

**SKRIPSI**  
**ANALISIS PENGARUH DEFORMASI PADA KEKUATAN**  
**SISA KONSTRUKSI SISI BARGE**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**AMANDA PUTRI AYUDHA**  
**D031 19 1032**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2024**



# LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

## ANALISIS PENGARUH DEFORMASI PADA KEKUATAN SISA KONSTRUKSI SISI BARGE

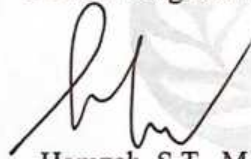
Disusun dan diajukan oleh

**Amanda Putri Ayudha**  
**D031191032**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 22 April 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

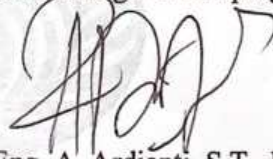
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Hamzah, S.T., M.T  
NIP 19800618 200501 1 004

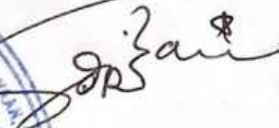
Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. A. Ardianti, S.T., M.T  
NIP 19850526 201212 2 002

Ketua Program Studi,



  
Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT  
NIP 19730206 200012 1 002



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;  
Nama : Amanda Putri Ayudha  
NIM : D031191032  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Analisis Pengaruh Deformasi Pada Kekuatan Sisa Konstruksi Sisi Barge }

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, 22 April 2024

g Menyatakan  
  
Amada Putri Ayudha



## ABSTRAK

**AMANDA PUTRI AYUDHA.** *Analisis Pengaruh Deformasi Pada Kekuatan Sisa Konstruksi Sisi Barge* (dibimbing oleh Hamzah dan. Andi Ardianti)

Dalam operasi kapal ada kemungkinan terjadi tubrukan, ditubruk, dan seterusnya. Hal ini mengakibatkan plate pada sisi kapal mengalami kerobekan atau terdeformasi secara permanen. Dalam hal mengalami kerobekan, maka yang harus dilakukan ialah langsung mengganti (repair) pelat tersebut sedangkan jika terjadi deformasi permanen, maka kemungkinan yang terjadi diduga terdapat sisa kekuatan struktur tidak dapat lagi menahan beban yang bekerja. Kejadian yang dialami oleh kapal BG. JUANITA karena menabrak kapal yang berada disekitaran Sungai saat cuaca buruk. Hal ini menyebabkan deformasi pada pelat sisi haluan kapal. Deformasi pelat sisi beserta gadingnya diduga dapat mengurangi kekuatan konstruksi pada kapal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan pelat sisi yang dikaitkan dengan tingkat deformasinya serta mengidentifikasi hubungan antara besarnya deformasi dan kekuatan sisa struktur. Analisis yang digunakan adalah simulasi kuantitatif menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan software ANSYS APDL. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa besar beban yang diberikan pada model plat sisi kapal yang terdeformasi memberikan respon berupa tegangan, dimana semakin besar penambahan bebannya maka akan semakin besar nilai tegangannya. Tegangan maksimum pada model tanpa deformasi untuk tegangan von-Mises dengan variasi penambahan beban maksimum sebesar  $158,474 \text{ N/mm}^2$  dan untuk variasi model deformasi 123 mm menghasilkan tegangan von-Mises dengan variasi penambahan beban maksimum sebesar  $312,444 \text{ N/mm}^2$ . Selain itu, untuk kekuatan sisa pada model tanpa deformasi dapat menahan berbagai bentuk tekanan, beban yang mungkin menyebabkan kerusakan pada struktur sebesar 45,87% dan untuk model deformasi 123 mm hanya dapat menahan beban sebesar -12,31%. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa kapal tetap aman dan dapat diandalkan selama berlayar dilaut.

Kata Kunci: Tongkang, Deformasi, Kekuatan Sisa



## ABSTRACT

**AMANDA PUTRI AYUDHA.** *Analysis of the Effect of Deformation on the Residual Strength of Barge Side Construction* (supervised by Hamzah and Andi Ardianti)

In ship operations, there is a possibility of collision, being struck, and so on. This results in the plates on the side of the ship experiencing tearing or permanent deformation. In the event of tearing, the plate must be immediately replaced, whereas if permanent deformation occurs, it is suspected that there may be remaining structural strength unable to withstand the applied load. The incident experienced by the BG. JUANITA ship was due to colliding with a vessel in the vicinity of the river during bad weather. This resulted in deformation of the side plate at bow of the ship. It is suspected that the deformation of the side plate along with its rivets may reduce the structural strength of the ship. Therefore, this study aims to determine the strength of the side plate associated with its level of deformation and to identify the relationship between the magnitude of deformation and the remaining structural strength. The analysis used is quantitative simulation using the finite element method with the help of ANSYS APDL software. From the results of this study, it was found that the magnitude of the load applied to the deformed ship side plate model resulted in stress response, where the greater the increase in the load, the greater the stress value. The maximum stress in the model without deformation for von-Mises stress with a maximum load increase variation was 158.474 N/mm<sup>2</sup>, and for the deformation model with 123 mm variation, it resulted in von-Mises stress with a maximum load increase variation of 312.444 N/mm<sup>2</sup>. In addition, for the remaining strength in the model without deformation, it can withstand various forms of pressure, loads that may cause damage to the structure up to 45.87%, and for the 123 mm deformation model, it can only withstand a load of -12.31%. This is aimed to ensure that the ship remains safe and reliable during voyages at sea.

Keywords: Barge, Deformation, Residual Strength



## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh*

Syukur alhamdulillah penulis ucapkan atas berkat rahmat dan karunia Allah *subhanahu wa ta'ala* serta salam dan shalawat kepada Rasulullah *shallallahu 'alaihi wasallam*. Dengan segala ikhtiar yang dilakukan dan dengan digerakkannya hati dan pikiran penulis oleh Allah *subhanahu wa ta'ala* sehingga mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “**Analisis Pengaruh Deformasi Pada Kekuatan Sisa Konstruksi Sisi Barge**”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada jenjang strata satu Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Terselesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Bapak **Hamzah, S.T., M.T**, selaku pembimbing I dan Ibu **Dr. Eng. A. Ardianti, S.T., M.T**, selaku pembimbing II yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dalam proses pengerjaan tugas akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak **Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing**, selaku Penguji I yang telah menghantarkan penulis memperoleh gelar akademik pada Departemen Teknik Perkapalan serta telah meluangkan waktu untuk berkonsultasi demi kesempurnaan tugas akhir ini.
3. Bapak **Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT**. selaku Penguji II dan Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Perkapalan atas ilmu, bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan.

g Tua tercinta ayahanda (Ir.Muhajir) dan Ibunda (Andi Yuliawati), Nenek yang, saudara tercinta Andi Arya Batara,S.H., Kalingga Gala Satya, S.T., Kalingga Tirta Adji, kakak ipar penulis Yusticia Zahrani , S.H., M.H. dan



keponakan kesayangan yang imut Andi Aluna Kanaya Batara, yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moral, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

6. Teman – teman seperjuangan laboratorium struktur Yusril Muhammad Rafli, Nursyamsi Anjali Jr, Indrawansyah, Fuad Iriandi, Irmawati, Inayah Magfira Anwar, Musfaida dan Putri Dian Purnama yang sudah membantu dalam dunia perkuliahan maupun keseharian penulis.
7. Teman – teman KEZAYANGAN 2019 yang telah memberi dukungan dan teman berbagi selama berada di kampus fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Kepada saudara(i) seperjuangan ZTARBOARD'19 yang telah memberikan semangat selama berkuliah dan dalam pengerjaan tugas akhir ini khususnya Andita Pasulu dan Dwi Aprilianto.
9. Sahabat - sahabat 19aes Khyki, Sabikah, Gita, Nayah, Afifah, Ainun, Mage, Nisa, dan untuk sahabatku yang disurga Putri.
10. Sahabat – sahabat Ughties Diarios Chindy, Tyani, Asriani, Lala, Jian, Rona, Kiki, Anis, Gabrillya, Widya
11. Kepada yang terkasih Imam Ahmad Farid R ,S.T. yang dengan penuh kesabaran selalu menemani serta memberikan semangat terhadap penulis demi terselesaikan skripsi ini
12. Serta semua pihak yang tidak bisa saya tuliskan satu per satu yang telah mendukung dan membantu serta menyemangati dalam menyelesaikan tugas akhir ini;

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan Semoga pihak yang membantu dalam penulisan tugas akhir mendapatkan pahala oleh Allah dan bermanfaat bagi semua pihak.

Gowa, Maret 2024

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>x</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II .....</b>	<b>5</b>
<b>LANDASAN TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1. Barge.....	5
2.2. Konstruksi Barge.....	5
2.3. Pembebanan .....	7
2.4. Tegangan.....	7
2.5. Regangan.....	8
2.6. Elastisitas .....	9
2.7. Hubungan Tegangan Dan Regangan .....	10
2.8. Tegangan Izin BKI.....	11
2.9. Deformasi.....	12
2.10. Kekuatan Pascadeformasi.....	13
2.11. Metode Elemen Hingga.....	14
ANSYS™ .....	15
.....	<b>16</b>
<b>E PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>





3.1.	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	17
3.2.	Jenis Penelitian.....	17
3.3.	Teknik Pengumpulan Data.....	17
3.4.	Prosedur Analisis dengan Metode Elemen Hingga.....	20
3.5.	Karangka Alur Penelitian.....	26
<b>BAB IV</b>	.....	<b>27</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	.....	<b>27</b>
4.1	Perhitungan Beban.....	27
4.2	Hasil dan Analisa.....	28
4.2.1	Variasi Tingkat Deformasi.....	28
4.2.2	Tanpa Deformasi.....	29
4.2.3	Variasi Deformasi.....	31
<b>BAB V</b>	.....	<b>46</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	.....	<b>46</b>
5.1	Kesimpulan.....	46
5.2	Saran.....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>48</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Struktur Barge .....	6
Gambar 2 Konstruksi Melintang Barge .....	6
Gambar 3 Batang Prismatis yang mengalami tarik (a) diagram benda bebas dari segmen batang, (b) segmen batang setelah dibebani, (c) tegangan normal pada batang.....	7
Gambar 4 Diagram Tegangan-Regangan.....	10
Gambar 5 Tampilan Ansys APDL ver 19.2.....	16
Gambar 6 Konstruksi General Arrangement.....	18
Gambar 7 Konstruksi Profile .....	19
Gambar 8 Konstruksi Melintang.....	19
Gambar 9 Permodelan ANSYS sebelum terdeformasi .....	21
Gambar 10 Permodelan ANSYS terdeformasi .....	21
Gambar 11 Hasil Meshing .....	22
Gambar 12 Kurva Konvergensi Tegangan.....	23
Gambar 13 Pembebanan pada model.....	24
Gambar 14 Pengaplikasian tumpuan pada model.....	24
Gambar 15 Alur Flowchart dari bentukan kerangka berpikir .....	26
Gambar 16 Kurva Hubungan Modulus Elastisitas dan Deformasi .....	28
Gambar 17 Tegangan Maksimum Tanpa Deformasi .....	30
Gambar 18 Ilustrasi Pemodelan Deformasi pada Plat sisi .....	30
Gambar 19 Tegangan Maksimum Terdeformasi 78 mm.....	33
Gambar 20 Tegangan Maksimum Terdeformasi 93 mm.....	35
Gambar 21 Tegangan Maksimum Terdeformasi 108 mm.....	37
Gambar 22 Tegangan Maksimum Terdeformasi 123 mm.....	39
Gambar 23 Kurva Hubungan Persentase Beban dengan Tegangan Maksimum... 40	40
Gambar 24 Hubungan Deformasi dengan Persentase Pertambahan Beban..... 42	42
Gambar 25 Kurva Hubungan Persentase Pertambahan Beban dengan Persentase Sisa.....	44



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Ukuran Dimensi Konstruksi Sisi Kapal Barge .....	20
Tabel 2 Hasil konvergensi tegangan berbagai ukuran meshing.....	23
Table 3 Hasil Perhitungan Pertambahan Beban Struktur Haluan .....	27
Table 4 Pengurangan Modulus Elastisitas pada setiap pertambahan deformasi... 28	28
Table 5 Nilai Tegangan Maksimum Variasi Pertambahan Beban Tanpa Deformasi .....	30
Table 6 Nilai Tegangan Maksimum Variasi Pertambahan Beban Deformasi 78 mm.....	33
Table 7 Nilai Tegangan Maksimum Variasi Pertambahan Beban Deformasi 93 mm.....	35
Table 8 Nilai Tegangan Maksimum Variasi Pertambahan Beban Deformasi 108 mm.....	37
Table 9 Nilai Tegangan Maksimum Variasi Pertambahan Beban Deformasi 123 mm.....	39
Table 10 Hasil Pertambahan Deformasi pada Tiap Variasi Pembebanan.....	41
Table 11 Hasil Perhitungan Kekuatan Sisa.....	43



**DAFTAR NOTASI**

P	= Beban Merata (N/mm <sup>2</sup> )
F	= Gaya Berat atau Beban (N)
g	= Percepatan gravitasi (m/s <sup>2</sup> )
$\sigma$	= Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
$\tau$	= tegangan geser (N/mm <sup>2</sup> )
V	= gaya sejajar bidang elemen (N)
St	= statis momen (mm <sup>3</sup> )
I	= Inersia (mm <sup>4</sup> )
b	= tebal (mm)
$\epsilon$	= Regangan
$\Delta$	= Pertambahan Panjang (mm)
L	= Panjang mula-mula (mm)
$\sigma_Y$	= Yield Stress
l	= Panjang Batang (m)



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Menurut Zulkifli (2019) Indonesia merupakan salah satu negara yang lalu lintas lautnya padat maka tidak dipungkiri seiring terjadi kasus kecelakaan laut dengan berbagai sebab. Tingginya angka kecelakaan dialur pelayaran Indonesia membuat banyak kalangan mempertanyakan penyebab dari naiknya tingkat kecelakaan yang ada di Indonesia tiap tahunnya.

Menurut Zhou (2015) dalam operasi kapal ada kemungkinan terjadi tubrukan, ditubruk, dan seterusnya. Hal ini mengakibatkan plate pada sisi kapal mengalami kerobekan atau terdeformasi secara permanen. Dalam hal mengalami kerobekan, maka yang harus dilakukan ialah langsung mengganti (repair) pelat tersebut sedangkan jika terjadi deformasi permanen, maka kemungkinan yang terjadi diduga terdapat sisa kekuatan struktur tidak dapat lagi menahan beban yang bekerja. Kekuatan struktur dapat diperkirakan akan menurun seiring dengan meningkatnya besarnya deformasi permanen.

Dari data rancangan umum yang diperoleh di PT. Sumber Marine Shipyard, Barge ini memiliki panjang 330 feet dan lebar 90 feet. Barge ini dioperasikan untuk mengangkut batubara dengan kapasitas maksimum 7500 ton.

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari salah satu crew kapal Barge Juanita, kapal Juanita yang sedang berlayar di daerah sungai Kalimantan Timur menuju muara mengalami kecelakaan laut dengan menabrak kapal yang ada disekitaran sungai. Hal ini disebabkan oleh adanya cuaca yang buruk dan derasnya arus air sungai sehingga kapal terbawa ke perairan yang dangkal. Kejadian ini mengakibatkan kapal ini mengalami deformasi pada pelat sisi haluan kapal. Deformasi pelat sisi beserta gadingnya diduga dapat mengurangi kekuatan

si pada kapal.



Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti akan membahas “**ANALISA PENGARUH DEFORMASI PADA KEKUATAN SISA KONSTRUKSI SISI BARGE**” dengan menggunakan metode elemen hingga memungkinkan untuk mendapatkan kekuatan sisa pada konstruksi yang akan dianalisa.

### 1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana kekuatan struktur barge setelah mengalami deformasi permanen yang dikaitkan dengan tingkat deformasinya?
2. Bagaimana hubungan antara besarnya deformasi dan kekuatan sisa struktur?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yang hendak dicapai, yaitu:

1. Mengetahui kekuatan pelat sisi yang dikaitkan dengan tingkat deformasinya
2. Mengidentifikasi hubungan antara besarnya deformasi dan kekuatan sisa struktur

### 1.4. Batasan Masalah

Untuk menghitung dan menganalisa besarnya tegangan yang terjadi pada konstruksi sisi barge maka pada penelitian ini, analisa tersebut dibatasi pada :

1. Model yang dibuat hanya pada gading yang mengalami deformasi pada frame 43 – frame 45
2. Kerusakan yang terjadi hanya pada bagian sisi kapal
3. Perhitungan tegangan mengacu pada tegangan izin BKI
4. Hasil analisa merupakan simulasi deformasi pada sisi barge

dan dianalisa menggunakan *software ANSYS*

diasumsikan tidak mengalami keretakan.

Konstruksi selain yang terdeformasi tidak ikut teregang.



### 1.5. Manfaat Penelitian

Hasil perhitungan serta penelitian yang dilakukan diharapkan memberikan manfaat diantaranya:

1. Menjadi bahan pertimbangan perusahaan dalam merencanakan konstruksi kapal
2. Bagi ilmu pengetahuan dapat dijadikan salah satu dasar dalam perancangan barge
3. Bagi pemerintah dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk standar kapal yang tidak dikelaskan

### 1.6. Sistematika Penulisan

Untuk memperoleh hasil laporan Tugas Akhir yang sistematis dan tidak keluar dari pokok permasalahan yang telah ditentukan, maka dibuat sistematika penulisan sebagai berikut:

#### BAB I PENDAHULUAN

Mencakup latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah yang terfokus pada kekuatan sisa pada kapal barge, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

#### BAB II LANDASAN TEORI

Berisi penjelasan teori-teori yang berkaitan dengan barge, deformasi serta pembahasan analisis kekuatan pada konstruksi.

#### BAB III METODE PENELITIAN

Dijelaskan jenis metode yang digunakan untuk memperoleh data yang dibutuhkan, teknik analisis data, dan kerangka pemikiran.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Memaparkan hasil yang diperoleh dari penelitian serta membahas hasil penelitian



## BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran terkait penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN





## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Barge

Barge dalam BKI didefinisikan sebagai kapal tidak berawak atau kapal berawak yang tidak memiliki tenaga penggerak sendiri, berlayar dalam unit tarik atau unit dorong. Perbandingan ukuran-ukuran utama barge berada dalam rentang yang umum digunakan untuk kapal laut; konstruksinya sesuai dengan konstruksi umum kapal laut; ruang muatnya cocok untuk mengangkut muatan kering atau cair (BKI, 2016). Barge juga memiliki istilah lain yang dikenal dengan sebutan ponton.

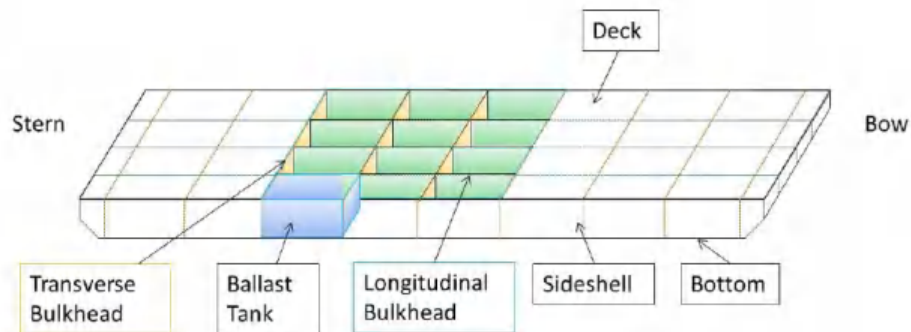
Salah satu bahan hasil tambang yang paling banyak diangkut dengan tongkang geladak adalah batubara (coal), berikut juga alat – alat pertambangan. Batubara merupakan komoditi yang paling banyak diangkut pada sungai – sungai besar di Kalimantan. Kapal tongkang ini ditarik memakai sebuah kapal tunda. Untuk barang yang diangkut melalui sungai yang waktu bongkar muatnya cepat dan berlayar pada kecepatan rendah, maka akan lebih menguntungkan untuk memakai tongkang bermesin karena lebih ekonomis. Bila bongkar muatnya membutuhkan waktu yang lama, maka dipakai tongkang biasa. (sumber: [www.kapalco.id](http://www.kapalco.id)).

#### 2.2. Konstruksi Barge

Konstruksi barge pada umumnya menggunakan sistem konstruksi kombinasi. Haluan dan buritan kapal menggunakan konstruksi melintang sedangkan bagian midship kapal menggunakan sistem konstruksi memanjang.

Pada barge umumnya geladak memiliki fungsi sebagai tempat muatan, sehingga untuk mengatasi muatan tidak jatuh lewat samping maka kapal barge memiliki sideboard plate yang berfungsi sebagai penahannya yang terpasang pada sisi atas deck mengelilingi sepanjang kapal. Barge memiliki bagian-bagian sisi yang kedap air untuk menghindari kebocoran pada tangki. Untuk oleh kekuatan struktur pada barge, *frames* dipasang secara transversal yang an berulang dengan jarak yang sama di sepanjang barge.



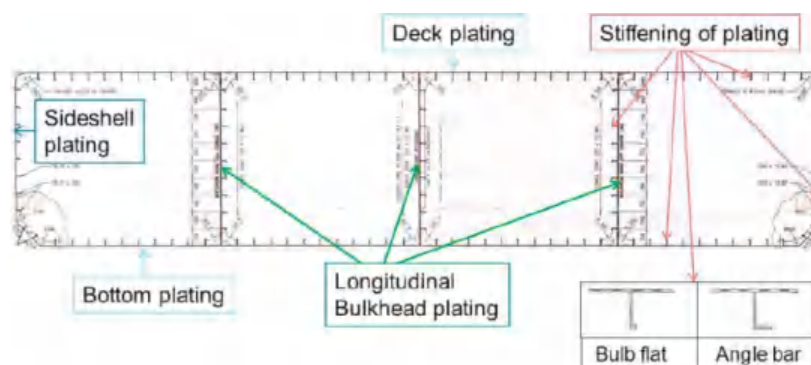


Gambar 1 Struktur Barge

( Sumber : *Smit,Rene. 2015*)

Beberapa bagian konstruksi melintang barge diperlihatkan untuk memahami bagaimana sebuah barge dibangun. Pada Gambar 2.2 ini ditunjukkan bagian-bagian melintang barge meliputi: *deck plating*, *bottom plating*, *side shell plating*, *longitudinal bulkhead plating*, dan *stiffening of plating*.

Pada bagian *deck plating* akan menahan beban dari muatan dan alat bongkar muat, *side shell plating* akan menahan beban sisi dan *bottom plating* akan menahan beban alas. *Longitudinal bulkhead plating* berfungsi untuk membagi barge menjadi beberapa kompartemen serta berfungsi untuk menambah kekuatan memanjang kapal. *Stiffeners* pada *longitudinal bulkheads*, *side shell*, *bottom*, dan *top deck* digunakan untuk meningkatkan kekuatan tekuk dan juga berkontribusi pada kekuatan global barge.



Gambar 2 Konstruksi Melintang Barge

( Sumber : *Smit,Rene. 2015*)



### 2.3. Pembebanan

Beban yang digunakan dalam penelitian ini adalah beban struktur haluan kapal, sehingga untuk menghitung beban struktur haluan kapal ditentukan berdasarkan Rules BKI Vol.II Edisi tahun 2022:

$$P_e = c (0.2 \cdot V_0 + 0.6 \sqrt{L})^2 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.1)$$

Dimana :

$L$  = Panjang Kapal

$c$  = 0,8 = secara umum

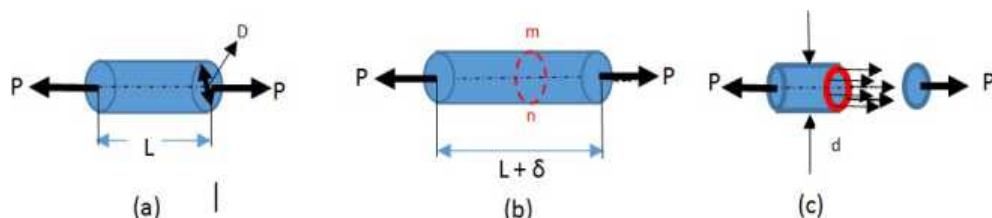
$c = \frac{0,4}{(1,2 - 1,09 \cdot \sin \alpha)}$  = untuk sisi haluan dengan pelebaran

yang sangat besar dimana sudut flare  $\alpha$  lebih besar dari  $40^\circ$ .

$V_0$  = Kecepatan kapal (Knot)

### 2.4. Tegangan

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. Secara matematik tegangan bisa didefinisikan sebagai gaya per satuan luas. Konsep dasar dalam mekanika bahan adalah tegangan dan regangan. Dapat ditinjau pada sebuah benda berbentuk batang prismatik seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Batang Prismatis yang mengalami tarik (a) diagram benda bebas dari batang, (b) segmen batang setelah dibebani, (c) tegangan normal pada batang.

(Sumber : Gere-Temoshenco, 2000)



Dengan asumsi bahwa tegangan terbagi merata pada setiap batang (Gambar 2.3.c) Maka dapat diturunkan rumus untuk menghitung tegangan adalah :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.2)$$

Dimana :

$\sigma$  = Tegangan Normal (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  = Gaya yang bekerja (N)

$A$  = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Persamaan ini memberikan intensitas tegangan merata pada batang prismatis yang dibebani secara aksial dengan penampang sembarang. Apabila batang ini ditarik dengan gaya  $P$ , maka tegangannya adalah tegangan tarik (*tensile stress*); apabila gayanya mempunyai arah sebaliknya, sehingga menyebabkan batang tersebut mengalami tekan, maka terjadi tegangan tekan (*compressive stress*). Karena tegangan ini mempunyai arah yang tegak lurus permukaan potongan, maka tegangan ini disebut tegangan normal (*normal stress*). Jadi, tegangan normal dapat berupa tarik atau tekan. Apabila konvensi tanda untuk tegangan normal dibutuhkan, biasanya tegangan tarik di definisikan bertanda positif dan tegangan tekan bertanda negatif. (Gere-Temoshenco, 2000).

## 2.5. Regangan

Regangan dinyatakan sebagai pertambahan panjang per satuan panjang. Hukum Hooke menyatakan bahwa dalam batas-batas tertentu, tegangan pada suatu bahan adalah berbanding lurus dengan regangan. Dalam istilah teknik, regangan adalah ubah bentukan. Jika ubah bentukan total (*total deformation*) yang dihasilkan dinyatakan dengan  $\Delta$  (delta) dan panjang batang adalah  $L$ , maka ubah persatuan panjang yang dinyatakan dengan  $\epsilon$ , maka Persamaan 2.6 berikut:



$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.3)$$

Dimana :

- $\epsilon$  = regangan
- $\Delta L$  = pertambahan panjang total (m)
- $L$  = panjang mula-mula (m)

Regangan plastis merupakan pengurangan antara regangan total dengan regangan elastis yang terjadi pada material. Adapun persamaan regangan plastis (Persamaan 2.7) yaitu :

$$\epsilon^{pl} = \epsilon^l - \epsilon^{el} = \epsilon^l - \frac{\sigma}{E} \quad (2.4)$$

Dimana :

- $E$  = Modulus Elastisitas bahan ( $N/mm^2$ )
- $\sigma$  = Tegangan ( $N/mm^2$ )
- $\epsilon$  = Regangan atau ubah bentukan.

## 2.6. Elastisitas

Elastisitas adalah sifat benda yang setelah diberi gaya dan kemudian gaya dihilangkan tetap dapat kembali ke bentuk semula. Apabila batas elastisitas tercapai dalam konstanta *Young* atau *Modulus Young*, maka benda akan mencapai batas deformasi yang berarti tidak dapat kembali ke bentuk semula (disebut plastis). Elastisitas benda kemudian dinyatakan dalam tegangan, regangan, dan menjadi dasar fenomena benda yang disebut pegas sebagaimana Hukum Hooke.

Sesuai dengan Hukum Hooke, tegangan sebanding dengan regangan. Hal ini berlaku di dalam batas elastis. Perbandingan tegangan satuan  $\sigma$  untuk regangan

dari setiap bahan yang diberikan dari hasil eksperimen, memberikan suatu kekuatannya, yaitu Elastisitas  $E$ .



$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L}} \quad (2.5)$$

Dimana :

$\Delta$  = perubahan bentuk aksial total ( m )

F = beban aksial total

L = panjang batang ( m )

A = luas penampang batang ( m<sup>2</sup> )

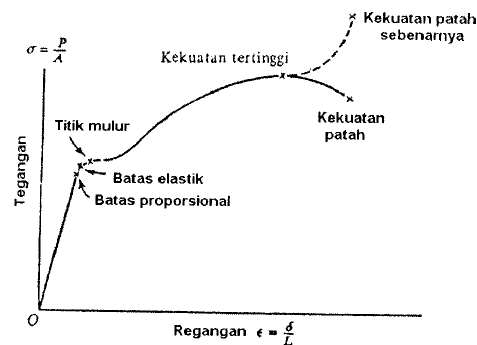
E = modulus elastisitas bahan

$\epsilon$  = regangan.

$\sigma$  = tegangan (N/mm<sup>2</sup>)

## 2.7. Hubungan Tegangan Dan Regangan

Jika suatu benda ditarik maka akan mulur (*extension*), terdapat hubungan antara pertambahan panjang dengan gaya yang diberikan. Jika gaya persatuan luasan disebut tegangan dan pertambahan panjang disebut regangan maka hubungan ini dinyatakan dengan grafik tegangan dan regangan (*stress-strain graph*). (Zainuri, 2008)



Gambar 4 Diagram Tegangan-Regangan

(Sumber : Zainuri, 2008)



proporsional (*proportional limit*). Dari titik asal O ke suatu titik yang batas proporsional masih merupakan garis lurus (lihat Gambar 4). Pada ini berlaku hokum Hooke, bahwa tegangan sebanding dengan regangan.

Kesebandingan ini tidak berlaku di seluruh diagram. Kesebandingan ini berakhir pada batas proporsional.

**Batas elastis (*elastic limit*).** Batas elastis merupakan batas tegangan di mana bahan tidak kembali lagi ke bentuk semula apabila beban dilepas tetapi akan terjadi deformasi tetap yang disebut permanent set. Untuk banyak material, nilai batas proporsional dan batas *elastic* hampir sama. Untuk membedakannya, batas elastik selalu hampir lebih besar dari pada batas proporsional.

**Titik mulur (*yield point*).** Titik mulur adalah titik di mana bahan membujur mulur tanpa penambahan beban. Gejala mulur khususnya terjadi pada baja struktur (*medium-carbon structural steel*), paduan baja atau bahan lain tidak memilikinya.

**Kekuatan maksimum (*ultimate strength*).** Titik ini merupakan ordinat tertinggi pada kurva tegangan-regangan yang menunjukkan kekuatan tarik (*tensile strength*). Titik ini merupakan ordinat tertinggi pada kurva tegangan-regangan yang menunjukkan kekuatan tarik (*tensile strength*) bahan.

**Kekuatan patah (*breaking strength*).** Kekuatan patah terjadi akibat bertambahnya beban mencapai beban patah sehingga beban meregang dengan sangat cepat dan secara simultan luas penampang bahan bertambah kecil.

## 2.8. Tegangan Izin BKI

Tegangan izin adalah tegangan yang mengakibatkan suatu konstruksi mengalami lendutan yang besar dimana lendutan tersebut adalah batas sebuah konstruksi masih aman dalam mengatasi beban yang terjadi atau yang bekerja padanya. Apabila tegangan izin dari suatu konstruksi lebih kecil dari tegangan maksimum, maka konstruksi tersebut tidak aman. Berdasarkan BKI, tegangan izin tidak boleh melewati :

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} = \frac{180}{k} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (2.6)$$



Baja struktur lambung adalah baja yang mempunyai nominal nilai luluh atas minimal (*yield point*) REH 235 N/mm<sup>2</sup> dan kekuatan tarik (*tensile strength*) Rm 400-520 N/mm<sup>2</sup>, serta modulus elastisitas baja kapal yaitu 2,06 x 10<sup>5</sup> N/mm<sup>2</sup>.

## 2.9. Deformasi

Menurut Edi Jasmani (2001) dalam Agus (2018), deformasi dibagi menjadi dua jenis yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi pada material akibat beban yang diterima, namun ketika beban tersebut dihilangkan maka material akan kembali ke bentuk dan ukuran semula. Sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen pada material, sehingga ketika beban yang bekerja dihilangkan maka material tersebut tidak dapat kembali ke bentuk dan ukuran semula.

Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) yang selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah (Singer dan Pytel, 1995).

Tegangan regangan memiliki hubungan yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.7)$$

Dimana :  $E$  = modulus elastisitas (N/mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = regangan normal

$\sigma$  = tegangan normal

Sehingga deformasi ( $\delta$ ) dapat diketahui :

$$\Delta l = \frac{P \times L}{A \times E} \quad (2.8)$$

$E$  = modulus elastisitas (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  = besar gaya yang bekerja (N)





$A$  = luas penampang ( $\text{mm}^2$ )

$L$  = panjang awal (mm)

Modulus elastisitas material adalah ukuran dari kekakuan material dalam merespons gaya yang diberikan. Modulus elastisitas tergantung pada sifat material dan tidak berubah ketika material mengalami deformasi elastis. Namun, ketika material mengalami deformasi plastis, yaitu deformasi permanen yang terjadi saat batas elastisitas material terlampaui, modulus elastisitas material dapat berkurang 10 – 15%. Pengurangan modulus elastisitas material yang terdeformasi dapat bervariasi tergantung pada jenis material, tingkat deformasi plastis, kekuatan material dan suhu. Oleh karena itu, sulit untuk memberikan angka pasti untuk pengurangan modulus elastisitas material yang terdeformasi tanpa informasi spesifik. (Material Science Forum Vols. 783 – 786, 2014).

## 2.10. Kekuatan Pascadeformasi

Kekuatan suatu material adalah kemampuannya untuk menahan beban yang diterapkan tanpa kegagalan atau deformasi plastis.

Diketahui bahwa pelat tipis tidak akan berubah pada beban tekuk lokal, tetapi akan terus membawa beban tambahan karena kekuatan pascadeformasi. Kekuatan pascadeformasi dapat membantu untuk memahami bagaimana konstruksi struktur cenderung gagal saat menerima beban yang terlalu tinggi.

Setelah mengalami deformasi terdapat kekuatan sisa pada sebuah konstruksi. Kekuatan pada sebuah konstruksi mengacu pada titik pada kurva tegangan – regangan (tegangan luluh) diluar mana material mengalami deformasi yang tidak akan sepenuhnya terbalik pada saat pembebanan dihilangkan dan akibatnya, komponen struktur akan mengalami defleksi permanen.

Kekuatan Sisa didefinisikan sebagai kemampuan struktur untuk terus memikul beban setelah mengalami kerusakan. Kekuatan sisa akibat defleksi permanen ini erat kaitannya dengan tegangan sisa. Hal ini dikarenakan tegangan adalah parameter kuat tidaknya konstruksi yang mengalami deformasi en.



Kekuatan sisa material setelah mengalami deformasi dapat bervariasi tergantung pada beberapa faktor, termasuk jenis material, tingkat deformasi, dan kondisi lingkungan. Namun, secara umum, setelah mengalami deformasi, kekuatan material akan berkurang. Ini disebabkan oleh perubahan dalam struktur internal material yang menyebabkan pergeseran dan retakan mikroskopis.

Kekuatan sisa pada kapal merujuk pada kemampuan kapal untuk tetap utuh dan berfungsi dengan baik setelah mengalami berbagai jenis tekanan dan deformasi selama operasi di laut. Hal ini sangat penting karena kapal akan terpapar pada berbagai kondisi eksternal yang dapat menyebabkan deformasi, kelelahan material, atau bahkan kerusakan struktural

Dalam beberapa kasus, deformasi yang signifikan dapat menyebabkan material mengalami patah atau kegagalan total. Namun, bahkan setelah deformasi, material mungkin masih memiliki kekuatan tertentu dan dapat digunakan untuk aplikasi yang memungkinkan toleransi deformasi tertentu.

Menurut Dai H (2009) dalam Amal (2020), Tegangan sisa adalah gaya elastis yang dapat mengubah jarak antar atom dalam bahan tanpa adanya beban dari luar. Tegangan sisa ditimbulkan karena adanya deformasi plastis yang tidak seragam dalam suatu bahan. Walaupun tegangan sisa secara visual tidak nampak, namun sesungguhnya tegangan sisa tersebut juga bertindak sebagai beban yang tetap yang akan menambah nilai beban kerja yang diberikan dari luar.

## 2.11. Metode Elemen Hingga

Finite element method pada awalnya merupakan kebutuhan untuk memecahkan permasalahan elastisitas yang kompleks dan masalah analisis struktural didalam sipil dan aeronautical engineering.

Saat ini, banyak sekali software FEM berkeliaran dengan berbagai mutu dan kemudahan. Software ini biasanya sangat ramah pengguna (user friendly). Contoh dari software ini adalah MSC.NASTRAN, ABAQUS, ANSYS, LSDYNA dan

Pengguna software FEM kemudian terbiasa melihat GUI (graphic user interface) dimana suatu benda didiskritisasi menjadi sekian puluh bahkan ribuan elemen. Istilah baru kemudian muncul yaitu Finite Element Modeling, karena



pengguna hanya memodelkan fisik suatu benda dengan elemen – elemen kecil, mendefinisikan sifat – sifat material, memberikan kondisi batas dan pembebanan, menjalankan software. Ini yang dinamakan pre-processing. Fase post processing biasanya lebih sulit karena pengguna diharapkan bisa menginterpretasikan hasil, menganalisis angka dan fisik yang dihasilkan dan melakukan trouble shooting jika hasilnya kurang memuaskan. Untuk mengatasi ini, pengguna diharapkan sudah memahami formulasi, jenis elemen, kelebihan dan kelemahan suatu metode sebelum menggunakan FEM software. (Putra, 2011)

Menurut Adit (2008) setelah mengetahui kondisi – kondisi dasar yang perlu diketahui dalam melakukan analisa struktur, hal lain yang perlu dilakukan kemudian adalah pembuatan model itu sendiri. Pada saat ini pemodelan elemen hingga telah dilakukan dengan bantuan perangkat komputer. Walaupun telah dimudahkan dengan perangkat lunak tersebut tetapi tetap ada beberapa langkah yang harus dilakukan dalam melakukan pembuatan model untuk dianalisa dengan menggunakan elemen hingga.

## 2.12. ANSYS™

Untuk mengetahui kemampuan struktur menerima beban yang dialaminya, maka diperlukan analisa beban yang bekerja pada struktur. Analisa beban struktur dapat berupa analisa beban statis maupun analisa beban dinamis. (Pinem, 2013)

Dalam menganalisa struktur ada beberapa alternatif metode yang dapat digunakan. Dalam hal ini metode yang digunakan adalah program analisa struktur dengan ANSYS. Selain ANSYS, *software* FEA yang juga bisa digunakan dalam analisa struktur adalah MOSES, NAPA, dan sebagainya.

ANSYS adalah program paket yang dapat memodelkan elemen hingga untuk penyelesaian masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk didalamnya masalah statik, dinamik, analisis struktur (baik linier maupun non linier), masalah perpindahan panas, fluida dan juga masalah yang berhubungan dengan elektromagnetik. Adapun output yang dihasilkan oleh ANSYS adalah gaya geser, gaya lentur, momen, dan displacement.



Secara umum penyelesaian elemen hingga menggunakan ANSYS dapat dibagi menjadi tiga tahapan yaitu :

1) *Preprocessing* : pendefinisian masalah

Langkah umum dalam preprocessing terdiri dari :

(i) Mendefinisikan *keypoint/ lines/ areas/ volume*

(ii) Mendefinisikan tipe elemen dan bahan yang digunakan/ sifat geometric

(iii) *Mesh lines/ areas/ volumes* sebagaimana dibutuhkan. Jumlah detail yang dibutuhkan akan tergantung pada dimensi daerah yang dianalisis, ie., 1D, 2D axisymmetric dan 3D.

2) *Solution* : *assigning loads, constraints, and solving*

Di sini, perlu menentukan beban, constraints (translasi dan rotasi) dan kemudian menyelesaikan hasil persamaan yang telah diset.

3) *Postprocessing* : *further processing and viewing of the results*

menampilkan hasil dari diagram kontur tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan perpindahan titik simpul (*displacement*).



Gambar 5 Tampilan Ansys APDL ver 19.2

