

**ANALISIS PENYEBAB KERETAKAN PLATE GELADAK FLAT TOP BARGE
SENTOSA JAYA 3008 AKIBAT POSISI MUATAN SAAT PEMBONGKARAN**

SKRIPSI

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



HASRUDIN

D031181022

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 Penyebab Keretakan Plate Gladak Flat Top Barge Sentosa Jaya 3008 Akibat Posisi Muatan Saat Pembongkaran

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Disusun Oleh :

Hasrudin

D031181022

Gowa, 02. Desember 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I



Hamzah, ST., MT.

Nip. 19800618 200501 1 004

Pembimbing II



Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing.

Nip. 19600425 198811 1 001

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 : **Hasrudin**
NIM : **D031181022**
Program Studi : **Teknik Perkapalan**
Jenjang : **S1**

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

**“Analisis Penyebab Keretakan Plate Geladak Flat Top Barge Sentosa Jaya 3008
Akibat Posisi Muatan Saat Pembongkaran”**

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.

Makassar, 30 November 2022

Yang Menyatakan,



Hasrudin

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR NOTASI.....	x
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xii
KATA PENGANTAR	xiii
UCAPAN TERIMAKASIH	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Barge	4
2.2 Struktur Barge	4
2.3 Kekuatan Memanjang	6
2.4 Muatan Barge	8
2.5 Korosi.....	8
2.6 Beban Yang Bekerja pada Konstruksi	9
2.6.1 Beban Statis	9

2.6.2	Beban Dinamis Berfrekuensi rendah.....	10
2.6.3	Beban Dinamis Berfrekuensi tinggi	10
2.6.4	Beban-Beban Tumbuk.....	11
2.7	Tegangan dan Regangan	11
2.7.1	Tegangan normal.....	11
2.7.2	Tegangan Geser.....	12
2.7.3	Tegangan Lentur	14
2.7.4	Regangan.....	15
2.8	Deformasi	16
2.9	Macam-macam Kegagalan Struktur.....	16
2.9	Metode Elemen Hingga.....	19
2.9.1	Elemen Hingga	19
2.9.2	Ansys	22
BAB III METODE PENELITIAN		24
3.1	Lokasi dan Waktu penelitian	24
3.2	Jenis Penelitian.....	24
3.3.	Jenis Data dan Metode Pengambilan Data.....	24
3.4.	Prosedur Analisis	25
3.4.1	Preprocessing.....	25
3.4.1.1	Mendefinisikan tipe dan pilihan elemen.....	25
3.4.1.2	mendefinisikan material	26
3.4.1.3	Mendefinisikan tebal plate yang digunakan	26
3.4.1.4	Membuat model.....	27
3.4.1.5	Mendefinisikan Meshing.....	28
3.4.1.6	Penentuan Kondisi Batas Dengan Metode Multi Point Constraint (MPC)	28
3.4.2	Validasi Model.....	30
3.4.3	Solution.....	31
3.4.3.1	Mendefinisikan pembebanan.....	31
3.4.3.2	Running	32
3.4.4	Postprocessing	32
3.4.4.1	Hasil Analisis.....	32
3.4.5	Kerangka Penelitian.....	32

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Variasi Pembebanan.....	34
4.2 Perhitungan Beban	35
4.2.1 Beban Berat Konstruksi.....	35
4.2.2 Beban Tekanan Air	36
4.2.3 Beban Muatan	38
4.3 Analisis Kekuatan Struktur	41
4.3.1 Pembebanan 1	42
BAB V PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Konstruksi Barge Daerah Midship.....	5
Gambar 2.2. Distribusi Gaya Berat dan Gaya Tekan pada Kapal	6
Gambar 2.3. Kurva Shearing Force dan Momen Bending	7
Gambar 2.4. Batang Prismatis yang mengalami Tarik	12
Gambar 2.5. Tegangan yang bekerja pada suatu bidang	13
Gambar 2.6. Deformasi akibat tegangan lentur	14
Gambar 2.7. Hubungan antara tanda momen lentur dan tanda kurvatur	15
Gambar 2.8. Kurva Tegangan regangan	17
Gambar 2.9. Bentuk-bentuk elemen dasar	21
Gambar 3.1. Pemilihan Jenis Analisis Pada Ansys Mechanical APDL	26
Gambar 3.2. Penentuan Modulus Elastisitas dan Poisson ratio dari baja	26
Gambar 3.3. Penginputan Ketebalan Konstruksi Desain.....	27
Gambar 3.4. Model Kapal yang Telah dibuat di Ansys Mechanical APDL	27
Gambar 3.5. Model yang Sudah diMeshing	28
Gambar 3.6. Window Calc Geom of Area.....	29
Gambar 3.7. Center of Mass Model.....	29
Gambar 3.8. MPC dan pengekangan	30
Gambar 3.9. Ukuran Panjang Model	30
Gambar 3.10. Reaksi Tumpuan	31
Gambar 3.11. Kerangka Penelitian.....	33
Gambar 4.1 Pembebanan 1	34
Gambar 4.2 Pembebanan 2	34
Gambar 4.3 Nilai beban distribusi berat konstruksi	36
Gambar 4.4 Nilai distribusi gaya tekan air	38
Gambar 4.5 Nilai distribusi gaya tekan air	40

Gambar 4.6. Tegangan pada pembebanan 1 saat pengurangan ketebalan 0 %	42
Gambar 4.7. Deformasi rotasi y pada pembebanan 1 saat pengurangan ketebalan 0% .	43
Gambar 4.8. Grafik Tegangan pada pembebanan 1.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Nilai Beban Distribusi Berat Konstruksi	35
Tabel 4.2 Nilai Dsplacement Pada tiap Kondisi	37
Tabel 4.3 Nilai Sebaran Beban Tekanan Air	37
Tabel 4.4 Nilai Sebaran Beban Muatan	39
Tabel 4.5 Nilai Momen Maksimum di Midship pada tiap Pembebanan	41
Tabel 4.6 Variasi Ketebalan Plate.....	41
Tabel 4.7 Tegangan dan Deformasi Pada Pembebanan 1	43
Tabel 4.8 Nilai Tegangan dan Deformasi Pada Pembebanan 2.....	44

DAFTAR NOTASI

F	= Gaya (N)
M	= Momen Bending (N.mm)
ρ	= Massa Jenis (Kg/m ³)
A	= Luas Penampang (m ²)
m	= Massa (Kg)
σ	= Tegangan (N/mm ²)
τ	= Tegangan Geser (N/mm ²)
V	= Gaya Sejajar Bidang (N)
St	= Statis Momen
I	= Inersia Penampang (mm ⁴)
y	= Jarak Sumbu Netral kesisi terluar benda (m)
W	= Modulus Penampang (mm ³)
ε	= Regangan Normal
E	= Modulu Elastisitas (N/mm ²)
a(x)	= Beban Distribusi Tekanan Air (N/mm)
g(x)	= Beban Distribusi berat (N/mm)
L _{muatan}	= Panjang Muatan pada Deck (m)
B _{muatan}	= Lebar Muatan pada Deck (m)
W _{muatan}	= Berat Muatan (Ton)
V _{muatan}	= Volume Muatan (m ³)
h	= Tinggi Side Plate (m)

ABSTRAK

Hasrudin.2022. “Analisis Penyebab Keretakan Plate Geladak Flat Top Barge Sentosa Jaya 3008 Akibat Posisi Muatan Saat Pembongkaran” (dibimbing oleh **Hamzah** dan **Ganding Sitepu**).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah jumlah dan posisi tumpukan muatan pada barge menjadi penyebab terjadinya retakan plate deck pada barge Sentosa Jaya 3008. Pada penelitian ini dilakukan simulasi numerik pada model struktur barge bagian tengah yang mengalami retakan. Simulasi model dilakukan menggunakan aplikasi *software Ansys Mechanical APDL*. Adapun variable yang dievaluasi pada penelitian ini adalah tegangan lentur dan deformasi rotasi sumbu lebar kapal (sumbu y). Dari hasil penelitian tegangan maksimum terjadi saat pengurangan ketebalan 25% pada daerah deck dengan dengan nilai tegangan ialah 150.84 N/mm^2 sedangkan deformasi rotasi y terjadi pada ujung konstruksi dengan nilai deformasi sebesar 0.0034 radian. Nilai tegangan dan deformasi maksimum tersebut terjadi pada pembebanan dengan jumlah 4 tumpukan, dimana 2 tumpukan berada pada bagian haluan kapal dan buritan barge. Pembebanan dilakukan dengan asumsi barge sedangkan melakukan bongkar muat sehingga percepatan barge adalah 0 m/s^2 dan kondisi air tenang sehingga beban struktur hanya dipengaruhi oleh tekanan air, berat konstruksi dan berat muatan.

Kata Kunci : *barge, flat top barge, deck, muatan, tegangan, deformasi*

ABSTRACT

Hasrudin. 2022. “Analysis of Causes of Cracks in the Flat Top Barge Barge Sentosa Jaya 3008 Due to Loading” (supervised by **Hamzah** and **Ganding Sitepu**).

This study aims to determine whether the number and position of the piles of cargo on the barge is the cause of plate deck cracks on the Sentosa Jaya 3008 barge. In this study, numerical simulations were carried out on the structural model of the middle part of the barge which had cracked. The simulation model was carried out using the Ansys Mechanical APDL application software. The variables evaluated in this study were bending stress and rotational deformation of the ship's transversal axis (y axis). From the research results the maximum stress occurs when the thickness decreases by 25% in the deck area with a stress value of 150.84 N/mm² while the y rotational deformation occurs at the end of the construction with a deformation value of 0.0034 radians. The maximum stress and deformation values occur when loading with a total of 4 piles, where 2 piles are at the bow of the ship and the stern barge. Loading is carried out with the assumption that the barge is carrying out loading and unloading so that the acceleration of the barge is 0 m/s² and the water conditions are calm so that the load structure is only affected by water pressure, construction weight and load weight.

Keywords: *barge, flat top barge, deck, load, stress, deformation*



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kehadiran Allah جل جلاله yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul adalah “Analisis Penyebab Keretakan Plate Geladak Flat Top Barge Sentosa Jaya 3008 Akibat Posisi Muatan Saat Pembongkaran” yang disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Program Sarjan (S1) di Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Shalawat serta salam semoga tetap selalu tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad صلى الله عليه وسلم beserta keluarga, sahabat, serta para pengikutnya yang setia hingga akhir zaman. Proses pengerjaan Tugas Akhir ini melalui banyak proses dan tantangan, namun dengan penuh kesabaran dan keikhlasan serta bantuan, bimbingan, kritikan dan saran dari berbagai pihak semuanya dapat teratasi. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tulisan ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang turut membantu, yaitu:

1. Kedua orang tua, Ayahanda La Disi dan Ibunda Darliati, yang senantiasa mendo'akan, mendukung serta motivasi yang tiada hentinya kepada penulis. Semoga selalu dalam lindungan dan bimbingan Allah جل جلاله.
2. Bapak Hamzah, ST MT, selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing, selaku pembimbing II sekaligus penasehat akademik saya yang senantiasa membimbing dan memotivasi selama berkuliah di Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin. yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
3. Ibu Dr. Eng Andi Ardianti, ST., MT dan Bapak Akbar, ST., MT selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu berkonsultasi dalam tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng Suandar Baso, ST., MT, selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Unhas yang senantiasa membantu, membimbing, dan memotivasi kami.
5. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Unhas yang tidak bisa disebutkan satu per satu, semoga ilmu dan bimbingan bapak dan ibu membawa berkah dan mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT.
6. Seluruh Pegawai/Staf Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang membantu segala urusan administrasi selama kuliah.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Perkapalan 2018 yang telah berbagi suka dan duka selama berkuliah. Juga kepada senior dan junior di Departemen Teknik Perkapalan yang senantiasa berbagi ilmu dan pengalaman selama proses kuliah.
8. Teman seperjuangan Labo Struktur 2018: Fitratul Ichsan, Imran, Mawardi, Irsan Anugrah, dan Ramray Ananda Amir. dan kakak-kakak dari labo struktur yang bersedia memberikan kami masukan dalam mengerjakan tugas akhir ini:

9. Semua pihak yang telah membantu, dalam bentuk fisik ataupun dalam bentuk doa. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian dengan yang lebih baik. Semoga proses belajar dan tugas akhir ini diridhoi dan diberkahi oleh Allah SWT. Aamiin

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Barge atau Tongkang merupakan salah satu jenis kapal niaga yang pada umumnya tidak memiliki sistem pendorong sehingga dibutuhkan kapal tugboat untuk menarik atau mendorong kapal tersebut dalam berlayar. barge dibuat sebagai moda transportasi yang mengangkut kargo, curah atau berbagai komoditas lain dalam jumlah volume yang besar dan relative lebih murah sehingga menjadikannya moda transportasi favorit yang banyak digunakan.

Barge memiliki bodi lambung dengan C_b mendekati 1 dan daerah billa barge biasanya berbentuk *chine*. Konstruksi chine merupakan konstruksi plate yang dipasang miring tanpa radius pada sisi bawah kapal. barge juga memiliki istilah lain yang dikenal dengan sebutan ponton. Konstruksi barge pada umumnya menggunakan sistem konstruksi kombinasi. Haluan dan buritan kapal menggunakan konstruksi melintang sedangkan bagian *midship* kapal menggunakan sistem konstruksi memanjang.

Barge Sentosa Jaya 3008 merupakan jenis flat top barge yang diluncurkan pada tanggal 15 November 2008. Kapal ini memuat batu bara dan memiliki Panjang 300 feet telah mengalami insiden berupa keretakan plate di daerah sekeliling midship yang menyebabkan kapal tersebut nyaris terbelah. Keretakan kapal tersebut secara kasat mata dilihat pada bulan februari 2022 saat sedang melakukan bongkar muat di jety (dermaga) galangan PT Caputra Mitra Sejati. Keretakan tersebut diduga terjadi diakibatkan oleh momen yang besar saat pembongkaran, yaitu ketika muatan yang dibongkar menyisakan tumpukan pada ujung haluan dan buritan barge sehingga dalam interval waktu tertentu dinilai dapat menciptakan peluang kelelahan pada struktur kapal akibat momen tersebut.

Dengan melihat dari kasus tersebut maka penelitian ini akan mencoba menganalisis penyebab terjadinya keretakan tersebut dengan melakukan kajian matematis dengan menghitung tegangan pada beberapa posisi muatan saat pembongkaran. Oleh karena itu diajukanlah penelitian dengan judul “**Analisis Penyebab Keretakan Plate Geladak Flat Top Barge Sentosa Jaya 3008 Akibat Posisi Muatan Saat Pembongkaran**”

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini ialah apakah variasi posisi muatan yang dapat memicu terjadinya keretakan pada barge Sentosa Jaya 3008.

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 BG. Sentosa Jaya 3008
2. Pembebanan deck diberikan dengan gaya yang ekuivalen dari 2 bentuk posisi dan jumlah tumpukan muatan, yaitu berjumlah 2 tumpukan, masing-masing 1 tumpukan berada pada ujung haluan dan buritan, dan berjumlah 4 tumpukan, masing-masing 2 tumpukan berada pada ujung haluan dan buritan
3. Cacat las diabaikan
4. Simulasi penipisan plate akibat korosi dari 0% hingga 25% dengan inkreamen 5%
5. Hasil Analisis berupa simulasi deformasi dan tegangan yang terdapat pada pemodelan barge
6. Pengerjaan kekuatan menggunakan pendekatan metode elemen hingga (finite element method) melalui software ansysTM

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari Penelitian ini yang hendak dicapai ialah mengetahui apakah penyebab terjadinya keretakan pada plate deck barge Sentosa Jaya 3008 akibat posisi muatan.

1.5 Manfaat Penelitian

- a) Menjadi bahan pertimbangan perusahaan dalam merencanakan konstruksi kapal
- b) Sebagai bahan referensi dalam pengaturan muatan saat membongkar
- c) Sebagai bahan referensi dalam dunia keilmuan konstruksi kapal

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian ini secara sistematis dan dijabarkan secara umum dalam kerangka penulisan sebagai berikut:

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

BAB II Landasan Teori, pada bab ini dipaparkan teori-teori yang mendukung penelitian ini. Terdiri dari Barge, Beban dan bentuk beban yang bekerja pada deck, tegangan, regangan, deformasi, metode elemen hingga dan Ansys

BAB III Metode Penelitian, pada bab ini dijelaskan jenis penelitian, lokasi, waktu penelitian, jenis dan metode pengambilan data, prosedur analisis dan diagram alur penelitian.

BAB IV Hasil dan pembahasan, pada bab ini dijelaskan hasil dari analisis kekuatan deck pada Barge Sentosa Jaya 3008

BAB V Kesimpulan, 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 Barge

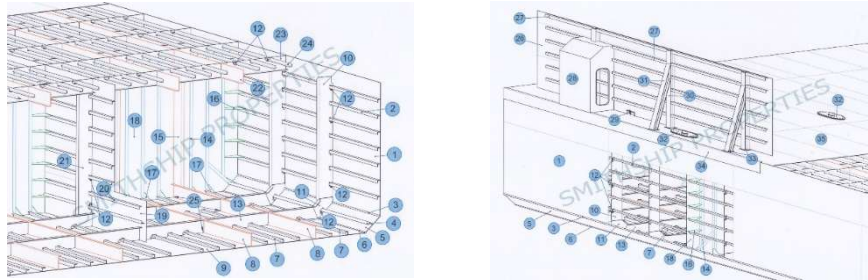
Barge adalah kapal tidak berawak atau kapal berawak yang tidak memiliki tenaga penggerak sendiri, berlayar dalam unit tarik atau unit dorong. Perbandingan ukuran-ukuran utama barge berada dalam rentang yang umum digunakan untuk kapal laut; konstruksinya sesuai dengan konstruksi umum kapal laut; ruang muatnya cocok untuk mengangkut muatan kering atau cair (BKI, 2022).

Barge biasanya digunakan sebagai alat angkut muatan atau barang dan sebagai dermaga apung (Riyanto et al.2020). Barge sendiri memiliki bentuk lambung yang menyerupai balok, dengan nilai C_b (koefisien Blok) mendekati 1, dan tidak memiliki system propulsi, listrik, ataupun perpipaan.

2.2 Struktur Barge

Barge memiliki daerah bilga biasanya berbentuk chine. Konstruksi chine merupakan konstruksi plate yang dipasang miring tanpa radius pada sisi bawah kapal. Konstruksi barge pada umumnya menggunakan system 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. Dengan adanya ruang kosong (*Cofferdam/Void Tank*) pada bagian lambung sepanjang kapal dapat menambah daya apung kapal. Adapun bagian-bagian Konstruksi pada barge dapat dilihat pada Gambar 2.1.



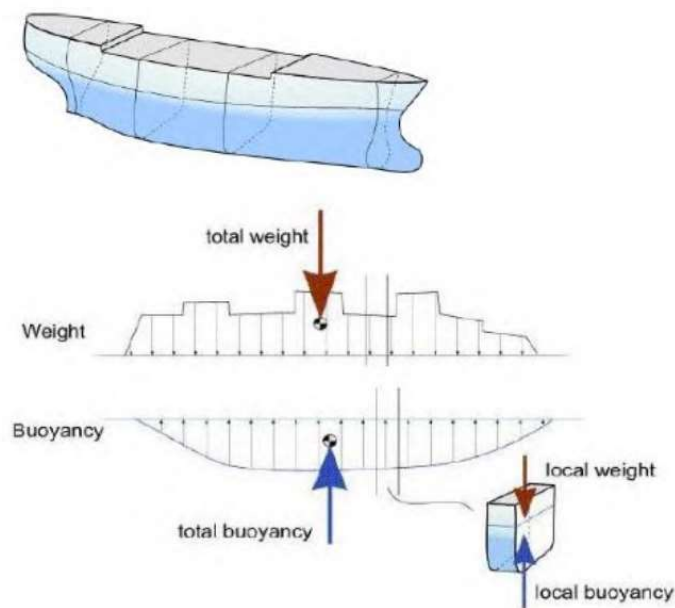
Gambar 2.1. Konstruksi Barge Daerah Midship

(Sumber : <https://www.scribd.com/document/369619814/Belajar-Mengenai-Kapal-Konstruksi-Tongkang>)

Keterangan			
1	Side Shell Plate	19	Longitudinal Bulkhead Plate
2	Side Longitudinal	20	Longitudinal Ordinary Stiffner
3	Chine Upper Round bar	21	Vertical Web Stiffner
4	Chine Longitudinal Stiffner	22	Deck Girder
5	Chine Plate	23	Deck Transverse Beam
6	Chine Lower Round Bar	24	Deck Longitudinal Beam
7	Bottom Longitudinal	25	Scallop
8	Bottom Girder	26	Sideboard Plate
9	Bottom Shell Plate	27	Sideboard Stiffner
10	Vertical Web Frame	28	Tug Push Pad
11	Chine Web Bracket	29	Water Drainage Gate
12	Collar Plate	30	Sideboard Stanchion
13	Wrang	31	Sideboard Support Stanchion
14	Bulkhead Ordinary Stiffner	32	Manhole
15	Bulkhead vertical Web stiffner	33	Doubling Plate
16	Side Longitudinal Bracket	34	Flat Plate Fender
17	Ordinary Stiffner Bracket	35	Deck Plate
18	Transverse Bulkhead Plate		

2.3 Kekuatan Memanjang

Pada dasarnya kekuatan memanjang kapal diakibatkan oleh gaya vertikal yang dialami oleh badan kapal yakni gaya berat dan gaya *buoyancy* atau gaya tekan air. Jumlah total besar gaya berat dan gaya *buoyancy* memiliki nilai yang sama walaupun distribusi gaya pada tiap daerah terkadang berbeda-beda. Gaya berat dipengaruhi oleh gabungan berat kapal dan berat muatan sedangkan gaya *buoyancy* dipengaruhi oleh bentuk badan kapal yang tercelup dalam air. Kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Distribusi Gaya Berat dan Gaya buoyancy pada kapal

(Sumber : Zulwaqor 2016)

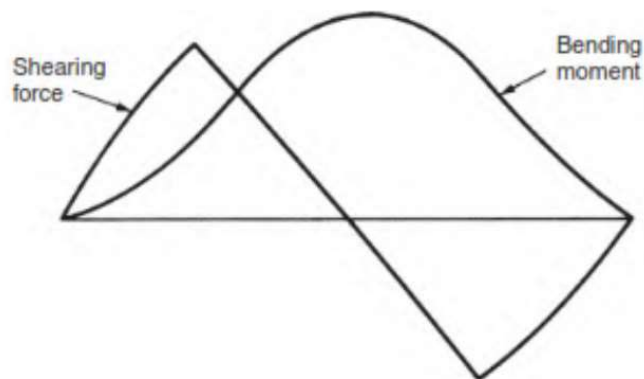
Akibat adanya gaya berat dan gaya *buoyancy* dapat menimbulkan momen pada kapal yang dapat mempengaruhi kekuatan memanjang kapal. Jika A merupakan cross-sectional pada suatu titik, beban per satuan Panjang pada suatu

titik adalah $\rho g A - mg$, shearing force (F) dan Momen Bending (M) dirumuskan sebagai berikut:

$$F = \int (\rho g A - mg) dx \quad (2.1)$$

$$M = \int F dx = \iint (\rho g A - mg) dx \cdot dx \quad (2.2)$$

Kurva shearing force dan Momen Bending ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Kurva Shearing Force dan Momen Bending
(Sumber: Zulwaqor 2016)

Kekuatan memanjang pada barge dalam BKI ditetapkan dengan tegangan izin sesuai dengan Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3

Tegangan lengkung : $\sigma_b = 150/k \text{ [N/mm}^2 \text{]} \quad (2.2)$

Tegangan geser : $\tau = 100/k \text{ [N/mm}^2 \text{]} \quad (2.3)$

Dimana:

k = faktor bahan ; 1.0 (untuk baja konstruksi lambung kekuatan normal)

$k = 235/ReH$ (jika konstruksi khusus baja dengan kuat luluh kurang dari 235

(N/mm²)

2.4 Muatan Barge

Jenis muatan barge dapat dibagi-bagi dalam kelompok- kolompoknya yaitu:

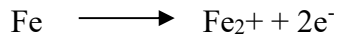
1. Curah kering (Bulk), yaitu pemuatan barang ke dalam kapal tanpa menggunakan pembungkus, pallet tetapi langsung dicurahkan kedalam kapal, serta jagung pipilan, koprah curah, gandum, batubara, kacang - kacang, bungkil dan lain - lain.
2. Log/Time Carrier yaitu muatan kayu. Kayu yang dimuat merupakan kayu yang belum dikaryakan atau bahan dasar.
3. Curah cair, seperti muatan hasil minyak bumi (BBM), bahan kimia, minyak nabati (CPO), dan lain - lain.
4. Peti kemas, yaitu pemuatan barang yang dimasukkan dalam peti kemas.
5. Kendaraan

Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. (M. Wahyudi 2019)

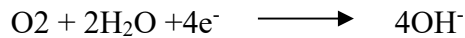
2.5 Korosi

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Tiga alasan utama pentingnya korosi adalah: ekonomi, keamanan, dan konservasi. Korosi dapat membahayakan keamanan peralatan operasi dengan menyebabkan kegagalan dengan konsekuensi bencana (Wiston & Revie, 2008).

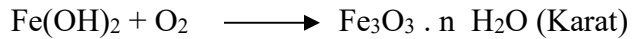
Adapun reaksi kimia sederhana yang terjadi pada baja yang tercelup dalam air yaitu : Pada Anoda



Pada Katoda



Apabila $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dioksidasi oleh O_2 maka persamaan reaksi kimia baru muncul (karat/korosi) yaitu :



Untuk Barge saat ini, material yang digunakan untuk membangun konstruksi kapal masih didominasi oleh besi dan baja. Dimana material besi dan baja memiliki sifat reaktif dan sangat berpeluang mengalami korosi terlebih kapal akan dioperasikan di lingkungan korosif yaitu di laut.

2.6 Beban Yang Bekerja pada Konstruksi

Secara Garis Besar beban yang bekerja pada konstruksi kapal terdiri atas 4 macam yaitu beban Statis, beban dinamis frekuensi rendah, beban dinamis frekuensi tinggi, dan beban tumbuk (Rasyid, 2000)

2.6.1 Beban Statis

Beban statis merupakan beban-beban yang berubah hanya apabila berat total kapal berubah, sebagai akibat kegiatan bongkar muat, pemakaian bahan bakar atau perubahan pada kapalnya sendiri

Beban tersebut meliputi:

- Berat kapal beserta seluruh isinya
- Gaya tekan ke atas statis saat diam atau bergerak
- Beban-beban suhu (*Thermal*) akibat perbedaan suhu nonlinear dalam lambung kapal

- d. Beban-beban terpusat akibat *drydocking* dan kandas

2.6.2 Beban Dinamis Berfrekuensi rendah

Beban dinamis berfrekuensi rendah, yaitu beban-beban yang berubah besarnya dalam waktu dengan periode merentang dari beberapa detik sampai beberapa menit, oleh karena itu terjadi pada frekuensi-frekuensi yang cukup rendah yang bila dibandingkan dengan frekuensi-frekuensi respons getaran lambung dan bagian-bagiannya tidak menyebabkan pembesaran resonansi yang berarti pada tegangan-tegangan yang terjadi pada struktur kapal. Beban-beban ini terutama disebabkan oleh gelombang selama kapal bergerak. Beban-beban ini terdiri dari :

- a. Variasi tekanan pada lambung akibat gelombang;
- b. Variasi tekanan pada lambung akibat Gerakan olisatoris kapal;
- c. Reaksi-reaksi inersia akibat percepatan masa kapal beserta isinya

2.6.3 Beban Dinamis Berfrekuensi tinggi

Beban-beban dinamis berfrekuensi tinggi, yaitu beban-beban yang berubah dalam waktu dengan frekuensi yang cukup tinggi untuk menimbulkan respon getaran pada struktur kapal. Beberapa beban jenis ini mungkin kecil,; namun karena pembesaran resonansi, beban-beban ini dapat mengakibatkan tegangan-tegangan dan lendutan-lendutan yang berlebihan. Beban-beban jenis ini terdiri dari :

- a. Beban-beban hidrodinamis pada lambung akibat propeller kapal
- b. Beban-beban pada lambung kapal akibat permesinan di dalam kapal
- c. Beban-beban hidroelastis akibat adanya interaksi komponen-komponen tonjolan kapal (kemudi, dsb) dengan aliran fluida di sekeliling kapal;

- d. Beban-beban akibat gelombang pendek yang frekuensi pertemuannya sama dengan frekuensi alami moda kecil dari lambung sehingga menimbulkan respons resonansi yang cukup besar disebut *springing*.

2.6.4 Beban-Beban Tumbuk

Beban-beban tumbuk yaitu beban-beban akibat slamming atau pukulan gelombang pada lunas dan lambung haluan, termasuk pengaruh siraman air di atas geladak. Beban tumbuk ini dapat menimbulkan getaran transient pada lambung yang disebut *whipping*.

2.7 Tegangan dan Regangan

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 (Sears, 1944 dalam Wulandari et al, 2021). Stress atau yang biasa disebut tegangan diartikan sebagai nilai perbandingan perubahan bentuk dan ukuran yang diakibatkan pada arah gaya luar yang diberikan pada material tersebut.

Berdasarkan efek kerjanya tegangan dibedakan menjadi beberapa macam, yaitu sebagai berikut.

2.7.1 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.

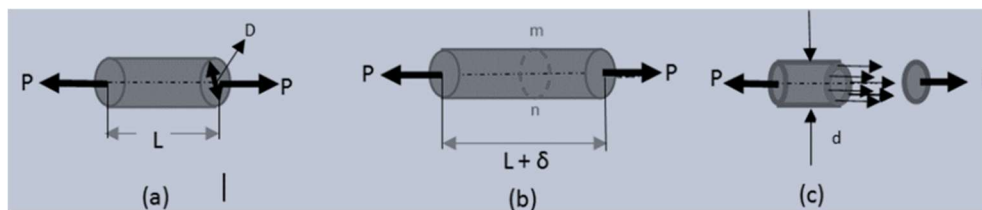
Tegangan normal merupakan ukuran dari gaya aksial atau gaya normal per satuan luas. secara matematis dituliskan pada persamaan (2.9). Contoh batang yang mengalami Tarik dapat dilihat pada Gambar 2.4.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.9)$$

σ = tegangan (Pa),

F = gaya (N),

A = luas penampang (mm^2).



Gambar 2.4. 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)

2.7.2 Tegangan Geser

Gaya pada benda menyebabkan perubahan ukuran benda. Pengaruh vektor gaya terhadap sumbu x menghasilkan besaran tensile stress dengan lambang σ_x . Indeks x menyatakan arah vektor gaya. Pengaruh gaya terhadap sumbu y dan z menghasilkan momen yang disebut tegangan geser/*shear stress*. Contoh tegangan yang bekerja pada suatu bidang dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Secara matematis tegangan geser dirumuskan sebagai berikut.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2.10)$$

$$\tau = \frac{V \cdot St}{I \cdot b} \quad (2.11)$$

Keterangan : τ = tegangan geser (N/mm²)

V = gaya sejajar bidang elemen (N)

A = luas penampang (mm²)

St = statis momen (mm³)

I = Inersia Penampang (mm⁴)

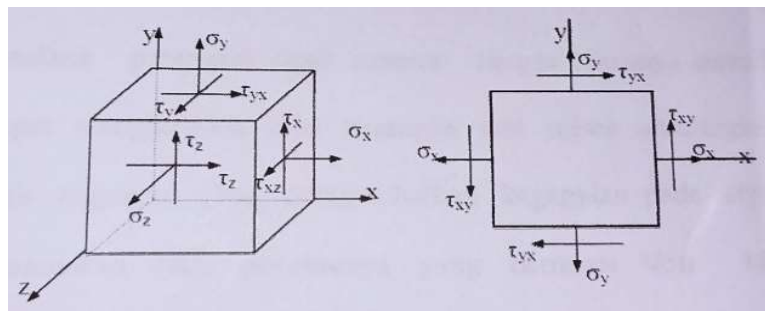
b = tebal (mm)

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

$$\tau_{xy} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xy} = G \gamma_{xy} \quad (2.12)$$

$$\tau_{xz} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xz} = G \gamma_{xz} \quad (2.13)$$

$$\tau_{yz} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{yz} \quad (2.14)$$

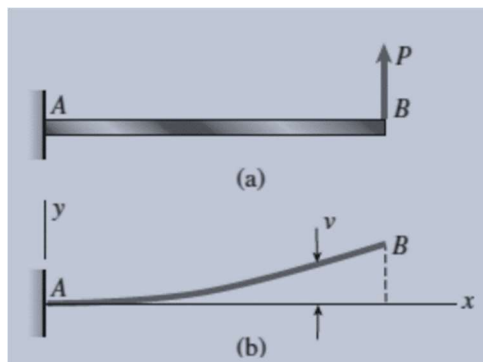


Gambar 2.5. Tegangan yang bekerja pada suatu bidang

(Sumber : Susatio, 2004)

2.7.3 Tegangan Lentur

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 2.6a). sumbu yang awalnya lurus membengkok hingga membentuk kurva (Gambar 2.6b), yang disebut dengan defleksi. (Gere & Goodno, 2009)



Gambar 2.6. Deformasi akibat tegangan lentur
(sumber: Gere & Goodno, 2009)

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

$$\sigma = \frac{M y}{I} \quad \text{atau} \quad \sigma = \frac{M}{W} \quad (2.15)$$

Dimana: σ = Tegangan Lentur

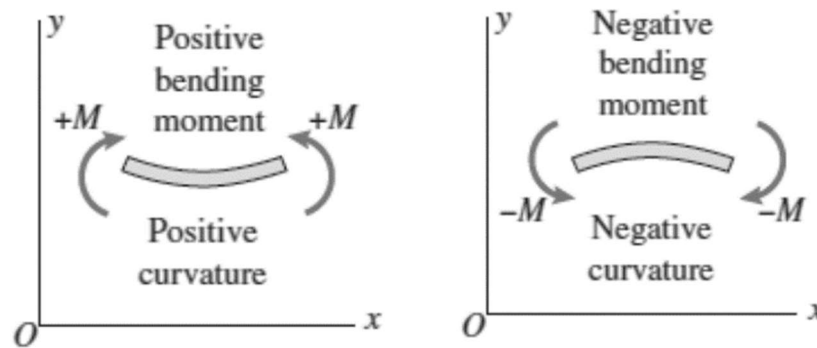
M = Momen

y = jarak dari sumbu netral kesisi terluar benda

I = Inersia Penampang

W = Modulus Penampang

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 2.7. (Gere & Goodno, 2009)



Gambar 2.7. Hubungan antara tanda momen lentur dan tanda kurvatur
(Sumber: Gere & Goodno, 2009)

2.7.4 Regangan

Regangan adalah Perubahan pada ukuran sebuah benda karena gaya-gaya atau kopel dalam kesetimbangan dibandingkan dengan ukuran semula. Regangan juga disebut derajat deformasi (Wulandari et al, 2021 dalam Saroyo, 2002). Persamaan dari regangan dapat dituliskan pada persamaan (2.16)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.16)$$

Dimana: ϵ = regangan,

ΔL = pertambahan panjang (mm),

L = panjang mula-mula (mm)

2.8 Deformasi

Deformasi material merupakan perubahan bentuk atau ukuran material karena adanya sebuah gaya kerja yang diterima. Deformasi material timbul akibat gaya kerja berupa kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan puntir atau torsi. Deformasi terjadi bila bahan mengalami gaya. Selama deformasi, bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang deformasi. Sekecil apapun gaya yang bekerja, maka benda akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran

Tegangan regangan memiliki hubungan yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.17)$$

Dimana: E = modulus elastisitas (N/mm²)

ϵ = regangan normal

σ = tegangan normal (N/mm²)

Sehingga deformasi (δ) dapat diketahui :

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E} \quad (2.18)$$

Dimana: E = modulus elastisitas (N/mm²)

P = besar gaya yang bekerja (N)

A = luas penampang (mm²)

L = panjang awal (mm)

2.9 Macam-macam Kegagalan Struktur

Terdapat Berbagai macam kegagalan-kegagalan struktur sering terjadi saat kapal sedang beroperasi. Kegagalan-kegagalan tersebut dapat berasal dari material, sifat-sifat fisik material dan dimensi struktur atau akibat pengaruh dari luar berupa

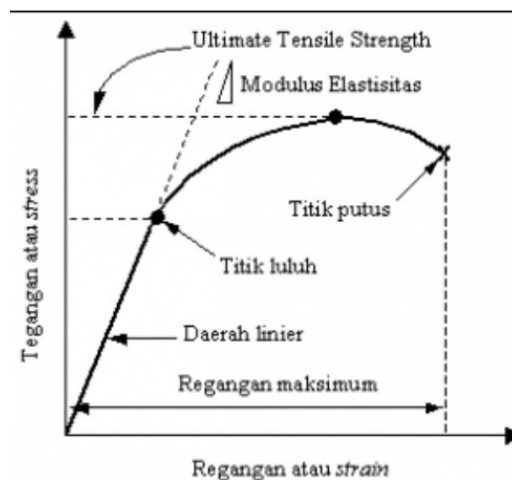
beban-beban. Adapun model-model kegagalan struktur tersebut ialah sebagai berikut.

a. Keluluhan (lumer) tegangan Tarik atau tekan (tensile or compressive yield)

Berikut beberapa aspek menyangkut keluluhan material:

1. Deformasi plastis yang pelan dari suatu komponen struktur akibat adanya tegangan yang bekerja yang lebih besar dari tegangan lumer.
2. Untuk menghindari keluluhan material maka faktor-faktor keamanan (safety factors) dipertimbangkan untuk konstruksi kapal.
3. Safety factor = 2 atau 3 (tegangan maximum pada lambung kapal akan menjadi $\frac{1}{2}$ atau $\frac{1}{3}$ dari tegangan lumer.

Titik luluh digambarkan pada grafik hubungan tegangan regangan seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Kurva Tegangan regangan

(Sumber : Budynas 2020)

b. Tekuk (Buckling)

Berikut beberapa aspek menyangkut tekuk (buckling):

1. Perubahan-perubahan dimensi yang mendasar atau yang besar dan kehilangan kekakuan secara tiba-tiba diakibatkan oleh tekanan (compression) dari kolom atau plate yang panjang.
2. Beban buckling pada kapal terjadi akibat muatan, gelombang, beban-beban tumbukan, dll. Contohnya:
 - Buckling geladak yang diakibatkan oleh sagging, hogging dan beban di atas geladak
 - Bukling plate samping yang diakibatkan oleh gelombang, schock dan kendas (grounding)
 - Buckling kolom yang diakibatkan oleh beban axial yang berlebihan

c. Kegagalan akibat kelelahan (Fatigue Failure)

Berikut ini beberapa aspek menyangkut kelelahan (fatigue):

1. Kegagalan material dari kejadian tegangan secara berulang seperti dari vibrasi
2. Batas ketahanan (endurance limit): tegangan di bawah kondisi dimana tidak akan gagal dari kelelahan.
3. Kegagalan kelelahan diakibatkan oleh:
 - Komposisi material (ketidak murnian, kandungan karbon, cacat-cacat internal)
 - Pekerjaan akhir (finishing) permukaan logam
 - Pengaruh lingkungan (korosi, salinitas, keasaman, kelembaban, dll)
 - Bentuk geometri material (sudut-sudut yang tajam, material yang tidak kontinyu)
 - Proses pembuatan / pengerjaan material (pengelasan, pemasangan)

4. Kelelahan umumnya mengakibatkan keretakan pada lambung kapal.

d. Retakan Akibat Kerapuhan (Brittle Fracture)

Berikut ini dijelaskan beberapa aspek menyangkut brittle fracture:

1. Bencana kegagalan secara tiba-tiba dengan deformasi plastic yang kecil atau tanpa deformasi plastik
 - a) Brittle fracture tergantung dari:
 - b) Material: kekerasan atau ketangguhan yang rendah dengan material karbon yang tinggi
 - c) Temperatur: Material beroperasi dibawah temperatur transisinya
 - d) Geometry: titik lemah untuk retak: sudut-sudut atau ujung-ujung yang tajam
 - e) Type / tingkat pembebanan: beban-beban tarikan atau tumbukan yang buruk

2.9 Metode Elemen Hingga

2.9.1 Elemen Hingga

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 analisa 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 diskretasi kontinum dalam elemen-elemen kecil yang umumnya

memiliki geometri lebih sederhana dengan derajat kebebasan tertentu (berhingga), sehingga lebih mudah dianalisis (Andi Baihaqi et al., 2017)

Tipe-tipe permasalahan struktur meliputi :

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

Adapun untuk problem nonstruktur yang dapat diselesaikan dengan menggunakan metode ini meliputi:

1. Perpindahan panas dan massa
2. Mekanika fluida, termasuk aliran fluida lewat media porous
3. Distribusi dari potensial listrik dan potensial magnet

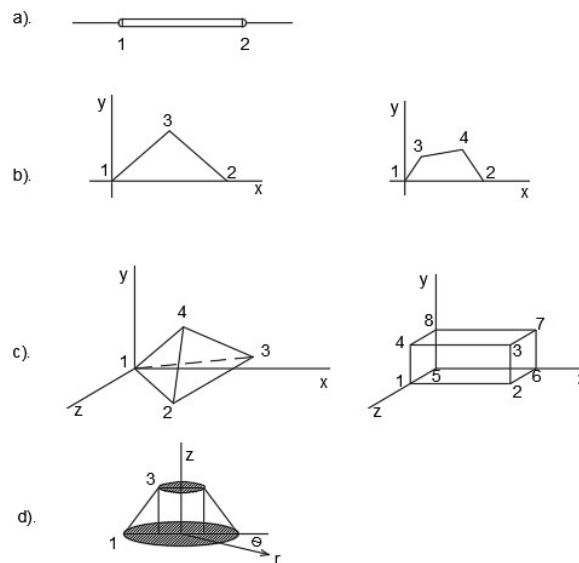
Metode ini akan mengadakan pendekatan terhadap harga-harga yang tidak diketahui pada setiap titik secara diskrit. Dimulai dengan pemodelan dari suatu benda dengan membagi-bagi dalam bagian yang kecil secara keseluruhan masih mempunyai sifat yang sama dengan benda yang utuh sebelum terbagi dalam bagian yang kecil (diskritisasi)

Adapun langkah-langkah dari penggunaan metode elemen hingga ialah sebagai berikut.

1. Pemilihan tipe elemen dan diskritisasi

Diskritisasi adalah pembagian/pemotongan benda dalam bagian-bagian yang disebut elemen. Banyaknya pemotongan yang dibentuk bergantung pada geometri dari benda yang akan dianalisa, sedangkan bentuk elemen diambil tergantung pada bentuk dimensinya.

Adapun macam dan tipe elemen dasar yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Bentuk-bentuk elemen dasar

- a) Elemen garis (1 dimensi)
- b) Elemen segitiga dan segi empat (2 Dimensi)
- c) Elemen tetrahedra dan balok (3 Dimensi)
- d) Elemen segitiga axisimetri

(Sumber: Susatio, 2004)

2. Pemilihan fungsi pemindah/fungsi interpolasi

Jenis-jenis fungsi yang sering digunakan adalah fungsi linear, fungsi kuadrat, kubik, dan polynomial derajat tinggi.

3. Langkah Hubungan strain/Displacement dan stress/strain

Sebagai contoh, hubungan ini untuk kasus satu dimensi berlaku:

$$\varepsilon = \frac{du}{dx} \quad \text{dan} \quad \sigma = E \varepsilon \quad (2.19)$$

Dimana: ε = Strain

σ = Stress

E = Modulus Elastis

u = Displacement

4. Dapatkan matrik kekauan dari elemen yang dibuat
Untuk benda yang terdiri dari beberapa buah elemen, lakukan penggabungan (assemblage dari matrik kekauan elemen menjadi matrik kekauan global yang berlaku untuk seluruh benda atau struktur.
5. Gunakan persamaan kesetimbangan $\{F\} = [k] \{d\}$
Dengan persamaan ini masukan syarat batas yang diketahui dalam soal.
6. Selesaikan persamaan pada Langkah 5 dengan menghitung harga yang belum diketahui

Jika perhitungan melibatkan matrik dengan ukuran yang kecil, biasanya ditempuh cara partitioning matrik, tetapi jika perhitungan melibatkan matrik dengan ukuran yang besar, computer adalah jalan terbaik dalam mendapatkan solusinya.

7. Hitung strain dan stress
8. Intrpretasikan Kembali hasil-hasil yang dieproleh

2.9.2 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 umumnya penggunaan aplikasi Ansys memiliki langkah-langkah sebagai berikut

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 dianalisa. 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 analisa. Ada beberapa langkah dalam proses perhitungan yang harus dilalui terlebih dahulu. Langkah-langkah tersebut adalah: pembebanan dan analisa.
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.