

**SKRIPSI**

**SIMULASI KERUSAKAN TUBRUKAN PADA KAPAL *DOUBLE HULL*  
*TANKER* TIPE T3 DAN T4 TERHADAP KEKUATAN MEMBUJUR**

Disusun dan diajukan oleh

**DIRHAM BRAHMANA BACHTIAR**

**D081 18 1011**



DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### SIMULASI KERUSAKAN TUBRUKAN PADA KAPAL *DOUBLE HULL* TANKER TIPE T3 DAN T4 TERHADAP KEKUATAN MEMBUJUR

Disusun dan diajukan oleh

**DIRHAM BRAHMANA BACHTIAR**

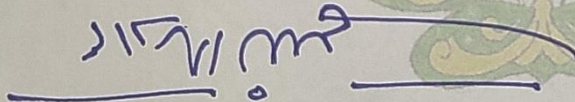
**D081181011**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 6 Juli 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

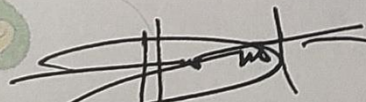
Pembimbing utama,

Pembimbing Pendamping,



**Muh. Zubair Muis Alie, S.T., M.T., Ph.D.**

**NIP.197606062005011003**



**Habibi, S.T., M.T.**

**NIP. 198704252019031012**

Ketua Program Studi



**Dr. Ir. Chairul Paotonan, S.T., M.T.**

**NIP. 197506052002121003**

## PERNYATAAN KEASLIAN SKripsi

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dirham Brahmana Bachtiar  
Nomor Mahasiswa : D081181011  
Program Studi : Teknik Kelautan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

"Simulasi Kerusakan Tubrukan Pada Kapal Double Hull Tanker Tipe T3  
dan T4 Terhadap Kekuatan Membujur"

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

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

Gowa, 6 Juli 2022

Yang menyatakan,



Dirham Brahmana Bachtiar

## ABSTAK

**DIRHAM BRAHMANA BACHTIAR.** *Simulasi Kerusakan Tubrukan Pada Kapal Double Hull Tanker Tipe T3 Dan T4 Terhadap Kekuatan Membujur* (dibimbing oleh **Muhammad Zubair Muis Alie** dan **Habibi**).

Kekuatan membujur kapal merupakan salah satu aspek penting dalam proses desain kapal untuk menentukan kemampuan kapal dalam menjalankan fungsinya. Dalam studi kasus ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan membujur kapal *Double Hull Tanker* dengan mempertimbangkan pengaruh kondisi kapal utuh dan rusak akibat tubrukan bagian haluan kapal ke sisi membujur kapal dalam bentuk tegangan kerja yang bekerja pada bagian *deck* dan *bottom* pada saat mengalami *hogging* dan *sagging*. Salah satu manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai informasi dalam hal menentukan kebijakan dalam hal regulasi pada galangan kapal untuk membuat perencanaan struktur kapal *double hull tanker*. Analisis kekuatan membujur kapal menggunakan metode *Finite Element Analysis*. Objek dari penelitian ini adalah kapal *double hull tanker* tipe T3 dan T4 yang memiliki bentuk *stiffener* dan dimensi berbeda. Penampang kedua kapal diatur untuk tetap datar selama keruntuhan. Hasil penelitian analisis kekuatan membujur kapal *Double Hull Tanker* tipe T3 dan T4 ditunjukkan dalam bentuk grafik antara momen dan kelengkungan. Diperoleh hasil dari kekuatan membujur pada kondisi utuh kapal tipe T3 sebesar  $\pm 2,457 \times 10^{13}$  Nmm kondisi *hogging-sagging*, sedangkan kapal tipe T4 sebesar  $\pm 2,081 \times 10^{13}$  Nmm kondisi *hogging-sagging*. Kekuatan membujur pada kondisi kerusakan kapal tipe T3 sebesar  $\pm 2,167 \times 10^{13}$  Nmm kondisi *hogging-sagging*, sedangkan kapal tipe T4 sebesar  $\pm 1,989 \times 10^{13}$  kondisi *hogging-sagging*. Dari hasil ini membuktikan bahwa kekuatan membujur kapal tipe T3 jauh lebih baik dibandingkan dengan kekuatan membujur kapal tipe T4.

Kata kunci : *double hull tanker, finite elemen analys, tubrukan haluan, hogging-sagging, kekuatan batas*

## ABSTRACT

**DIRHAM BRAHMANA BACHTIAR.** *Simulation of Collision Damage on Double Hull Tanker Types T3 And T4 Against Longitudinal Strength (supervised by **Muhammad Zubair Muis Alie and Habibi**).*

*The longitudinal strength of the ship is one of the important aspects in the ship design process because it determines the ship's ability to carry out its functions. This case study aims to determine the longitudinal strength of the Double Hull Tanker ship by considering the effect of the intact and damaged condition of the ship due to the collision of the bow of the ship to the longitudinal side of the ship, in the form of working stresses acting on the deck and bottom when experiencing hogging and sagging. One of the benefits of this research is as information in terms of determining policies in terms of regulations at shipyards to make plans for double hull tanker ship structures. Analysis of the longitudinal strength of the ship using the Finite Element Analysis method. The object of this research is the double hull tanker type T3 and T4 which have stiffener shapes and different dimensions. The cross sections of the two ships are arranged to remain flat during the collapse. The results of the research on the longitudinal strength analysis of the Double Hull Tanker type T3 and T4 are shown in the form of a graph between the moment and the curvature. The results obtained from the longitudinal strength of the T3 type vessel are  $\pm 2.457 \times 10^{13}$  Nmm in the hogging-sagging condition, while the T4 type vessel is  $\pm 2.081 \times 10^{13}$  Nmm in the hogging-sagging condition. The longitudinal strength in the damaged condition of the T3 type vessel is  $\pm 2.167 \times 10^{13}$  Nmm in the hogging-sagging condition, while the T4 type vessel is  $\pm 1.989 \times 10^{13}$  in the hogging-sagging condition. This result proves that the longitudinal strength of the T3 type ship is much better than the longitudinal strength of the T4 type ship.*

*Keywords : double hull tanker, finite element analysis, bow collision, hogging-sagging, limit strength*

## PRAKATA

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Dan atas kehendakNya lah segala hambatan dalam penelitian serta penulisan skripsi ini dapat diatasi. Salawat serta salam penulis panjatkan kehadiran Nabi Muhammad SAW. Skripsi ini dibuat penulis sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan judul :

“SIMULASI KERUSAKAN TUBRUKAN PADA KAPAL *DOUBLE HULL TANKER*  
TIPE T3 DAN T4 TERHADAP KEKUATAN MEMBUJUR”

Doa, dorongan moril dari kedua orang tua Bapak **Bachtiar Taloro** dan Ibu **Rosdiana Aras** merupakan dukungan yang selalu menguatkan hati untuk setiap tahapan penelitian dan penulisan skripsi ini, serta keberhasilan penulis sampai tahap skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Keberhasilan skripsi ini, tak luput pula berkat bantuan dari berbagai pihak yang diterima penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan secara tulus dan ikhlas kepada yang terhormat:

1. Bapak **Muhammad Zubair Muis Alie, S.T., M.T., Ph.D.** selaku dosen pembimbing utama sekaligus Kepala Labo OSAREL yang ditengah-tengah kesibukannya telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan Skripsi ini.

2. Bapak **Ir. Juswan, MT.** selaku dosen pembimbing pendamping yang ditengah-tengah kesibukannya telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan Skripsi ini.
3. Bapak **Dr. Chairul Paotonan, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah mengesahkan skripsi ini.
4. Bapak **Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT.** selaku penasehat akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan sehingga saya dapat menyelesaikan studi.
5. **Dosen–Dosen Departemen Teknik Kelautan** yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama dalam proses perkuliahan.
6. **Staf Tata Usaha Departemen Teknik Kelautan,** yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Saudara dan Saudari, **Dirga Bayu Saputra, Risma Dewi Pribadi, Dea Nur Shabrina Hidayat,** dan **Abidzar Shadiq Khair Ramadhan** yang tak henti memberikan kasih sayang, dukungan moril, dan doa kepada penulis.
8. **Teman-teman Mahasiswa khususnya Teknik Kelautan 2018** yang selalu memberi motivasi dan dukungannya serta waktu yang telah kita lalui bersama dalam suka dan duka. Rekan-rekan Labo **OSAREL, Kofifah, Bipa, Yulin, Safitri, Andri, dan Indri** yang sama-sama berjuang dan saling membantu dalam meyelesaikan studi. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terimakasih kepada kanda-kanda **Senior** dan dinda-dinda **Junior** atas motivasi dan dukungannya.
9. Teman-teman **KKN UNHAS GEL 107 Marena, Enrekang** dan **Masyarakat Adat Marena** yang telah memberikan pengalaman

yang berharga dan sangat berkenang dalam masa pengabdian kami ber-KKN di Kec. Anggeraja.

10. Kepada seluruh pihak yang tak sempat penulis ucapkan satu per satu, terima kasih yang sebesar besarnya untuk segala sumbangsih selama proses penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan untuk menutupi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu Teknik Kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Gowa, 6 Juli 2022



**Dirham Brahmana Bachtiar**



## DAFTAR ISI

ABSTAK .....	i
ABSTRACT .....	ii
PRAKATA .....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR NOTASI .....	xiii
DAFTAR ISTILAH.....	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 .....	6
2.1 Kapal Tanker .....	6
2.2 Konstruksi Kapal Tanker .....	11
2.3 Sistem Konstruksi Kapal .....	18
2.4 Beban-beban yang bekerja pada Kapal .....	20
2.5 Tegangan yang Bekerja pada Kapal .....	21
2.6 Regangan.....	22
2.7 Hubungan Tegangan dan Regangan .....	24
2.8 Perhitungan Kekuatan Batas.....	25
2.9 Model Kerusakan Tubrukan Arah Membujur .....	26
2.10 Metode Elemen Hingga.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	31
3.1 Jenis Penelitian.....	31

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	31
3.3 Penyajian Data .....	31
3.4 Analisis Data.....	35
3.5 Diagram Alir .....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	38
4.1 Kekuatan Kapal <i>Tanker</i> terhadap Momen Lentur-Batas Kondisi Utuh ( <i>Intact</i> ) Kapal <i>Double Hull Tanker</i> T3 Saat Kondisi <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i> .....	38
4.2 Kekuatan Kapal <i>Double Hull Tanker</i> terhadap Momen Lentur-Batas Kondisi Utuh ( <i>Intact</i> ) tipe T4 Saat Kondisi <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i> .....	39
4.3 Kekuatan Kapal <i>Double Hull Tanker</i> terhadap Momen Lentur-Batas Kondisi Kerusakan ( <i>Damage</i> ) Tipe T3 Saat Kondisi <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i> .....	41
4.4 Kekuatan Kapal <i>Double Hull Tanker</i> terhadap Momen Lentur-Batas Kondisi Kerusakan ( <i>Damage</i> ) Tipe T4 Saat Kondisi <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i> .....	42
4.5 Kekuatan-Batas Momen Lentur Vertikal Kapal <i>Double Hull Tanker</i> Kondisi Utuh Tipe T3 saat <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i> .....	45
4.6 Kekuatan-Batas Momen Lentur Vertikal Kapal <i>Double Hull Tanker</i> Kondisi Kerusakan Tipe T3 saat <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i> .....	47
4.7 Kekuatan-Batas Momen Lentur Vertikal Kapal <i>Double Hull Tanker</i> Kondisi Utuh Tipe T4 saat <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i> .....	49
4.8 Kekuatan-Batas Momen Lentur Vertikal Kapal <i>Double Hull Tanker</i> Kondisi Kerusakan Tipe T4 saat <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i> .....	52
4.9 Perbandingan Kekuatan-Batas Momen Lentur Vertikal Kapal <i>Double Hull</i> antara T3 dan T4 Menggunakan Metode NLFEA.	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	57
5.1 Kesimpulan .....	57

5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA .....	58
LAMPIRAN .....	61

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kapal <i>Oil Tanker</i> .....	7
Gambar 2.2	Kapal <i>Chemical Tanker</i> .....	8
Gambar 2.3	Kapal <i>LNG Tanker</i> .....	8
Gambar 2.4	Double Hull Tanker .....	9
Gambar 2.5	Konstruksi Kapal Tanker .....	12
Gambar 2.6	Struktur utama komponen pada bagian tengah <i>Tanker</i> dari <i>Single Hull Tanker</i> .....	12
Gambar 2.7	Kapal <i>Double Hul Tanker</i> dengan dua sekat memanjang ..	14
Gambar 2.8	Kapal <i>double hull tanker</i> dengan satu sekat memanjang ..	15
Gambar 2.9	Konstruksi <i>Double Hull Tanker</i> .....	16
Gambar 2.10	Struktur Midship <i>Double Hull Tanker</i> .....	17
Gambar 2.11	Perbedaan Kapal <i>Single Hull Tanker</i> dan <i>Double Hull Tanker</i> .....	18
Gambar 2.12	Diagram Tegangan-Regangan Baja .....	23
Gambar 2.13	Hubungan antara Tegangan dan Regangan .....	24
Gambar 2.14	Grafik Kekuatan Momen Lentur dan Kelengkungan .....	26
Gambar 2.15	Model Penampang <i>Double Hull Tanker</i> Tipe T3 .....	27
Gambar 2.16	Model <i>Collision</i> Tipe T3 .....	27
Gambar 2.17	Model Penampang <i>Double Hull Tanker</i> Tipe T4 .....	28
Gambar 2.18	Model <i>Collision</i> Tipe T4 .....	28
Gambar 2.19	<i>Three-cargo-hold singe bulk carrier</i> .....	30
Gambar 3.1	Konfigurasi Penampang Kapal Tanker Tipe T3 .....	33
Gambar 3.2	Konfigurasi Penampang Kapal Tanker Tipe T4 .....	35
Gambar 3.3	Diagram Alir .....	37
Gambar 4.1	Perilaku dan distribusi tegangan kerja untuk kapal tanker T3 pada kondisi utuh akibat <i>hogging</i> .....	38
Gambar 4.2	Perilaku dan distribusi tegangan kerja untuk kapal tanker T3 pada kondisi utuh akibat <i>sagging</i> .....	39
Gambar 4.3	Perilaku dan distribusi tegangan kerja untuk kapal tanker	

	T4 pada kondisi utuh akibat <i>hogging</i> .....	40
Gambar 4.4	Perilaku dan distribusi tegangan kerja untuk kapal tanker T4 pada kondisi utuh akibat <i>sagging</i> .....	30
Gambar 4.5	Perilaku dan distribusi tegangan kerja untuk kapal tanker T3 pada kondisi kerusakan akibat <i>hogging</i> .....	41
Gambar 4.6	Perilaku dan distribusi tegangan kerja untuk kapal tanker T3 pada kondisi kerusakan akibat <i>sagging</i> .....	42
Gambar 4.7	Perilaku dan distribusi tegangan kerja untuk kapal tanker T4 pada kondisi kerusakan akibat <i>hogging</i> .....	43
Gambar 4.8	Perilaku dan distribusi tegangan kerja untuk kapal tanker T4 pada kondisi kerusakan akibat <i>sagging</i> .....	44
Gambar 4.9	Grafik momen-kelengkungan kapal tanker T3 kondisi utuh .....	45
Gambar 4.10	Deformasi kekuatan-batas kapal tanker T3 kondisi utuh akibat <i>hogging</i> .....	46
Gambar 4.11	Deformasi kekuatan-batas kapal tanker T3 kondisi utuh akibat <i>sagging</i> .....	46
Gambar 4.12	Grafik momen-kelengkungan kapal tanker T3 kondisi kerusakan .....	47
Gambar 4.13	Deformasi kekuatan-batas kapal tanker T3 kondisi kerusakan akibat <i>hogging</i> .....	48
Gambar 4.14	Deformasi kekuatan-batas kapal tanker T3 kondisi kerusakan akibat <i>sagging</i> .....	49
Gambar 4.15	Grafik momen-kelengkungan kapal tanker T4 kondisi utuh .....	50
Gambar 4.16	Deformasi kekuatan-batas kapal tanker T4 kondisi utuh akibat <i>hogging</i> .....	51
Gambar 4.17	Deformasi kekuatan-batas kapal tanker T4 kondisi utuh akibat <i>sagging</i> .....	51
Gambar 4.18	Grafik momen-kelengkungan kapal tanker T4 kondisi	

	kerusakan .....	52
Gambar 4.19	Deformasi kekuatan-batas kapal tanker T4 kondisi kerusakan akibat <i>hogging</i> .....	53
Gambar 4.20	Deformasi kekuatan-batas kapal tanker T4 kondisi kerusakan akibat <i>sagging</i> .....	53
Gambar 4.21	Grafik momen-kelengkungan kapal tanker T3 dan T4 kondisi utuh dan mengalami kerusakan.....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Konfigurasi Material <i>Stiffener</i> Kapal Tanker T3.....	31
Tabel 3.2	Konfigurasi Material <i>Stiffener</i> Kapal Tanker T4.....	33
Tabel 4.1	Tegangan kerja arah z kondisi utuh dan kerusakan.....	44
Tabel 4.2	Kekuatan-batas momen lentur kapal tanker T3 kondisi utuh .... .....	45
Tabel 4.3	Kekuatan-batas momen lentur kapal tanker T3 kondisi kerusakan .....	47
Tabel 4.4	Kekuatan-batas momen lentur kapal tanker T4 kondisi utuh ... .....	50
Tabel 4.5	Kekuatan-batas momen lentur kapal tanker T4 kondisi kerusakan .....	52
Tabel 4.6	Kekuatan-batas momen lentur kapal tanker T3 dan T4 .....	54

## DAFTAR NOTASI

A	= luas penampang	(mm <sup>2</sup> )
B	= lebar kapal	(mm)
C <sub>b</sub>	= koefisien blok kapal	
C <sub>D</sub>	= koefisien distribusi	
E	= modulus elastisitas	(N/mm <sup>2</sup> )
F	= gaya	(N)
H	= tinggi kapal	(mm)
I	= inersia penampang	(mm <sup>4</sup> )
L	= panjang kapal	(mm)
M	= momen lentur	(Nmm)
M <sub>US</sub>	= kekuatan batas momen lentur <i>sagging</i>	(Nmm)
M <sub>UH</sub>	= kekuatan batas momen lentur <i>hogging</i>	(Nmm)
M <sub>t</sub>	= momen lentur- batas total	(Nmm)
P	= gaya geser atau gaya lintang	(N)
P <sub>B</sub>	= beban luar alas kapal	(N/mm <sup>2</sup> )
P <sub>C</sub>	= beban statik kapal	(N/mm <sup>2</sup> )
P <sub>D</sub>	= beban geladak cuaca	(N/mm <sup>2</sup> )
P <sub>i</sub>	= beban alas dalam kapal	(N/mm <sup>2</sup> )
P <sub>S1</sub>	= beban luar sisi kapal di bawah garis air muat	(N/mm <sup>2</sup> )
P <sub>S2</sub>	= beban luar sisi kapal di atas garis air muat	(N/mm <sup>2</sup> )
P <sub>0</sub>	= <i>basic external dynamic load</i>	(N/mm <sup>2</sup> )
T	= sarat kapal	(mm)
Z	= jarak tengah antara pusat beban dengan garis bawah	(mm)
ε	= regangan	
σ	= tegangan	(N/mm <sup>2</sup> )
σ <sub>tr</sub>	= tegangan tarik	(N/mm <sup>2</sup> )
σ <sub>te</sub>	= tegangan tekan	(N/mm <sup>2</sup> )
τ	= tegangan geser	(N/mm <sup>2</sup> )



## DAFTAR ISTILAH

- ANSYS* : *Software* yang digunakan untuk menghitung kekuatan struktur
- MPC* : *Multiple Point Constrained*
- IACS* : *International Association of Classification Societies*
- Defleksi : Perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang
- Deformasi : Perubahan bentuk atau ukuran dari sebuah objek karena pengaruh gaya
- Mesh* : Membagi Struktur menjadi bagian-bagian kecil
- Modulus Elastisitas : Sebuah ukuran yang digunakan untuk merepresentasikan kekakuan suatu bahan.
- Momen : Sebuah besaran yang menyatakan besarnya gaya yang bekerja pada sebuah benda sehingga mengakibatkan benda tersebut berotasi.
- Run* : Menjalankan program untuk menghitung hasil analisis
- Tanker T3* : Tipe kapal tanker Aframax dengan konfigurasi material penampang *hull girder* terlampir pada Gambar 3.1
- Tanker T4* : Type kapal tanker Aframax dengan konfigurasi material penampang *hull girder* terlampir pada Gambar 3.2
- Software* : Istilah khusus untuk data yang diformat dan disimpan secara digital, termasuk program komputer, dokumentasinya dan berbagai informasi yang bisa dibaca dan bisa ditulis oleh komputer.
- Tensile Strength* : Tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kapal merupakan alat transportasi laut yang dirancang sedemikian rupa dengan perhitungan keamanan yang kompleks sehingga memiliki kelebihan yang lebih dibandingkan alat transportasi lainnya, dimana konstruksi dari struktur kapal tersebut dapat membawa beban dari muatan barang padat atau curah dan penumpang dalam jumlah yang besar. Konstruksi dari struktur kapal tersebut juga dapat menahan berbagai beban-beban yang dialaminya, antara lain beban internal yang disebabkan oleh pembebanan yang ada di kapal dan beban eksternal seperti beban gelombang laut dan angin, serta posisi dari kapal tersebut terhadap beban gelombang laut dan beban angin yang datang/terjadi.

Pertumbuhan jumlah dan ukuran kapal dalam beberapa tahun terakhir secara langsung juga meningkatkan rasio jumlah kecelakaan akibat kandas dan tubrukan kapal yang dapat berpotensi korban jiwa serta pencemaran lingkungan dalam bentuk tumpahan minyak dan lain-lain. Jumlah insiden maritim dari tahun 2011-2015 sebanyak 12591 kejadian, termasuk 1426 kapal kandas dan 1352 kapal tubrukan [1].

Jalur laut yang semakin padat dan kecepatan kapal menjadi lebih tinggi, maka ada kemungkinan potensi kecelakaan kapal yang disebabkan oleh kandas atau tubrukan dapat terjadi selama kapal beroperasi. Saat kapal mengalami tubrukan atau kandas, penetrasi pada bagian sisi dan bawah kapal dapat mengalami kerugian ekonomi dan potensi kerusakan lingkungan yang parah. Struktur lambung dan dasar ganda telah menjadi standar yang disepakati secara internasional untuk kapal *double hull tanker* dimana dapat mengurangi tumpahan minyak akibat kecelakaan tubrukan atau kandas. Hasil empiris menunjukkan bahwa kapal *double hull tanker* dikaitkan dengan jumlah

tumpahan minyak yang lebih sedikit dari yang lambung tunggal.

Ketika suatu kapal mengalami tubrukan, struktur lambung ganda dari kapal yang bertabrakan dapat mengalami deformasi plastis yang besar dan fraktur. Salah satu contoh dampak dari kegagalan struktur tersebut adalah bocornya muatan kapal tanker Iran pada tahun 2018. Kapal tersebut mengangkut 136 ribu ton muatan akibat bertabrakan dengan kapal kargo China. Kejadian ini merupakan kejadian terbesar semenjak tahun 1991. Dampak yang ditimbulkan cukup besar terutama dari aspek lingkungan, bocoran minyak tersebut mengancam ekosistem laut China Timur yang dikenal kaya akan biota laut. Maka dari itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai tubrukan yaitu simulasi tubrukan pada kapal *double hull tanker* T3 dan T4 dengan meninjau kekuatan membujurnya yang disebabkan oleh tubrukan bagian konstruksi haluan ke sisi samping kapal tinjauan. Hal ini berkaitan dengan analisis tegangan akibat tubrukan, serta energi yang diserap selama proses tubrukan. Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk analisis adalah *Finite Element Method*.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tidak sama sekali menganalisis kerusakan penampang membujur akibat tabrakan haluan kapal terhadap kapal *double hull tanker* T3 dan T4 yang akan ditinjau. Maka dari itu, dilakukannya penelitian ini guna memperoleh hasil dari kekuatan membujur kapal *double hull tanker* tersebut.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah membandingkan kekuatan membujur antara kapal *double hull tanker* tipe T3 dan T4 yang disebabkan oleh tubrukan bagian konstruksi haluan kapal ke sisi samping kapal tinjauan.

## **1.3. Batasan Masalah**

Agar penelitian dapat terarah sesuai dengan kerangka yang

direncanakan, maka penelitian dibatasi dengan beberapa hal berikut :

1. Beban yang bekerja pada kapal yaitu momen arah membujur dan momen lentur vertikal longitudinal (*hongging* dan *sangging*) dengan kerusakan sebesar 1 jarak gading dengan menggunakan metode elemen hingga.
2. Kerusakan tubrukan dengan dimensi tertentu pada lambung kapal *double hull tanker* Tipe T3 dan T4.
3. Menganalisa kekuatan membujur menggunakan software ANSYS *Mechanical*.
4. Tidak meneliti kekuatan melintang kapal.

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

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan kekuatan membujur antara kapal *double hull tanker* tipe T3 dan T4 pada saat kondisi utuh dan setelah mengalami tubrukan.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian simulasi tubrukan pada kapal *double hull tanker* terhadap kekuatan membujur ini adalah :

1. Bagi bidang akademis, dapat memperdalam wawasan mahasiswa dan memberikan masukan bagi ilmu pengetahuan, khususnya mengetahui analisis struktur baja.
2. Bagi bidang industri, memberikan kontribusi dan perbandingan kekuatan kepada perusahaan-perusahaan.
3. Sebagai informasi dalam hal menentukan kebijakan dalam hal regulasi/peraturan pada galangan kapal untuk membuat perencanaan struktur kapal *double hull tanker*.

#### **1.6. Sistematika Penulisan**

Untuk mendapatkan alur penulisan yang jelas dan sistematis sekaligus memungkinkan pembaca dapat menginterpretasikan hasil tulisan secara tepat, maka tugas akhir ini disusun menjadi beberapa bagian, yaitu:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang permasalahan atau alasan yang mendasari penulis dalam melakukan penelitian mengenai simulasi tubrukan kapal *double hull tanker* T3 dan T4 terhadap kekuatan membujur. Selain itu berisi juga mengenai perumusan masalah yang dianalisis, batasan masalah penelitian yang tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini karena keterbatasan alat bantu dan membatasi agar penelitian lebih spesifik juga dalam bab ini terdapat tujuan dari penelitian dan manfaat penelitian yang dapat diambil dari penelitian ini serta sistematika penulisan skripsi.

## BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi kajian pustaka yang mendukung permasalahan yang dihadapi berupa teori-teori dasar mengenai gambar umum kapal *double hull tanker*, mengenai konstruksi *double hull tanker*, faktor-faktor yang mempengaruhi insiden kecelakaan pada kapal *double hull tanker* serta teori tentang cara menganalisis kekuatan struktur membujur pada kapal *double hull tanker* dengan menggunakan metode elemen hingga

## BAB III Metode Penelitian

Bab ini berisi jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, objek penelitian yaitu penampang midship pada kapal *double hull tanker*, jenis dan sumber data dimana penelitian ini bersifat kuantitatif yaitu penelitian yang menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan dari hasilnya dengan melakukan investigasi untuk mendapatkan hasil perbandingan kekuatan membujur antara kapal *double hull tanker* T3 dan T4 setelah mengalami tubrukan pada sisi membujur dengan menggunakan metode elemen hingga.

## BAB IV Pembahasan

Bab ini berisi pembahasan tentang investigasi kekuatan membujur pada kapal *double hull tanker* T4 dan T3 setelah mengalami tubrukan, mulai dari dimensi kapal yang digunakan, material, gambar penampang kapal *double hull tanker* yang diteliti dan juga berupa hasil investigasi tegangan rata-rata (*stress*) menggunakan metode numerik berupa nilai

momen yang bekerja pada kondisi *hogging* dan *sagging*, nilai tahanan rata-rata serta kurva S-S digunakan untuk perhitungan kekuatan membujur menggunakan metode elemen hingga.

#### BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan dari isi penelitian yang mencakup kesimpulan dari hasil pembahasan masalah yang dibahas pada bab-bab sebelumnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kapal Tanker

Kapal Tanker merupakan alat transportasi yang dispesifikasikan untuk mengangkut muatan minyak, tidak hanya dari tempat pengeboran menuju darat, namun tanker juga digunakan untuk sarana angkut perdagangan minyak antar pelabuhan atau antar negara. Kapal Tanker memiliki karakteristik khusus yang berbeda dengan kapal lainnya. Kapal Tanker adalah kapal yang menetapkan standar keselamatan yang sangat tinggi mengingat muatan yang dibawahnya sangat berbahaya

Kapal Tanker pertama kali digunakan oleh industri minyak untuk mengirim bahan bakar olahan dalam jumlah besar dari kilang pelanggan. Yang kemudian akan disimpan pada tangki yang besar di daratan, dan dibagi lagi untuk pengiriman ke lokasi yang berbeda. Penggunaan kapal tanker menjadi populer karena cairan lain juga lebih murah untuk diangkut dalam jumlah besar, disimpan di terminal khusus, kemudian dibagi. Bahkan tempat pembuatan bir Guinness menggunakan *tanker* untuk mengangkut *beer* tersebut melintasi Laut Irlandia.

Perkembangan teknologi sangat berpengaruh terhadap industri pelayaran khususnya industri perkapalan, baik itu terkait dengan penanganan muatan maupun dalam operasional kapal seperti komunikasi dan navigasi. Dengan meningkatnya perkembangan teknologi diharapkan dapat meningkatkan keselamatan kapal dilaut, mencegah terjadinya kecelakaan jiwa/meninggalnya orang dan untuk perlindungan lingkungan khususnya lingkungan maritim dan juga melindungiharta benda dilaut (*property*) serta untuk efisiensi pengoperasian kapal. Khususnya untuk kapal *Oil Tanker* yang memiliki tingkat resiko kebakaran/ledakan yang lebih tinggi dibanding kapal jenis lainnya seperti kapal *general cargo*, *bulk carrier* ataupun *container*. Dimana dari sisi konstruksi dan fungsinya bahwa *Oil Tanker* adalah kapal yang dibangun khususnya untuk membawa minyak

dalam bentuk curah [2].

Lambung kapal adalah struktur panel kaku yang sangat rumit terdiri dari komponen struktur seperti *deck*, *bottom*, *side* cangkang, sekat, rangka melintang dan memanjang. Meskipun analisis FE *nonlinier* diterima secara luas sebagai alat yang andal untuk penyelidikan perilaku struktural *nonlinier*, aplikasi untuk analisis keruntuhan progresif lambung kapal girder masih sangat terbatas karena banyaknya permintaan pada sumber daya komputer dan tenaga kerja. Terlepas dari kesulitan-kesulitan ini, analisis FE nonlinier diyakini sebagai satu-satunya yang tersedia dan alat yang cocok untuk menilai kekuatan gelagar lambung utama dengan kerusakan akibat momen lentur longitudinal [3].

Berdasarkan jenis muatannya, kapal tanker dibagi menjadi 4 jenis :

### **1. *Oil Tanker***

*Oil Tanker* adalah jenis kapal tanker yang dibangun atau disesuaikan untuk mengangkut minyak curah. Ada 2 jenis *Oil Tanker*, yaitu *Crude Tanker* dan *Product Tanker*.



Gambar 2.1 Kapal *Oil Tanker* [4]

Contoh kapal *Oil Tanker* dapat dilihat pada gambar 2.1. *Crude Tanker* adalah tanker yang membawa muatan minyak mentah, sedangkan *Product Tanker* adalah tanker yang membawa muatan yang sudah diolah



dari kilang. Ukuran *Crude Tanker* biasanya lebih besar dari *Product Tanker*.

## 2. **Chemical Tanker**

*Chemical Tanker* adalah jenis kapal tanker yang dirancang untuk mengangkut bahan kimia.



Gambar 2.2 Kapal Chemical Tanker [5]

*Chemical Tanker* juga digunakan untuk mengangkut jenis bahan sensitif dengan standar kebersihan tanki yang tinggi seperti minyak nabati, lemak, minyak sawit, soda kaustik, dan metanol. Adapun contoh kapal *Chemical Tanker* dapat dilihat pada gambar 2.2.

## 3. **Liquefied Natural Gas (LNG) Tanker**

Liquefied Natural Gas (LNG) Tanker adalah jenis kapal tanker yang dirancang untuk mengangkut muatan gas alam cair.



Gambar 2.3 Kapal *LNG Tanker* [6]

Adapun contoh kapal *Liquefied Natural Gas Tanker* dapat dilihat pada gambar 2.3 diatas.

#### 4. **Double Hull Oil Tanker**

*Double hull Oil Tanker* adalah Sebuah kapal tanker dengan lambung ganda mengacu pada kapal tanker minyak yang memiliki lambung ganda . Adapun contoh kapal *double hull tanker* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Double Hull Tanker [7]

Konsep *double hull* ini mengurangi kemungkinan kebocoran yang terjadi dibandingkan dengan kapal tanker lambung tunggal.

Sedangkan berdasarkan ukurannya, kapal tanker dibagi menjadi 5 yaitu:

1. **Coastal Tanker** dengan ukuran sebagai berikut:

LOA	: 205 m
Beam	: 29 m
Draft	: 16 m
Bobot mati	: < 50.000 DWT

2. **Aframax** dengan ukuran sebagai berikut:

LOA	: 245 m
Beam	: 34 m

Draft	: 20 m
Bobot mati	: 50.001 - 80.000 DWT

3. **Suez-Max** dengan ukuran sebagai berikut:

LOA	: 285 m
Beam	: 45 m
Draft	: 23 m
Bobot mati	: 80.001 - 160.000 DWT

4. **VLCC (Very Large Crude Carrier)** dengan ukuran sebagai berikut:

LOA	: 350 m
Beam	: 55 m
Draft	: 28 m
Bobot mati	: 160.001 - 300.000 DWT

5. **ULCC (Ultra Large Crude Carrier)** dengan ukuran sebagai berikut:

LOA	: 415 m
Beam	: 63 m
Draft	: 35 m
Bobot mati	: > 300.000 DWT

Pengangkutan cairan curah menggunakan kapal tanker sebelumnya menimbulkan beberapa masalah, yaitu :

- Penahan, pada kapal kayu untuk curah cair, seperti air, minyak, memiliki banyak celah yang dapat menyebabkan bocor atau merembesnya cairan. Pengembangan lambung besi dan baja memecahkan masalah ini.
- Bongkar-muat, pada saat melakukan aktivitas bongkar muat untuk cairan curah harus terlebih dahulu dipompa, pengembangan pompa yang efisien dan sistem perpipaan sangat penting untuk pengembangan tanker.

- *Free Surface Effect* atau efek permukaan bebas, cairan dalam jumlah banyak yang dibawa di atas kapal akan berdampak pada stabilitas kapal, terutama ketika cairan tersebut mengalir di sekitar palka atau tangki sebagai respon terhadap pergerakan kapal. Efeknya dapat diabaikan dalam penggunaan tong, namun dapat menyebabkan terbaliknya kapal jika tong berkumpul pada satu tempat, masalah ini dapat diselesaikan dengan pemberian sekat pembatas, agar tong tidak bergerak secara bebas.

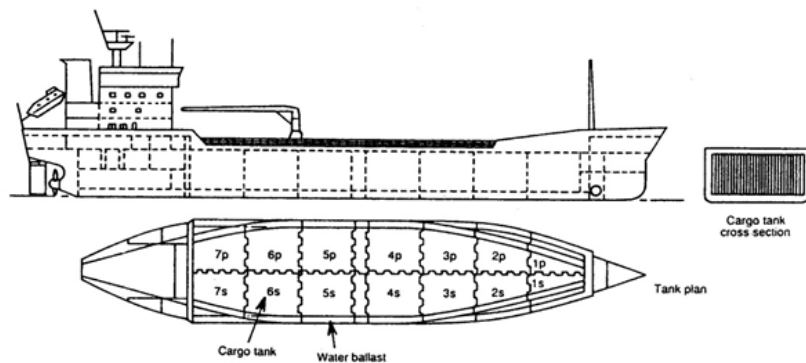
Tipe-tipe tanker antara lain tanker minyak, tanker kimia, tanker gas cair, dan tanker-tanker lainnya seperti tanker aspal, tanker jus buah, tanker bir, dan tanker air. Sedangkan variasi fitur tanker termasuk struktur *double bottom*, *double hull*, *double side*, *tank coating*, serta fitur lain menyesuaikan kargo yang diangkut [8] .

## **2.2 Konstruksi Kapal Tanker**

Konstruksi kapal tanker didesain dan dibuat secara khusus dengan ketetapan standar keselamatan yang sangat tinggi sesuai dengan spesifikasi yang diatur dalam IMO melalui peraturan *MARPOL 73/78-Annex 1*, Regulation 13G, Amandemen 2001 serta SOLAS (Keselamatan Jiwa di Laut).

Kapal tanker dibuat untuk mengangkut minyak mentah melalui laut atau perairan dari pelabuhan muat atau pelabuhan produksi ke pelabuhan bongkar/pengolahan dan minyak produk dari pelabuhan pengolahan menuju pelabuhan bongkar/distribusi. Selain digunakan untuk membawa muatan curah air hasil dari tempat pengeboran menuju darat, kapal tanker juga digunakan sebagai moda transportasi laut untuk keperluan perdagangan minyak antar pelabuhan atau antar negara.

Ukuran dari kapal pengangkut minyak mentah biasanya lebih besar dari pengangkut minyak produksi, tetapi dalam pengaturan jaringan pipa-pipanya lebih kompleks). Adapun contoh konstruksi kapal tanker dapat dilihat pada Gambar 2.5. sebagai berikut.

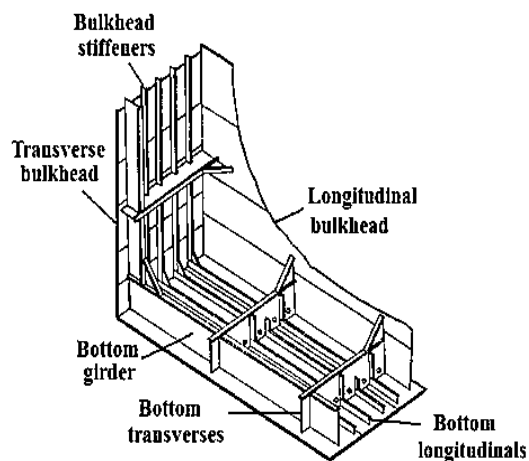


Gambar 2.5. Konstruksi Kapal Tanker [9]

Faktor-faktor yang mempengaruhi desain dan konstruksi kapal tanker adalah :

1. *Safety* : sebagai pengangkut muatan berbahaya.
2. Stabilitas : muatan cair dalam tangki dapat bergerak bebas.
3. Pencemaran : dapat terjadi tumpahan minyak di laut.

Konstruksi kapal tanker terbagi dua yaitu kapal Single Hull Tanker dan kapal double hull tanker yang mana akan dijelaskan pada paragraf sebagai berikut.



Gambar 2.6. Struktur utama komponen pada bagian tengah *Tanker* dari *single hull tanker* [10]

*Single Hull Tanker* dapat dilihat pada gambar 2.6, Tanker lambung tunggal (*single hull tanker*), merupakan jenis tanker yang hanya memiliki satu lambung dan minyak yang dibawa disimpan dalam struktur lambung,

model konstruksi *single hull*.

Beberapa kapal tanker SH membawa minyak dan air pemberat ke dalam tangki yang sama, sementara beberapa kapal tanker *single hull* memiliki tangki pemberat terpisah di dalam lambung (yaitu minyak dibawa langsung ke dalam lambung kapal, tapi tangki pemberat terpisah dari muatan). Akibat hanya satu lapisan, kapal tanker *single hull* menimbulkan ancaman lebih besar terhadap lingkungan laut selama kecelakaan apapun.

Dalam tiga kasus besar yang melibatkan tiga tanker raksasa hingga terjadi tumpahan minyak yang sangat massif, sistem *single hull* pada ketiga tanker tersebut dituding sebagai penyebab tumpahnya minyak ke laut sehingga mencemari dan merusak lingkungan hidup perairan yang terpapar.

Sejak tenggelamnya tanker (*single hull*) ERIKA dilepas pantai Perancis (Desember 1999) yang menyebabkan polusi (*oil spill*) perairan sekitarnya, maka banyak terjadi perubahan dalam peraturan klasifikasi, statutori, dan perdagangan yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas pengoperasian kapal tanker. IMO melalui peraturan *MARPOL 73/78-Annex 1, Regulation 13G*, Amandemen 2001 membagi kapal tanker minyak dalam 3 kategori, yaitu kategori 1, 2, dan 3. Dengan rincian sebagai berikut:

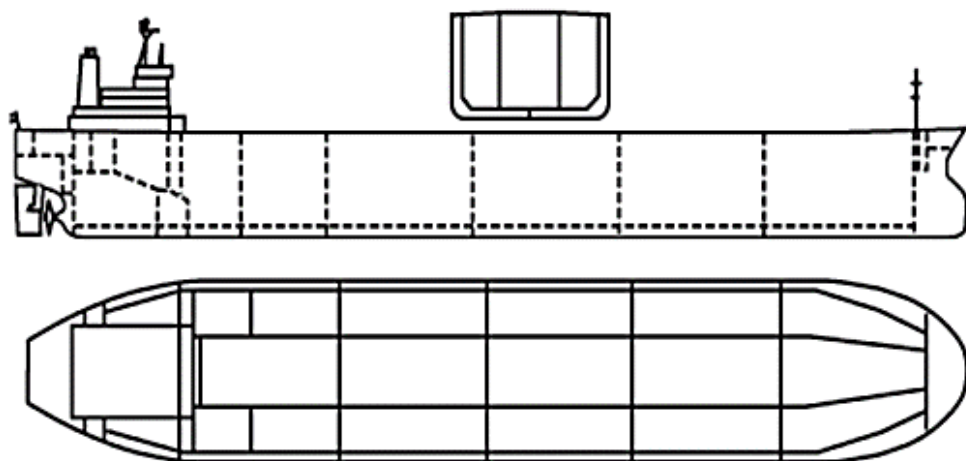
1. *Oil Tanker* kategori 1
  - a. Kapal tanker 20.000 DWT atau lebih yang memuat *crude oil, fuel oil, heavy diesel oil*, atau *lubricating oil*.
  - b. Kapal tanker 30.000 DWT atau lebih yang memuat jenis minyak selain yang disebutkan diatas. (Tanker pra-*MARPOL*, yaitu tanker *single hull* yang tidak mempunyai ballast tanks terpisah pada protective locations)
2. *Oil Tanker* kategori 2
  - a. Kapal tanker 20.000 DWT atau lebih, *single hull*, yang memuat *crude oil, fuel oil, heavy diesel oil, or lubricating oil*.

- b. Tanker *MARPOL* 30.000 DWT atau lebih, *single hull*, yang memuat jenis minyak selain yang disebut diatas, yang dilengkapi *ballast tank* terpisah pada *protective locations*.
3. *Oil Tanker* kategori 3

Tanker 5.000 DWT atau lebih, *single hull* yang ukurannya dibawah *tanker* kategori 1 dan 2 diatas.

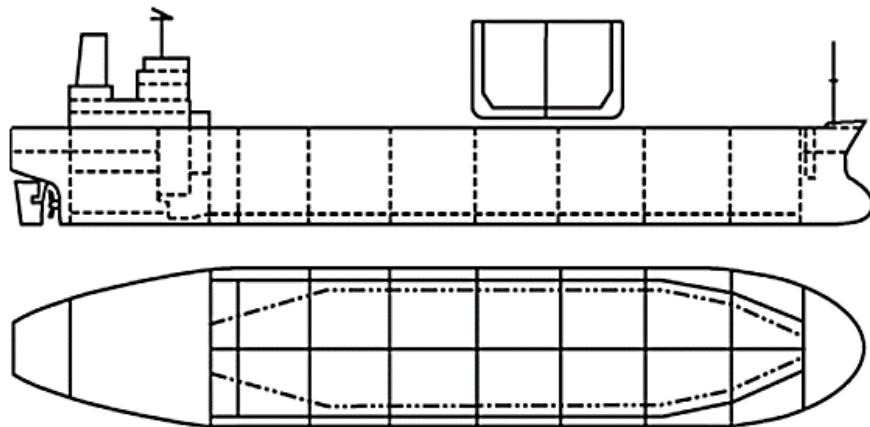
Selanjutnya ditentukan bahwa *tanker* dengan kategori 1, 2, dan 3 diatas harus memenuhi *regulation 13 F*, yang menyebutkan tentang adanya *wing tanks* dan *double bottom tanks*, atau "*double hull*" dalam batas-batas yang ditentukan menurut kategori diatas dan tanggal penyerahan kapal. Apabila persyaratan tersebut tidak dipenuhi maka tanker akan mengalami "*phase-out*" (diberhentikan).

*Double Hull Tanker*, Penggunaan *double-hull tanker* merupakan solusi bagi kapal tanker, sesuai namanya kapal ini memiliki lambung ganda, jenis kapal ini memiliki dua tingkat atau lapisan, yaitu: lapisan luar dan lapisan dalam. lambung ganda sekarang ini menjadi persyaratan penting dalam kapal, terutama kapal *tanker* minyak, dikarenakan regulasi atau peraturan pembatasan layer *single-hull tanker*.



Gambar 2.7. Kapal Double Hull Tanker dengan dua sekat memanjang [11]

Pada gambar 2.7 merupakan gambaran umum dengan dua sekat longitudinal



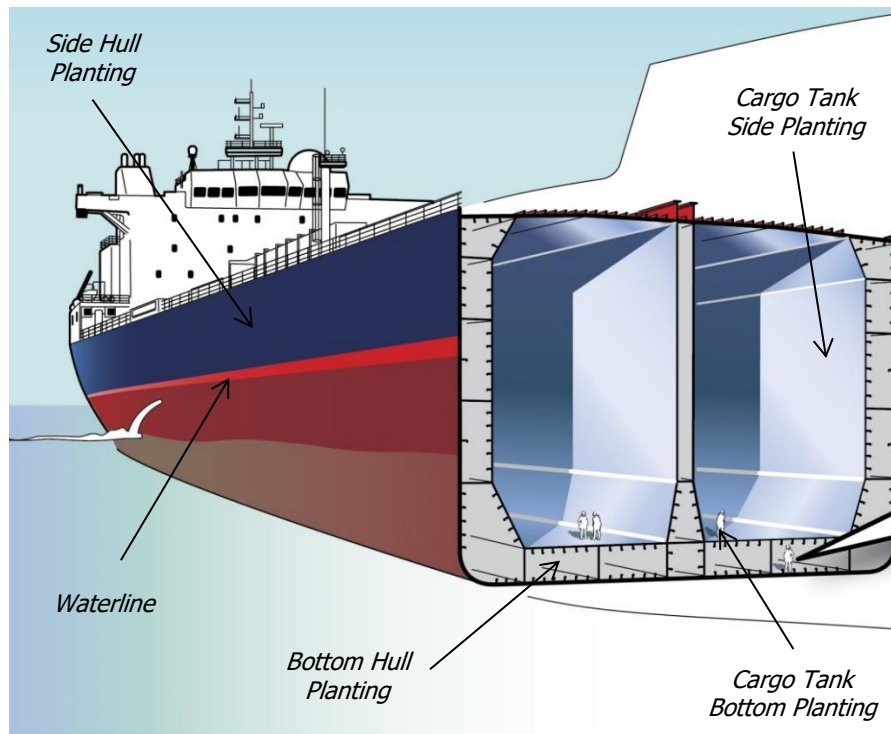
Gambar 2.8. Kapal Double Hull Tanker dengan satu sekat memanjang [11]  
 Pada Gambar 2.8 merupakan gambaran umum dengan satu sekat longitudinal.

Dengan tidak efektifnya Undang-undang Polusi Minyak tahun 1990 (OPA 90) mengenai pencegahan polusi lingkungan yang disebabkan oleh kapal. Untuk itu, *International Maritime Organization* (IMO) mengambil tindakan dan menetapkan standar lambung ganda pada tahun 1992 dalam *International Convention for the Prevention of the Pollution from Ships* (MARPOL). Konvensi ini mengharuskan semua kapal minyak dengan bobot mati (DWT) 600 ton atau lebih yang diserahkan pada atau setelah tanggal 6 Juli 1996 menggunakan lambung ganda (*double hull*). Jadi apabila ada kapal tanker yang akan dibangun setelah tanggal tersebut, maka kapal tersebut harus memenuhi aturan *double hull*. Sedangkan apabila terdapat kapal tanker yang dibangun sebelum tanggal tersebut, akan diberikan toleransi hingga ketika kapal itu berumur 25 tahun atau pada saat tanggal kelahiran kapal di tahun 2015 [12].

Berdasarkan data *World Ships on Order by Main Vesselype* 2006, hingga saat ini jumlah tanker merupakan jumlah jenis kapal terbanyak yang dibangun dan dikirim yaitu dengan jumlah 2.240. Sedangkan menurut Direktur Perkapalan dan Kepelabuhanan Kementerian Perhubungan Indonesia, hingga saat ini jumlah tanker di Indonesia sebanyak 120 unit dan dari jumlah tersebut sekitar 70% masih menggunakan *single hull* [12].



Adapun contoh gambar 3D dari konstruksi kapal *double-hull* tanker dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Konstruksi *Double-Hull* Tanker [13]

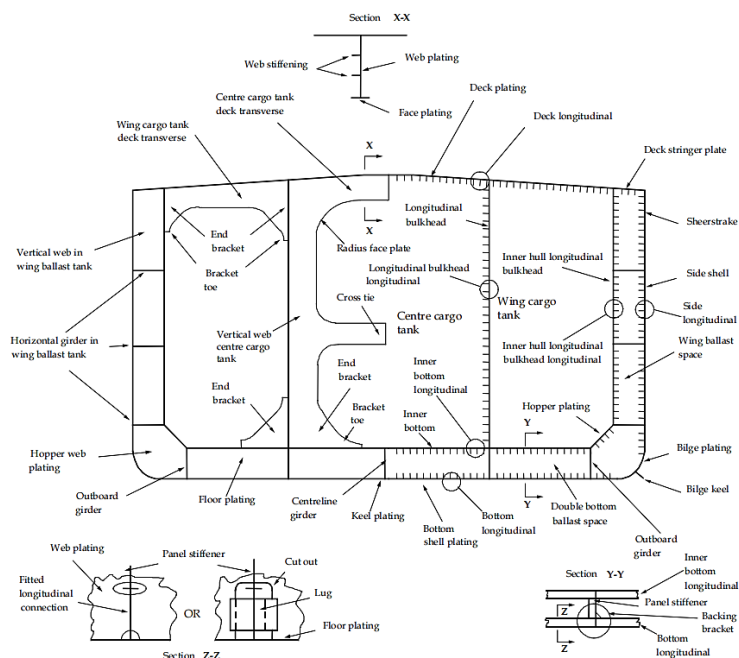
1. *Cargo Tank Side Planting* adalah material pendukung/penyusun bagian sisi dalam kapal *double-hull* tanker yang berfungsi sebagai tangki penyimpanan muatan minyak.
2. *Side Hull Planting* adalah material pendukung/penyusun bagian sisi luar kapal *double-hull* tanker yang berfungsi sebagai pelindung (*back-up*) dan mencegah masuknya air laut ke dalam tangki penyimpanan muatan minyak. Jika satu lapisan rusak karena kecelakaan tabrakan atau serupa.
3. *Cargo Tank Bottom Planting* adalah material pendukung/penyusun bagian bawah dalam dari kapal *double-hull* tanker yang berfungsi sebagai tangki penyimpanan muatan minyak. Jika satu lapisan rusak karena kecelakaan atau tabrakan.
4. *Bottom Hull Planting* adalah material pendukung atau penyusun bagian bawah luar kapal *double hull tanker* yang berfungsi sebagai pelindung

(back-up) dan mencegah masuknya air laut ke dalam tangki penyimpanan muatan minyak. Jika satu lapisan rusak karena kecelakaan tabrakan atau serupa.

5. *Waterline* adalah garis potong yang mendatar secara horizontal yang menunjukkan garis air kapal *double hull tanker* dalam kondisi tanpa muatan.

Adapun kekurangan yang dimiliki oleh kapal berlambung ganda adalah terkadang kapal cenderung tidak stabil. Hal ini dikarenakan dari dua lapisan lambung yang menggantikan pusat gravitasi kapal.

Pemeliharaan kapal berlambung ganda juga sangat penting, lambung ganda sangat rentan terhadap erosi sehingga diperlukan perhatian ekstra terhadap kondisi tanker. Beberapa kapal tanker, kapal carrier kombinasi, dan beberapa kapal carrier minyak mentah sudah memiliki double hull, yang secara esensial merupakan kombinasi dari double bottom dan double side.

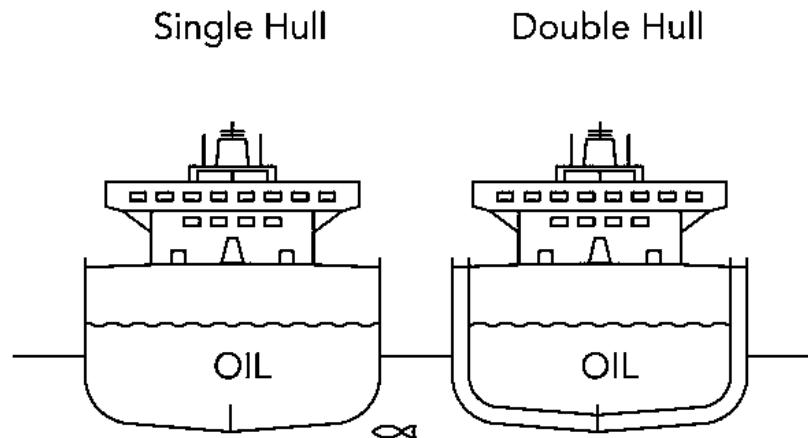


Gambar 2.10. Struktur Midship Double Hull Tanker [14]

Pada Gambar 2.10 diatas ditunjukkan struktur bagian-bagian *midship double hull tanker*.

Pemeliharaan kapal berlambung ganda juga sangat penting,

lambung ganda sangat rentan terhadap erosi sehingga diperlukan perhatian ekstra terhadap kondisi tanker.



Gambar 2.11. Perbedaan kapal *Single-hull* Tanker dan *Double-Hull* Tanker [15]

Lebar tangki samping mungkin kurang dari pada desain *double side*. Namun, karena ballast yang dibutuhkan bisa dibagi antara sisi dan ruang bawah. Oleh karena itu, kapal *double hull* mungkin lebih rendah kerusakan ambang sisi yang berkelanjutan pada saat bertabrakan.

### 2.3 Sistem Konstruksi Kapal

Sistem konstruksi kapal merupakan suatu kesatuan yang terdiri dari komponen atau elemen penyusun struktur kapal yang dihubungkan bersama atau dirangkai satu sama lain sehingga membentuk satu konstruksi tertentu yang kemudian akan dihubungkan atau disatukan menjadi satu struktur kapal. Untuk sistem konstruksi kapal dapat dibagi menjadi:

1. Sistem konstruksi melintang (*longitudinal framing system*)
2. Sistem konstruksi memanjang (*transverse framing system*)
3. Sistem konstruksi campuran (*mixed framing system*)

Sistem Konstruksi Melintang, Dalam sistem ini gading-gading (frame) dipasang vertikal (mengikuti bentuk *body plan*) dengan jarak antara (*spacing*), ke arah memanjang kapal, satu sama lain yang rapat (sekitar antara 500 mm – 1000 mm, tergantung panjang kapal). Pada geladak, baik

geladak kekuatan maupun geladak-geladak lainnya, dipasang balok-balok geladak (*deck beam*) dengan jarak antara yang sama seperti jarak antara gading-gading. Ujung masing-masing balok geladak ditumpu oleh gading-gading yang terletak pada vertikal yang sama. Pada alas dipasang wrang-wrang dengan jarak yang sama pula dengan jarak antara gading-gading sedemikian rupa sehingga masing-masing wrang, gading-gading dan balok geladak membentuk sebuah rangkaian yang saling berhubungan dan terletak pada satu bidang vertikal sesuai penampang melintang kapal pada tempat yang bersangkutan. Elemen-elemen yang dipasang membujur dalam sistem melintang yaitu :

- a. Pada alas : *Centre girder* dan *Side girder*
- b. Pada sisi : *Side Stringer*
- c. Pada geladak : *Deck girder* atau *carling*

Sistem Konstruksi Memanjang, Dalam sistem ini gading-gading utama tidak dipasang vertikal, tetapi dipasang membujur pada sisi kapal dengan jarak antara, diukur ke arah vertikal, sekitar 700 mm-1.000 mm. gading-gading ini (pada sisi) dinamakan pembujur sisi (*side longitudinal*). Pada setiap jarak tertentu (sekitar 3-5 m) dipasang gading-gading besar, sebagaimana gading-gading besar pada sistem melintang, yang disebut pelintang sisi (*side transverse*). Pada alas, dan alas dalam, juga dipasang pembujur-pembujur seperti pembujur-pembujur sisi tersebut di atas dengan jarak antara yang sama, ini dinamakan pembujur-pembujur alas (*bottom longitudinal*) dan, pada alas dalam, pembujur alas dalam (*inner bottom longitudinal*). Pada alas juga dipasang wrang-wrang, dan dihubungkan pada pelintang-pelintang sisi. Penumpu tengah dan penumpusamping sama halnya seperti pada sistem melintang. Pada geladak juga dipasang pembujur-pembujur seperti halnya pembujur-pembujur yang lain tersebut di atas. Pembujur-pembujur ini dinamakan pembujur geladak (*deck longitudinal*). Balok-balok geladak dengan bilah yang besar dipasang pada setiap pelintang sisi dan disebut pelintang geladak (*deck transverse*).

## 2.4 Beban-beban yang bekerja pada Kapal

Aspek penting dari desain kapal adalah kekuatan kapal. Ini merupakan kemampuan struktur kapal untuk menahan beban yang diberikan pada kapal itu sendiri. Sekat *longitudinal* sangat penting untuk memperkuat kekuatan membujur lambung kapal di bawah momen lentur kapal. Sekat *longitudinal* juga membagi kapal menjadi beberapa bagian [16]. Pembuatan kapal harus menggunakan bahan material yang tepat agar kinerja kapal bagus dan aman dalam berlayar. Pemilihan bahan material ini mempunyai banyak pengaruh teknis dalam suatu kapal. Salah satunya ialah segi kekuatan kapal jika diberi beban [17].

Adapun beban-beban yang bekerja pada kapal adalah sebagai berikut.

### a. Beban Geladak Cuaca (*Load on Weather Decks*)

Geladak cuaca merupakan semua geladak bebas terkecuali geladak tidak efektif yang terletak di belakang 0.15 dari garis tegak Haluan (FP) [18]. Dimana beban geladak cuaca dapat dihitung dengan persamaan 2.1

$$P_D = P_0 \frac{20.T}{(10+z-T).H} \cdot C_D \quad (2.1)$$

Dimana :

$P_D$  = Beban Geladak Cuaca (N/mm<sup>2</sup>)

$P_0$  = *Basic external dynamic load* (N/mm<sup>2</sup>)

$T$  = Sarat Kapal (m)

$z$  = Jarak tengah antara pusat beban engan garis bawah (m)

$H$  = Tinggi Kapal (m)

$C_D$  = Koefisien *Drag*

### b. Beban Luar Sisi Kapal (*Load on The Ship's Side*)

Beban luar sisi kapal merupakan beban yang terjadi atau timbul karena adanya gelombang air laut yang menghempas sisi luar kapal [8].

Beban luar sisi kapal dibagi atas dua beban, yaitu:

Beban luar sisi kapal di bawah garis muat air ( $P_{s1}$ ) yang dapat dilihat pada persamaan 2.2

$$P_{S_1} = 10.(T - z) + P_0.C_f(1 + \frac{z}{T}) \quad (2.2)$$

Dimana:

$P_D$  = Beban geladak cuaca (N/mm<sup>2</sup>)

$P_0$  = *Basic external dynamic load* (N/mm<sup>2</sup>)

$P_{S_1}$  = Beban luar sisi kapal di bawah garis muat air (N/mm<sup>2</sup>)

$P_{S_2}$  = Beban luar sisi kapal di atas garis muat air (N/mm<sup>2</sup>)

$T$  = Sarat kapal (m)

$z$  = Jarak tengah antara pusat beban engan garis bawah (m)

$H$  = Tinggi Kapal (m)

$C_f$  = Faktor distribusi

c. Beban Luar Alas Kapal (*External Load on the Ship's Bottom*)

Beban luar alas kapal merupakan beban yang terjadi atau timbul karena adanya tekanan dari pemindahan volume air oleh kapal [18]. Persamaan 2.4 ialah persamaan beban luar alas kapal

$$P_B = 10.T + P_0.C_f \quad (2.3)$$

Dimana:

$P_B$  = Beban luar alas kapal (N/mm<sup>2</sup>)

$P_0$  = *Basic external dynamic load* (N/mm<sup>2</sup>)

$T$  = Sarat kapal (m)

$C_f$  = Faktor distribusi

## 2.5 Tegangan yang Bekerja pada Kapal

Tegangan didefinisikan sebagai tahapan terhadap gaya-gaya luar. Ini diukur dalam bentuk gaya per satuan luas. Dalam praktek tegangan sering diberikan dua pengertian: (1) gaya per satuan luas, (2) tegangan total gaya adalah gaya total pada suatu bidang [19].

Tegangan yang bekerja pada struktur kapal umumnya disebabkan oleh beban aksial dan beban lentur. Akibat dari beban-beban tersebut menghasilkan tegangan aksial dan tegangan lentur yang menyebabkan kelelahan pada struktur kapal.

1. Tegangan aksial (*axial stress*), adalah tegangan yang bekerja secara tegak lurus terhadap sumbu penampang.
2. Tegangan lentur (*bending stress*), adalah tegangan yang bekerja secara sesajar sepanjang balok dengan arah yang membujur.
3. Tegangan geser (*shear stress*), berbeda dengan tegangan tarik dan tekan dimana tegangan ini umumnya disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja secara transversal pada suatu batang.

Hubungan antara tegangan yang dihasilkan oleh suatu gaya P yang bekerja pada setiap luas satuan A mengalami tegangan yaitu:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.4)$$

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

$P$  = Gaya total (N)

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

Analisis tegangan metode numerik dengan bantuan *software* umumnya menggunakan tegangan ekuivalen atau yang biasa disebut dengan *Von Mises Stress*. Tegangan ekuivalen ( $\sigma_e$ ) ini dituliskan dengan bentuk sebagai berikut:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]} \quad (2.5)$$

Dimana subskrip 1, 2, dan 3 menyatakan arah sumbu tegangan-tegangan yang bekerja. Tegangan-tegangan yang bekerja ke tiga sumbu arah tersebut. Secara umum mempertimbangkan adanya tekuk (*buckling*) dan luluh (*yielding*). Tegangan-tegangan yang bekerja terdistribusi pada setiap bagian/elemen konstruksi kapal *Double Hull Tanker* termasuk besaran tegangan yang dihasilkan [20].

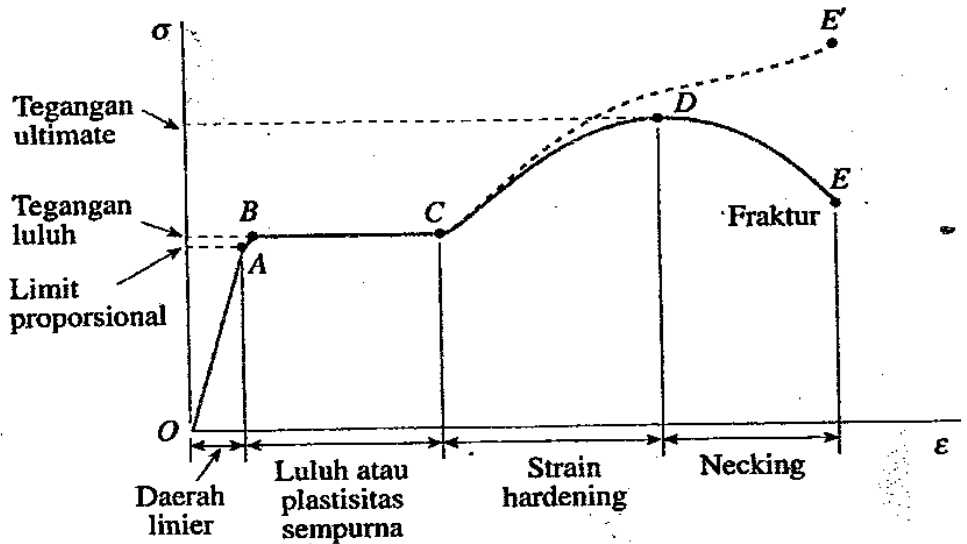
## 2.6 Regangan

Sesuai dengan bunyi Hukum Hooke bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangannya. Adapun regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang atau pendek batang dengan ukuran mula-mula dinyatakan pada persamaan 2.3

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.6)$$

Dimana:

- $\varepsilon$  = Regangan
- $\Delta L$  = Pertambahan panjang (m)
- $L$  = Panjang mula-mula (m)



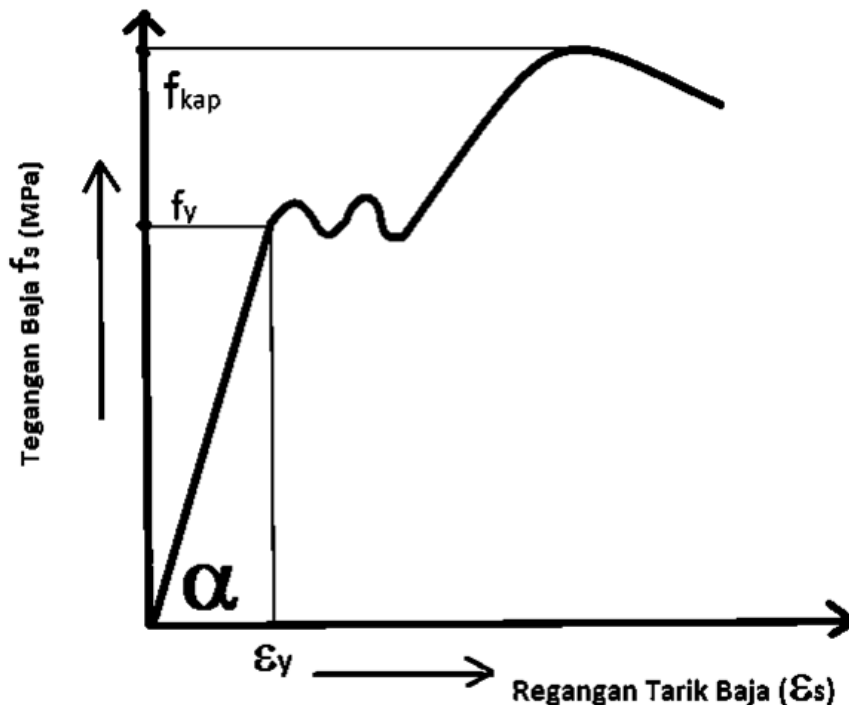
Gambar 2.12. Diagram Tegangan-Regangan Baja [21]

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.12, batas elastis (*elastic limit*) bahan tercapai. Setelah batas elastisitas dicapai, tiba-tiba terjadi pemanjangan, sementara beban pada batang sesungguhnya turun. Yaitu bahan secara tiba-tiba mulur yang disebut titik mulur (*yield point*), tetapi bahan segera memperlihatkan lagi kemampuan menahan kenaikan tegangan, tetapi pemanjangan sekarang naik dengan laju yang lebih cepat dari tegangan sampai mencapai titik  $D$  yaitu tegangan maksimum batas kekuatan bahan. Tegangan ini disebut tegangan batas (*ultimate stress*) yaitu tegangan suatu bahan yang dapat ditahan tanpa menimbulkan kerusakan. Diluar titik  $D$ , pemanjangan akan berlanjut ke titik  $E$ , tetapi secara perlahan tegangan berkurang (posisi *necking*), sampai akhirnya batang patah.



## 2.7 Hubungan Tegangan dan Regangan

Sebuah gaya dan momen yang bekerja pada sebuah titik potongan penampang menghasilkan distribusi yang bekerja pada penampang tersebut. Secara umum, tegangan terbagi dalam dua macam yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal adalah intensitas gaya normal per unit luasan dan dinyatakan dalam unit gaya per unit luasan, misalnya  $\frac{lb}{in^2}$  atau  $\frac{N}{m^2}$ . Apabila gaya-gaya dikenakan pada ujung-ujung batang sedemikian hingga batang dalam kondisi tertarik, maka terjadi suatu tegangan Tarik pada ujung batang. Jika batang dalam kondisi tertekan maka terjadi tegangan tekan. Gaya aksi dari gaya yang bekerja adalah melalui pusat setiap bagian penampang melintang batang.



Gambar 2.13. Hubungan antara Tegangan dan Regangan [22]

Hubungan tegangan dan regangan dapat dipisahkan menjadi komponen plastik dan komponen elastis dimana bentuk kurvanya ada pada gambar 2.13. Regangan linear elastis ialah bagian dari regangan yang diperoleh kembali saat dibongkar. Regangan plastik (*nonlinear*) merupakan bagian regangan yang tidak dapat kembali lagi pada bentuk semula [23].

## 2.8 Perhitungan Kekuatan Batas

Diakui dengan baik bahwa pendekatan berbasis *limit state* adalah metodologi yang jauh lebih baik untuk desain struktural dan untuk perhitungan kekuatan. Sebuah hal yang tidak mungkin untuk menentukan keamanan struktural tanpa diketahui kekuatan batasnya.

Kekuatan batas didefinisikan sebagai suatu kondisi dimana komponen struktural tertentu atau seluruh sistem struktural gagal untuk melakukan fungsi yang telah ditentukan. Ada empat jenis kekuatan batas, yaitu *serviceability limit states* (SLS), *ultimate limit states* (ULS), *fatigue limit states* (FLS), dan *accidental limit states* (ALS)

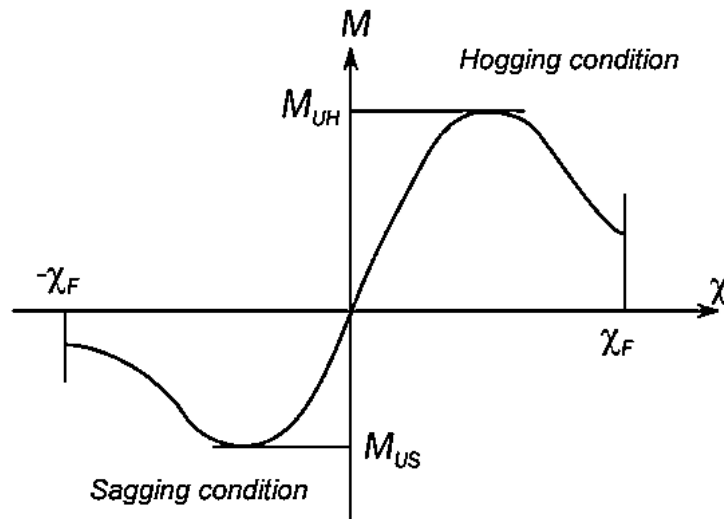
Kemampuan untuk memprediksi secara akurat kekuatan ultimate *hull girder* ketika mengalami pembengkokan longitudinal adalah salah satu aspek yang penting dari desain struktur kapal. Kekuatan batas adalah batas kekuatan struktur untuk mengalami pembebanan maksimum sebelum mengalami *collapse* total [24].

Untuk memvalidasi *finite element method* sebagai alat yang cocok untuk menghitung *ultimate strength* dari struktur dan juga karakteristiknya, serangkaian metode elemen hingga *nonlinier* dilakukan dengan berbagai variasi parameter.

$$M_t \leq \frac{M_u}{y_R} \quad (2.7)$$

Kekuatan batas adalah batas kekuatan struktur untuk mengalami pembebanan maksimum sebelum mengalami *collapse* total [24]. Perhitungan kekuatan batas kapal tanker harus dihitung dengan metode NLFEA atau metode *buckling* dan harus memenuhi kriteria Persamaan 2.4 [25].

Dimana  $M_t$  adalah momen lentur-batas total vertikal dan  $y_R$  adalah faktor keamanan untuk kekuatan batas-lentur. Nilai kelengkungan yang positif menunjukkan kondisi *hogging* dan nilai kelengkungan yang negatif menunjukkan kondisi *sagging*.



Gambar 2.14. Grafik Kekuatan Momen Lentur dan Kelengkungan [26]

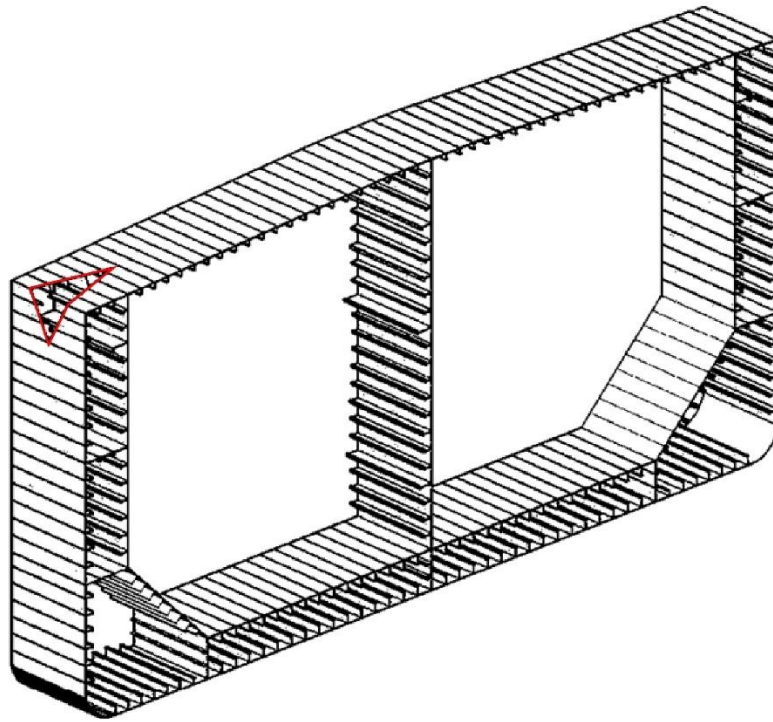
Hubungan antara kekuatan-batas momen lentur dan kelengkungan ditunjukkan pada Gambar 2.14.

## 2.9 Model Kerusakan Tubrukan Arah Membujur

Kekuatan batas membujur dari kapal *Double Hull Tanker* dioperasikan dengan menggunakan solusi numerik. Adapun dimensi dari kapal *Double Hull Tanker* yang akan diujikan yaitu panjang keseluruhan (LOA) adalah 234 m, lebar kapal (B) adalah 44 m, dan tinggi kapal (H) adalah 22,1 m. Variabel yang dipertimbangkan yaitu konfigurasi/struktur *stiffener* antara tipe kapal *Double Hull Tanker* tipe T3 dan T4 berbeda dengan analisis kekuatan dengan kerusakan seperti pada Tabel 2.1 berikut ini :

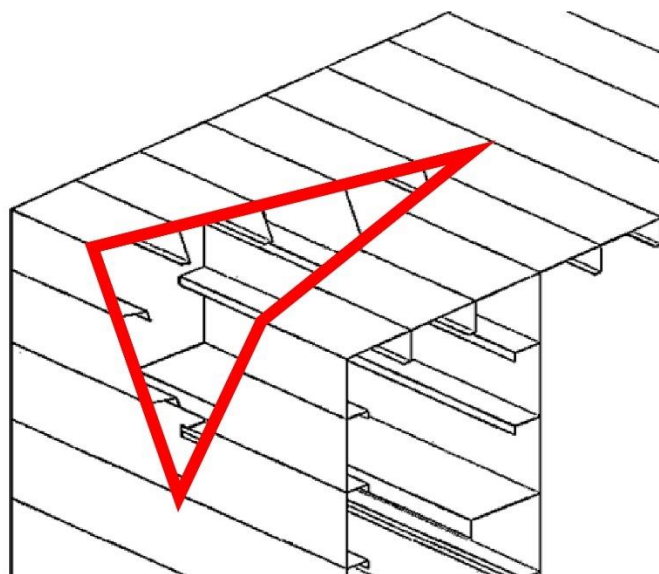
Tabel 2.1 Dimensi kerusakan tubrukan bagian haluan kapal

Bagian	Dimensi	
	Panjang	Tinggi
Lambung Luar ( <i>outerhull</i> )	2500 mm	2367 mm
	50% dari jarak gading	3 jarak <i>stiffener</i>
Lambung Dalam ( <i>innerhull</i> )	1000 mm	801 mm
	20% dari jarak gading	1 jarak <i>siffener</i>
Alas <i>Deck</i>	2500 mm	4100 mm



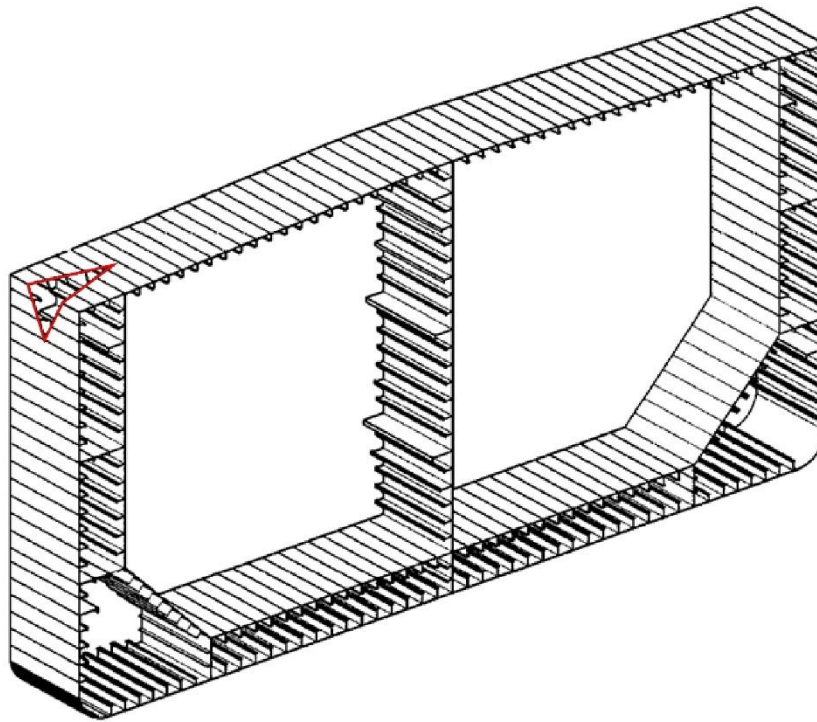
Gambar 2.15. Model penampang Double Hull Tanker Tipe T3

Pada gambar 2.15. menunjukkan bentuk pemodelan penampang kapal *double hull tanker* tipe T3 ketika mengalami tubrukan bentuk haluan kapal ke sisi *deck* bagian membujur kapal.



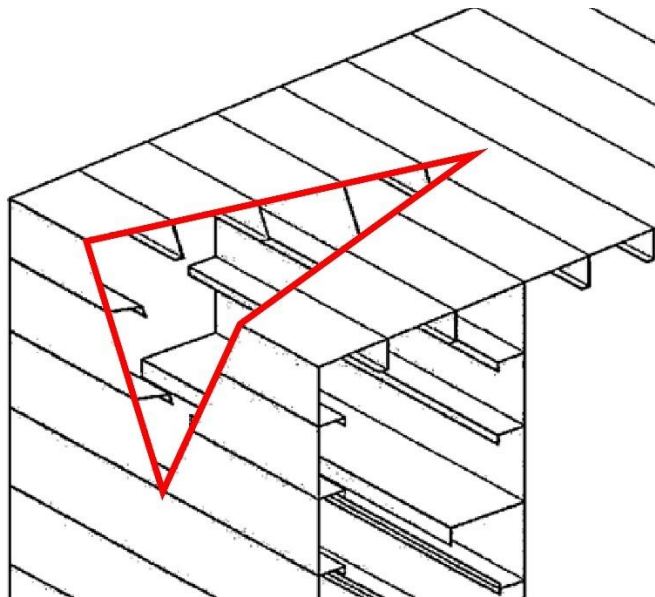
Gambar 2.16. Model Collision Tipe T3

Pada gambar 2.16 menunjukkan beberapa elemen penampang kapal hilang diakibatkan kerusakan tubrukan tersebut.



Gambar 2.17. Model penampang Double Hull Tanker Tipe T4

Pada gambar 2.17. menunjukkan bentuk pemodelan penampang kapal *double hull tanker* tipe T4 ketika mengalami tubrukan bentuk haluan kapal ke sisi *deck* bagian membujur kapal.



Gambar 2.18. Model *Collision* Tipe T4

Pada gambar 2.18 menunjukkan beberapa elemen penampang

kapal hilang diakibatkan kerusakan tubrukan tersebut.

## **2.10 Metode Elemen Hingga**

Metode Elemen Hingga adalah metode numerik untuk mendapatkan solusi permasalahan diferensial, baik persamaan diferensial biasa (*Ordinary Differential Equation*) maupun persamaan diferensial parsial (*Partial Differential Equation*). Pada awalnya, metode elemen hingga dikembangkan untuk memecahkan masalah dibidang mekanika benda padat (*solid mechanic*), tetapi kini metode ini sudah merambah hampir ke semua masalah seperti mekanika fluida, perpindahan panas, elektromagnetik, getaran, serta analisis modal [27].

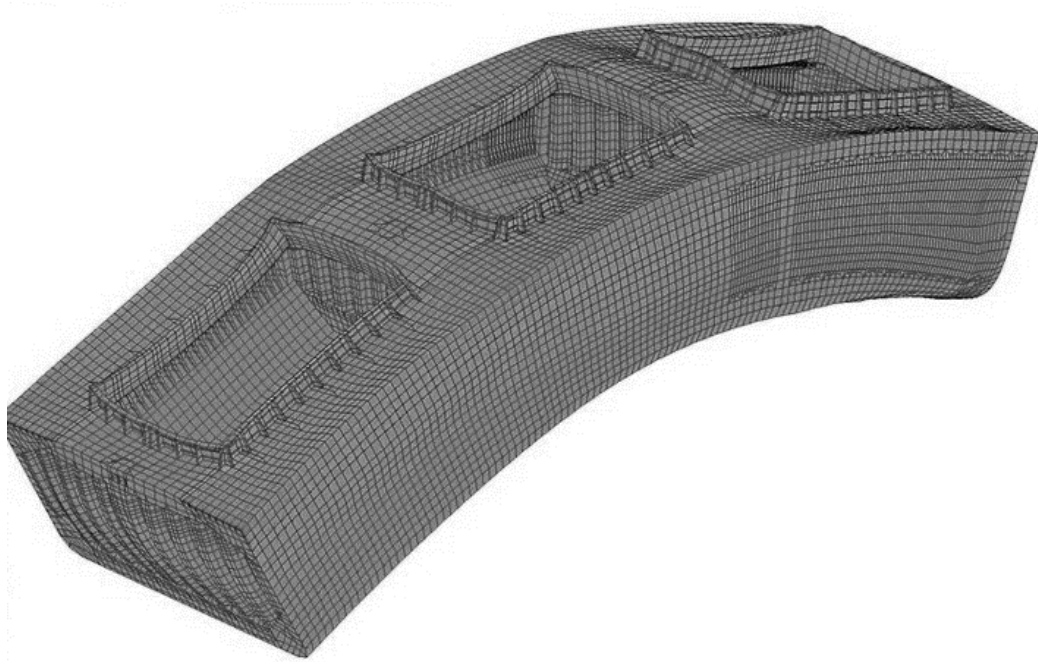
Dalam totalitasnya, metode elemen hingga sangat luas dan kuat; mencakup banyak fitur khusus dan teknik, serta memiliki banyak variasi aplikasi baik struktural maupun nonstruktural. Aplikasi struktural tidak hanya mencakup analisis defleksi kecil dua atau tiga dimensi, namun juga stabilitas struktural (*buckling*) dan struktural dinamis.

Konsep dasar metode elemen hingga sama seperti dalam analisis kerangka matriks yaitu bahwa struktur dapat direpresentasikan sebagai kumpulan elemen struktural individu yang saling berhubungan pada sejumlah node [24]. Bila suatu kontinu dibagi-bagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil (*subregion*) maka bagian-bagian kecil ini disebut dengan elemen hingga. Elemen hingga merupakan pendekatan bagian-bagian dengan menggunakan polinomial yang mana masing-masing terdefinisi pada daerah (elemen) yang kecil dan dinyatakan dalam harga-harga titik simpul dari fungsi tersebut [28].

Muis Alie [3] , memodelkan elemen hingga *single hull tanker* ukuran Panamax dengan struktur satu sisi. Model ini mencakup tiga ruang kargo dan dua sekat melintang dalam arah membujur. Kerusakan diasumsikan berada ditengah.

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan matematis dari suatu gejala

phisis yaitu tegangan, regangan, kekuatan, dan analisa getaran.



Gambar 2.19. *Three-cargo-hold single bulk carrier* [29]

Metode elemen hingga inilah yang dapat membandingkan antara perhitungan dengan menggunakan *software* catia dan dengan menggunakan perhitungan secara manual. Dalam hal ini metode elemen hingga yang akan dipergunakan adalah metode elemen hingga 2D (bidang) yaitu elemen segitiga dengan 3 node. Metode elemen hingga 2D dalam hal ini elemen bidang segitiga dengan 3 node didasarkan untuk keperluan analisa suatu *continuum* yang berupa luasan. Permasalahan yang dapat dipecahkan oleh elemen bidang segitiga ini menyangkut matrik kekakuan elemen, *plain strain* dan *plain stress* serta vector- vector gaya yang bekerja pada elemen dari produk tongkat lansia tersebut. Secara terperinci hal-hal yang disebut akan ditinjau dalam system koordinat *local* dan *system* koordinat global [30].