

**ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI PONTON KAPAL ISAP  
PRODUKSI DENGAN VARIASI PENEGAR**

**SKRIPSI**

*Diajukan guna memenuhi persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



IMRAN  
D031181026

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2022

# LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam mengikuti Seminar dan Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Perkapalan Program Studi Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

Judul Skripsi

**Analisis Kekuatan Kontruksi Ponton Kapal Isap Produksi Tanpa atau dengan Penegar**

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Disusun Oleh :

**Imran**

**D031181026**

Gowa, 02 Desember 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I

**Dr. Eng. A. Ardianti, ST., MT**

**Nip. 19850526 201212 2 002**

Pembimbing II

**Hamzah, ST., MT.**

**Nip. 19800618 200501 1 004**

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.**

**Nip. 19730206 200012 1 002**



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Imran  
NIM : D031181026  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

### **“Analisis Kekuatan Konstruksi Ponton Kapal Isap Produksi dengan Variasi Penegar”**

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

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, 02 Desember 2022

Yang Menyatakan,



Imran

## ABSTRAK

**Imran**, 2022 “Analisis Kekuatan Konstruksi Ponton Kapal Isap Produksi dengan Variasi Penegar” (dibimbing oleh **Andi Ardianti** dan **Hamzah**).

KIP adalah adalah singkatan dari kapal isap produksi, kapal ini memiliki fungsi untuk menggali lapisan tanah di bawah laut untuk menghisap mineral-mineral yang akan diolah menjadi timah. Pembuatan KIP tidak merujuk pada regulasi klasifikasi, kapal ini merupakan kapal *non-class*. Proses pembangunan kapal ini dilakukan berdasarkan pengalaman sehingga konstruksi kapal ini bisa saja berlebihan atau *overkonstruksi* sehingga kapal sangat berat.

KIP menggunakan ponton sebagai alat apung, 1 unit KIP memiliki 3 sampai dengan 5 ponton bergantung pada lebar kapal. Dengan melihat dari kasus tersebut maka penelitian ini bermaksud untuk mencoba menganalisis kekuatan ponton KIP dengan banyaknya penegar atau tanpa penegar pada ponton, sehingga efektif bagi kapal yakni aman dan ekonomis. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi numerik pada model struktur ponton menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *Software Ansys Mechanical APDL*. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa, dalam kondisi pembebanan statis dengan meniadakan penegar sisi longitudinal pada tabung silinder ponton KIP menyebabkan kenaikan tegangan normal serta tegangan geser yang relative sangat kecil, sehingga penegar sisi longitudinal boleh dihilangkan karena memiliki kontribusi terhadap konstruksi ponton relatif kecil, begitu pula dengan meniadakan penegar diagonal dan penegar sekat vertikal menyumbang kontribusi kekuatan cukup kecil pada kondisi pembebanan statis. Sedangkan dengan meniadakan penegar *bottom* menyebabkan kenaikan tegangan tegangan normal serta tegangan geser yang sangat besar, sehingga penegar *bottom* pada tabung silinder sangat vital dalam kekuatan konstruksi ponton, maka penegar *bottom* sangat diperlukan pada kondisi pembebanan statis.

Kata Kunci: *ansys*; ponton KIP; penegar; kekuatan; tegangan izin BKI

## **ABSTRACT**

**Imran**, 2022 “Analysis of the Strength Construction pontoons of Production Suction Drager with Stiffener Variation” (supervised by **Andi Ardianti** and **Hamzah**).

PSD is an abbreviation of production suction drager, this ship has the function of excavating layers of soil under the sea to suck up minerals that will be processed into tin. Making PSD does not refer to classification regulations, this ship is a non-class ship. The process of building this ship is based on experience so that the construction of this ship can be excessive or overconstructed so that the ship is very heavy.

PSD uses pontoons as a floating tool, 1 unit PSD has 3 to 5 pontoons depending on the width of the ship. By looking at the case, this study intends to try to analyze the strength of the PSD's pontoon with many or no stiffener on the pontoon, so that it is effective for the ship, namely save and economical. In this study, numerical simulations were carried out on the pontoon structure model using the finite element method with the help of Ansys Mechanical APDL Software. From the results of this study, it was found that under static load conditions by removing the longitudinal side stiffener on the PSD pontoon cylindrical tube it causes a relatively small increase in normal stress and shear stress, so that the longitudinal side stiffener can be removed because it has a relatively small contribution to the pontoon construction, as well by eliminating the diagonal stiffener and the vertical bulkhead stiffener makes a relatively small strength contribution under static load conditions. Meanwhile, removing the bottom stiffener causes an increase in normal stresses and shear stress as a very large, so that the bottom stiffener on a cylindrical tube is vital in the strength of the pontoon construction, so bottom stiffener is needed in static load conditions.

*Keywords: ansys; PSD pontoons; stiffener; strength; BKI allowable stress*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh.*

Alhamdulillah puji syukur penulis ucapkan atas rahmat dan karunia Allah subhanahu wa ta'ala sehingga dengan nikmat tersebut, penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “**Analisis Kekuatan Konstruksi Ponton Kapal Isap Produksi dengan Variasi Penegar**” Serta tidak lupa shalawat serta salam atas baginda Rasulullah Muhammad shallallahu ‘alaihi wasallam.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini terdapat berbagai macam hambatan dan tantangan, namun semuanya dapat teratasi dengan penuh kesabaran dan keikhlasan serta bantuan, bimbingan, kritikan dan saran dari berbagai pihak. Penulis juga menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan masih banyak kekurangan di dalamnya baik dari segi kualitas maupun kuantitas materi penelitian yang dikerjakan. Sehingga penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang membangun demi kesempurnaan tulisan ini.

Gowa, 02 Desember 2022

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, dorongan dan dukungan moral berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih dan memberikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Ibunda Hamdana dan saudara, orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa mencurahkan kasih sayang, do'a dan dukungan serta motivasi yang tiada hentinya kepada penulis. Semoga keduanya senantiasa dalam lindungan Allah SWT dan diberikan umur panjang hingga penulis mampu membanggakan mereka;
2. Ibu Dr. Eng Andi Ardianti, ST., MT, selaku pembimbing I dan Bapak Hamzah, ST., MT, selaku pembimbing II yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan meluangkan waktu untuk berkonsultasi demi kesempurnaan tugas akhir ini sehingga dalam proses pengerjaan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik;
3. Bapak Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing selaku dosen Ketua Laboratorium Struktur sekaligus dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran sehingga penulis dapat memperoleh gelar akademik di Departemen Teknik Perkapalan;
4. Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT, selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin sekaligus dosen penguji yang telah membantu dan memberikan arahan dalam penyelesaian tugas ini;
5. Bapak Dr. Ir. Syamsul Asri, MT, selaku penasehat akademik penulis yang senantiasa memberikan arahan serta motivasi selama kuliah;
6. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Perkapalan atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama kurang lebih lima tahun berkarir di pendidikan strata satu;
7. Seluruh staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu segala administrasi selama kuliah;
8. Teman seperjuangan laboratorium struktur Irsan Anugrah, Hasrudin, Mawardi, Fitratul Ichsan, Ramray Ananda Amir yang telah memberi dukungan dan teman berbagi selama berada dilaboratorium struktur kapal;
9. Kakanda senior di galangan PT. DAK yang telah membantu dalam pengumpulan data dan memberikan masukan terkait tugas akhir;
10. Teman-teman Teknik Perkapalan 2018 yang telah memberikan semangat selama berkuliah dan dalam pengerjaan tugas akhir ini;
11. Senior laboratorium struktur atas kesediannya dalam berdiskusi mengenai tugas akhir ini.

## DAFTAR ISI

SAMPUL	
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
DAFTAR NOTASI.....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian .....	2
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1. Kapal Isap Produksi.....	4
2.2. Konstruksi KIP .....	8
2.3. Beban-beban yang Bekerja pada Konstruksi KIP .....	11
2.4. Tegangan, Regangan dan Modulus Elastisitas .....	12
2.5. Tegangan Izin .....	17
2.6. Metode Elemen Hingga.....	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	21
3.2. Jenis Penelitian .....	21
3.3. Jenis Data dan Metode Pengambilan Data .....	21
3.4. Geometri Rancangan Struktur Ponton KIP Timah 21 .....	23
3.5. Prosedur Analisis dengan Metode Elemen Hingga.....	25

3.6	Kerangka Pikir.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		34
4.1.	Analisis Pembebanan pada Struktur.....	34
4.2.	Analisis Respon Struktur.....	39
BAB V PENUTUP .....		45
5.1.	Kesimpulan.....	45
5.2.	Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA .....		46
LAMPIRAN		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Gambar konstruksi ponton .....	10
Gambar 2.2. Batang prismatis yang mengalami tarik .....	12
Gambar 2.3. Deformasi akibat tegangan lentur .....	14
Gambar 2.4 Hubungan antara tanda momen lentur dan tanda kurvatur .....	15
Gambar 2.5. Arah tegangan pada pipa .....	16
Gambar 3.1. Rencana umum kapal isap produksi timah 21 .....	22
Gambar 3.2. Konstruksi ponton KIP Timah 21 .....	23
Gambar 3.3. Konstruksi ponton 4 .....	24
Gambar 3.4. Detail konstruksi tiap penegar .....	25
Gambar 3.5. Variasi pemodelan .....	27
Gambar 3.6. Hasil meshing .....	28
Gambar 3.6. Hasil <i>mesh independence study</i> .....	29
Gambar 3.7. Arah sumbu .....	30
Gambar 3.8. Kerangka pikir .....	33
Gambar 4.1. Kurva sebaran beban KIP 21 .....	36
Gambar 4.2. Data ponton .....	37
Gambar 4.3. Kurva sebaran beban ponton 4 .....	38
Gambar 4.4. Kesetimbangan .....	38
Gambar 4.5. Tegangan normal Y maksimum pada model 1 .....	39
Gambar 4.6. Tegangan normal X maksimum pada model 4 .....	40
Gambar 4.5. Diagram tegangan normal maksimum .....	41
Gambar 4.6. Tegangan geser XY maksimum pada model 1 .....	42
Gambar 4.7. Tegangan geser XZ maksimum pada model 4 .....	43
Gambar 4.8. Diagram tegangan geser maksimum .....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Dimensi tiap ponton.....	23
Tabel 3.2. Dimensi ponton 4.....	24
Tabel 3.3. Data penegar pada setiap model.....	28
Tabel 3.4. Hasil <i>mesh independence study</i> berbagai ukuran meshing.....	29
Tabel 3.5. Raksi tumpuan akibat gaya berat kapal.....	31
Tabel 3.6. Raksi tumpuan akibat gaya tekan air.....	31
Tabel 3.7. Raksi tumpuan akibat beban di kapal KIP Timah 21.....	32
Tabel 4.1. Data beban DWT dan lokasinya pada ponton.....	34
Tabel 4.2. Data beban LWT dan lokasinya pada ponton.....	35
Tabel 4.3. Persentase pembebanan pada ponton.....	37
Tabel 4.4. Nilai tegangan normal maksimum.....	41
Tabel 4.5. Nilai tegangan geser maksimum.....	44

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rencana umum kapal isap produksi .....	49
Lampiran 2. Konstruksi ponton kapal isap produksi .....	50
Lampiran 3. Tabel sebaran beban kapal KIP timah 21 .....	51
Lampiran 4. Tabel gaya bantu ponton lain.....	52

## DAFTAR NOTASI

$E$	= Modulus Young ( $N/mm^2$ )
$\sigma_a$	= Tegangan Aksial ( $N/mm^2$ )
$\sigma_l$	= Tegangan Lentur ( $N/mm^2$ )
$\tau$	= Tegangan Geser ( $N/mm^2$ )
$F_a$	= Gaya Aksial (N)
$A$	= Luas Penampang ( $mm^2$ )
$V$	= Gaya Geser (N)
$St$	= Statis Momen ( $mm^3$ )
$M$	= Momen (N.mm)
$y$	= Jarak dari Sumbu Netral Kesisi Terluar Benda (mm)
$I$	= Momen Inersia Penampang ( $mm^4$ )
$b$	= Tebal (mm)
$W$	= Modulus Penampang ( $mm^3$ )
$\varepsilon$	= Regangan
$\Delta L$	= Pertambahan Panjang (mm),
$L$	= Panjang Mula-mula (mm)
DWT	= Dead Weight Tonage (ton)
LWT	= Light Weight Tonnage (ton)

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

KIP adalah adalah singkatan dari kapal isap produksi kapal ini memiliki fungsi untuk menggali lapisan tanah di bawah laut untuk menghisap mineral-mineral yang akan diolah menjadi timah. Pembuatan KIP tidak merujuk pada regulasi klasifikasi, kapal ini merupakan kapal *non-class* dari wawancara yang telah dilakukan bahwa KIP merupakan kapal yang diadopsi dari kapal tambang Thailand yang di beli dan kemudian dimodifikasi sehingga proses pembangunan kapal ini dilakukan berdasarkan dari pengalaman sehingga konstruksi kapal ini bisa saja berlebihan atau *overkonsruksi* sehingga kapal sangat berat, untuk menopang konstruksi tersebut KIP menggunakan ponton yang berbentuk tabung sebagai daya apung kapal.

KIP menggunakan ponton sebagai alat apung, 1 unit KIP memiliki 3 sampai dengan 5 ponton bergantung pada lebar kapal. Ponton KIP dibuat berpenampang silender (pipa), dengan atau tanpa penegar. Ukuran ponton bergantung pada ukuran kapal tersebut, secara umum ukuran kapal 100-120 m dengan panjang ladder 60-80 m biasa memiliki ukuran panjang sekitar 90-100 m dengan diameter sekitar 2,8 m.

Ponton menjadi alat apung semua unit di atas kapal, oleh beban global dan beban local kapal. Beban global dimaksud adalah beban akibat tekanan air yakni akibat dari kedalaman sarat maksimum sehingga tekanan merata. Adapun beban local adalah tekanan dari setiap beban instalasi-instalasi diatas ponton yang dipasangi pondasi dibawahnya, beban local yang bekerja pada ponton berasal dari beban-beban instalasi KIP diantaranya beban konstruksi, beban ladder, mesin pendorong, mesin pompa air dan hidrolik, mesin ladder, winch, instalasi pencucian diatas kapal dan lain-lain.

Dengan melihat dari kasus tersebut maka penelitian ini bermaksud untuk mencoba menganalisis kekuatan ponton KIP dengan banyaknya penegar atau tanpa penegar pada ponton, sehingga efektif bagi kapal yakni aman dan ekonomis. Oleh karena itu diajukanlah penelitian dengan judul “**Analisis Kekuatan Konstruksi Ponton Kapal Isap Produksi dengan Variasi Penegar**”.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana respon konstruksi ponton kapal isap produksi dengan beberapa variasi penegar?

## **1.3. Batasan Masalah**

Untuk menyederhanakan pembahasan masalah yang terjadi dalam penelitian ini, agar lebih terarah dan sistematis maka terdapat beberapa hal yang dijadikan sebagai batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Data kapal yang digunakan ialah data kapal KIP TIMAH 21;
2. Pembebanan diberikan adalah pembebanan statis dengan melalui beban dari komponen-komponen diatas kapal KIP serta beban dari tekanan hidrostatis kapal;
3. Analisis hanya pada ponton dengan ukuran terpanjang;
4. Analisis pada beberapa variasi model ponton, variasi model dilakukan dengan meniadakan satu penegar setiap model berikutnya;
5. Hasil Analisis berupa simulasi tegangan yang terdapat pada pemodelan KIP;
6. Pengerjaan kekuatan menggunakan pendekatan metode elemen hingga (*finite elemen methode*) melalui *software ansys<sup>TM</sup>*.

## **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari Penelitian ini yang hendak dicapai ialah menentukan pengaruh konstruksi penegar terhadap kekuatan kapal KIP.

## **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang ingin diperoleh dari Penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan referensi dalam dunia pendidikan dalam pembangunan kapal;
2. Sebagai bahan pertimbangan perusahaan dalam merancang konstruksi ponton KIP.

## 1.6. Sistematika Penulisan

Alur Penulisan yang jelas akan memudahkan pembaca maka diuraikan penelitian ini secara sistematis dan dijabarkan secara umum dalam kerangka penulisan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan, pada bab ini diuraikan meliputi latar belakang permasalahan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan;

BAB II Tinjauan Pustaka, pada bab ini dipaparkan teori-teori yang mendukung penelitian ini. Terdiri dari KIP, Konstruksi KIP, Beban yang bekerja pada kapal, tegangan, regangan, modulus elastisitas, tegangan izin, metode elemen hingga dan *Ansys*;

BAB III Metode Penelitian, pada bab ini dijelaskan jenis penelitian, lokasi, waktu penelitian, jenis dan metode pengambilan data, geometri rancangan ponton, prosedur analisis dan kerangka pikir;

BAB IV Hasil dan Pembahasan, pada bab ini dijelaskan hasil dari analisis pembebanan dan analisis kekuatan ponton kapal isap produksi;

BAB V Penutup, pada bab ini dijelaskan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Pada bab ini juga berisikan saran sebagai pertimbangan dalam penyempurnaan analisis lebih lanjut;

Daftar Pustaka, berisikan referensi-referensi yang digunakan dalam penelitian ini.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kapal Isap Produksi

Kapal Isap Produksi (KIP) merupakan suatu alat gali yang digunakan dilapisan tanah dibawah permukaan air laut, yang mana dilengkapi dengan peralatan penggalian dan mekanisme pengolahan materialnya yang memiliki beberapa ponton sebagai alat apung.

#### 2.1.1. Proses Penggalian Kapal Isap Produksi

KIP Timah harus beroperasi sesuai dengan peta rencana kerja yang didapat dari Departemen Geologi Tambang PT Tambang Timah. Adapun langkah kerja penggalian KIP Timah tersebut yaitu:

- 1) Posisikan cutter pada titik lubang bor yang akan digali memakai alat bantu GPS;
- 2) Ladder diarahkan sehingga menyentuh lapisan tanah (pada tengah-tengah lingkaran tersebut);
- 3) Lingkar dulu titik bor tersebut dengan memutar kapal sehingga membentuk *Werk Put / Work Pit* (kolong kerja), dan lingkaran tersebut akan kelihatan pada monitor GPS;
- 4) Penggalian sudah dapat dimulai dengan memperdalam *Werk Put / Work Pit* dengan cara menjalankan *cutter* ditambah dengan menekan ladder dan memutar ponton KIP;
- 5) Setelah mencapai titik lingkaran penuh berbentuk lubang, maka kedalaman ladder (kedalaman penggalian) dapat ditambah dalam, dengan memperhatikan volume tanah pada saring putar;
- 6) Apabila *cutter* belum mencapai kong, sedangkan ponton berat untuk diputar, maka penggalian bisa dialihkan pada penggalian awal untuk memperlebar bukaan kolong yang pertama, untuk memperlebar bukaan pertama, penggalian bisa dilakukan dengan sistem maju mundur dengan menggunakan propeller bagian belakang;

7) Makin dalam kaksya yang akan dicapai, pembukaan kolong bagian atas harus makin luas.

Dalam pengoperasian kapal isap produksi ada tiga metode yang digunakan pada saat penggalian, metode-metode tersebut adalah:

- *Rotary* (berputar 360°)

Metode penggalian dengan sistem *rotary* melakukan proses penggalian dengan melingkari objek penggalian 360° ke arah kiri maupun kanan.

- *Spooding*

Metode ini disebut *spooding* dikarenakan ladder sepertinya berperan seperti *spood* sedangkan buritan kapal bergerak ke kiri dan ke kanan membentuk sudut 90° sampai 120°.

- Metode Kombinasi

Sistem penggalian ini merupakan gabungan sistem *rotary* dengan sistem *spooding*. Biasanya di awal pembuatan lubang kolong kerja memakai *rotary* dan untuk melebarkan kolong sesuai arah penggalian digunakan sistem *spooding* (Rifky Andri, 2017).

Berikut alat-alat yang digunakan dalam proses penggalian:

- a) *Cutter*

*Cutter* yang terletak pada ujung ladder pada KIP Timah berfungsi sebagai penghancur. Untuk memulai proses isap Timah yang letaknya dibawah lapisan tanah, maka terlebih dahulu tanah yang berada diatas permukaan dihancurkan menggunakan *Cutter* agar memudahkan proses isap menggunakan pompa tanah dan dapat meminimalisir campuran unsur tanah pada Timah.

- b) *Ladder*

Ladder berfungsi untuk penempatan cutter, pompa tanah, pipa isap dan pipa tekan. Panjang ladder sangat menentukan untuk mencapai kedalaman gali. Konstruksi ladder terdiri dari besi siku dan plat sebagai dinding. Ujung ladder dipasang cutter dan pangkal ladder dipasang sebagai tumpuan untuk naik turunnya ladder. Dalam proses penggalian, ladder digerakkan oleh *wipe rope* (kawat ladder) yang dipasang pada skep dengan pompa hidrolis yang menggerakkan ladder winch

dan dibantu oleh skep penghantar untuk menaik-turunkan ladder dalam proses penggalian.

c) Pipa Hisap

Pipa hisap adalah pipa yang berbentuk mulut bebek yang berfungsi untuk menghisap tanah yang telah dihancurkan oleh *cutter* dengan daya hisap yang dihasilkan oleh pompa tanah. Untuk mencegah terjadinya penyumbatan saat dilakukan penghisapan material yang telah dihancurkan oleh *cutter* maka di bagian mulut pipa hisap disemprotkan air. Material material yang tadinya masih besar dan padat kemudian pecah menjadi lebih kecil dan mudah untuk dihisap.

d) Pompa Tanah

Pompa tanah berfungsi untuk menghisap material hasil gali dari *cutter* yang selanjutnya diteruskan ke saringan putar melalui pipa hisap pompa tanah digerakkan oleh sebuah mesin penggerak impeller pompa tanah yang dihubungkan oleh as panjang dan gardan *shaft*.

e) *Block Bearing Cutter*

*Block Bearing Cutter* adalah suatu alat pendukung untuk memutar *cutter* dengan menggunakan sistem hidrolik dan juga berfungsi untuk menahan beban dari *cutter*.

f) Pipa Tekan

Pipa tekan berfungsi untuk mengalirkan *feed* hasil hisapan dari pipa hisap menuju saringan putar untuk diproses berikutnya. Pipa tekan terletak di belakang pompa tanah atau *output* dari pompa tanah.

### 2.1.2. Proses Pencucian Kapal Isap Produksi

Pencucian merupakan tahap akhir dari rangkaian kegiatan penambangan, sehingga besar kecilnya perolehan sangat ditentukan oleh kegiatan pencucian. Pencucian pada kapal isap produksi menggunakan air laut. Fungsi pencucian dalam kegiatan penambangan adalah untuk memisahkan atau mencuci bahan galian dari mineral-mineral pengotor, untuk mendapatkan mineral biji timah.

Berikut alat-alat yang digunakan dalam proses penggalian:

a) Saringan Putar (*Grizzly*)

Pada proses pencucian biji timah di KIP diawali dengan proses *sizing* (pemilihan ukuran) menggunakan saringan putar yang berfungsi untuk menghancurkan material hasil penggalian (*feed*) dan kemudian memisahkannya berdasarkan besar ukuran butirannya. Dimana material halus bertimah sebagai undersize dan material kasar seperti bongkahan tanah besar, batu, dan kerang-kerang sebagai *oversize* dibuang melalui bandar tailing.

b) JIG

Jig adalah suatu alat pemisah biji timah berdasarkan perbedaan berat jenis dari biji timah dan mineral-mineral lainnya dimana jig menggunakan prinsip gravitasi. Butiran biji timah akan turun secara gravitasi akibat adanya gaya isap (*suction*) dan tekan (*pushion*) dari air yang berada di dalam kompartemen jig akibat gerakan dari penggerak jig dengan sistem *hydraulic*. Kapal isap produksi memiliki tiga tingkatan, yaitu jig *primer*, jig *clean up/sekunder*, dan jig. Jig *primer* menerima umpan/*feed* dari *undersize grizzly* dan saringan putar (*revolving screen*). *Oversize* jig *primer* berupa material kasar akan terbuang sebagai tailing melalui bandar tailing. Jig *primer* berfungsi sebagai penyaring atau memisahkan mineral berharga dan mineral pengotor yang berasal dari saringan putar. Sedangkan *undersize* berupa material halus campuran biji timah dan pasir kemudian diolah lebih lanjut melalui jig *clean up/sekunder*. Tahap terakhir dari proses pencucian biji timah adalah pembersihan biji timah yang telah melewati jig tersier yang masih mengandung sedikit mineral pengotor di Sakan. Sakan atau *Shuice Box* adalah suatu saluran yang dasarnya rata dan di atasnya dialirkan air bersama butiran-butiran mineral. Pada dasarnya saluran dipasang beberapa kayu penahan (*Riffles*) tegak lurus arah aliran air. Proses pemisahannya berdasarkan berat jenis melalui suatu aliran air yang tipis di atas sebuah permukaan yang sedikit miring berupa papan atau *deck*. Fungsi alat ini adalah untuk mencuci konsentrat biji timah yang dialirkan melalui pipa. Terakhir, biji-biji timah tersebut dimasukkan ke dalam karung.

c) Sakan

Sakan yaitu suatu aliran yang dasarnya rata dan di atasnya dialirkan air bersama butiran-butiran mineral. Pada dasar saluran dipasang beberapa kayu

penahan (*riffles*) tegak lurus arah aliran air dengan jarak tertentu. Proses pemisahannya berdasarkan berat jenis melalui suatu aliran air yang tipis di atas sebuah permukaan yang sedikit miring berupa papan atau *deck*. Fungsi alat ini adalah untuk mencuci konsentrat biji timah yang dialirkan melalui pipaspigot pada jig jubah/tersier Final konsentratnya yaitu konsentrat tersebut dimasukkan kedalam karung dan takaran berat konsentrat adalah 50 kg/karung.

#### d) Bandar Tailing

Bandar tailing merupakan jalur atau bandar pembuangan material yang tidak berguna seperti pasir, batuan, dan lain-lain. Sistem buangan limbah dari masing-masing proses pencucian KIP dengan cara tailing dipisahkan dan langsung dibuang ke laut melalui buritan kapal dan bermanfaat untuk menutup kembali lubang bekas galian. Untuk limbah hidrokarbon ditampung dan diamankan sesuai izin PSL-B3 kepmen LH NO. 360/2007 tentang izin penyimpanan limbah bahan berbahaya beracun.

#### 2.1.3. Pengangkutan Timah Kapal Isap Produksi

Hasil timah yang telah diproduksi kapal isap produksi berupa karungan dengan berat sekitar 50 kg. Kapal isap produksi memiliki dua ruang penyimpanan timah sebelum diambil oleh kapal khusus yang mengambil timah dari kapal-kapal isap produksi, orang setempat menyebutnya dengan kapal penjangkaran. Kapal penjangkaran dalam satu kali trip pengangkutan biasa mengambil 120-200 karung atau 60-100 karung setiap ruang penyimpanan. Proses *transshipment* biasanya dengan menggunakan tenaga masyarakat setempat (buruh).

## 2.2. Konstruksi KIP

Kapal Isap Produksi secara umum memiliki 2 bagian utama yakni sebagai berikut:

#### 2.2.1. Bangunan Atas

Bangunan atas merupakan bagian konstruksi yang berfungsi sebagai alat menopang bagian-bagian konstruksi lain. Pada bangunan atas KIP memiliki konstruksi yang lebih kokoh karena merupakan tempat bagi konstruksi ladder,

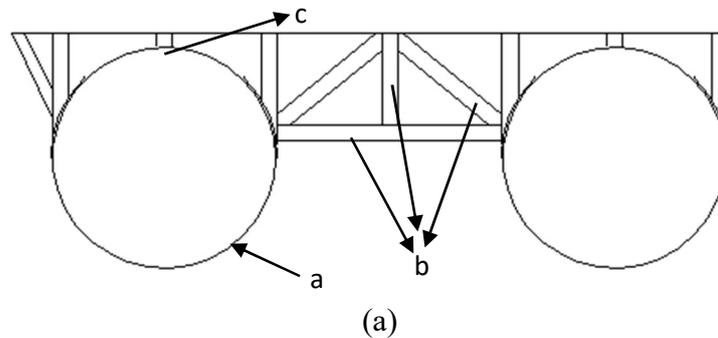
bagian instalasi pencucian dan mesin-mesin operasional bagi kapal. KIP memiliki dua geladak utama pada bangunan atasnya yaitu geladak bagian atas dan geladak bagian bawah, masing masing geladak memiliki konstruksi dengan rangka yang terbuat dari baja, sehingga kuat untuk menopang bagian-bagian lain.

- Geladak Bagian Atas
  - Bagian Haluan  
Pada bagian geladak atas bagian haluan berfungsi untuk menopang jangkar kapal, *winch ladder*, mesin *hydraulic* dll.
  - Bagian Tengah  
Pada bagian geladak atas bagian tengah berfungsi untuk menopang ruang navigasi, saringan putar, jig primer, saluran tailing dan bagian pencucian lainnya.
  - Bagian Buritan  
Pada bagian geladak atas bagian buritan berfungsi untuk menopang beban dari ruang ABK.
- Geladak Bagian Bawah
  - Bagian Haluan  
Pada bagian geladak bawah bagian haluan berfungsi untuk menopang Ladder, tangki dll.
  - Bagian Tengah  
Pada bagian geladak bawah bagian tengah berfungsi untuk menopang mesin *diesel*, jig *sekunder*, *spring pivot*, dll.
  - Bagian Buritan  
Pada bagian geladak bawah bagian buritan berfungsi untuk menopang beban dari Bandar tailing, mesin propeller, dll.

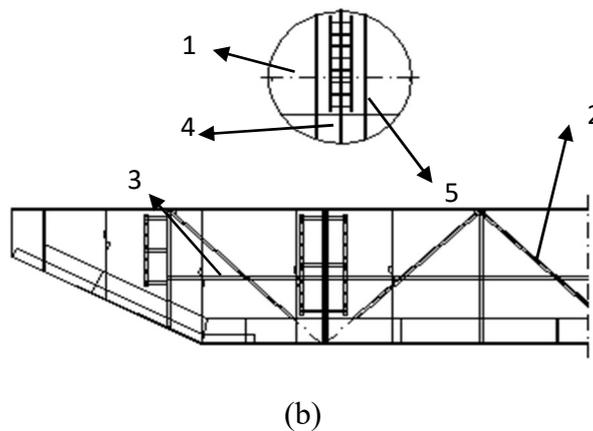
#### 2.2.2. Ponton

Ponton adalah bagian kapal yang memiliki peran penting dalam pengoperasian KIP yang satu-satunya menyuplai daya apung untuk kapal. Ponton KIP terbuat dari baja berbentuk silinder berongga yang berjumlah antar 3-5 buah, konstruksi dalam ponton dibagi-bagi dengan banyak kompartement yang dibatasi oleh sekat sehingga apabila terjadi kebocoran pada salah satu kompartemen maka

kapal masih bisa terapung. Ponton selain sebagai alat apung kapal juga difungsikan sebagai tempat penyimpanan bahan bakar dan air tawar pada beberapa kompartemen. Konstruksi ponton KIP seperti pada Gambar 2.1.



- a) Plat kulit
- b) *Beam* (setiap sekat, vertikal, horizontal, diagonal)
- c) *Hatchway*



- 1) Sekat;
- 2) Penegar diagonal (Sepanjang ponton kecuali 2 ponton terpanjang dibuat beberapa tangki );
- 3) Penegar sisi memanjang sepanjang kapal;
- 4) Bagian bawah dipasang plat lebih tebal dari plat sekat, tegak vertical melintang dan membujur;
- 5) Penegar sekat dibuat tegak vertical setinggi sekat.

Gambar 2.1. Gambar konstruksi ponton,  
 (a) konstruksi luar ponton, (b) konstruksi dalam ponton  
 (Sumber: PT. DAK)

## **2.3. Beban-beban yang Bekerja pada Konstruksi KIP**

### **2.3.1. Beban Mati**

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat bangunan, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan satu kesatuan dengannya.

Beban mati disebut juga beban kerja akibat gravitasi yang tetap posisinya, disebut demikian karena bekerja terus menerus dengan arah ke bumi tempat struktur didirikan. Besar struktur dipandang sebagai beban mati, demikian pula perlengkapan yang digantungkan pada struktur seperti pipa air, pipa listrik, saluran pendingin dan pemanas ruangan, lampu, genting dan plafon atau dengan kata lain, semua benda yang tetap posisinya selama struktur berdiri dipandang sebagai beban mati (Agus Setiawan, 2002).

### **2.3.2. Beban Hidup**

Beban hidup adalah semua beban tidak tetap, kecuali beban angin, beban gempa dan pengaruh-pengaruh khusus yang diakibatkan oleh selisih suhu, pemasangan (*erection*), penurunan pondasi, susut, dan pengaruh-pengaruh khusus lainnya. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja perlahan-lahan pada struktur. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan perhitungan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia.

Beban hidup merupakan beban yang berlaku pada struktur selama operasinya saja dan bisa berubah-ubah selama kondisi operasi atau dari kondisi operasi ke kondisi lainnya. beban hidup adalah beban gravitasi pada struktur, yang besar dan lokasinya bervariasi, contoh beban hidup adalah manusia, mebel, (*furniture*), peralatan yang dapat bergerak. Karena berat, lokasi dan kepadatan beban hidup sifatnya tidak diketahui, maka besar sesungguhnya dan posisi beban ini sangat sukar untuk ditentukan. (Agus Setiawan, 2002).

## 2.4. Tegangan, Regangan dan Modulus Elastisitas

### 2.4.1. Tegangan pada Struktur

Tegangan merupakan perilaku material saat diberikan gaya atau beban. Jika suatu material dengan nilai luasan penampang yang sama diberikan beban yang sama dan searah di sepanjang material tersebut nantinya akan timbul tegangan pada material tersebut. Semua bahan berubah bentuk karena pengaruh gaya. Ada yang kembali ke bentuk aslinya bila gaya dihilangkan, ada pula yang tetap berubah bentuk sedikit atau banyak. Tegangan Kerja Yang terjadi pada struktur yaitu sebagai berikut.

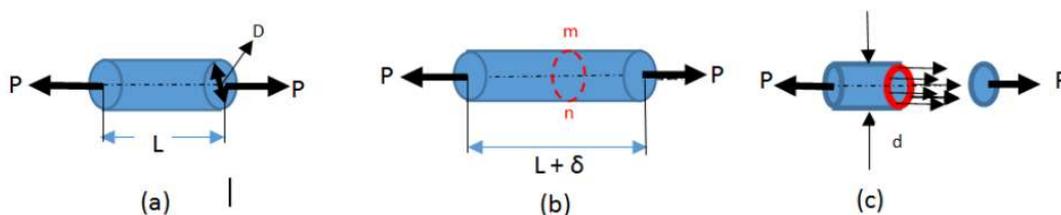
#### a. Tegangan normal

Setiap material adalah elastis pada keadaan alaminya. Karena itu jika gaya luar bekerja pada benda, maka benda tersebut akan mengalami deformasi. Ketika benda tersebut mengalami deformasi, molekulnya akan membentuk tahanan terhadap deformasi. Tahanan ini per satuan luas dikenal dengan istilah tegangan.

Tegangan normal merupakan ukuran dari gaya aksial atau gaya normal per satuan luas. Tegangan aksial yang bekerja ( $\sigma_a$ ) pada elemen baja dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_a = F_a / A$$

Dimana:  $\sigma_a$  = Tegangan Aksial (N/mm<sup>2</sup>);  
 $F_a$  = Gaya Aksial (N);  
 $A$  = Luas Penampang (mm<sup>2</sup>).



Gambar 2.2. Batang prismatis yang mengalami tarik (a) diagram benda bebas dari segmen batang, (b) segmen batang setelah dibebani, (c) tegangan normal pada batang.

(Sumber: Gere & Temoshenco, 2000)

b. Tegangan geser

Jika gaya normal/tangensial merupakan gaya sejajar arah memanjang batang, gaya geser merupakan gaya yang berarah tegak lurus dengan panjang batang. Besaran tegangan geser dinyatakan dengan simbol ( $\tau$ ) dalam satuan ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ). Tegangan geser terjadi ketika aksi dari sebuah gaya geser didistribusikan pada sebuah luas penampang melintang yang parallel (tangensial) dengan gaya geser tersebut.

Tegangan geser ( $\tau$ ) timbul akibat kerja dari dua gaya geser ( $S$ ) yang saling berlawanan arah (aksi–reaksi) terhadap suatu bidang geser, pada satuan luas bidang penampang tahanan elemen struktur ( $A$ ). Sehingga bidang penampang tersebut mengalami regangan geser searah bekerjanya gaya. Jika besaran gaya geser ( $S$ ) dikerjakan pada batang akan menimbulkan tegangan geser ( $\tau$ ). Tegangan geser ( $\tau$ ), yaitu tegangan yang timbul akibat gaya geser atau gaya lintang. Ciri dari gaya geser atau gaya lintang adalah melintang batang atau tegak lurus batang. (E.P.Popov, 1984).

Gaya pada benda menyebabkan perubahan ukuran benda. Pengaruh vektor gaya terhadap sumbu  $x$  menghasilkan besaran tensile stress dengan lambang  $\sigma_x$ . Indeks  $x$  menyatakan arah vektor gaya. Pengaruh gaya terhadap sumbu  $y$  dan  $z$  menghasilkan momen yang disebut tegangan geser/*shear stress*.

Secara matematis tegangan geser dirumuskan sebagai berikut.

$$\tau = V/A$$

$$\tau = V \cdot St / I \cdot b$$

Keterangan :  $\tau$  = Tegangan Geser ( $\text{N}/\text{mm}^2$ );  
 $V$  = Gaya Geser (N);  
 $A$  = Luas Penampang ( $\text{mm}^2$ );  
 $St$  = Statis Momen Luasan ( $\text{mm}^3$ );  
 $I$  = Momen Inersia Penampang ( $\text{mm}^4$ );  
 $b$  = Tebal (mm).

Adapun untuk persamaan tegangan geser pada bidang tiga dimensi ialah sebagai berikut

$$\tau_{xy} = E/ 2(1+\nu) \gamma_{xy} = G. \gamma_{xy}$$

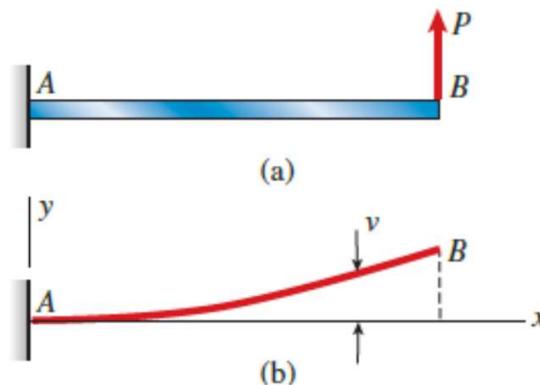
$$\tau_{xz} = E/2 (1+\nu) \gamma_{xz} = G. \gamma_{xz}$$

$$\tau_{yz} = E/2 (1+\nu) \gamma_{yz}$$

c. Tegangan Lentur

Tegangan lentur memiliki nilai terbesar disisi bagian atas dan disisi bagian bawah balok. Tegangan lentur tersebut bekerja secara tegak lurus terhadap penampang melintang dan berada dalam arah longitudinal dari balok. Merupakan gaya yang bekerja pada jarak tertentu (L) dari tumpuan benda dengan arah kerja tegak lurus sumbu benda. Sehingga mengakibatkan benda melentur/melengkung disepanjang sumbunya.

Beban yang bekerja pada sebuah balok (*beam*) menyebabkan beam melentur/bending, hal tersebut menyebabkan deformasi sumbu beam hingga membentuk kurva. Sebagai contoh, asumsikan sebuah balok kantilever AB dikenai beban P pada ujung bebas (Gambar 2.3). sumbu yang awalnya lurus membengkok hingga membentuk kurva (Gambar 2.4), yang disebut dengan defleksi. (Gere & Goodno, 2009)



Gambar 2.3. Deformasi akibat tegangan lentur, (a) kondisi batang sebelum dikenai gaya p, (b) kondisi batang setelah dikenai gaya P

(Sumber: Gere & Goodno, 2009)

Tegangan lentur diakibatkan oleh momen lentur sehingga secara matematis persamaan tegangan lentur dapat dirumuskan sebagai berikut.

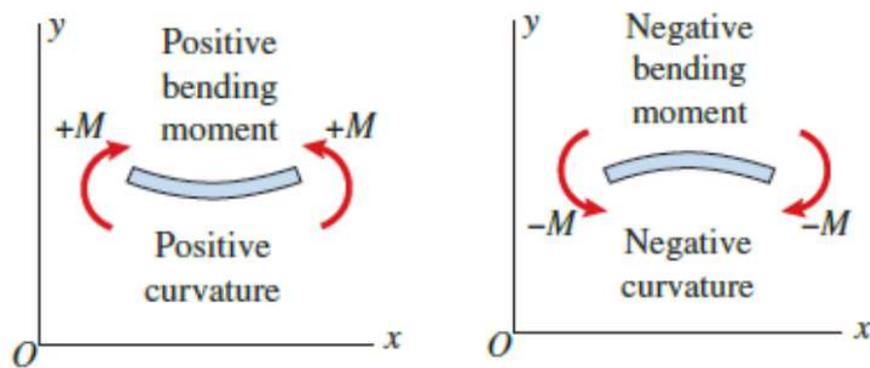
$$\sigma_1 = M.(y / I) \text{ atau } \sigma_1 = M/w$$

Dimana :  $\sigma_1$  = Tegangan Lentur (N/mm<sup>2</sup>);

M = Momen (N.mm)

- $y$  = Jarak dari Sumbu Netral Kesisi Terluar Benda (mm)
- $I$  = Momen Inersia Penampang (mm<sup>4</sup>)
- $W$  = Modulus Penampang (mm<sup>3</sup>)

Jika momen lentur dari balok adalah positif, maka tegangan lentur akan positif (tensil) pada bagian penampang balok dimana  $y$  negatif, yaitu dibagian bawah balok. Tegangan pada bagian atas balok akan negatif (kompresi). Jika momen lentur negatif, maka tegangan lentur kebalikannya. Hubungan ini ditunjukkan pada Gambar 2.4. (Gere & Goodno, 2009)



Gambar 2.4 Hubungan antara tanda momen lentur dan tanda kurvatur  
(Sumber : Gere & Goodno, 2009)

#### d. Tegangan pada Pipa

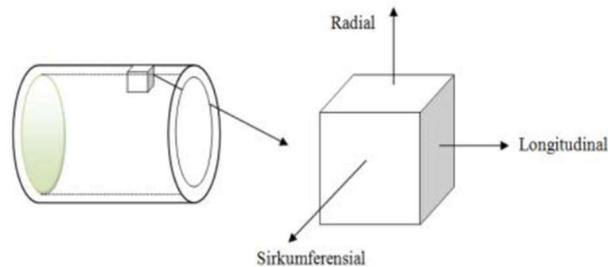
Tegangan yang terjadi dalam pipa dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yakni Tegangan Normal (*Normal Stress*) dan Tegangan Geser (*Shear Stress*). Tegangan normal terdiri dari tiga komponen tegangan, yang masing-masing adalah:

1. Tegangan Longitudinal (*Longitudinal Stress*), yaitu tegangan yang searah panjang pipa.
2. Tegangan Tangensial atau Tegangan Keliling (*Circumferential Stress* atau *Hoop Stress*), yaitu tegangan yang searah garis singgung penampang pipa,
3. Tegangan Radial (*Radial Stress*), yaitu tegangan searah jari-jari penampang pipa.

Tegangan Geser terdiri dari dua komponen tegangan, yang masing-masing adalah:

1. Tegangan Geser (*Shear Stress*), yaitu tegangan akibat gaya geser,
2. Tegangan Puntir atau Tegangan Torsi (*Torsional Stress*), yaitu tegangan akibat momen puntir pada pipa, (Achmad Husein & Achmad Jamaludin, 2016).

Arah tegangan dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Arah tegangan pada pipa

(Sumber : Achmad Husein & Achmad Jamaludin, 2016)

#### 2.4.2. Regangan

Regangan adalah Perubahan pada ukuran sebuah benda karena gaya-gaya atau kopel dalam kesetimbangan dibandingkan dengan ukuran semula. Regangan juga disebut derajat deformasi. Persamaan dari regangan dapat dituliskan pada persamaan:

$$\epsilon = \Delta L / L$$

Dimana:  $\epsilon$  = Regangan,  
 $\Delta L$  = Pertambahan Panjang (mm)  
 $L$  = Panjang Mula-mula (mm)

Regangan merupakan ukuran mengenai seberapa jauh batang tersebut berubah bentuk. Tegangan diberikan pada material dari arah luar, Regangan adalah tanggapan material terhadap tegangan. Pada daerah elastis, besarnya tegangan berbanding lurus dengan regangan.

#### 2.4.3. Modulus Elastisitas

Perbandingan antara tegangan dan regangan benda tersebut disebut modulus elastisitas atau Modulus Young. Pengukuran Modulus Young dapat dilakukan

dengan menggunakan gelombang akustik, karena kecepatan jalannya bergantung pada Modulus Young. Secara matematis dirumuskan

$$E = \sigma / \epsilon$$

$$E = (F.L) / (A. \Delta L)$$

Dimana :

E	=	Modulus Young (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma$	=	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
F	=	Gaya (N)
L	=	Panjang mula-mula (mm)
$\Delta L$	=	Pertambahan panjang (mm)
A	=	Luas penampang (mm <sup>2</sup> )

## 2.5. Tegangan Izin

Tegangan izin adalah tegangan tertinggi yang diizinkan dalam suatu konstruksi atau dapat dikatakan sebagai tegangan maksimum yang terjadi dalam suatu konstruksi yang tidak diperkenankan untuk dilampaui. Secara khusus tegangan izin ditentukan oleh BKI (2016), bahwa tegangan izin yang bekerja tidak boleh melewati:

$$\text{Tegangan} = \frac{150}{k} [\text{N/mm}^2]; \text{ dengan } k = \text{faktor baja}$$

Dalam (Biro Klasifikasi Indonesia, 2016) Tegangan yang diizinkan untuk berbagai bahan baja pada kondisi pembebanan yang sebagian besar statis adalah 150 N/mm<sup>2</sup> sedangkan untuk tegangan geser diberikan 110 N/mm<sup>2</sup> pada baja.

## 2.6. Metode Elemen Hingga

### 2.5.1. Definisi

Metode Elemen Hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala phisis. Tipe masalah teknis dan matematis phisis yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisis struktur dan kelompok masalah-masalah non-struktur (Susatio,2004)

Dalam penelitian Sinaga dan Tambunan, 2008 Metode elemen hingga merupakan cara pendekatan solusi analisis struktur secara numerik dimana struktur kontinum dengan derajat kebebasan tak hingga disederhanakan dengan diskretisasi kontinum dalam elemen-elemen kecil yang umumnya memiliki geometri lebih sederhana dengan derajat kebebasan tertentu (berhingga), sehingga lebih mudah dianalisis (Fajar et al, 2017)

Tipe-tipe permasalahan struktur meliputi :

1. Analisis tegangan/Stress, meliputi Analisis Truss dan frame serta masalah-masalah yang berhubungan dengan tegangan-tegangan yang terkonsentrasi.
2. Buckling
3. Analisis getaran

Dalam persoalan-persoalan yang menyangkut geometri yang rumit, seperti persoalan pembebanan terhadap struktur yang kompleks, pada umumnya sulit dipecahkan melalui matematika analisis. Hal ini disebabkan karena matematika analisis memerlukan besaran atau harga yang harus diketahui pada setiap titik pada struktur yang dikaji.

Penyelesaian analisis dari suatu persamaan diferensial suatu geometri yang kompleks, pembebanan yang rumit, tidak mudah diperoleh. Formulasi dari metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini. (Susantio,2004)

Pada prinsipnya penerapan Metode Elemen Hingga terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

1. Diskritisasi Domain

Pada tahap ini kita tentukan jenis elemen yang akan kita gunakan. Untuk problem 2-dimensi, elemen 2-dimensi yang umum digunakan adalah tiga sisi (*triangular*) atau empat sisi (*quadrilateral*). Elemen-elemen ini bisa berupa elemen linear ataupun non-linear. Untuk problem 3 dimensi, elemen 3 dimensi yang umum digunakan adalah elemen tetrahedral (empat muka) dan heksahedral (enam muka).

2. Penentuan Bentuk Fungsi Aproksimasi

Pada tahap ini bentuk dari fungsi interpolasi ditentukan, fungsi yang umum digunakan adalah fungsi polinomial. Tingkat dari polinomial ini ditentukan oleh

jumlah node pada setiap elemen dan syarat kontinuitas yang diperlukan pada batas elemen. Untuk elemen segitiga dengan tiga titik nodal, fungsi interpolasinya adalah fungsi linear atau polinomial tingkat 1. Dengan enam titik nodal, fungsi interpolasi yang digunakan adalah fungsi polinomial tingkat 2 atau fungsi kuadratik.

### 3. Penghitungan Properti Elemen

Fungsi interpolasi yang telah ditentukan pada tahap 2 kemudian disubstitusikan kembali pada persamaan-persamaan diferensial dan diproses guna mendapatkan sistem persamaan linear atau system matriks yang merupakan properti dari elemen yang terkait. Ada beberapa cara yang digunakan untuk mendapatkan persamaan linear tersebut, antara lain pendekatan direk, pendekatan variasional, pendekatan residu berbobot (*weighted residue*) dan pendekatan keseimbangan energi.

### 4. Pembentukan Sistem Persamaan Linear

Matriks-matriks elemen yang terbentuk kemudian digabung menjadi matriks global. Ukuran matriks elemen adalah jumlah node perlemen dikalikan jumlah degree of freedom (dof) setiap node. Jadi untuk elemen segitiga dengan 3 node dan 1 dof, ukuran dari matriks elemennya adalah 3x3. Seandainya setiap node mempunyai 2 dof maka ukuran matriks elemennya adalah 6x6.

### 5. Pemecahan Sistem Persamaan Linear

Sistem global yang terbentuk pada tahap 4 dapat berupa system persamaan linear atau sistem persamaan non-linear. Jika sistem yang terbentuk berupa sistem persamaan linear teknik-teknik umum untuk memecahkan sistem dapat kita gunakan.

### 6. Post Process Hasil

Setelah solusi diperoleh dari tahap 5, hasil dapat ditampilkan berupa grafik kountour atau plot. Jika ada parameter lain yang bergantung pada hasil maka parameter ini dihitung setelah hasil diperoleh. (Isworo dan Pathur, 2018).

#### 2.5.2. *Ansys*

*Ansys* adalah salah satu *software* yang digunakan untuk menganalisis berbagai macam struktur, aliran fluida, dan perpindahan panas. Adapun contoh

*software* analisis yang lain yaitu NASTRAN, CATIA, Fluent dan yang lainnya (Pinem, 2013).

Pada penggunaannya, secara umum program *ANSYS* memiliki Tahapan utama yaitu:

1. *Pre-Processing* adalah langkah awal dalam permodelan elemen hingga. Pada *pre-processing* terdapat beberapa fungsi dimana kita harus mendefinisikan fungsi-fungsi tersebut akan menghasilkan perhitungan yang spesifik pada benda yang akan dianalisis. Fungsi-fungsi yang terdapat *pre-processing* adalah: permodelan, penentuan tipe elemen, penentuan material, meshing.
2. *Solution*, Pada tahapan ini FEM telah mendekati proses perhitungan dan analisis. Ada beberapa langkah dalam proses perhitungan yang harus dilalui terlebih dahulu. Langkah-langkah tersebut adalah: pembebanan dan analisis.
3. *General Post-Processing* Setelah proses permodelan dan analisis selesai langkah selanjutnya adalah proses *post processing*. Proses ini digunakan untuk melihat hasil analisis, dalam hal ini hasil yang dilihat adalah displacement, momen, gaya geser, dan gaya normal yang terjadi. (Kusbiantoro dkk,2016)