCH</b>	42	11.48	4,386	0.180
<b>14.0 – INCH</b>	44	11.52	5,463	0.179
<b>16.0 – INCH</b>	47	10.83	7,640	0.178
<b>18.0 – INCH</b>	50	10.65	10,289	0.179
<b>20.0 – INCH</b>	52	11.02	12,880	0.174
<b>24.0 - INCH</b>	57	5.84	19,844	0.171

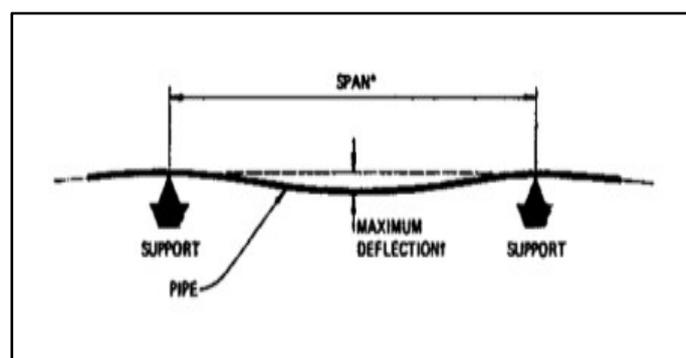
(Sumber : docplayer.info.2020)

Perhitungan secara manual diawali dengan menghitung berat pipa per satuan panjang ( $w$ ). Berat tersebut dapat dihitung sesuai dengan persamaan. (Sam Kannappan, 1985) Untuk nilai dari berat insulasi tergantung dengan pipa, dan cenderung untuk diabaikan.

$$\frac{\pi}{4}(OD^2 - ID^2) \cdot \rho_{pipe} \cdot L \quad (\text{Weight of Pipa}) \quad (4)$$

$$\frac{\pi}{4}(ID^2) \cdot \rho_{Fluida} \cdot L \quad (\text{Weight of Content}) \quad (5)$$

$$W_p + W_c + W_i \quad (\text{Weight Total of Pipa}) \quad (6)$$



Gambar 6 Maksimal defleksi  
(Sumber : docplayer.info.2020)



## 2.3 Tegangan Pipa

Untuk mencegah pergerakan pipa yang disebabkan oleh pemuaian atau kontraksi termal, serta gaya aksial yang dapat mengakibatkan beban yang bekerja pada sistem sehingga menekan dinding pipa, sistem pipa harus dibangun sefleksibel mungkin. Akan terjadi regangan atau defleksi akibat banyaknya tegangan yang bekerja pada dinding pipa. Persamaan mekanik untuk bejana berdinding tipis dapat digunakan untuk menentukan besar kecilnya tegangan yang ditimbulkan oleh beban operasi tekanan internal fluida yang mengalir dalam pipa.

### 2.3.1 Perhitungan Tegangan Pipa

Mengetahui dasar-dasar tegangan pipa, seperti sumber dan bentuk tegangan pipa, merupakan langkah awal dalam menghitung tegangan pada suatu sistem perpipaan. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan yang ada pada pipa. Memahami berbagai bentuk dan perhitungan tegangan dalam sistem pipa adalah tujuannya.

Benda mati, tekanan, pemuaian panas, bentuk pipa, dan material pipa semuanya berkontribusi terhadap tegangan pada pipa. Jenis bahan dan kode produksi mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap batasan tegangan pipa. Kedua konsep ini digunakan sesuai dengan teori kegagalan yang diterima. Dalam pembahasan *code* dan *standard*, tegangan pipa dibedakan menjadi dua, yakni :

- Tegangan pipa aktual, yaitu tegangan hasil pengukuran strain gauge atau perhitungan analisa secara manual dan perangkat lunak komputer.
- Tegangan pipa *code*, yaitu tegangan hasil perhitungan menggunakan persamaan tegangan yang tertera pada *code standard* tertentu.

Tegangan adalah besaran vektor yang selain memiliki nilai juga memerlukan arah. Nilai tegangan didefinisikan sebagai gaya ( $F$ ) persatuan luas ( $A$ ). (Husen et al., 2018)

Tegangan yang terjadi dalam sistem perpipaan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yakni Tegangan Normal (*Normal Stress*) dan Tegangan Geser (*Shear Stress*).

Tegangan normal terdiri dari tiga komponen tegangan, yang masing-masing adalah:



longitudinal ( $S_L$ )

yang arahnya sejajar dengan sumbu memanjang disebut tegangan  $S_L$ . Jika terjadi tegangan tekan, nilai tegangan ini akan dinyatakan

sebagai negatif; jika terjadi tegangan tarik maka dinyatakan positif. Total tegangan longitudinalnya adalah merupakan jumlah dari Tegangan Axial (*Axial Stress*), Tegangan Tekuk (*Bending Stress*) dan Tegangan Tekanan (*Pressure Stress*). (Husen & Jamaludin, n.d.)

Maka nilai total dari tegangan longitudinal yakni  $S_L = S_{AX} + S_B + S_{LP}$

Mengenai ketiga tegangan ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

- Tegangan Axial ( $S_{ax}$ )

Tegangan Axial ( $S_{ax}$ ) adalah tegangan yang disebabkan oleh gaya  $F_{ax}$  yang bekerja searah dengan sumbu pipa bisa dilihat pada Gambar 7. Nilai dari tegangan axial dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$S_{ax} = \frac{F_{ax}}{A_m} = \frac{P \cdot A_i}{\pi \cdot d_m} = \frac{P \cdot A_i}{\frac{\pi}{4} \cdot (d_o^2 - d_i^2)} \quad (7)$$

Dimana :

$A_m$  = Luas Penampang material pipa

$A_m$  =  $(\pi (d_o^2 - d_i^2)/4) = (\text{in}^2)$

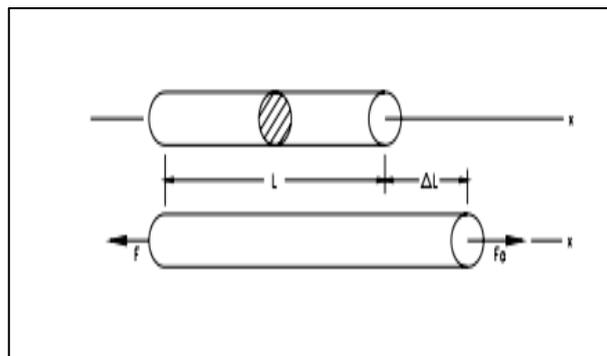
$d_o$  = Diameter Luar Pipa

$d_i$  = Diameter Dalam Pipa

$P$  = Tekanan dalam axial (psi)

$A_i$  = Luas Penampang dalam pipa ( $\text{in}^2$ )

$A_i$  =  $\frac{\pi(d_i^2)}{4}$



Gambar 7 Tegangan aksial  
(Sumber : Chamsudi)



- Tegangan Tekuk ( $S_B$ )

Tegangan yang disebabkan oleh momen ( $M$ ) yang bekerja pada ujung-ujung pipa disebut tegangan lentur ( $S_B$ ). Lentur tarik atau tekan mungkin disebabkan oleh tegangan dalam situasi ini. Karena tegangan lentur merupakan fungsi jarak sumbu ke permukaan pipa  $C$ , maka tegangan lenturnya maksimal pada permukaan pipa dan nol pada sumbu pipa. Berdasarkan Gambar 2.8, permukaan pipa mempunyai tegangan lentur paling besar, sedangkan sumbu pipa mempunyai tegangan paling rendah. Nilai tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut..

$$S_b = \frac{M_b \cdot c}{I} = \frac{M_b \cdot r_o}{I} = \frac{M_b}{Z} \quad (8)$$

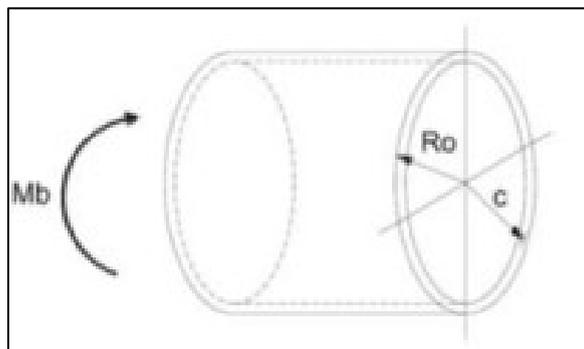
$$I = \frac{\pi(r_o^2 - r_i^2)^2}{64} \quad (9)$$

$$M_b = \frac{wL^2}{8} \quad (10)$$

$$c = \frac{r_o}{2} \quad (11)$$

Dimana :

$I$	=	Momen Inersia	(in <sup>4</sup> )
$M_b$	=	Momen bending	(lb·in)
$w$	=	Berat Pipa	(lb/in)
$L$	=	Pipa terpanjang pipa	(in)
$c$	=	Jarak dari netral	(in)
$Z$	=	Section modulud	(in <sup>3</sup> )
$r_o$	=	jari jari pipa	(in)



Gambar 8 Tegangan tekuk  
(Sumber : Chamsudi)



- Tegangan Tekan ( $S_{LP}$ )

Tegangan Tekan ( $S_{LP}$ ), disebut juga tegangan akibat tekanan fluida pipa, adalah tegangan yang disebabkan oleh gaya tekan dalam ( $P$ ) yang bekerja pada dinding pipa dan searah sumbu pipa seperti pada gambar. Nilai tegangan dapat dinyatakan dengan cara berikut :

$$S_{LP} = \frac{P \cdot A_i}{A_m} = \frac{P d_i^2}{d_o^2 - d_i^2} = \frac{P d_i^2}{4 t d_m} = \frac{P d_o}{4 t} \quad (12)$$

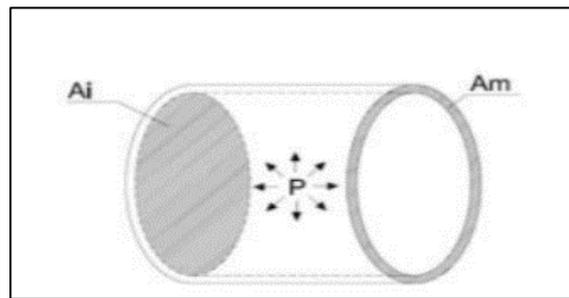
Dimana :

$P$  = Gaya tekan Internal (psi)

$d_o$  = Diameter luar (in)

$d_i$  = Diameter dalam (in)

$t$  = Ketebalan pipa (in)



Gambar 9 Tegangan tekan  
(Sumber : Chamsudi)

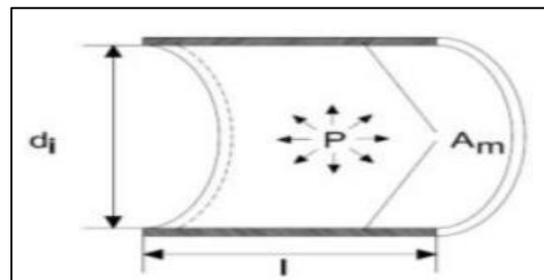
## 2. Tegangan Tangensial (*Hoop stress*)

Nilai yang selalu positif jika tegangan cenderung membelah pipa menjadi dua. Tegangan ini ditimbulkan oleh tekanan di dalam pipa, dan tekanan ini berasal dari fluida. Amplitudo tekanan internal ini, yang beroperasi dalam arah tangensial dan bervariasi menurut ketebalan dinding pipa, sama dengan tekanan yang dialami fluida. Tekanan diterapkan pada dinding pipa atau dirasakan oleh dinding pipa.. (Husen et al., 2018)

Rumus untuk tegangan tangensial dapat didekati dengan memakai persamaan berikut:



$$t = \frac{P \cdot d_i \cdot L}{2 \cdot t \cdot L} = \frac{P d_i}{2 t} = \frac{P d_o}{2 t} \quad (13)$$



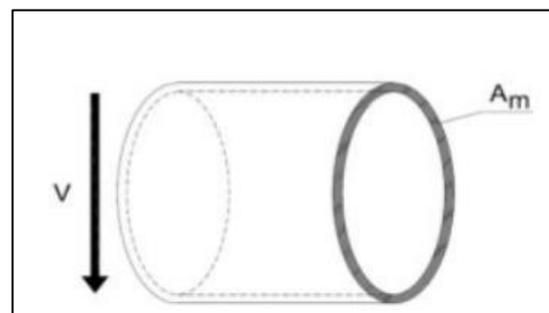
Gambar 10 Tegangan hoop  
(Sumber : Chamsudi)

Tegangan geser pada sistem perpipaan sebagian disebabkan oleh gaya lentur yang bercampur dengan gaya penyangga pipa. Tegangan geser digolongkan menjadi 2 kategori menurut penyebabnya, yaitu :

### 1. Tegangan geser

Tegangan geser terbesar terjadi pada sumbu pipa dan terendah pada lokasi terjauh dari sumbu pipa, yaitu permukaan luar pipa. Mirip dengan tegangan radial, tegangan geser merupakan kebalikan dari tegangan tekuk. Karena tegangan ini lebih ringan dibandingkan tegangan tekuk, maka tegangan geser dapat diabaikan.

$$T_{max} = \frac{VQ}{A_m} \quad (14)$$



Gambar 11 Tegangan geser  
(Sumber : Chamsudi)

### 2. Tegangan Torsi

Poros adalah suatu material panjang dengan luas permukaan tertentu yang rentan terhadap puntiran pada setiap ujungnya. Putaran ini dikenal sebagai torsi.

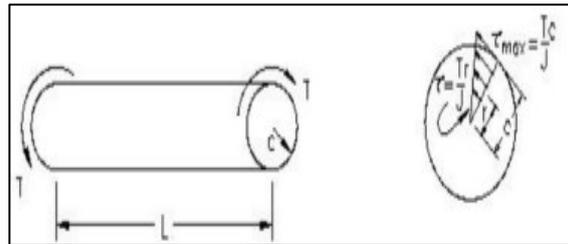
Untuk poros dengan panjang L dan jari-jari c yang saling menarik (sepasang).  
(005)



$$\mathcal{T}_{\max} = \frac{M_T}{I} = \frac{T \cdot R_o}{I} \quad (15)$$

Nilai Tegangan geser Total yakni :

$$\mathcal{T}_{\max} = \frac{V Q}{A_m} + \frac{T \cdot R_o}{2 \cdot Z} \quad (\text{psi}) \quad (16)$$



Gambar 12 Tegangan torsi  
(Sumber : Chamsudi)

### 2.3.2 Tegangan Izin Pada Pipa

Tegangan sebenarnya harus mampu menunjukkan bahwa sistem perpipaan aman dalam arti tidak ada kendala operasional yang disebabkan oleh suhu, tekanan, beban berkelanjutan, atau beban sesekali (beban yang terjadi sewaktu-waktu). Hal ini berdasarkan hasil analisis komputer. Peninjauan sistem perpipaan adalah aman apabila beban tegangan yang terjadi mempunyai nilai rasio lebih kecil atau sama dengan 1 dari harga *allowable* nya sebagaimana telah ditetapkan dalam “*Code* maupun *Standard*”. (Chamsudi, 2005)

Tegangan pada pipa berdasarkan bebannya maupun kegagalan yang sering terjadi dapat dikategorikan menjadi dua yakni :

- Kegagalan tegangan sustain (*Primary*) adalah tegangan yang berakibat kegagalan pada pipa secara langsung karena melewati batas *yield* atau *ultimate strength* yang telah ditentukan pada pipa, dan
- Kegagalan tegangan ekspansi (*Secondary*) adalah tegangan yang berakibat kegagalan karena peristiwa yang berulang ulang namun tegangan yang terjadi masih dibawah *primary stress*.



Adapun tegangan *Primary stress* dan *Secondary stress*, yaitu :

### 1. *Primary stress*

Kerusakan atau tekanan yang disebabkan oleh beban yang berkelanjutan. Dapat dikatakan bahwa tegangan ini berbahaya karena dapat merusak material pipa dan menyebabkan kerusakan jika menumpuk di dalam pipa dan melampaui batas beban.

Beban berkelanjutan (*sustain load*) adalah beban yang bersifat berkelanjutan (*sustainable load*) yang selalu ada sepanjang pipa beroperasi.

*Sustain load* merupakan jenis beban yang bersifat berkelanjutan dalam artian akan selalu ada sepanjang pipa beroperasi. Faktor beban keberlanjutan meliputi :

$$\text{Design Pressure} > P$$

$$\text{Operating Weight} > WW$$

Berat operasi merupakan berat pipa itu sendiri, berat dari fluida, ditambah dengan berat insulasi dan komponen yang berada pada sistem tersebut. Karakteristik dari tegangan primary yakni :

- Kegagalan yang terjadi karena beban yang sangat besar.
- Kegagalan tidak dapat diselesaikan, karena sekali terjadi deformasi plastik maka akan terjadi lagi secara terus menerus tanpa henti sehingga terbentuk “nacking” (pengecilan) dan ataupun yang dihasilkan kegagalan pada permukaan penampang.
- Sifatnya bukan bersifat siklus alami .
- Beban *sustain* biasanya disebabkan oleh adanya tekanan (*pressure*) dan berat (*weight*).
- Batasan perizinan untuk tegangan sistem adalah berkisar pada tegangan yieldnya komponen (seperti titik deformasi yang tinggi).
- Terjadinya kegagalan diakibatkan dengan awalan dengan peringatan, karena akibat berat yang berlebih hingga dapat terjadinya *displacement* yang besar dan tidak bisa dipungkiri.(Chamsudi, 2005)

Dengan menempatkan lokasi penyangga pipa secara strategis dalam sistem desain pipa, tegangan primer akan lebih jarang terjadi. Berdasarkan hal ini, dapat disimpulkan



tegangan primer sebagian besar ditentukan oleh perhitungan jarak yang antar tumpuan. Rumus tegangan primer adalah jumlah tegangan simpai, dan khususnya tegangan radial (bisa dihilangkan). Tegangan

primer merupakan tegangan yang dipengaruhi oleh material dan temperatur, dan dapat terjadi pada tegangan longitudinal, hoop, dan radial.

Karena  $S_h$  adalah batas tegangan yang diijinkan pada keadaan logam atau temperatur tertinggi, maka tegangan primer pada beban penahan adalah jumlah tegangan memanjang (SL) yang ditimbulkan oleh tekanan, berat, dan beban penahan lainnya tanpa melebihi batas tersebut :

$$S_L = \frac{F_{ax}}{A_m} + \frac{Pd_o}{4t} + \frac{M_b \cdot c}{I} \leq S_h \quad (17)$$

## 2. Secondary stress

Tegangan sekunder didefinisikan sebagai tegangan yang disebabkan oleh beban ekspansi termal. Pipa meregang atau menyusut akibat aliran cairan. Beban termal adalah tegangan yang timbul akibat perubahan suhu; kenaikan suhu akan menyebabkan pemuaian, sedangkan penurunan suhu akan menyebabkan penyusutan. Sambungan ke pompa, bejana, tangki, dan perangkat lain, misalnya, akan gagal dan menimbulkan kebocoran akibat pemuaian dan penyusutan. n.d. (Husen & Jamaludin)

Beban termal dapat menimbulkan tegangan sekunder. Hal ini disebabkan oleh suhu fluida di dalam pipa yang memuai atau menyusut. Akibat adanya variasi defleksi radial pada dinding pipa, maka pipa akan mengalami apa yang disebut dengan sifat lentur, yang bekerja pada penampang pipa dan bervariasi dari negatif ke positif. Kegagalan suatu material akibat suatu beban tunggal tidak secara langsung disebabkan oleh tegangan sekunder. Bahkan ketika tingkat tegangan berada di atas kekuatan luluh, efek satu-satunya adalah munculnya “deformasi lokal”, yang menurunkan tegangan pada kondisi pengoperasian.

Perlu diingat bahwa jika hal ini sering terjadi (siklus), "kisaran regangan lokal" akan berkembang dan berpotensi menyebabkan kelelahan dan kegagalan material pada sistem pipa. Tegangan ekspansi dan rentang tegangan perpindahan adalah nama lain untuk tegangan sekunder.

### 2.3.3 Code and Standard



ni memberikan penjelasan mengenai batasan-batasan yang ditetapkan menggunakan “Code and standard”. Proses dalam sistem perpipaan harus menggunakan Kode dan Standar. Pembatasan dalam Kode dan

Standar dapat dibagi menjadi dua kategori: pembatasan tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan dan pembatasan beban yang terjadi pada peralatan sebagai akibat dari pengoperasian dan beban berkelanjutan pada sistem perpipaan.

Perlu diingat bahwa analisis ini akan memeriksa batas tegangan sistem pipa. Untuk tegangan sekunder disebut rentang tegangan yang diizinkan, dan untuk tegangan primer disebut kode tegangan yang diizinkan.

Tegangan primer dan beban penopang inilah yang menyebabkan batas tegangan pipa. Termasuk tegangan maksimum yang diijinkan, yang bervariasi menurut suhu dan material pipa. Dapat dilihat pada Lampiran A Analisis pipa di pabrik kimia dan fasilitas perminyakan sering kali menggunakan kode ASME B31.3. Nilai sebenarnya dari tegangan ijin pada setiap pembebanan dihitung dengan mempertimbangkan suhu. Batas tegangan pada suhu dingin adalah  $S_c$  (Cold Stress), sedangkan batas tegangan pada suhu panas adalah  $S_h$  (Hot Stress).

Menurut buku Agustinus 2009 cara kedua menghitung allowable *stress*, untuk menentukan besar dari batasan tegangan dapat dengan memilih nilai yang terkecil dari:

- Satu pertiga ( $1/3$ ) dari *specified minimum tensile strength*
- Satu pertiga ( $1/3$ ) dari *tensile strength* pada pengujian temperatur (perluanya dilakukan suatu pengujian)
- Dua pertiga ( $2/3$ ) dari *specified minimum yield strength*

## 2.4 Ansys Software

*Ansys software* merupakan sebuah paket permodelan elemen secara numerik dapat memecahkan masalah mekanis yang berbagai macam. Masalah yang ada mencakup analisa struktur statis dan dinamis baik linear dan non-linear, distribusi panas dan masalah cairan, begitu juga dengan ilmu bunyi dan masalah elektromagnetik. Teknologi ansys mekanis mempersatukan struktur dan material yang bersifat non-linear. Ansys merupakan tujuan utama dari paket permodelan elemen hingga untuk secara numerik



masalah mekanis yang berbagai macam. ANSYS multiphysic juga adalah panas, struktur, elektromagnetik, dan ilmu bunyi. Ansys bekerja metode *finite element analysis* dimana analisa suatu objek dilakukan

dengan memecah objek tersebut menjadi bagian-bagian kecil (*Finite elements*) yang disebut *mesh* dan dihubungkan oleh node.



Gambar 2.6 Aplikasi Ansys

(Sumber : <https://id.linkedin.com/company/ansys-inc>)



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)