

***ANALISA TEGANGAN INSTALASI PIPA BONGKAR MUAT PADA KAPAL  
TANKER***

***M.V. MANY ONE***

**SKRIPSI**

*Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Meraih Gelar Strata 1 (S1)*

*Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas*

*Hasanuddin*



**MUHAMMAD BOBBY BAHARI (D331 15 308)**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN GOWA**

## HALAMAN PENGESAHAN

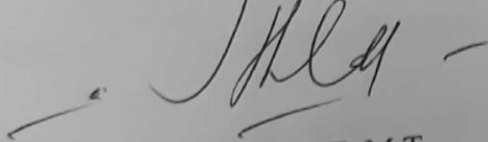
Judul Skripsi : ANALISA TEGANGAN INSTALASI PIPA BONGKAR  
MUAT PADA KAPAL TANKER M.V. MANY ONE  
Nama Mahasiswa : MUHAMMAD BOBBY BAHARI  
NIM : D33115308

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada tanggal

30-11-2020

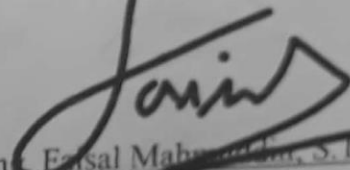
Pembimbing I,



Surya Hariyanto S.T., M.T

NIP.197107022000121001

Pembimbing II

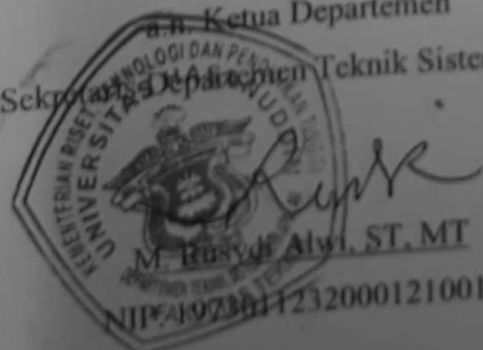


Dr. Eng. Faisal Mahmudha, S.T., M.Eng

NIP. 198102112005011003

Menyetujui,

a.n. Ketua Departemen  
Sekretaris Departemen Teknik Sistem Perkapalan



M. Rusydi Alwi, ST, MT

NIP.19730111232000121001

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan sesuai hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur- unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UUNo. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Gowa, 30 November 2020

Yang Membuat Pernyataan



MUHAMMAD BOBBY BAHARI

NIM : D33115308

***ANALISA TEGANGAN INSTALASI PIPA BONGKAR MUAT PADA KAPAL  
TANKER M.V. MANY ONE***

Oleh : Muhammad Bobby Bahari

Pembimbing : 1. Surya Haryanto, S.T., M.T.

2. Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Eng

**ABSTRAK**

M.V Many ONE adalah kapal tangker yang mampu mengangkut penumpang dan juga mengangkut muatan fluida cair (minyak). Kapal ini dilengkapi dengan sistem perpipaan bongkar muat. Kapal jenis bunker tanker ini memiliki system perpipaan bongkar muat dimana system perpipaan ini memiliki instalasi yang memiliki kondisi pembebanan sustain saat pengoperasian bongkar muat. pipa yang diberoperasi ketika proses bongkar muat berpotensi mengalami kegagalan deformasi. Kegagalan deformasi global yang menyebabkan pipa menekuk vertikal ke atas yang disebut sebagai upheaval buckling. Lengkungan awal pada pipa penyalur yang terpasang bisa terjadi akibat kombinasi dari kenaikan temperatur saat operasional akan menghasilkan gaya tekan aksial efektif pada pipa. Salah satu cara yang akan dibahas pada penelitian ini jika terjadi upheaval buckling adalah pemasangan loop ekspansi pada daerah yang mengalami upheaval buckling. Pada penelitian ini akan menganalisis pengaruh loop ekspansi terhadap system perpipaan yang beroperasi. Maka kondisi pembobotan yang mempegaruhi tegangan secara longitudinal dengan hasil tegangan tertinggi pada simulasi sowlware ANSYS dengan konsisi sebelum dan sesudah pemasangan loop ekspansi horizontal 357.51 Mpa dan 343,54 Mpa. Dengan masing masing nilai safety factor 1.006 dan 1.0476.

Kata kunci : Sistem perpipaan Bongkar Muat, analisa tegangan, loop ekspansi, software ANSYS, tegangan longitudinal.

## **KATA PENGANTAR**

Alhamdulillah, Puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan limpahan nikmat yang sangat luar biasa kepada penulis, dan tidak lupa juga sholawat serta salam kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah membawa kita semua menuju peradaban manusia yang lebih baik. Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata (S1) Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Meskipun dalam proses penyusunannya penulis melakuannya semaksimal mungkin dan dengan kesungguhan, namun penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan dalam laporan skripsi ini. Oleh karena itu kritik serta masukan yang sifatnya membangun sangatlah di harapkan.

Semoga Allah SWT membalas segala jasa dan kebaikan semua pihak yang telah membantu penulisan skripsi ini.

Terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu disampaikan ucapan terima kasih kepada

1. Keluarga penulis: kedua orang tua, Ayahanda Yulnedi dan Ibunda Lusi Delwandri yang sampai hari ini masih membuat saya termotivasi dan terus memberikan dukungan sehingga perkuliahan saya dapat terselesaikan.
2. Dr. Andi Haris Muhammad, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Surya Haryanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan Tugas Akhir ini.
5. Para Dosen penguji skripsi yang telah memberikan masukan yang terbaik.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas ilmu dan wawasan yang diberikan selama masa studi penulis.

7. Staf Tata Usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Rekan-rekan mahasiswa jurusan Teknik Perkapalan, WINDLAS5 dan Rekan-rekan Laboratorium Sistem Bangunan Laut, yang telah memberikan pengalaman-pengalaman berharga selama penulis menjadi seorang mahasiswa. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terima kasih kepada kanda-kanda Senior dan dinda-dinda Junior atas motivasi dan dukungannya.

Akhir kata, semoga hasil penelitian dan skripsi ini bermanfaat kepada mahasiswa perkapalan secara umum dan utamanya kepada penulis secara khusus dalam rangka pengembangan ilmu pengetahuan serta wawasan dalam ilmu Teknik Perkapalan.

Gowa, November 2020

Muhammad Bobby Bahari

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI .....	iv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	3
I.3 Batasan Masalah .....	3
I.4 Tujuan Penelitian .....	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>3</b>
II.1 Teori Tegangan pada Sistem Pipa .....	3
II.1.1 Primary Stress .....	5
II.1.2 Secondary Stress .....	6
II.2 Klasifikasi Pembebanan .....	7
II.3 Kondisi pembebanan .....	9
II.4 Upheaval Buckling .....	9
II.5 Gaya Aksial .....	9
II.6 Torsi Moment .....	10
II.7 Bending Stress .....	10
II.8 Loop Ekspansi .....	10
II.9 Finite Element Method (FEM) .....	11

II.10	ANSYS .....	13
II.11	Safety Factor.....	15
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>17</b>
III.1	Jenis Penelitian .....	17
III.2	Lokasi dan Waktu Penelitian .....	17
III.3	Penyajian Data .....	17
III.4	Parameter Penelitian .....	18
III.5	Diagram Alir.....	19
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>20</b>
IV.1	Analisa Data Sistem Perpipaan Bongkar Muat M.V Many One .....	20
IV.2	Proses Simulasi Data Pada Software ANSYS .....	22
IV.3	Analisa Perhitungan Torsi Moment .....	24
IV.4	Analisa Gaya Aksial Kompresif .....	25
IV.5	Analisa Hasil Pemodelan Pipeline pada Software .....	26
IV.5.1	Analisa Maximum Bending Stress Moment .....	27
IV.5.2	Analisa Ekspansi Loop .....	28
IV.6	Faktor Keamanan .....	30
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>32</b>
V.1	Kesimpulan .....	32
V.2	Saran .....	32



<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>34</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>36</b>
Lampiran I. General Arrangement M.V Many One.....	36
Lampiran II. Instalasi Bonkar Muat .....	38
Lampiran III. Ansys Geometry Model M.V Many One .....	39
Lampiran III. Total Bending moment .....	40
Lampiran IV. Torsional Moment .....	41
Lampiran V. Direct Stress.....	42
Lampiran VII. Pipa Baja Standar BKI KI – R 360 (BKI vol 5, Sec 5) .....	43
Lampiran VIII. Ansys Report .....	44

# BAB I PENDAHULUAN

## ***I.1 Latar Belakang Masalah***

Kapal tanker adalah salah satu alat transportasi yang menggunakan sistem perpipaan yang sangat berperan penting dalam pengoperasiannya. Tanker merupakan jenis kapal yang di desain sedemikian rupa untuk mengangkut serta mendistribusikan bahan muatan cair berupa minyak, gas, bahan cair kimia dan muatan cair lain nya. Guna menunjang oprasional kapal jenis tangker ini membuat kapal ini memiliki banyak spesifikasi khusus baik dalam perencanaan, struktur bangunan, sistem-sistem yang berkerja, juga dalam klasifikasinya.

Dikarenakan muatan yang diangkut oleh kapal tanker merupakan muatan cair (fluida) maka sistem bongkar muat pada kapal tanker menggunakan pipa dan pompa didalam suatu sistem perpipaan bongkar muat. Sistem perpipaan pada kapal tanker haruslah dapat beroperasi secara optimal, aman dan dengan konstruksi yang sederhana. Oleh karena itu, perhitungan dan perencanaan sistem perpipaan tersebut harus dilakukan dengan baik. Di Industri Perkapalan Indonesia perhitungan serta perancangan sitem-sistem vital seperti sistem perpipaan masih banyak dikerjakan oleh konsultan asing dan jarang di rencanakan bahkan di analisa oleh pihak galangan.

Analisa tegangan pipa merupakan suatu cara perhitungan tegangan (stress) pada pipa yang diakibatkan oleh beban statis dan beban dinamis yang merupakan efek resultan dari gaya gravitasi, perubahan temperature, tekanan di dalam dan di luar pipa, perubahan jumlah debit fluida yang mengalir di dalam pipa dan pengaruh gaya seismic, sehingga apabila hal ini sering terjadi maka dapat menimbulkan deformasi pipa. Deformasi merupakan perubahan pada material baik perubahan dimensi maupun struktur karena mendapat beban dari luar. Sehingga apabila terjadi deformasi maka akan menurunkan kualitas dari sistem perpipaan yang bekrja.

Pada kasus ini judul yang diambil penulis adalah ”analisa tegangan sistem isntalasi pipa bongkar muat pada kapal tangker M.V MANY One”. Penulis mengidentifikasi masalah pada bagian instalasi perpipaan bongkar muat, karena pada bagian tertentu terjadi kegagalan pipa

berupa kebocoran pada bagian las atau sambuangan akibat dari gaya , momen ,defleksi dan temperatur.

### ***1.2 Rumusan Masalah***

1. Bagaimana kondisi tegangan longitudinal yang terdapat pada sistem instalasi perpipaan bongkar muat pada M.V. MANY ONE ?
2. Bagaimana cara mendesain skema instalasi perpipaan bongkar muat M.V MANY One ?
3. Bagaimana pengaruh pemasangan loop ekspansi terhadap tegangan longitudinal pada kapal M.V MANY One.
4. Bagaimana pengaruh nilai tegangan yang didapat terhadap safety factor.

### ***1.3 Batasan masalah***

1. Tegangan longitudinal pada kapal serta tegangan longitudinal loop ekspansi
2. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ANSYS 19.2 yang berbasis metode elemen hingga (finite element method).
3. Analisa dilakukan hanya pada sistem perpipaan bongkar muat kapal M.V. MANY ONE. dengan membandingkan tegangan yang dihasilkan dengan menggunakan loop ekspansi.
4. Hasil nilai tegangan akan di bandingkan berdasarkan ketentuan safety factor

### ***1.4 Tujuan Penelitian***

1. Mengetahui hasil tegangan yang didapatkan dengan menganalisa sistem perpipaan bongkar muat pada kapal MANY ONE. Dan pengaruh pemasangan loop ekspansi
2. Menganalisis factor apa saja yang mempengaruhi tegangan pada pipa serta membandingkan berdasarkan ketentuan safety factor.

## BAB II TINJAUAN TEORITIS

### II.1 Teori Tegangan pada Sistem Pipa

Sebuah piping system haruslah didisain se-flexible mungkin demi menghindari pergerakan pipa (movement) akibat thermal expansion atau thermal contraction yang bisa menyebabkan:

- Kegagalan pada piping material karena terjadinya tegangan yang berlebihan atau overstress maupun fatigue.
- Terjadinya tegangan yang berlebihan pada pipe support atau titik tumpuan.
- Terjadinya kebocoran pada sambungan flanges maupun di Valves.
- Terjadi kerusakan material di Nozzle Equipment (Pump, Tank, Pressure Vessel, Heat Exchanger etc) akibat gaya dan moment yang berlebihan akibat expansion atau contraction pipa tadi.
- Resonansi akibat terjadi Vibration.

Beban yang bekerja pada sistem pipa akan menyebabkan timbulnya tegangan dinding pipa. Kombinasi tegangan-tegangan yang bekerja pada dinding pipa akan menyebabkan regangan atau defleksi. Besarnya tegangan akibat beban operasi tekann internal fluida yang dialirkan didalam pipa dapat diturunkan dari persamaan mekanika untuk bejana berdinding tipis . Dalam hal ini untuk pipa penyalur fluida dalam bentuk gas menggunakan code ASME B31.8 sesuai dengan code tersebut terdapat batasan-batasan besarnya tegangan yang diijinkan bekerja pada sistem pipa baik saat operasi maupun instalasi.

Arah tegangan merupakan konsep dasar yang harus di pahami oleh seorang piping stress engineer, begitu pula dengan penamaannya. Nama disini adalah nama tegangan, karena di dalam stress sering sekali di sebutkan istilah istilah seperti axial load, longitudinal load, lateral load dan lain sebagainya.

Arah tegangan pipaTerminology tegangan dengan beban kadang sering di campur adukan, padahal keduanya memiliki makna yang berlainan. Mungkin karena sama sama hasil penerjemahan, jadi sering di campur. Yang namanya tegangan adalah definisi dari stress, sedangkan pengertian beban (gaya) itu diambil dari force atau load. Jadi beban

adalah bagian dari tegangan, seperti kita tau kalau stress (tegangan ) adalah gaya (load) per satuan luas.

$$\text{Stress } (\sigma) = \text{Force} / \text{Cross Sectional Area} \dots\dots\dots(\text{II.1})$$

Dalam menerapkan kode standar desain, kita harus mengerti prinsip dasar dari tegangan pipa dan halhal yang berhubungan dengannya. Sebuah pipa dinyatakan rusak jika tegangan dalam yang terjadi pada pipa melebihi tegangan batas material yang diizinkan. Dari definisi yang sederhana ini ada dua buah istilah yang harus dipahami dengan benar yaitu tegangan dalam pipa dan tegangan batas yang diizinkan. (Agustinus, 2009) Tegangan dalam yang terjadi pada pipa di sebabkan oleh tekanan dari dalam pipa, beban luar seperti berat mati dan pemuaiian thermal, dan bergantung pada bentuk geometri pipa serta jenis material pipa. Sedangkan tegangan batas lebih banyak di tentukan oleh jenis material dan metode produksinya.

Dalam pembahasan kode standar ini kita harus membedakan pengertian tegangan pipa menjadi:

1. Tegangan pipa aktual, yaitu tegangan hasil pengukuran dengan strain gauge atau perhitungan analisis secara manual maupun dengan piranti lunak komputer.
2. Tegangan pipa kode, yaitu tegangan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan tegangan yang tertera dalam kode standar tertentu.

Pada dasarnya, tegangan di bagi atas berberapa jenis-jenis. Jenis tegangan ini dibagi berdasarkan gaya yang mempengaruhi pada suatu material yang bekerja. Berikut pembagian jenis tegangan yang terjadi :

### **II.1.1. Primary Stress**

Primary Stress adalah jenis stress yang ditimbulkan akibat Sustained Load. Stress kategori ini dikelompokan dalam stress yang berbahaya (hazardous type of stress).Disebut berbahaya karena jika stress ini terjadi pada pipa dan melewati yield strength, maka akan mengakibatkan terjadinya kegagalan pada material pipa, yang akhirnya dapat menimbulkan kecelakaan atau malapetaka. Sustain load sendiri

merupakan jenis beban yang sifatnya continue atau berkelanjutan, artinya akan selalu ada selama proses operasi dari pipanya. Faktor dari sustain load :

- Design Pressure > P

Tekanan Desain yaitu tekanan maksimum yang bisa terjadi pada saat operasi.

- . Operating Weight > WW

Berat operasi merupakan berat dari pipa, berat dari fluida, ditambah dengan berat insulasi dan komponen yang berada pada sistem tersebut.

Primary Stress terdiri atas komponen sebagai berikut :

**a) Longitudinal Stress** Yaitu stress yang terjadi akibat gaya dalam (axial force) + gaya tekanan dalam (internal pressure) + tegangan lentur (bending stress).

$$SL = SL1 + SL2 + SL3 \dots\dots\dots(II.2)$$

Keterangan:

SL1 = Stress yang terjadi akibat gaya dalam (axial force)

SL2 = Gaya tekanan dalam (internal pressure) SL3 =

Tegangan lentur (bending stress).

1) SL1 = Tegangan Longitudinal akibat gaya aksial

$$SL1 = \frac{FAX}{Do} \text{ (PSI)} \dots\dots\dots(II.3) \text{ am}$$

Keterangan :

Fax = Gaya aksial (N)

Do = Diameter luar pipa (m)

2) SL2 = Tegangan Longitudinal akibat tekanan dalam

$$SL2 = \frac{P Do}{4t} \text{ (PSI)} \dots\dots\dots ( II.4) \text{ 4t}$$

Keterangan :

P = Tekanan fluida dalam pipa (N/m<sup>2</sup>)

Do = Diameter luar pipa (m) t

= ketebalan dinding pipa ( m) **3)**

SL3 = Tegangan Longitudinal  
akibat momen lentur

$$SL3 = z \frac{Db}{I} \text{ (PSI)} \dots\dots\dots \text{(II.5)}$$

Besarnya Longitudinal Stress yang terjadi dibandingkan dengan Code Allowable Stress atau juga dikenal dengan nama Basic Allowable Stress pada temperatur operasi.

**b) Hoop Stress (Circumferential Stress)** Yaitu stress yang terjadi akibat gaya yang bekerja tegak lurus terhadap dinding pipa.

$$SH = \frac{Pdo}{2t} \text{ (PSI)} \dots\dots\dots \text{(II.6)}$$

Formula Hoop Stress ini bias dikatakan sama untuk sepanjang dinding pipa. Sama halnya dengan Longitudinal Stress, Hoop Stress ini juga dibandingkan dengan Basic Allowable Stress pada temperatur operasi.

### **II.1.2. Secondary Stress**

Secondary stress adalah stress yang diakibatkan oleh thermal load. Yaitu akibat temperatur fluida yang mengalir, yang menyebabkan pipa mengalami pemuaian atau pengkerutan (expansion or contraction). Pipa akan menerima apa yang disebut dengan bending nature yang bekerja pada penampang pipa yang bervariasi dari negative ke positive dan timbul karena terjadinya beda defleksi secara radial dari dinding pipa. Secondary stress bukanlah sebagai penyebab terjadinya kegagalan material secara langsung akibat beban tunggal. Kalaupun terjadi stress yang melewati yield strength, maka efeknya hanyalah terjadinya “local deformation” yang berakibat berkurangnya stress pada kondisi operasi. Hanya saja jika hal ini terjadi berulang-ulang (cyclic), maka akan timbul apa yang disebut “local strain range” yang berpotensi menjadi penyebab timbulnya Fatigue Failure. Secondary stress ini disebut juga dengan Expansion Stress atau Displacement Stress Range, SE.

$$S_e = \sqrt{(s_b^2 + 4s_t^2)} \dots\dots\dots (II.7)$$

Keterangan :

(S<sub>b</sub>) = Bending Stress

(S<sub>t</sub>) = Torsional Stress

Persamaan ini adalah berdasarkan teori geser maksimum (maximum shear theory), sedangkan besarnya Expansion Stress yang terjadi dibandingkan dengan apa yang disebut dengan Allowable Stress Range. Adapun formula untuk masing-masing komponen adalah :

$$S_b = \frac{\sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2}}{Z} \dots\dots\dots (II.8)$$

$$M_t$$

$$S_t = 2z \dots\dots\dots (II.9)$$

S<sub>b</sub> = tegangan tekuk (kN/m<sup>2</sup>)

M = bending momen (Nm)

I = momen inersia penampang pipa (m<sup>4</sup>) Z

= modulus cross section pipa (I / y)

## **II.2 Klasifikasi Pembebanan**

Beban-beban pada sistem pemipaan diklasifikasikan berdasarkan penyebabnya, yaitu:

1. Beban Statik (sustain, ekspansi dan operating) pada dasarnya adalah suatu beban yang disebabkan oleh pengaruh internal yakni tekanan, temperature dan berat material pipa serta semua komponen dalam sistem. Selain dari itu beban statik dapat juga disebabkan oleh adanya beban external, yakni gempa, thrust load dari relief valve, wind dan wave dan beban ultimate tanah bila pipa berada dalam tanah (under ground). Beban statik selain akibat beban ultimate tanah sering disebut dengan beban "static occational" atau



lebih dikenal dengan beban "quasi dynamic", dikatakan demikian karena beban dianggap seolah-olah sebagai beban dinamik tetapi bukan fungsi waktu.

2. Beban Dinamika (occasional) mempertimbangkan adanya beban external sebagai fungsi waktu [ $W = f(t)$ ], antara lain gempa (seismic), operasi safety valve, vibrasi (pulsation) dan water hammer.

3. Beban termal / ekspansi (Sexp),.

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

- Beban termal akibat pembatasan gerak oleh tumpuan, beban ini (gaya dan momen) timbul jika ekspansi atau kontraksi bebas perpipaan akibat termal terhalang oleh tumpuan.
- Beban termal akibat perbedaan temperatur, beban ini terjadi akibat perubahan temperatur yang besar dan cepat, termasuk juga akibat distribusi temperatur yang tidak seragam karena adanya aliran kalor yang tinggi melalui dinding pipa.
- Beban termal akibat perbedaan koefisien ekspansi, beban ini terjadi pada sistem pipa yang materialnya mempunyai koefisien ekspansi yang berbeda.

### **II.3 Kondisi pembebanan**

Sistem pemipaan yang dirancang, direncanakan dapat menahan bermacam-macam pembebanan yaitu:

a. Beban akibat material dan gaya luar.

Pada penelitian ini akan dianalisis tegangan yang terjadi pada kondisi pembebanan pada material yang bekerja pada saat pengoperasian instalasi perpipaan bongkar muat.

b. Beban akibat fluida yang digunakan untuk pengetesan.

Kondisi pembebanan fluida yang dimaksud adalah factor pengaruh dari temperature fluida yang bekerja pada saat pengoperasian instalasi perpipaan.

### **II.4 Upheaval Buckling**

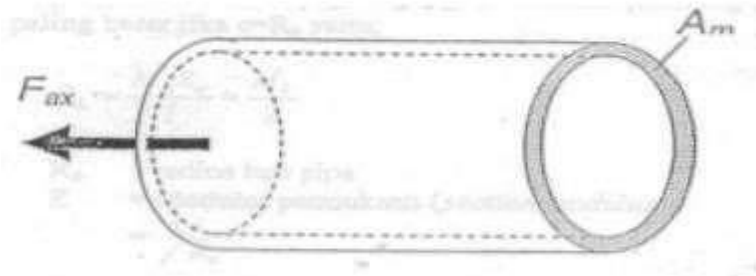
Konsep Umum Upheaval Buckling Global buckling sendiri ada beberapa jenis antara lain adalah upheaval buckling, lateral buckling, dan downward pada freespan. Global

buckling sendiri merupakan defleksi berlebih yang terjadi pada keseluruhan segmen pipeline.

Sistem pipeline harus cukup kuat untuk menahan beban operasi selama instalasi pipeline dan saat kondisi operasinya. selama kondisi operasi pipa akan mengalami pembebanan internal dan eksternal berupa perubahan tekanan dan temperatur fluida yang mengalir didalamnya serta perubahan tekanan dari luar. Pada saat operasional, temperatur pipa akan mengalami kenaikan dibandingkan dengan saat instalasi dilakukan. Kenaikan ini menyebabkan elongasi (pemanjangan) pipa yang besarnya tergantung pada sifat mekanik materialnya.

### **II.5 Gaya Aksial**

Gaya aksial efektif ini merupakan gaya yang bekerja pada sumbu pipa sehingga mendorong terjadinya secara global kearah vertikal. Karena pipa diletakkan secara horisontal, maka gaya aksial yang terjadi pada pipa merupakan gaya yang terbentuk oleh tegangan longitudinal.



#### **2.1 Gambar arah gaya dalam pipa**

### **II.6 Torsi Moment**

Sebuah batang atau poros (shaft) berpenampang lingkaran yang dipuntir oleh kopelkopel T yang bekerja pada ujung-ujung batang mengalami puntiran murni (pure torsion). Berdasarkan pertimbangan simetri, maka dapat diperlihatkan bahwa penampang dari sebuah batang bundar akan berputar seperti sebuah benda kaku terhadap sumbu longitudinalnya dengan jari-jarinya tetap lurus dan penampangnya tetap berbentuk bidang dan bulat. Juga, bila sudut-puntiran (the angle of twist) total batangnya kecil, maka baik panjang dan jari-jari batang keduanya tak ada yang mengalami perubahan.

Momen puntir total T yang dihasilkan oleh tegangan-tegangan geser adalah:

$$T \varnothing . A_m . q$$

$A_m$  = aliran geser (Sheer Flow)

$q$  = luas yang dibatasi oleh garis tengahkeliling tabung tipis (luas median)

Karena untuk tabung tertentu  $q$  adalah konstan. Sudut puntir untuk sebuah pipa berdinding tipis dapat ditentukan dengan menyamakan usaha yang dilakukan oleh momen puntir  $T$  yang dikenakan dengan energi regangan batang.

## **II.7 Bending Stress**

Ketika material dibebani dengan beban sesuai gambar, maka akan menghasilkan bending stress (tegangan lendut). Bending stress merupakan tipe dari normal stress akan tetapi sedikit lebih spesifik. Ketika material dibebani maka akan menghasilkan apa yang disebut sebagai tegangan kompresif normal. Tegangan pada arah horizontal adalah nol.

## **II.8 Loop Ekspansi**

Loop ekspansi adalah salah satu cara repair yang bisa dilakukan apabila pipa mengalami overstress dalam hal ini pipa mengalami kegagalan upheaval karena fungsi loop ekspansi adalah untuk mengontrol physical properties dari material pipa yang digunakan, misalnya elongation (stressstrain) yang terjadi pada pipa dan lebih disebabkan oleh ekspansi termal. Desain loop ekspansi baik posisi vertikal ataupun horizontal dilakukan agar mampu mengakomodasi buckling. Maka pipa harus memiliki panjang loop yang cukup untuk mengatasi hal tersebut. Panjang loop yang dibutuhkan untuk menahan defleksi upheaval buckling yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$\ell = \sqrt{\frac{3ED(\gamma)}{2S}}$$

$\ell$  = Panjang Loop (m)  $E$  = Modulus

Elastisitas (MPa)

$D$  = Diameter eksternal pipa (m)

$\gamma$  = Ekspansi termal yang harus ditahan pipa (m)

$S$  = Spesified Minimum Yield Stress (MPa)

## **II.9 Finite Element Method (FEM)**

Finite Element Method (FEM) atau biasanya disebut Finite Element Analysis (FEA), adalah prosedur numeris yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa (engineering), seperti analisa tegangan pada struktur, frekuensi pribadi dan mode shape-nya, perpindahan panas, elektromagnetis, dan aliran fluida (Moaveni).

Metode ini digunakan pada masalah-masalah rekayasa dimana exact solution/analytical solution tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (finite). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (node). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut meshing.

Perhitungan kekuatan-batas struktur dengan metode NLFEA perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

### ***a. Tipe metode NLFEA***

Kekuatan-batas momen lentur kapal pada kondisi utuh dan rusak dapat dianalisa dengan menggunakan 3 tipe metode NLFEA yaitu:

- 1) Analisa statis
- 2) Analisa quasi-statis
- 3) Analisa dinamis

Analisa statis dan analisa quasi statis banyak digunakan oleh para peneliti untuk menghitung kekuatan-batas struktur kapal

### ***b. Algoritma iterative solution***

Tiga jenis algoritma iterative solution yang dapat digunakan pada metode NLFEA adalah algoritma Newton-Raphson, algoritma quasi Newton-Raphson dan algoritma resiko. Algoritma N-R dan quasi N-R dapat digunakan pada analisa statis dan analisa dinamis implisit. Algoritma resiko hanya dapat digunakan pada analisa statis. Analisa dinamis eksplisit tidak menggunakan algoritma iterative solution.

### ***c. Metode arc-length***

Metode arc-length cocok untuk solusi kesetimbangan statis nonlinier masalah tidak stabil. Penerapan metode busur-panjang melibatkan penelusuran jalur yang kompleks dalam respon beban-perpindahan ke dalam sistem buckling/post buckling. Metode arclength menggunakan metode Crisfield untuk mencegah fluktuasi ukuran langkah selama iterasi ekuilibrium. Diasumsikan bahwa semua besaran beban dapat dikontrol oleh parameter skalar tunggal (yaitu, total load factor).

### ***d. Proses peningkatan beban***

Pembebanan yang diaplikasikan pada metode NLFEA menggunakan proses peningkatan pembebanan. Dua jenis kontrol beban yang digunakan untuk mendapatkan nilai kekuatan-batas momen lentur kapal tanker yaitu kontrol kelengkungan dan kontrol momen. Kontrol kelengkungan dilakukan dengan menggunakan rigid link pada kedua ujung model elemen hingga. Rigid link dihubungkan ke titik acuan pada sumbu netral. Peningkatan nilai kelengkungan diperoleh dengan menggunakan kecepatan akselerasi dan damping factor. Kedua ujung pada titik acuan diberikan beban momen. Kontrol momen dilakukan dengan menggunakan rigid link pada salah satu ujung model elemen hingga dan ujung yang lainnya di-full constrain. Ujung model yang menggunakan rigid link, diberikan momen lentur. Reaksi pada ujung model yang diconstrain akan mencapai titik batas kekuatan dari struktur.

### ***e. Pembebanan dan Kondisi Syarat Batas***

Pembebanan dan kondisi syarat batas yang diaplikasikan pada model elemen hingga sangat tergantung pada jenis proses peningkatan beban yang digunakan. Kontrol kelengkungan menggunakan kondisi syarat batas dimana kedua ujung model diberikan rigid link.

### ***f. Ketidakteraksaan Geometrik***

Selama fabrikasi struktur kapal (pemotongan, rolling, pembentukan, pengelasan dan perlakuan panas) terjadi ketidakteraksaan geometri dan tegangan sisa yang dapat mempengaruhi kekuatan batas struktur. Metode NLFEA dapat mengkondisikan ketidakteraksaan geometrik tersebut.

### ***g. Spesifikasi Material***

Kurva tegangan regangan dari material yang digunakan pada model elemen hingga harus tersedia. Kurva tegangan regangan sangat menentukan nilai kekuatan-batas dari struktur kapal.

### ***h. Meshing***

Ukuran dan kualitas meshing sangat penting untuk membandingkan hasil perhitungan antara metode NLFEA dan metode linear FEA. Sebelum melakukan analisa dengan metode NLFEA dalam skala besar perlu untuk melakukan studi mesh convergence.

### ***i. SHELL 181***

- SHELL 181 adalah elemen material yang tepat untuk menganalisis struktur shell yang tipis hingga sedang. Elemen ini diterapkan dengan 4 node dengan 6 derajat kebebasan disetiap node, translasi arah x, y, dan z, serta rotasi x, y, dan z.
- SHELL 181 sangat cocok untuk linear, rotasi besar, dan/atau aplikasi nonlinear strain besar. Perubahan ketebalan shell dicatat pada nonlinear analisis. Terdapat efek pengikat (beban kekakuan) dari tekanan terdistribusi.
- SHELL181 dapat digunakan untuk aplikasi berlapis untuk pemodelan shell komposit atau konstruksi berlapis. Akurasi dalam pemodelan shell komposit diatur oleh teori shear-deformation orde pertama (biasanya disebut sebagai teori shell Mindlin-Reissner).

## **II.10 ANSYS**

Metode elemen hingga adalah suatu alat numerik yang digunakan dalam menyelesaikan masalah teknik seperti persamaan diferensial dan integral dengan metode pendekatan. Metoda itu mula-mula dikembangkan untuk mempelajari tentang struktur dan tekanan (Clough 1960) dan kemudian berkembang pada masalah mekanika kontinu (Zienkiewicz dan Cheung 1965). ANSYS adalah program paket yang dapat memodelkan elemen hingga untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk di dalamnya masalah statik, dinamik, analisis struktural (baik linier maupun nonlinier), masalah perpindahan panas, masalah fluida dan juga masalah yang

berhubungan dengan akustik dan elektromagnetik. Dalam aplikasinya ANSYS dapat dibagi menjadi dua menurut dimensinya, yaitu:

**a. ANSYS Classic**

ANSYS ini menyelesaikan problema dalam 2 dimensi seperti sistem solid dalam bidang 2 dimensi dan perpindahan panas dalam 2 dimensi.

**b. ANSYS Workbench A**

ANSYS ini menyelesaikan problema dalam 3 dimensi seperti sistem solid dalam 3 dimensi dan masalah aliran fluida pada pipa dalam 3 dimensi. ANSYS merupakan salah satu software yang digunakan untuk menganalisis berbagai macam struktur, aliran fluida, dan perpindahan panas dari beberapa software analisis yang lain yaitu Nastran, CATIA, Fluent, dan yang lain. Ada tiga analisis utama yang dibahas pada buku ini yaitu analisis struktur, aliran fluida, dan perpindahan panas yang sangat sering dijumpai dalam keilmuteknikan. Agar materi yang dibahas di buku ini dapat diikuti dengan baik, maka sebaiknya pembaca harus memiliki dasar (basic) tentang keilmuan di atas. Penyajian materi dilakukan secara bertahap yaitu mulai dari menggambar benda (objek) sampai dilakukannya penganalisan dan diperoleh hasilnya. Secara umum penyelesaian elemen hingga menggunakan ANSYS dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu :

**1. Preprocessing (Pendefinisian Masalah)**

Masalah adalah bagian terpenting dalam suatu proses riset, karena masalah dapat menghadirkan petunjuk berupa jenis informasi atau defenisi yang nantinya akan sangat kita butuhkan. Jika diartikan kedalam bahasa indonesia Pre- artinya sebelum dan Processor- artinya pemroses. Preprocessing merupakan tahapan awal dalam mengolah data input sebelum memasuki proses tahapan utama. Pada tahap pertama ini, dilakukan pendefinisian dari objek yang nantinya akan diproses pada tahap selanjutnya. Langkah umum dalam preprocessing terdiri dari :

- (i) mendefinisikan keypoint/lines/areas/volume dari objek, Dalam hal ini, pendefinisian diatas harus dilakukan setelah dilakukannya pemodelan terlebih dahulu. Pemodelan merupakan proses menggambar ataupun mengimport gambar benda atau objek yang akan didefinisikan kedalam lembar kerja.

- (ii) mendefinisikan tipe elemen dan bahan yang digunakan/sifat geometric dari objek
- (iii) mendefinisikan mesh lines/areas/volumes sebagaimana dibutuhkan. Jumlah detil yang dibutuhkan akan tergantung pada dimensi daerah yang dianalisis, ie., 1D, 2D, axisymmetric dan 3D.

## ***2. Solution / Assigning Loads, Constraints, and Solving***

Pemecahan masalah adalah suatu proses terencana yang perlu dilaksanakan agar memperoleh penyelesaian tertentu dari sebuah masalah yang mungkin tidak didapat dengan segera (Saad & Ghani, 2008:120). Pada tahap ini, perlu dilakukan penentuan beban, model pembebanan (titik atau luasan), constraints (translasi dan rotasi) dan kemudian menyelesaikan hasil persamaan yang telah diset pada objek.

## ***3. Postprocessing/ Further Processing and Viewing of The Results***

Postprocessing adalah langkah akhir dalam suatu analisis berupa visualisasi yang memungkinkan penganalisis untuk mengeksplor data. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi yang bisa berupa gambar, kurva, dan animasi. Dalam bagian ini pengguna mungkin dapat melihat : (i) daftar pergeseran nodal, (ii) gaya elemen dan momentum, (iii) plot deflection dandigram kontur tegangan (stress) atau pemetaan suhu

## **II.11 FAKTOR KEAMANAN (SAFETY FACTOR)**

Safety factor merupakan acuan atau batas izin yang dikeluarkan oleh bada biroklasifikasi indonesia (BKI) dalam menentukan batas tegangan pada pipa yang diijinkan dalm pengoperasian system pipa. Pada penelitian ini memakai acuan pada rules bki vol 5 section 5 tentang steel pipes. Dimana rule isi menjelaskan tentang aturan atau batasan yang dizininkan pada tegangan pipa. Banyak factor yang mempengaruhi tegangan pipa tersebut. Penelitian ini akan menganalisis tegangan yang terjadi dari pengaruh pemasangan loop ekspansi pada pipa. Berdasarkan izin tegangan dan luluh kekuatan Tarik kekuatan, Semua nilai baja lainnya harus dalam kondisi tersebut dimana untuk kondisi. Safety factor diberikan rumus berikut:

$$SF = \frac{\text{tegangan izin}}{\text{tegangan aktual}}$$



*tegangan yang bekerja*

Nilai yang dihasilkan harus lebih besar dari atau sama dengan 1 Faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan elemen konstruksi terjamin keamanannya dengan tegangan yang diterimanya. Sebagai acuannya pada penelitian ini akan diambil tegangan yang paling tinggi dari tiap beban, Dengan mengetahui tegangan tertinggi suatu bahan, kemudian dibandingkan dengan hasil dari pemasangan ekspansi loop. kemudian membandingkan dengan tegangan design maka di peroleh tegangan ijin material. (pipa baja kekuatan normal dengan standar BKI KI – R 360) Memiliki kriteria – kriteria dibawah ini :

- Tegangan ijin = 360 MPa - 500 MPa
- Tegangan luluh = 235 MPa