

**SKRIPSI**

**PENGARUH JARAK GADING TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN  
DAN KUAT BATAS PADA *MIDSHIP* KAPAL *SINGLE HULL VERY  
LARGE CRUDE CARRIER* (VLCC)**

Disusun dan diajukan oleh

**SALSABILA ASKI**

**D321 16 310**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**PENGARUH JARAK GADING TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN  
DAN KUAT BATAS PADA *MIDSHIP* KAPAL *SINGLE HULL VERY  
LARGE CRUDE CARRIER (VLCC)***

Disusun dan diajukan oleh:

**SALSABILA ASKI**

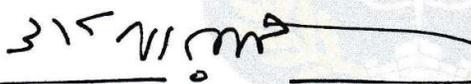
**D321 16 310**

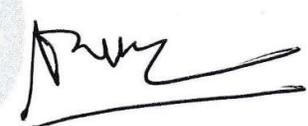
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 10 September 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

  
**Muhammad Zubair Muis Alie, ST., MT., Ph.D**  
NIP.197506082005011003

  
**Ir. Juswan, MT**  
NIP.196212311989031001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Kelautan



**Dr. Chairul Paotonan, S.T., M.T.**  
NIP.197506052002121003

## PERNYATAAN KEASLIAN SKripsi

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Salsabila Aski  
Nomor Mahasiswa : D32116310  
Program Studi : Teknik Kelautan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“PENGARUH JARAK GADING TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN  
DAN KUAT BATAS PADA *MIDSHIP* KAPAL *SINGLE HULL VERY LARGE*  
*CRUDE CARRIER (VLCC)*”

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, 10 September 2021

Yang menyatakan,

  
Salsabila Aski

## ABSTRAK

**SALSABILA ASKI**, Pengaruh Jarak Gading Terhadap Distribusi Tegangan dan Kuat Batas Pada *Midship* Kapal *Single Hull Very Large Crude Carrier* (VLCC). Dibimbing oleh (**Muhammad Zubair Muis Alie**, dan **Juswan**).

Kekuatan struktur kapal merupakan salah satu aspek teknis yang mempengaruhi tingkat keamanan kapal disaat bereksplotasi baik dikondisi laut yang tenang maupun bergelombang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh distribusi tegangan dan kuat batas pada *midship* Kapal *Single Hull Very Large Crude Carrier* (VLCC) dalam kondisi *hogging* dan *sagging*. Analisis distribusi tegangan dan kuat batas menggunakan program bantu fortran yang diaplikasikan pada metode *Smith*. Dalam hal ini objek penelitian adalah tiga jarak gading *midship* kapal *Single Hull Very Large Crude Carrier* (VLCC) yaitu 1670 mm, 4670 mm, dan 7670 mm. Ketidaksempurnaan awal, retak dan tegangan sisa pengelasan diabaikan. Distribusi tegangan maksimum terjadi pada jarak gading 1670 mm pada *step* 48 untuk kondisi *hogging* dan *step* 50 untuk kondisi *sagging* dengan nilai momen berturut-turut  $0,1025 \times 10^{13}$  Nmm dan  $0,1017 \times 10^{13}$  Nmm. Kekuatan batas momen lentur maksimum kapal *single hull* VLCC pada jarak gading 1670 mm pada kondisi *hogging*  $0,103 \times 10^{13}$  Nmm dan kondisi *sagging*  $-0,1001 \times 10^{13}$  Nmm.

**Kata Kunci:** *Single Hull* VLCC, *Hogging*, *Sagging*, Distribusi Tegangan, Kuat Batas, Jarak Gading, Metode *Smith*

## **ABSTRACT**

**SALSABILA ASKI.** *The Effect of Frames Space on Stress Distribution and Ultimate Strength of Single Hull Very Large Crude Carrier (VLCC). Supervised by (Muhammad Zubair Muis Alie, and Juswan).*

*The ultimate strength is one of the technical aspects which affect to the safety level of ship in still water and wave condition. The objective of the present study is to know the influence of stress distribution and ultimate strength on single hull very large crude carrier (VLCC) under hogging and sagging stages. The analysis of stress distribution and ultimate strength uses the application of fortran software to be implemented in Smith's method. In this case three frames space of VLCC cross section are investigated namely 1670 mm, 4670 mm dan 7670 mm. The initial imperfection, crack and welding residual stress are rejected. The maximum of stress distribution occurs on frame space of 1670 mm, where the steps are 48 and 50 in hogging and sagging condition respectively. The ultimate bending moment capacity are  $0,1025 \times 10^{13}$  Nmm in hogging and  $0,1017 \times 10^{13}$  Nmm in sagging. It is found that capacity the ultimate bending moment of single hull VLCC on frame space 1670 mm are  $0,103 \times 10^{13}$  Nmm and  $-0,1001 \times 10^{13}$  Nmm under hogging and sagging condition, respectively.*

**Keywords:** *Single Hull VLCC, Hogging, Sagging, Stress Distribution, Ultimate Strength, Frames Space, Smith's Method.*

## PRAKATA

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Tiada kata selain rasa syukur paling layak menghiasi bibir yang telah merasakan begitu banyak kurunia kenikmatan dalam kehidupan. Dialah yang menciptakan langit dan bumi dengan segala isinya termasuk yang ada di kedalaman laut, lautan di atasnya kapal bisa berlayar dengan tenang, pantainya di belahan dunia terlihat begitu indah. Salawat dan salam kepada nabi ummat islam yang beriman, salawat yang menjadi tiket diterimanya doa, menjadi cahaya kehidupan pembacanya dan kartu pengenalan di padang mahsyar di hadapan nabi Allah kelak. *Alhamdulillah*, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini, yang berjudul: “PENGARUH JARAK GADING TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN DAN KUAT BATAS PADA *MIDSHIP* KAPAL *SINGLE HULL VERY LARGE CRUDE CARRIER* (VLCC)” yang merupakan syarat untuk menyelesaikan Pendidikan di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyusunan skripsi ini, banyak sekali hambatan dan rintangan yang penulis hadapi namun akhirnya penulis bisa melaluinya hal ini karena adanya bantuan dan juga bimbingan dari berbagai pihak baik moral maupun spiritual dan secara langsung maupun tidak langsung. Penulis banyak mendapat pelajaran, dukungan motivasi, bantuan berupa bimbingan yang sangat berharga dari berbagai pihak mulai dari pelaksanaan hingga penyusunan laporan skripsi ini selesai.

Pada kesempatan ini penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada **Bapak Muhammad Zubair Muis Alie, ST., MT., Ph.D** selaku pembimbing pertama dan **Bapak Ir. Juswan, MT.**, selaku pembimbing kedua yang senantiasa membimbing serta memberikan saran, arahan, dan waktu luangnya sejak dimulainya pembuatan skripsi ini sampai selesai. Serta kepada Dosen penguji, **Bapak Daeng Paroka, ST.,MT.,Ph.D** dan **Dr. Taufiqur Rachman, ST, MT.**, yang turut memberikan masukan sehingga skripsi ini dapat lebih baik lagi.

Selain itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya serta penghargaan secara tulus dan ikhlas kepada yang terhormat:

1. Orang tua, Ibunda **Syarifah Aliyah Al-Mahdaly, S.Ag.**, Ayahanda (**Alm**) **Abd. Khalik Hi. Djuraedje, SE.**, dan Ayahanda **Haeruddin, S.Sos.**, yang

telah memberikan segala bentuk do'a, bimbingan, nasihat, kasih sayang, motivasi, dan pengorbanan materilnya kepada penulis selama ini.

2. Bapak **Dr. Chairul Paotonan, S.T., M.T.**, selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Ashury ST., MT.**, selaku Sekretaris Kemahasiswaan Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Dr. Eng. Firman Husain, ST., MT.**, selaku Sekertaris Departemen Teknik Kelautan sekaligus Penasehat Akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan.
5. **Seluruh Dosen Pengajar dan Staff Administrasi** yang telah memberikan ilmu dan membantu aktivitas administrasi selama dalam proses perkuliahan hingga menyelesaikan skripsi ini.
6. Adik-adikku, **Husnul Mar'iyah, Fitri Khalishah, dan Muhammad Hasyif Aflah** yang tak henti-hentinya memberikan kasih sayang, dukungan dan do'a kepada penulis.
7. Keluarga besar **Hi. Djuraedje dan Syed Umar Al-Mahdaly** yang telah memberikan segala bentuk do'a, nasihat, motivasi, dan materilnya kepada penulis.
8. **Sdr. Muhammad Ayyub Ansyari** yang telah memberikan motivasi, bantuan dalam segala hal, serta menjadi tempat berbagi suka dan duka selama jadi mahasiswa baru hingga menyelesaikan skripsi ini.
9. **Sdr(i). Khintan dan Baiq Safiqa** terima kasih untuk perhatian, semangat, bantuan, dan nasihat.
10. **Teman-teman mahasiswa Teknik Kelautan 2016**, khususnya Islamiah, Nur Azisah, Riska Damayanti, Jessica Indah Frisiliya, Fitriyanti yang selalu memberi motivasi dan dukungannya serta waktu yang telah kita lalui bersama dalam suka dan duka. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terimakasih kepada kanda-kanda Senior dan dinda-dinda junior atas motivasi dan dukungannya.
11. **Teman-teman Laboratorium OSAREL**, yang telah menjadi teman seperjuangan selama berada di labo dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

12. **Teman-teman Techno-Sid, Tolitoli-UPG, Pentium Teater Kampus Unhas**, yang telah menjadi keluarga selama penulis berada di perantauan, tempat menuangkan keluh kesah, membantu dan selalu memberi motivasi. Serta seluruh orang yang tak bisa disebutkan satu-satu persatu, terima kasih atas semua bantuan yang telah diberikan selama ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna karena terbatasnya pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penulis. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan adanya saran dan masukan bahkan kritik membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi perkembangan ilmu Teknik Kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Gowa, 10 September 2021

**Salsabila Aski**

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK .....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	iv
PRAKATA .....	v
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR ISTILAH .....	xiii
DAFTAR NOTASI .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
BAB I <u>P</u> ENDAHULUAN .....	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 <u>T</u> INJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Sejarah Kapal <i>Tanker</i> .....	5
2.2 Kapal <i>Crude Carrier</i> .....	7
2.3 Kapal <i>Product Tanker</i> .....	7
2.4 Kapal <i>Chemical Tanker</i> .....	8
2.5 Ukuran Kapal <i>Tanker</i> .....	9
2.6 Kapal <i>Tanker Singel Hull Very Large Crude Carrier (VLCC)</i> ....	10
2.7 Kekuatan Struktur Kapal .....	13
2.8 Distribusi Tegangan .....	14
2.9 Kekuatan Batas Kapal <i>Tanker (Ultimate Strength)</i> menurut Metode	

<i>Smith</i> .....	18
2.10 Metode <i>Smith</i> Untuk Analisa Kekuatan .....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Jenis Penelitian .....	26
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	26
3.3 Peyajian data .....	26
3.4 Analisa Data .....	31
3.5 Kerangka Alur Penelitian .....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	35
4.1 Distribusi Tegangan pada Kondisi <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i> .....	35
4.2 Kekuatan Batas Kapal .....	38
4.3 Perbandingan Kekuatan Batas Kapal pada Jarak Gading .....	40
BAB 5 PENUTUP.....	42
5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA .....	44
LAMPIRAN .....	46

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1	Zoroaster, Kapal <i>Tanker</i> Pertama di Dunia.....	6
Gambar 2.2	Gluckauf, Kapal <i>Tanker</i> Minyak Modern Pertama.....	6
Gambar 2.3	DAEWOO 5403, <i>Cruide Oil Tanker</i> .....	7
Gambar 2.4	Kapal <i>Product Tanker</i> .....	8
Gambar 2.5	Kapal <i>Chemical Tanker</i> .....	9
Gambar 2.6	Penampang <i>Singel Hull Tanker</i> .....	11
Gambar 2.7	Struktur Utama Batang pada Struktur <i>Bottom</i> dan Sekat Melintang pada Kapal <i>Tanker Single Hull</i> .....	12
Gambar 2.8	Struktur Utama Batang pada Bagian Tengah <i>Tanker</i> .....	12
Gambar 2.9	Struktur Utama Batang Pada Bagian Sayap <i>Tanker</i> .....	13
Gambar 2.10	Penampang Melintang Bagian Tengah untuk Kapal Jenis VLCC. ....	13
Gambar 2.11	Momen Lentur Gelombang pada Gelombang Reguler .....	14
Gambar 2.12	Kondisi <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i> .....	16
Gambar 2.13	Distribusi Beban Pada Kapal .....	17
Gambar 2.14	Contoh Deformasi karena Beban Melintang.....	17
Gambar 2.15	Distribusi Beban, Gaya Geser dan Momen Lentur .....	18
Gambar 2.16	Grafik Kekuatan Momen Lentur dan Kelengkungan.....	18
Gambar 2.17	Penampang <i>Midship</i> Kapal <i>Single Hull VLCC</i> .....	20
Gambar 2.18	Hubungan Rata-Rata Tegangan-Regangan Dari .....	21
Gambar 3.1	Konfigurasi Penampang Kapal Tanker VLCC.....	27
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian .....	34
Gambar 4.1	Distribusi Tegangan Jarak Gading 1670 mm Kondisi <i>Sagging</i> .....	35
Gambar 4.2	Distribusi Tegangan Jarak Gading 1670 mm Kondisi <i>Hogging</i> .....	36
Gambar 4.3	Distribusi Tegangan Jarak Gading 4670 mm Kondisi <i>Sagging</i> .....	36
Gambar 4.4	Distribusi Tegangan Jarak Gading 4670 mm Kondisi <i>Hogging</i> .....	37
Gambar 4.5	Distribusi Tegangan Jarak Gading 7670 mm Kondisi <i>Sagging</i> .....	37
Gambar 4.6	Distribusi Tegangan Jarak Gading 7670 mm Kondisi <i>Hogging</i> .....	38
Gambar 4.7	Grafik Kekuatan Batas Jarak Gading 1670 mm pada Kondisi <i>Hogging</i> .....	38

Gambar 4.8 Grafik Kekuatan Batas Jarak Gading 4670 mm pada Kondisi <i>Hogging</i> .....	39
Gambar 4.9 Grafik Kekuatan Batas Jarak Gading 7670 mm pada Kondisi <i>Hogging</i> .....	39
Gambar 4.10 Grafik Kekuatan Batas Jarak Gading 1670 mm pada Kondisi <i>Sagging</i> .....	39
Gambar 4.11 Grafik Kekuatan Batas Jarak Gading 4670 mm pada Kondisi <i>Sagging</i> .....	40
Gambar 4.12 Grafik Kekuatan Batas Jarak Gading 7670 mm pada Kondisi <i>Sagging</i> .....	40
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Kekuatan Batas Setiap Jarak Gading pada Kondisi <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i> .....	41

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1	Kategori Ukuran Kapal <i>Tanker</i> .....	9
Tabel 3.1	Konfigurasi Elemen Ruang Muat Kapal Tanker <i>Single Hull VLCC</i> .....	27
Tabel 4.1	Kekuatan Batas Kapal <i>Singel Hull VLCC</i> .....	41

## DAFTAR ISTILAH

- Distribusi Tegangan : Distribusi tegangan merupakan penyebaran tegangan yang terjadi akibat beban dari dalam maupun dari luar terhadap suatu bidang
- Hogging* : Kondisi saat bagian tengah kapal melengkung ke atas
- Metode *Smith* : Metode alternatif untuk menghitung kekuatan batas akibat momen lentur *vertikal*
- Modulus Elastisitas : Sebuah ukuran yang digunakan untuk merepresentasikan kekakuan suatu bahan.
- Modulus Geser : Satu dari beberapa kuantitas untuk pengukuran kekakuan suatu bahan
- Momen : Sebuah besaran yang menyatakan besarnya gaya yang bekerja pada sebuah benda sehingga mengakibatkan benda tersebut berotasi.
- Sagging* : Kondisi saat bagian tengah kapal melengkung ke bawah
- Singel-hull* : Lambung tunggal, memiliki 1 lapisan kedap air yang membentang disepanjang struktur kapal tanker.
- Tanker : Jenis kapal yang biasanya digunakan untuk mengangkut muatan berupa cairan, seperti minyak, dan produk turunannya
- VLCC : *Very Large Cruide Carrier*

## DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
$B$	Lebar kapal	(m)
$B_x$	Gaya apung	(N)
$C$	Koefisien momen lentur	
$Cb$	Koefisien blok kapal	
$D$	Tinggi kapal	(m)
$E$	Modulus elastisitas	(N/mm <sup>2</sup> )
$F_x$	Gaya geser arah sumbu x	(N)
$I$	Inersia penampang	(mm <sup>4</sup> )
$I_{min}$	Inersia penampang yang diizinkan	(mm <sup>4</sup> )
$L$	Panjang kapal	(m)
$M$	Momen	(N.mm)
$M_{SW}$	Momen lentur pada air tenang	(N.mm)
$M_T$	Momen lentur- batas total	(N.mm)
$M_U$	Momen kekuatan batas kapal	(N.mm)
$M_{US}$	Momen kekuatan batas momen lentur <i>Sagging</i>	(N.mm)
$M_{UH}$	Momen kekuatan batas momen lentur <i>Hogging</i>	(N.mm)
$M_H$	Momen tekuk <i>horizontal</i>	(N.mm)
$M_V$	Momen tekuk <i>vertikal</i>	(N.mm)
$M_w$	Momen lentur akibat gelombang	(N.mm)
$P$	Gaya luar total beban	(N)
$S$	Modulus penampang	(mm <sup>3</sup> )

$V_{(x)}$	Gaya geser di lokasi x	(N)
$W_{(x)}$	Berat di lokasi x	(N)
$Z$	Jarak dari sumbu netral ke lokasi tegangan lentur	(m)
$\sigma$	Tegangan lentur	(N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{\max}$	Tegangan lentur maksimum	(N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_p$	Tegangan lentur ijin	(N/mm <sup>2</sup> )
$\gamma_r$	Faktor keamanan	
$\varepsilon_0$	Regangan aksial pada titik 0	

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Lampiran 1.	Nilai Momen dan Rotasi Jarak Gading 1670 mm .....	46
Lampiran 2.	Nilai Momen dan Rotasi Jarak Gading 4670 mm .....	50
Lampiran 3.	Nilai Momen dan Rotasi Jarak Gading 7670 mm .....	54
Lampiran 4.	Nilai Momen dan Rotasi pada Kondisi <i>Hogging-Sagging</i> jarak gading 1670 mm.....	58
Lampiran 5.	Nilai Momen dan Rotasi pada Kondisi <i>Hogging-Sagging</i> jarak gading 4670 mm.....	66
Lampiran 6.	Nilai Momen dan Rotasi pada Kondisi <i>Hogging-Sagging</i> jarak gading 7670 mm.....	74

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kapal merupakan alat transportasi laut yang mampu membawa muatan berupa barang dengan jumlah yang besar dibanding transportasi lainnya. Berdasarkan dari fungsi kapal tersebut khususnya pada kapal niaga sangat diperhatikan dari segi kekuatan konstruksi untuk bisa beroperasi dengan waktu yang lama serta dengan lingkungan yang cepat berubah. 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 *external* seperti beban gelombang laut dan angin, serta posisi dari kapal tersebut terhadap beban gelombang laut dan beban angin yang datang ataupun terjadi.

Proses perancangan sebuah kapal mencakup berbagai aspek baik teknis, ekonomis dan eksploitasi. Kekuatan struktur konstruksi merupakan salah satu aspek teknis yang turut mempengaruhi tingkat keamanan kapal disaat bereksploitasi baik dikondisi laut yang tenang maupun bergelombang. Tolok ukur yang dapat menjamin kekuatan struktur kapal adalah tegangan (*stress*) yang dialami oleh struktur konstruksi disaat beroperasi dikondisi kritis haruslah lebih kecil daripada tegangan dari material yang dipakai untuk membentuk komponen konstruksi [1].

Hal tersebut menjadi indikasi bahwa sebuah kapal sama halnya dengan struktur yang lainnya, mempunyai kekuatan batas, dan apakah untuk tujuan desain berkala, investigasi kerusakan, atau untuk menentukan proses dampak dari hal umur yang berkaitan dengan penurunan mutu struktur kapal, prosedur yang berkaitan dengan perhitungan bahwa kekuatan secara akurasi adalah sebuah kebutuhan [2]. Salah satu penyebab terjadinya *ultimate strength failure* pada suatu struktur kapal umumnya adalah disebabkan oleh beban *ekstrem* dan/atau kurangnya daya tahan struktur terhadap degradasi material. Misalnya, korosi yang terjadi secara menerus akan mengurangi dimensi *scantlings*, sehingga *girder* penopang pada lambung kapal akan rawan mengalami *buckling* ataupun retak ketika ditimpa beban ekstrem [3].

Dalam kondisi utuh (*intact*), pada lambung kapal beban yang diterapkan lebih kecil dari pada beban desain, pada kondisi muatan laut yang normal dan

kondisi muatan kargo yang disetujui tidak akan menyebabkan kerusakan struktural. Namun, beban yang bekerja pada lambung kapal tidak pasti karena kondisi alam (laut) dan kemungkinan pembebanan muatan bongkar muat yang tidak biasa. Dalam kasus yang jarang terjadi, beban yang dipaksakan dapat melebihi beban desain dan lambung kapal dapat runtuh secara lokal dan global.

Telah diketahui bahwa kekuatan batas sangat penting dalam desain kapal. Kekuatan ini harus dinilai untuk melindungi kapal dari kerusakan. Ada tiga jenis kekuatan yaitu: *membujur*, *transversal* dan lokal. Kekuatan membujur adalah yang paling signifikan dari ini, dan parameter yang selalu dinilai untuk menetapkan kapasitas momen lentur kapal terhadap muatan eksternal ketika di laut [4].

Metode *Smith* diadopsi dan diterapkan kedalam program bantu. Suatu prosedur penyelesaian yang *efisien* dipaparkan, dengan kata lain mengasumsikan penampang kapal adalah bidang dan momen lentur vertikal yang diberikan pada penampang. Untuk menginvestigasi kekuatan kapal maka tumpuan sederhana diterapkan dengan mempertimbangkan kondisi *hogging* dan *sagging*. Hasil yang diperoleh untuk kondisi utuh (*intact*), dengan program bantu dibandingkan antara satu jarak gading dengan jarak gading lainnya untuk mengamati perilaku selanjutnya.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dalam pengerjaan tugas akhir ini akan dilakukan penelitian tentang PENGARUH JARAK GADING TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN DAN KUAT BATAS PADA *MIDSHIP* KAPAL *SINGLE HULL VERY LARGE CRUDE CARRIER* (VLCC) dengan menggunakan Metode *Smith*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh distribusi tegangan dan kuat batas pada *midship* Kapal *Single Hull Very Large Crude Carrier* (VLCC) dalam kondisi *hogging* dan *sagging*.

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar penelitian dapat terarah sesuai dengan kerangka yang direncanakan, maka dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut:

1. Pemodelan dilakukan pada bagian *midship*.

2. Beban yang bekerja yaitu momen lentur *vertikal* membujur pada kondisi *hogging* dan *sagging* dengan Analisa statis.
3. Analisa kekuatan menggunakan Metode *Smith*
4. Beban operasional dan bangunan atas tidak dipertimbangkan.
5. Ketidaksempurnaan awal seperti tegangan sisa pengelasan, cacat pengelasan, korosi, dan retak material diabaikan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh distribusi tegangan dan kuat batas pada *midship* Kapal *Single Hull Very Large Crude Carrier* (VLCC) dalam kondisi *hogging* dan *sagging*.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi bidang akademis, dapat memperdalam wawasan mahasiswa dan memberikan masukan bagi ilmu pengetahuan bidang ilmu analisa struktur baja dan Konstruksi kapal. Khususnya untuk mengetahui pengaruh distribusi tegangan dan kuat batas pada *midship* Kapal *Single Hull VLCC*
2. Bagi bidang industri, memberikan kontribusi dan perbandingan kekuatan kepada perusahaan-perusahaan yang hendak membuat atau membeli kapal *Single Hull Very Large Crude Carrier* (VLCC).

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Penyusunan skripsi ini dibagi dalam beberapa bagian untuk mendapatkan alur penulisan yang jelas, dan sistematis sekaligus memungkinkan pembaca agar dapat menginterpretasikan hasil tulisan ini secara tepat, maka dibuat sistematika penulisan sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab yang pertama ini penulis menguraikan latar belakang permasalahan atau hal yang mendasar sehingga dilakukannya penelitian ini yaitu pengaruh jarak gading terhadap distribusi tegangan dan kuat batas pada *midship* kapal *single hull very large cruide carrier* (VLCC) dengan menggunakan metode *smith*. 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

Pada bab ini penulis menjelaskan mengenai kerangka acuan yang berisi tentang teori-teori dasar tentang kapal *tanker*, konstruksi kapal *single hull very large crude carrier* (VLCC), kekuatan struktur kapal tanker, teori tentang distribusi tegangan dan cara menganalisis kuat batas menggunakan metode *smith*.

## BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisi jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, serta penyajian data berupa objek penelitian yaitu penampang *midship* pada kapal *single hull very large crude carrier* (VLCC), jenis dan sumber data dimana penelitian ini bersifat kuantitatif yaitu penelitian yang menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, pada lokasi yang berbeda serta kerangka alur pemikiran.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi penjelasan mengenai distribusi tegangan yang terjadi pada jarak gading saat kondisi *hogging* dan *sagging*, kekuatan batas kapal yang telah dianalisis menggunakan metode *smith*, serta perbandingan kuat batas pada tiap jarak gading.

## BAB V PENUTUP

Pada bab yang terakhir ini adalah penutup dari keseluruhan isi penelitian yang menyimpulkan hasil dari penelitian, dan menambahkan saran untuk penelitian berikutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sejarah Kapal *Tanker*

Kapal *Tanker* adalah kapal yang dirancang untuk membawa muatan cair dalam jumlah besar di dalam ruang muatannya, tanpa menggunakan barel atau kontainer lainnya. Sebagian besar kapal *tanker* membawa minyak mentah dari ladang minyak ke kilang atau produk minyak bumi seperti bensin, bahan bakar diesel, minyak bakar, atau bahan baku petrokimia dari kilang ke pusat distribusi.

Berbagai jenis kapal *tanker* digunakan untuk menyediakan fasilitas transportasi yang sesuai untuk berbagai jenis barang cair. Beberapa kapal terpanjang di dunia saat ini adalah kapal *tanker*. Konstruksi dan penataan teknis kapal *tanker* ditentukan oleh IMO (*International Maritime Organization*). Ketentuan-ketentuan ini telah diamandemen secara berkala untuk memastikan bahwa aspek keselamatan yang mendasari pengangkutan elemen-elemen yang mudah menguap tersebut dipenuhi tanpa kompromi [5].

Teknologi transportasi minyak telah berkembang bersama dengan industri minyak. Meskipun penggunaan minyak oleh manusia mencapai masa prasejarah, eksploitasi komersial modern pertama terjadi pada pembuatan parafin James Young pada tahun 1850. Pada awal tahun 1850-an, minyak mulai diekspor dari Burma Atas, yang saat itu merupakan koloni Inggris. Minyak dipindahkan dalam gerabah ke tepi sungai di mana ia kemudian dituangkan ke dalam palka kapal untuk transportasi ke Inggris.

Pada tahun 1860-an, ladang minyak Pennsylvania menjadi pemasok utama minyak, dan pusat inovasi setelah Edwin Drake menabrak minyak di dekat Titusville, Pennsylvania. *Break-bulk boat* dan tongkang pada awalnya digunakan untuk mengangkut minyak *Pennsylvania*. Namun transportasi dengan barel memiliki beberapa masalah. Masalah pertama adalah berat: beratnya 29 kilogram (64 lb), mewakili 20% dari total berat per barel penuh. Masalah lain dengan barel adalah biaya mereka, kecenderungan mereka bocor, dan fakta bahwa mereka biasanya hanya digunakan sekali. Pengeluarannya signifikan: misalnya, pada tahun-tahun awal industri minyak Rusia, barel menyumbang setengah dari biaya produksi minyak bumi [5].

*Tanker* minyak pertama yang berhasil adalah Zoroaster, yang mengangkut 246 metrik ton (242 ton) kargo minyak tanah didua tangki besi yang disambungkan dengan pipa. Satu tangki berada di depan ruang mesin *midship* dan satunya lagi di belakang. Kapal ini juga menampilkan 21 kompartemen kedap air *vertikal* untuk daya apung ekstra. Yang lain menunjuk Glückauf, desain lain dari Kolonel Swan, sebagai kapal *tanker* minyak *modern* pertama. Ini mengadopsi praktik terbaik dari desain *tanker* minyak sebelumnya untuk membuat prototipe untuk semua kapal jenis berikutnya. Itu adalah kapal *tanker* penggerak lautan uap khusus pertama di dunia dan merupakan kapal pertama di mana minyak dapat dipompa langsung ke lambung kapal alih-alih dimuat dalam tong atau drum. Itu juga merupakan kapal *tanker* pertama dengan sekat *horizontal* [5].



Gambar 2.1 Zoroaster, Kapal *Tanker* Pertama di Dunia [6].



Gambar 2.2 Glückauf, Kapal *Tanker* Minyak Modern Pertama [6].

Pada pertengahan abad ke-20, dengan *booming* minyak yang tumbuh untuk mengimbangi produksi mobil yang melonjak, sebuah kapal *tanker* sekitar 25.000 ton adalah yang terbesar pada saat itu. Dengan produsen minyak utama terkonsentrasi di Timur Tengah dan konsumen utama terkonsentrasi di Barat,

ukuran keseluruhan *tanker* umumnya dibatasi oleh maksimum sekitar 30.000 ton bruto. Akibatnya, ukuran *tanker* mulai tumbuh secara signifikan sesuai dengan kebutuhan, sebuah proses yang berlanjut hingga akhir 1960-an. Pada tahun 1959, 114.356 dwt Universe Apollo menjadi kapal *tanker* pertama yang melampaui angka 100.000 ton, dalam satu decade kapal lima kali ukuran itu sedang direncanakan. Maka lahirlah generasi baru kapal *tanker*, VLCC (*Very Large Crude Carrier*) dan ULCC (*Ultra Large Crude Carrier*). Kapal *Tanker* terdiri atas tiga jenis yaitu *crude carrier*, *product Tanker* dan yang lebih khusus seperti *chemical Tanker*, *gas carrier* dan *asphalt /bitumen carrier*. Sampai tahun 2016, terdapat 7.065 buah *Oil Tanker* di dunia [5].

## 2.2 Kapal Crude Carrier

Crude Carrier adalah kapal tanker pengangkut crude oil atau minyak mentah. *Cargo* curah cair yang dibawa oleh *crude carrier* umumnya *homogen*. Perbedaan kualitas minyak mentah tidak berpengaruh karena pada akhirnya akan diolah di tahap berikutnya. Ukuran *crude carrier* mulai dari 50,000 MT Dwt hingga sekitar 500,000 MT Dwt.



Gambar 2.3 DAEWOO 5403, *Cruide Oil Tanker* [7].

## 2.3 Kapal Product Tanker

Minyak mentah diolah menjadi berbagai produk minyak. Produk minyak yang ringan seperti bensin, minyak tanah, dan gasoil, disebut *clean product*. Sedangkan yang lebih berat seperti minyak bakar (*oil fuel*) dan residu disebut *dirty product*. *Product tanker* terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan ukuran dan muatannya (*clean* atau *dirty product*). *Clean product tanker* dapat mengangkut

sebagian *dirty product* (kecuali jenis minyak yang paling berat), sedangkan *dirty product tanker* tidak dapat memuat *clean product*.

Tangki pada *Clean Product Tanker* dilapisi bahan khusus (*coating*) untuk mencegah korosi dan harus selalu dibersihkan terlebih dahulu sebelum pemuatan. *Clean product tanker* memiliki sistem pemisah sehingga dapat memuat kargo yang berbeda tanpa resiko bercampur. Tangki pada *dirty product tanker* tidak dilapisi bahan khusus dan tidak memiliki sistem pemisahan, namun dilengkapi koil pemanas untuk mencegah pembekuan produk minyak yang memiliki densitas besar [5].



Gambar 2.4 Kapal *Product Tanker* [7].

#### 2.4 Kapal *Chemical Tanker*

Kapal *tanker* kimia adalah kapal kargo yang dibangun atau disesuaikan dan digunakan untuk mengangkut bahan kimia cair dalam bentuk curah. Kapal *tanker* kimia diharuskan mematuhi berbagai aspek keselamatan yang diuraikan dalam Bagian B dari SOLAS Bab VIII dan *International Bulk Chemical Code* (IBC Code). [8] Kargo kimia curah cair termasuk jenis muatan yang berbahaya, sebagian besar mudah terbakar dan/atau beracun. IBC Code membagi kapal *tanker* kimia dalam tiga jenis berdasarkan kapabilitasnya mengangkut Lahan kimia, yaitu ST1, ST2, dan ST3.

*Chemical tanker* disebut juga *parcel tanker*. Biasanya berukuran kecil, dari sekitar 5.000 ton dwt hingga 25.000 dwt. Beberapa kapal *tanker* pengangkut bahan kimia ini ada yang berukuran hingga 50.000 ton dwt. Pada tahun 2016, populasi

kapal *tanker* jenis di dunia adalah 5.204 unit. Kargo yang biasanya dilakukan bongkar muat kapal *chemical tanker* merupakan jenis atau muatan berbahaya (*dangerous cargo*) diantaranya minyak mentah, kargo curah, dan produk minyak bumi (*Crude Glycerine, Fatty Alcohol, Methanol, VCM*) [8].

Untuk membawa kargo berbahaya, *tanker* ini memiliki standar keamanan yang tinggi, antara lain: Tangki dilapisi bahan khusus (seperti *stainless steel, epoxy resin* dan *zinc silicate*) demi mencegah reaksi antara bahan kimia dan lambung kapal. Setiap tangki memiliki sistem pompa dan pemipaan tersendiri, sehingga muatan dalam setiap tangki dapat dimuat dan dikeluarkan secara terpisah. Pemisahan ini untuk mencegah kontaminasi antar bahan kimia dengan jenis berbeda.



Gambar 2.5 Kapal *Chemical Tanker* [9].

## 2.5 Ukuran Kapal *Tanker*

Berdasarkan ukurannya kapal *Tanker* dikelompokkan sebagai berikut

Tabel 2.1 Kategori Ukuran Kapal *Tanker* [6].

Kelas	Ukuran dalam DWT (ton)	Kelas	Ukuran dalam DWT (ton)	Harga
<i>Tanker Tujuan Umum</i>	10.000–24.999	Kapal <i>Tanker</i> produk	10.000–60.000	\$ 43 juta
<i>Tanker Jarak Menengah</i>	25.000–44.999	Panamax	60.000–80.000	
LR1 ( <i>Long Range 1</i> )	45.000–79.999	Aframax	80.000–120.000	\$ 60,7

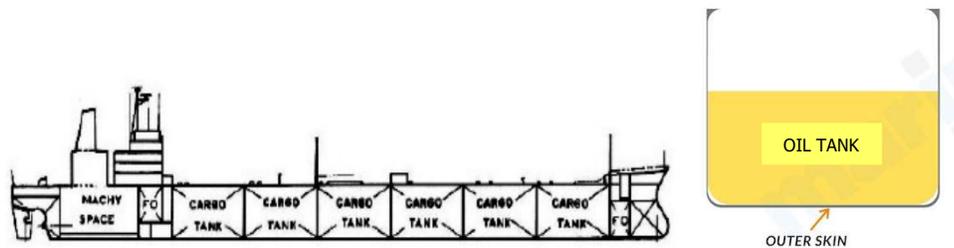
LR2 ( <i>Long Range 2</i> )	80.000– 159.999	Suezmax	120.000–200.000	juta
VLCC (Pembawa Minyak Mentah Sangat Besar)	160.000– 319.999	VLCC	200.000–320.000	\$ 120 juta
ULCC (Pembawa Minyak Mentah Sangat Besar)	320.000– 549.999	ULCC	320.000–550.000	

1. *General Purpose Tanker* Biasanya digunakan mengangkut *refined product*, berukuran 10.000 ton hingga 25.000 ton DWT.
2. *Handysize Tanker* Digunakan untuk mengangkut *refined product*, ukurannya 25.000 ton hingga 40.000 ton DWT.
3. *MR (Medium Range) Tanker* Digunakan untuk mengangkut *refined product*, dengan ukuran 40.000 ton hingga 55.000 ton DWT.
4. *LR1 (Long Range 1) Tanker*. Ada yang membawa *refined products* dan *crude oil*. *Tanker* kategori ini yang mengangkut *dirty product* biasanya disebut *Panamax Tankers*. *LR1* dan *Panamax Tanker* memiliki bobot mati 55.000 ton hingga 80.000 ton DWT.
5. *LR2 (Long Range 2) Tanker*. Jenis ini membawa *product* dan *crude oil*. Ukurannya berkisar 80.000 ton -160.000 ton DWT. *Tanker* pengangkut *crude oil* biasanya disebut *Aframax Tanker* (80.000 ton -120.000 ton DWT) dan *Suezmax Tanker* (120.000 ton – 160.000 ton DWT).
6. *Very Large Crude Carrier (VLCC)* dan *Ultra Large Crude Carrier (ULCC)*. *Tanker* ini hanya pengangkut minyak mentah. Ukuran *VLCC* adalah 320.000 ton dan *ULCC* sebesar 550.000 ton DWT.

## 2.6 Kapal Tanker Singel Hull Very Large Crude Carrier (VLCC)

Kapal diidealkan sebagai balok kotak berdinding tipis berongga, yang disebut sebagai “hull girder”. Pada tingkat pertimbangan ini kita dapat membuat beberapa asumsi dan perkiraan penyederhanaan, yang utama adalah bahwa hull girder bekerja sesuai dengan teori balok sederhana [10]. Lambung kapal adalah kulit luar kapal yang memastikan tidak ada air yang masuk ke dalamnya dan

memastikan integritas kapal tersebut kedap air untuk mempertahankan stabilitasnya. Kulit luar yang dikenal sebagai lambung kapal bisa dari lapisan tunggal atau lapisan ganda, yaitu ada satu lambung kapal yang dikenal sebagai lambung tunggal. Lambung tunggal hanya memiliki satu lapisan kedap air yang membentang di sepanjang struktur kapal *tanker*. Akibat hanya satu lapisan, kapal *tanker* lambung tunggal menimbulkan ancaman lebih besar terhadap lingkungan laut selama kecelakaan apapun. Namun Kapal lambung tunggal dianggap lebih stabil dibandingkan kapal *tanker* lambung ganda.

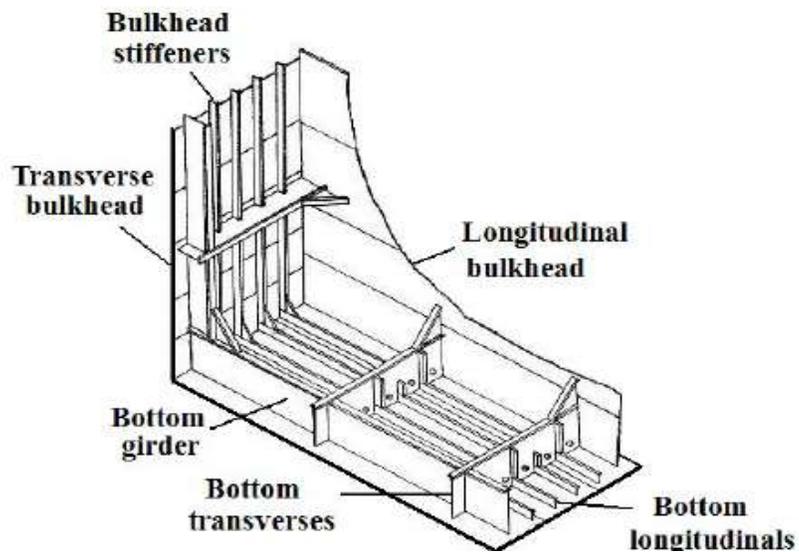


Gambar 2.6 Penampang *Singel Hull Tanker* [7].

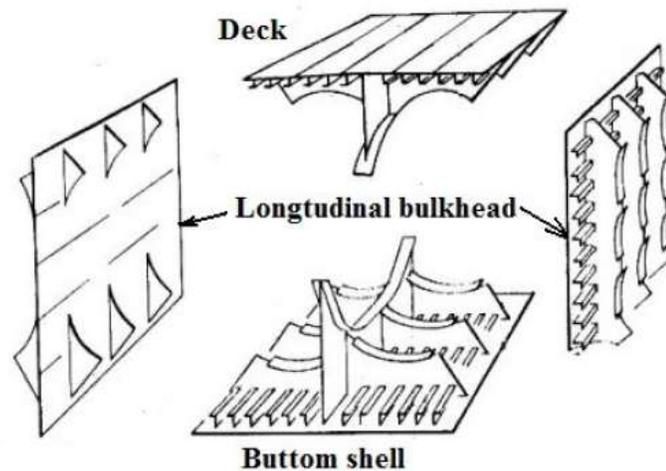
Organisasi Maritim Internasional (IMO) memperkenalkan peraturan 13 F dari Lampiran 1 MARPOL, yang secara efektif mengamankan kapal lambung ganda untuk kapal *tanker* minyak baru yang siap dari 5000 tonase berat mati dan yang lebih tinggi. Bencana tumpahan minyak Exxon Valdez juga membawa Pemerintah A.S. untuk membuat lambung ganda yang wajib dilakukan untuk semua kapal *tanker* baru yang datang ke pelabuhan A.S. Setelah tenggelamnya Erika di lepas pantai Prancis pada bulan Desember 1999, IMO mengusulkan fase percepatan dari kapal lambung tunggal [11].

*Single hull tanker* memiliki satu lambung dan membawa minyak langsung di dalam struktur lambung. Beberapa kapal *single hull tanker* membawa minyak dan air pemberat ke dalam tangki yang sama, sementara beberapa kapal *single hull tanker* memiliki tangki pemberat terpisah di dalam lambung. Struktur utama anggota dari *single hull oil tanker* ditunjukkan pada Gambar 2.6, ruang akomodasi dan permesinan selalu berada di belakang. Kargo terpasang dengan pompa muatan yang dipasang disatu atau lebih kamar pompa baik di ujung bagian tangki muatan yang dipasang disatu atau lebih kamar pompa baik di ujung bagian tangki muatan kadang ditengahnya. Kargo tanker panjang yang membawa minyak dibagi-bagi menjadi tank sendiri-sendiri oleh sekat transversal. Struktur utama pada struktur

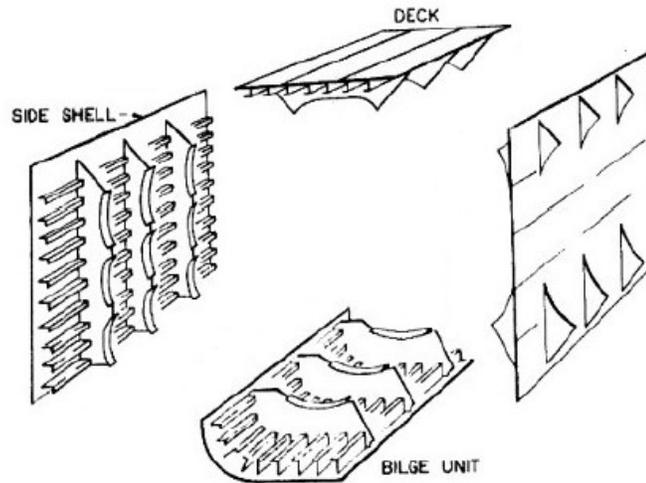
bagian bawah dan sekat melintang pada *single hull oil tanker* ditunjukkan pada Gambar 2.7. Struktur utama anggota pada bagian tengah kapal *Tanker* pada *single hull oil Tanker* ditunjukkan pada pada Gambar 2.8, untuk sayap kapal ditunjukkan pada Gambar 2.9 dan pada Gambar 2.10 menunjukkan penampang melintang bagian tengah untuk kapal jenis VLCC.



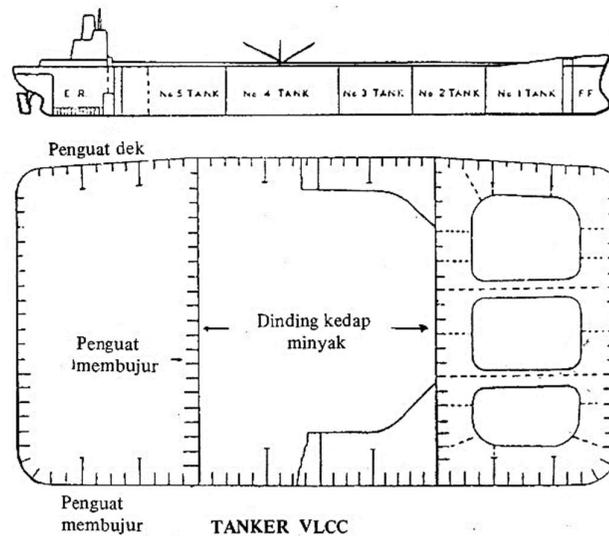
Gambar 2.7 Struktur utama batang pada struktur *bottom* dan sekat melintang pada kapal *Tanker single hull* [12].



Gambar 2.8 Struktur utama batang pada bagian tengah *Tanker* dari *single hull Tanker* [12].



Gambar 2.9 Struktur utama batang pada bagian sayap *Tanker* pada single hull *Tanker* [12].

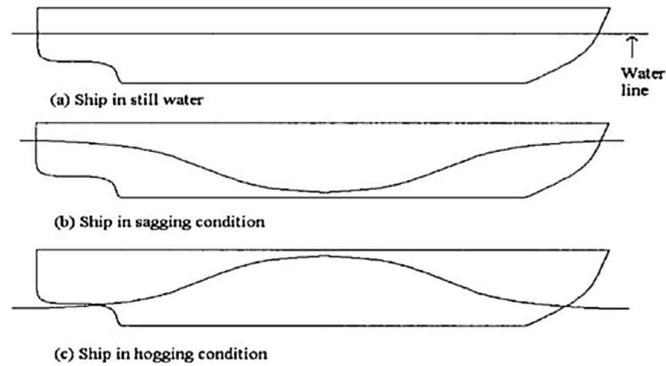


Gambar 2.10 Penampang Melintang bagian tengah untuk kapal jenis VLCC [12].

## 2.7 Kekuatan Struktur Kapal

Salah satu aspek penting dari desain kapal adalah kekuatan kapal, ini berdasarkan pada kemampuan struktur kapal untuk menahan beban. Kekuatan kapal merupakan faktor yang harus diperhitungkan dalam pembangunan suatu kapal. Faktor yang mempengaruhi kekuatan kapal adalah jarak gading, panjang tak ditumpu, tebal pelat dan lain-lain. Perkembangan peraturan konstruksi tidak lagi mengatur jarak gading. Sehingga para perancang kapal merencanakan jarak gading yang optimal dengan batasan resiko tekuk pada pelat, salah satu parameter kekuatan

yang paling penting adalah kekuatan membujur kapal, yang diperkirakan dengan menggunakan tegangan membujur maksimum yang mungkin dapat menahan lambung. Tegangan geser adalah parameter lain yang relevan.



Gambar 2.11 Momen Lentur Gelombang pada Gelombang Reguler [12].

Gambar 2.11. mengilustrasikan kapal pada gelombang sama dengan panjangnya. Gambar 2.11(a) menunjukkan kondisi air tenang sehingga tidak ada pengaruh gaya dari luar, dimana momen lentur yang bekerja pada kapal adalah momen lentur kondisi air tenang itu sendiri. Gambar 2.11(b) menunjukkan kondisi dimana gelombang berongga berada di tengah kapal. Hal ini menghasilkan distribusi daya apung di dekat ujung kapal dan dengan demikian kapal mengalami kondisi *sagging*. Pada kondisi *sagging*, dek pada kapal mengalami tekan sedangkan bagian bawahnya mengalami tarik (*tension*). Gambar 2.11(c) menunjukkan puncak gelombang berada di tengah kapal. Hal ini menunjukkan gaya apung lebih besar pada bagian tengah kapal dibandingkan diujung kapal sehingga menghasilkan kondisi *Hogging*. *Hogging* berarti kapal melengkung pada bagian tengah [13].

Kebanyakan aturan desain mengontrol kekuatan *hull girder* dengan menentukan properti bagian minimum yang diperlukan dari penampang *hull girder*. Properti bagian yang diperlukan dihitung berdasarkan pada beban dan tekanan maksimum *hull girder* untuk badan paralel *midship* (wilayah di mana penampang seragam).

## 2.8 Distribusi Tegangan

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

suatu bidang [14].

Tegangan dasar ada dua yaitu tegangan normal dan tegangan geser, tegangan normal dapat berupa tegangan tarik dan tegangan tekan. Tegangan tarik (*tensile stress*), apabila sepasang gaya tarik *aksial* menarik suatu batang, akibatnya batang cenderung menjadi meregang atau bertambah panjang maka gaya tersebut disebut gaya tarik.

Tegangan tekan (*compressive stress*), apabila sepasang gaya aksial menekan suatu bidang dan akibatnya cenderung untuk memperpendek atau menekan batang tersebut, gaya ini disebut gaya tekan dan menghasilkan tegangan tekan dalam aksial batang disuatu bidang yang tegak lurus atau normal terhadap sumbu.

Tegangan geser (*shearing*), berbeda dengan tegangan tarik dan tekan dimana tegangan ini umumnya disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja secara *transversal* pada suatu batang [14].

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

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

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

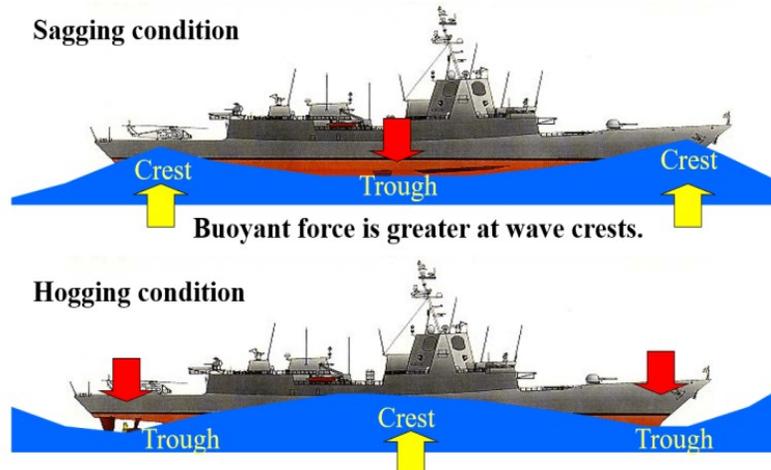
P = Gaya luar total beban (N)

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

Kekuatan beban membujur adalah beban yang mempengaruhi kekuatan lambung kapal secara keseluruhan, dimana kapal dianggap sebagai *beam* atau *girder*, karena profilnya yang ramping. Mereka diwakili dalam hal momen lentur membujur, gaya geser dan momen torsi. Kekuatan beban membujur dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu beban membujur statis dan beban membujur dinamis.

Beban membujur statis disebabkan oleh ketidaksetaraan berat lokal dan daya apung dalam kondisi air tenang. Misalnya, perbedaan antara berat dan daya apung pada arah membujur menyebabkan momen lentur statis dan gaya geser statis, dan pembebanan muatan asimetris menyebabkan momen torsi statis. Beban membujur yang dinamis diinduksi oleh gelombang yang dinamakan dengan pembebanan *hogging* dan *sagging*. Saat kapal berada di atas puncak gelombang pada kondisi ekstrem, hal itu menimbulkan momen lentur *hogging* dan gaya geser. Bila gelombang melalui momen lentur *sagging* dan mengalami gaya geser.

Gelombang panjang dengan puncak di *midship* dan palung di ujung akan meningkatkan *hogging* kapal (dengan meningkatkan daya apung di *midship*), dan gelombang dengan *crest* di ujung dan palung di *midship* akan meningkatkan *sagging*. Adapun kondisi kapal akan mengalami *hogging* ataupun *sagging* dapat dilihat pada Gambar 2.12 [15].

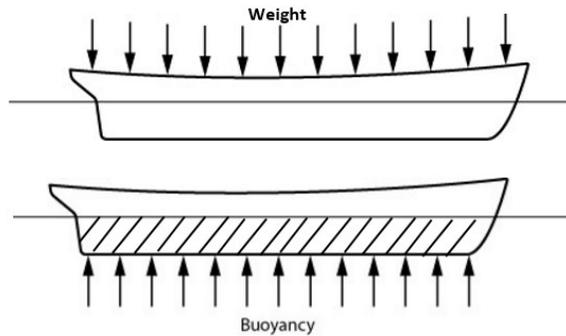


Gambar 2.12 Kondisi *Hogging* dan *Sagging* [16].

Dalam kondisi *sagging*, diakui dengan baik bahwa kekuatan balok lambung kapal hampir tercapai ketika bagian geladak utama dalam kompresi membujur mencapai kekuatan puncaknya [17]. Karena kerusakan terjadi pada posisi asimetris struktur kapal mungkin rusak karena beban ekstrim, seperti angin, ombak, dan arus. Kekuatan membujur balok lambung kapal adalah aspek dasar dasar untuk memastikan keselamatan kapal dan struktur lepas pantai, kehidupan manusia dan properti. Sangat penting untuk menilai kekuatan utama balok *girder* lambung kapal [18]. Beban ini bereaksi secara bergantian di atas *hull girder* saat gelombang berlangsung di sepanjang kapal. Pada kasus di mana kapal bertemu dengan gelombang yang miring dihasilkan momen puntir dinamis [15].

Kekuatan beban melintang mewakili beban yang bekerja pada batang melintang dan menyebabkan distorsi struktural pada penampang melintang. Kekuatan beban melintang meliputi tekanan *hidrostatik* pada kulit terluar, berat muatan kargo yang bekerja pada struktur bawah, tekanan air pemberat menyebabkan deformasi tangki pemberat, dan lain lain. Misalnya Muatan di atas kapal, jika kita berpikir dari sudut pandang yang sangat mendasar, hanya ada dua jenis muatan di kapal (mengabaikan kekuatan angin / arus eksternal) yaitu; (a)

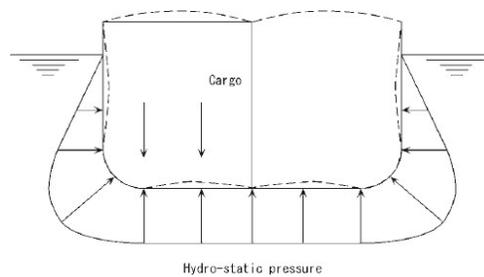
Bobot kapal yang bergerak ke bawah dan didistribusikan ke seluruh panjang kapal.  
 (b) Gaya apung yang diberikan air pada badan bawah kapal – bertindak ke atas dan didistribusikan sepanjang bagian bawah kapal [15].



Gambar 2.13 Distribusi Beban Pada Kapal [19].

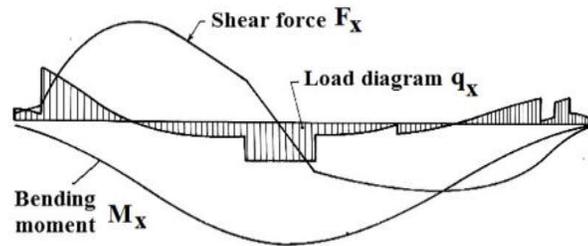
Di sisi lain, daya apung adalah gaya ke atas yang diberikan oleh air pada kapal. Saat kapal berada dalam keseimbangan, bobotnya sama dengan daya apungnya. Distribusi gaya apung tergantung pada profil bawah kapal, yang terus berubah karena kapal terus menghadapi gelombang dengan besar yang berbeda-beda.

Beban ini tidak selalu sama satu sama lain di setiap titik, akibatnya beban yang bekerja pada batang melintang akan menghasilkan distorsi melintang seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus pada Gambar 2.14 dengan mempertimbangkan beban melintang dan beban membujur, karakteristik berikut penting sebagai sudut pandang analisis kekuatan: Distorsi akibat beban membujur tidak mempengaruhi deformasi bagian melintang. Misalnya momen lentur membujur atau gaya geser tidak akan berpengaruh pada distorsi penampang. Kekuatan beban melintang biasanya digunakan dalam kasus menyelidiki kekuatan batang utama, seperti cincin melintang, bingkai web melintang, dll [15].



Gambar 2.14 Contoh Deformasi karena Beban Melintang [15].

Momen lentur dan gaya geser pada kondisi air tenang berasal dari gaya apung dan distribusi berat sepanjang panjang kapal seperti pada Gambar 2.15

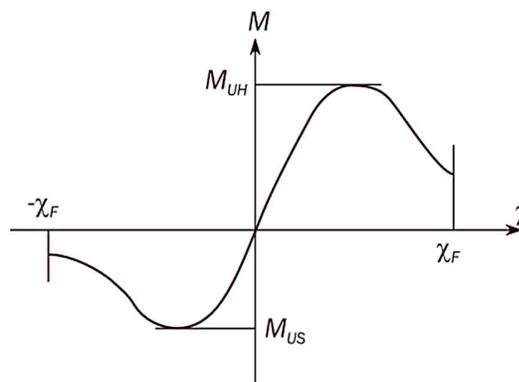


Gambar 2.15 Distribusi beban, gaya geser dan momen lentur [12].

## 2.9 Kekuatan Batas Kapal Tanker (*Ultimate Strength*) menurut Metode *Smith*

Kekuatan-batas adalah batas kekuatan struktur untuk mengalami pembebanan maksimum sebelum mengalami *collapse* total. Perhitungan kekuatan-batas kapal tanker berdasarkan keakuratan dan kompleksitas hingga saat ini terdiri dari 5 metode yaitu: teori balok, metode *Presumed Stress Distribution*, metode *Smith* dan *Idealized Structural Unit Method* (ISUM), *Intelligent Supersize Finite Element Method* (ISFEM), dan *Non-Linear Finite Element Analysis* (NLFEA).

Hubungan antara kekuatan-batas momen lentur dan kelengkungan ditunjukkan pada Gambar 2.16. Nilai kelengkungan yang positif menunjukkan kondisi *hogging* dan nilai kelengkungan yang negatif menunjukkan kondisi *sagging*.



Gambar 2.16 Grafik Kekuatan Momen Lentur dan Kelengkungan [20].

Dengan memperhatikan perubahan jarak gading maka dapat diketahui momen batas struktur agar pelat geladak kapal tidak mengalami tekuk (*buckling*). Dalam hal pelat mendapatkan tekanan dari sisi-sisinya, maka bila jarak gading

dekat kegagalan akan terjadi karena material mengalami luluh (*yielding*), jika jarak gading jauh atau jarang maka kegagalan akan terjadi karena pelat mengalami tekuk.

Kekuatan tekuk batas membujur adalah kekuatan yang paling mendasar menjamin keamanan kapal tidak hanya dalam keadaan utuh tetapi juga dalam kondisi rusak. Dalam hal ini, ketika penampang gelagar lambung kapal simetris terhadap garis tengah dan dikenakan momen lentur *vertikal*, maka sumbu netral selalu *horizontal* dan hanya bergerak *vertikal* selama perilaku keruntuhan secara bertahap. Sebaliknya bila penampang rusak pada posisi *asimetris*, sumbu netral berputar. Baik rotasi dan translasi perlu diperhitungkan dan masalahnya perlu untuk diperlakukan sebagai masalah lentur *biaksial* (dua arah).

Hubungan kelengkungan momen lentur *biaksial* dinyatakan dalam bentuk tangensial moduli mengikuti rumusan asli oleh *Smith* (1977). Pernyataan jelas dari posisi sumbu netral untuk nilai kumulatif tegangan dan untuk kenaikan tegangan yang diberikan. Prosedur solusi untuk beberapa pola pembebanan termasuk *post ultimate* perilaku kekuatan di bawah pembebanan momen *biaksial* yang ditentukan adalah sebagai berikut [21];

1. Hubungan antara Gaya dan Deformasi pada *Midship*

Pada kasus umum, kerusakan akibat gaya beban geladak pada kondisi *intact* (utuh) diasumsikan terjadi pada posisi di tengah atau *asimetris* penampang gelagar lambung seperti pada Gambar 2.17 Koordinat  $y$  dan  $Z$  dengan asal di lunas bawah didefinisikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17 Diasumsikan bahwa penampang sisa *midship*, regangan aksial  $\varepsilon_i(y_i, z_i)$  pada elemen struktur  $i - th$  disebabkan oleh kelengkungan *horizontal*  $\phi_H$  dan *vertikal*  $\phi_V$  dapat dinyatakan sebagai

$$\varepsilon_i(y_i, z_i) = \varepsilon_0 + y_i\phi_H + z_i\phi_V \quad (2.2)$$

Dimana  $\varepsilon_0$  adalah regangan aksial pada titik asal 0. Tegangan aksial  $\sigma_i$  sesuai dengan regangan aksial  $\varepsilon_i$  diberikan oleh hubungan tegangan dan regangan rata-rata yang dihitung sebelumnya untuk elemen seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.18 Hubungan tegangan dan regangan rata-rata dengan pertimbangan tekuk dan hasil umumnya merupakan fungsi *nonlinier* dari tegangan dan disini

dinyatakan sebagai

$$\sigma = f_i(\varepsilon) \quad (2.3)$$

Dimana  $f_i(0) = 0$

Gaya aksial  $P$ , momen tekuk vertikal  $M_V$ , dan momen tekuk horizontal  $M_H$  dapat diperoleh dengan mengintegrasikan tegangan aksial di atas bagian utuh dari *midship* sebagai

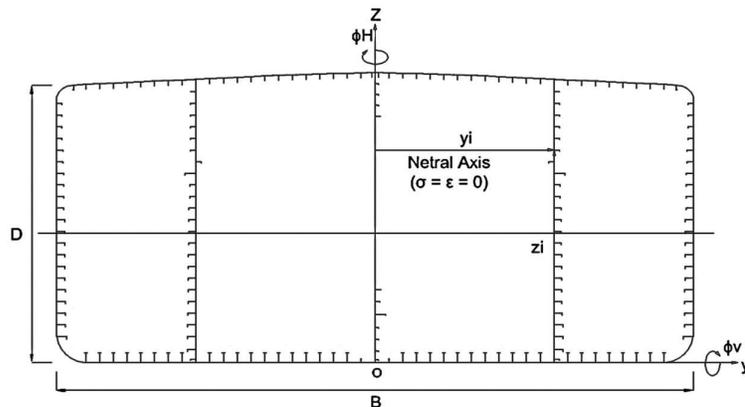
$$P = \sum_{i=1}^N \sigma_i A_i \equiv 0 \quad (2.4)$$

$$M_H = \sum_{i=1}^N \sigma_i y_i A_i \quad (2.5)$$

$$M_V = \sum_{i=1}^N \sigma_i z_i A_i \quad (2.6)$$

Dimana  $N$  adalah jumlah elemen utuh dan  $A_i$  adalah penampang elemen ke  $i$ -th. Kondisi penting untuk analisis keruntuhan progresif gelagar lambung di bawah tekuk membujur adalah untuk memenuhi kondisi gaya aksial nol Persamaan (2.4). Substitusi (2.2) dan (2.3) menjadi Persamaan (2.4) ~ (2.6), satu kesatuan persamaan *nonlinear* yang berhubungan dengan regangan aksial  $\varepsilon_0$  dan kelengkungan  $\phi_H$  dan  $\phi_V$  diperoleh dengan memecahkan persamaan ini, hubungan antara gaya penampang dan deformasi bisa didapatkan. Lokasi sumbu netral pada bidang  $y - z$  diberikan sebagai berikut persamaan garis lurus:

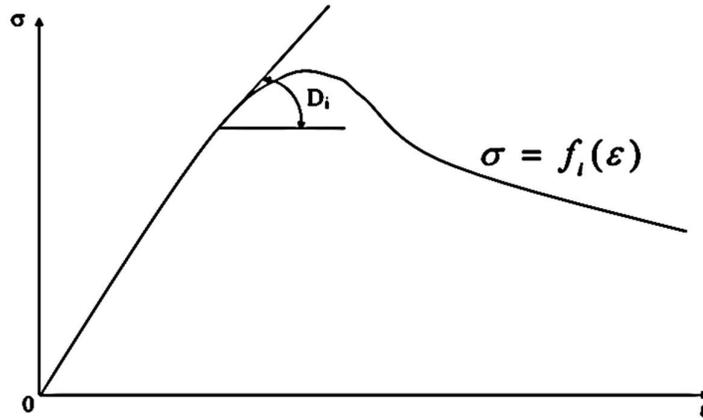
$$\varepsilon_0 + y_i \phi_H + z_i \phi_V = 0 \quad (2.7)$$



Gambar 2.17 Penampang *midship* Kapal *single hull VLCC*  
(Sumber: Analisis Data, 2021)

2. Hubungan Tambahan dari Momen Lentur *Biaksial* dan Kelengkungan

Untuk memecahkan Persamaan *nonlinier* (2.4) ~ (2.6), pendekatan *inkremental* digunakan. Menunjukkan kekakuan *tangensial* yang diperoleh sebagai kemiringan tegangan rata-rata regangan hubungan elemen ke-I dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Hubungan rata-rata tegangan-regangan dari sebuah elemen struktur [20].

Hubungan tambahan tegangan aksial dan regangan dapat dinyatakan sebagai

$$\Delta\sigma = D_i \Delta\varepsilon \left( D_i = \frac{df_i}{d\varepsilon} \right) \quad (2.8)$$

Menggunakan Persamaan (2.2) dan (2.8), bentuk *inkremental* dari Persamaan (2.4) ~ (2.6) dapat diberikan oleh

$$\begin{Bmatrix} \Delta P \\ \Delta M_H \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{D}_{AA} & \bar{D}_{AH} & \bar{D}_{AV} \\ \bar{D}_{HA} & \bar{D}_{HH} & \bar{D}_{HV} \\ \bar{D}_{VA} & \bar{D}_{VH} & \bar{D}_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta\varepsilon_0 \\ \Delta\phi_H \\ \Delta\phi_V \end{Bmatrix} \quad (2.9)$$

Dimana

$$\begin{aligned} \bar{D}_{AA} &= \sum_{i=1}^N D_i A_i, & \bar{D}_{AH} &= \bar{D}_{HA} = \sum_{i=1}^N D_i y_i A_i \\ \bar{D}_{HH} &= \sum_{i=1}^N D_i y_i^2 A_i, & \bar{D}_{AV} &= \bar{D}_{VA} = \sum_{i=1}^N D_i z_i A_i \\ \bar{D}_{VV} &= \sum_{i=1}^N D_i z_i^2 A_i, & \bar{D}_{HV} &= \bar{D}_{VH} = \sum_{i=1}^N D_i y_i z_i A_i \end{aligned} \quad (2.10)$$

Hasil dari Langkah  $n + i - th$  diberikan dengan menambahkan kenaikan yang diperoleh dengan Persamaan (2.9) untuk hasil beban dari  $n + i - th$  dengan

Langkah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 P^{n+1} &= P^n + \Delta P, & \varepsilon_0^{n+1} &= \varepsilon_0^n + \Delta \varepsilon_0 \\
 M_H^{n+1} &= M_H^n + \Delta M_H, & \phi_H^{n+1} &= \phi_H^n + \Delta \phi_H \\
 M_V^{n+1} &= M_V^n + \Delta M_V, & \phi_V^{n+1} &= \phi_V^n + \Delta \phi_V
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

Persamaan kekakuan (2.10) dapat disederhanakan dengan perumusan yang berkenaan dengan variabel yang ditentukan untuk sumbu netral seperti yang dijelaskan berikut ini. Persamaan dari kenaikan gaya aksial ditunjukkan pada Persamaan (2.10) dapat diatur ulang dalam bentuk:

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= \bar{D}_{AA} \Delta \varepsilon_0 + \bar{D}_{AH} \Delta \phi_H + \bar{D}_{AV} \Delta \phi_V \\
 &= \sum_{i=1}^n D_i (\Delta \varepsilon_0 + y_i \Delta \phi_H + z_i \Delta \phi_V) A_i \\
 &= \sum_{i=1}^n D_i \{ \Delta \varepsilon_G + (y_i - y_G) \Delta \phi_H + (z_i - z_G) \Delta \phi_V \} A_i
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

Dimana

$$\Delta \varepsilon_G = \Delta \varepsilon_0 + y_G \Delta \phi_H + z_G \Delta \phi_V \tag{2.13}$$

$y_G$  dan  $z_G$  dan adalah koordinat titik G dan  $\Delta \varepsilon_G$  adalah regangan aksial kenaikan pada titik G yang disebabkan oleh  $\Delta \varepsilon_0$ ,  $\Delta \phi_H$  dan  $\Delta \phi_V$ . Dimana  $y_G$  dan  $z_G$  diberikan oleh

$$y_G = \frac{\left( \sum_{i=1}^N y_i D_i A_i \right)}{\left( \sum_{i=1}^N D_i A_i \right)} \tag{2.14}$$

$$z_G = \frac{\left( \sum_{i=1}^N z_i D_i A_i \right)}{\left( \sum_{i=1}^N D_i A_i \right)} \tag{2.15}$$

Persamaan (2.12) dapat disederhanakan sebagai berikut

$$\Delta P = \left( \sum_{i=1}^N D_i A_i \right) \Delta \varepsilon_G \quad (2.16)$$

Persamaan (2.16) menyatakan bahwa tekuk membujur netral, yaitu Ketika  $\Delta P = 0$ , tidak ada regangan *aksial* diproduksi pada titik G untuk kombinasi kelengkungan *horizontal* dan kenaikan *vertikal*.

Dengan mengganti  $y_i$  dan  $z_i$  pada Persamaan (2.10) masing-masing oleh  $(y_i - y_G) + y_G$  dan  $(z_i - z_G) + z_G$ , respectively, dan menggunakan  $\Delta \varepsilon_G$  dari Persamaan (2.13), (2.9) dan (2.10) dapat diuraikan pada persamaan

$$\begin{Bmatrix} \Delta P \\ \Delta M_H \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{AA} & D_{AH} & D_{AV} \\ D_{HA} & D_{HH} & D_{HV} \\ D_{VA} & D_{VH} & D_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon_G \\ \Delta \phi_H \\ \Delta \phi_V \end{Bmatrix} \quad (2.17)$$

Dimana

$$\begin{aligned} D_{AA} &= \sum_{i=1}^N D_i A_i, & D_{HV} &= D_{VH} = \sum_{i=1}^N D_i (y_i - y_G)(z_i - z_G) A_i \\ D_{HH} &= \sum_{i=1}^N D_i (y_i - y_G)^2 A_i, & D_{VV} &= \sum_{i=1}^N D_i (z_i - z_G)^2 A_i \end{aligned} \quad (2.18)$$

Menggunakan koefisien Persamaan (2.18), hubungan kenaikan dari momen tekuk *biaksial* dan kelengkungan bisa diuraikan sebagai berikut

$$\begin{Bmatrix} \Delta M_H \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{HH} & D_{HV} \\ D_{VH} & D_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \phi_H \\ \Delta \phi_V \end{Bmatrix} \quad (2.19)$$

Terlepas dari bentuk penampang, distribusi kekakuan tangensial, lokasi dan tingkat kerusakan. Rotasi sumbu netral pada saat itu, yaitu sumbu prinsip untuk kenaikan kelengkungan dan tegangan tekuk, dapat diperoleh dengan cara berikut. Koordinat  $\eta - \zeta$  dengan titik asal pada titik G. Kenaikan tegangan aksial pada titik  $i$  dinyatakan dengan kenaikan kelengkungan  $\Delta \phi_\eta$  dan  $\Delta \phi_\zeta$  dalam  $\eta$  dan  $\zeta$  arah, masing-masing disajikan sebagai berikut

$$\Delta \varepsilon_i (\eta_i - \zeta_i) = \zeta_i \Delta \phi_n + \eta_i \Delta \phi_\zeta \quad (2.20)$$

Kenaikan momen tekuk tentang  $\eta$  dan  $\zeta$  adalah

$$\begin{aligned} \Delta M_\eta &= \sum_{i=1}^N \zeta_i \Delta \sigma_i A_i = \left( \sum_{i=1}^N D_i \zeta_i^2 A_i \right) \Delta \phi_\eta + \left( \sum_{i=1}^N D_i \zeta_i \eta_i A_i \right) \Delta \phi_\zeta \\ \Delta M_\zeta &= \sum_{i=1}^N \eta_i \Delta \sigma_i A_i = \left( \sum_{i=1}^N D_i \zeta_i \eta_i A_i \right) \Delta \phi_\eta + \left( \sum_{i=1}^N D_i \eta_i^2 A_i \right) \Delta \phi_\zeta \end{aligned} \quad (2.21)$$

Ketika  $\eta$  dan  $\zeta$  adalah sumbu dasar sehubungan dengan kenaikan momen lentur dan kelengkungan, istilah digabungkan dalam Persamaan. (2.21) harus nol, yaitu

$$\sum_{i=1}^N D_i \zeta_i \eta_i A_i = 0 \quad (2.22)$$

## 2. 10 Metode *Smith* Untuk Analisa Kekuatan

Metode *smith* digunakan oleh sebagian besar biro klasifikasi sebagai metode alternatif untuk menghitung kekuatan-batas akibat momen lentur *vertikal*. Dengan metode *smith* atau metode *incremental iterative*, perilaku *nonlinear* pada setiap unit dilakukan dengan menggunakan analisa hubungan tegangan regangan [21].

Keuntungan metode *smith* antara lain efisiensi perhitungan, secara efektif dapat digunakan untuk perhitungan kerusakan elemen struktur membujur, dapat dimodifikasi untuk perhitungan kekuatan akibat pengaruh rotasi sumbu netral akibat kerusakan atau pembebanan asimetrik.

Kekurangan dari metode *smith* antara lain tidak dapat menghitung kerusakan *transversal* pada struktur, selalu mengasumsikan bentuk kegagalan antara elemen struktur, tidak dapat menghitung interaksi yang kompleks antara kegagalan lokal dan global atau redistribusi beban.

Prosedur analisa untuk semua jenis analisa dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Membagi potongan penampang menjadi elemen-elemen yang terdiri dari *stiffener* dan pelat terusan.

2. Menentukan hubungan nilai tegangan dan regangan rata-rata dari setiap elemen dengan mempertimbangkan pengaruh tekuk dan luluh, Persamaan (2.3).
3. Menentukan nilai kekakuan *tangential axial* pada setiap elemen dari kurva tegangan dan regangan rata-rata, Persamaan (2.8).
4. Menghitung posisi titik sumbu netral  $y_G$  dan  $z_G$ , Persamaan (2.14) dan (2.15)
5. Evaluasi potongan penampang *midship* terhadap sumbu netral, Persamaan (2.19)
6. Menghitung peningkatan nilai kelengkungan dan momen lentur yang tidak diketahui akibat kondisi tertentu.
7. Menghitung peningkatan nilai regangan setiap elemen dari peningkatan nilai kelengkungan dan peningkatan nilai tegangan menggunakan kemiringan dari kurva tegangan regangan.
8. Tambahkan hasil peningkatan nilai kelengkungan dan momen lentur sama seperti tegangan regangan pada elemen-elemen dengan nilai kumulatifnya, Persamaan (2.2) dan (2.11)
9. Menghitung posisi sumbu netral untuk nilai kumulatif tegangan dan regangan, Persamaan (2.7)
10. Lanjutkan ke tahap *incremental* selanjutnya.