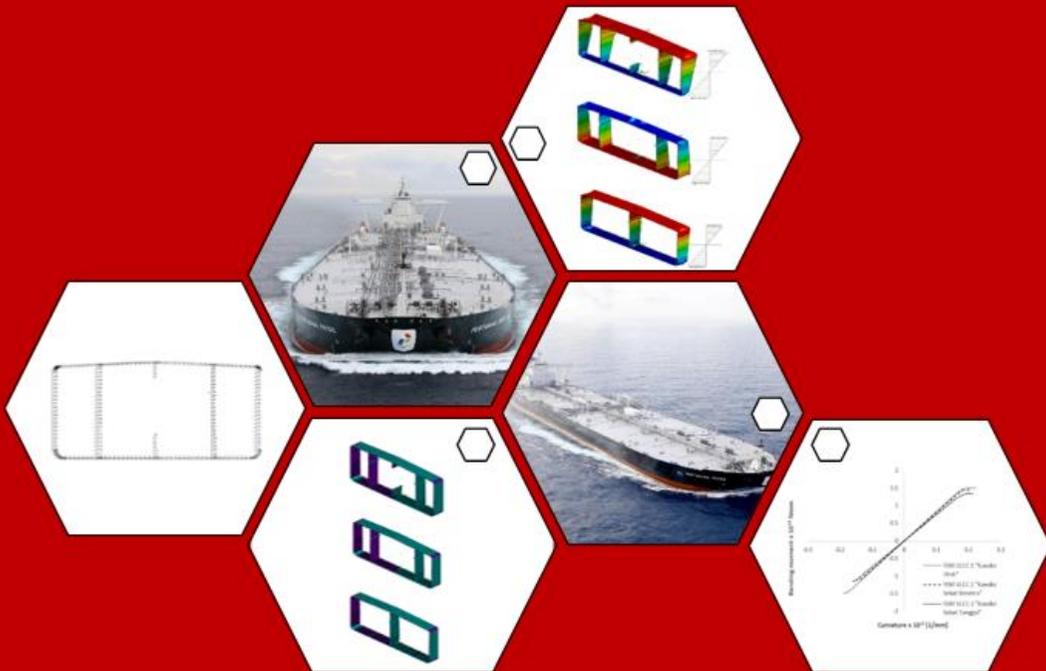


**ANALISIS STRUKTUR KEKUATAN LONGITUDINAL KAPAL *SINGLE HULL*
TANKER VLCC (*VERY LARGE CRUDE CARRIER*) DENGAN PENGARUH
TIGA VARIASI SEKAT TERHADAP *HOGGING* DAN *SAGGING*
MENGUNAKAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS***



**SRI WINDA
D081211063**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**ANALISIS STRUKTUR KEKUATAN LONGITUDINAL KAPAL *SINGLE HULL*
TANKER VLCC (*VERY LARGE CRUDE CARRIER*) DENGAN PENGARUH TIGA
VARIASI SEKAT TERHADAP *HOGGING* DAN *SAGGING* MENGGUNAKAN
*FINITE ELEMENT ANALYSIS***

SRI WINDA

D081211063



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**ANALISIS STRUKTUR KEKUATAN LONGITUDINAL KAPAL *SINGLE HULL*
TANKER VLCC (*VERY LARGE CRUDE CARRIER*) DENGAN PENGARUH TIGA
VARIASI SEKAT TERHADAP *HOGGING* DAN *SAGGING* MENGGUNAKAN
*FINITE ELEMENT ANALYSIS***

**SRI WINDA
D081211063**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Kelautan pada
Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

SKRIPSI
ANALISIS STRUKTUR KEKUATAN LONGITUDINAL KAPAL *SINGLE HULL*
TANKER VLCC (*VERY LARGE CRUDE CARRIER*) DENGAN PENGARUH TIGA
VARIASI SEKAT TERHADAP *HOGGING* DAN *SAGGING* MENGGUNAKAN
FINITE ELEMENT ANALYSIS

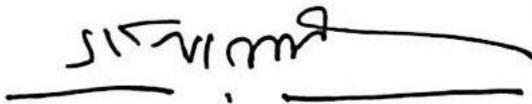
SRI WINDA
D081211063

Skripsi,

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana Pada Tanggal 16 Desember 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA

Mengesahkan:
Pembimbing Utama



Prof. Ir. Muhammad Zubair Muis Alie, ST., M.T., Ph. D-Eng
NIP. 19750608 200501 1 003

Mengetahui:
Ketua Departemen,



Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT
NIP. 19750605 200212 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul “**Analisis Struktur Kekuatan Longitudinal Kapal *Single Hull Tanker VLCC (Very Large Crude Carrier)* dengan Pengaruh Tiga Variasi Sekat terhadap *Hogging* dan *Sagging* menggunakan *Finite Element Analysis*” adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Prof. Ir. Muhammad Zubair Muis Alie. ST., MT., Ph.D-Eng). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada Perguruan Tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.**

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 13 Desember 2024



UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamua Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah Rabbil 'Aalamiin, Puji dan Syukur kita panjatkan atas kehadiran **Allah Subhanahu Wa Ta'ala** yang selalu senantiasa memberikan Rahmat serta nikmatnya selama ini atas segala kemudahan, jiwa yang penuh ambisi, semangat, keberanian, kekuatan, kesabaran, serta hati yang tenang sehingga hambanya ini dapat menyelesaikan kewajiban dan tanggung jawab sebagai seorang mahasiswa untuk menyusun tugas akhir. Penelitian saya ini berjudul “Analisis Struktur Kekuatan Longitudinal Kapal *Single Hull Tanker VLCC (Very Large Crude Carrier)* dengan Pengaruh Tiga Variasi Sekat Terhadap *Hogging* Dan *Sagging* Menggunakan *Finite Element Analysis*” saya selesaikan sebaik mungkin dengan penuh semangat serta usaha yang menjadi suatu syarat dalam menyelesaikan studi saya sebagai seorang Sarjana Teknik Kelautan di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Tak lupa saya senantiasa bershawat dan salam yang semoga selalu tercurah kepada **Rasulullah Sallallahu Alaihi Wasallam** yang telah menjadi panutan yang mengantarkan umatnya dari zaman kegelapan ke zaman yang terang.

Menjadi seorang Sarjana Teknik Kelautan adalah suatu hal yang tak pernah saya sangka dalam kehidupan saya. Tapi suatu hari itu di 2021 saya percaya bahwa ketika saya ditakdirkan di suatu tempat, maka pasti ada sesuatu yang harus diperjuangkan dan dituangkan di tempat atau posisi itu. Tak semudah yang saya bayangkan ternyata menjadi seorang Perempuan sebagai Mahasiswa Teknik. Semester 1 hingga semester 7 akhir yang punya cerita sendiri di berbagai elemen-elemen momennya. Tangis, takut, dan gelisah yang pada akhirnya menjadi keberanian, jiwa semangat, kesabaran, dan perjuangan tiada henti. Saya selalu berusaha memberi hal positif dalam tubuh, jiwa dan raga saya. Hal yang paling saya pegang teguh adalah bersyukur dan kesabaran yang menghasilkan banyak energi positif lainnya. Segala hal tersebut yang membuat saya bertahan dan merasa kuat serta aman sampai saat ini dan saya berharap untuk terus kedepannya.

Makassar, Pukul 23.16, 03 November 2024 ini di *midnight session* saya ingin mengutarakan banyak-banyak hal yang terkonsep dalam suatu bab “Ucapan Terimakasih” yang amat tulus kepada banyak orang-orang baik yang dihadirkan Allah untuk saya. Saya sangat bersyukur dilahirkan ke dunia ini oleh kedua orang tua saya yang sederhana tapi berhasil merawat dan membuat anak Perempuan satu-satunya tumbuh dengan penuh semangat ini dan tidak pernah menyerah. Kepada **Ayahanda Muh Yunus & Ibunda Sukma**, apapun yang saya katakan saat ini di halaman ini adalah bentuk cinta untuk kalian berdua. Saya berterimakasih kepada kalian berdua atas segala banyak hal. Untuk Bapak, terimakasih atas kerja keras, pengajaran dan pengorbananmu. Untuk Mama tercinta & tersayang, saya menyayangi mu setiap detik, menit, jam, dan hari. Mama terimakasih untuk perjuangan, doa, kasih sayang, serta segala pengorbanan mu. Terimakasih untuk selalu bisa mendengar keluh kesah saya, cerita suka dan duka saya. Terima kasih Mama mengajarkan kesabaran, keberanian dan kebijaksanaan dalam menjalani kehidupan ini. Terimakasih telah mengusahakan banyak hal untuk Winda.

Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, saya ingin mengucapkan terima kasih juga kepada:

1. **Bapak Prof. Muhammad Zubair Muis Alie, ST., MT., Ph.D-Eng.** Selaku Dosen Pembimbing Skripsi. Terima kasih atas waktu, bimbingan, serta ilmu yang diberikan kepada saya sebagai Anggota Labo Osarel.
2. **Bapak Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT & Bapak Dr. Eng. Firman Husain, ST., MT.** Selaku Dosen Penguji. Terima kasih telah memberikan masukan atau perbaikan dalam penyusunan skripsi ini.
3. Kepada **Bapak Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT** sebagai Kepala Departemen Teknik Kelautan yang juga mengesahkan skripsi ini. Terima kasih kepada **Bapak Sabaruddin Rahman, ST., MT., Ph.D** sebagai Dosen Penasehat Akademik saya atas selama ini selama masa studi. **Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Kelautan**, terima kasih atas ilmu pengetahuan yang sangat berharga selama masa Pendidikan.
4. **Staff Administrasi Departemen Teknik Kelautan**, terima kasih atas bantuannya selama ini dalam berbagai urusan administrasi.
5. Segenap Keluarga Besar saya terkhusus “**Keluarga Mandiri**” atas segala momen kebersamaannya. Serta terima kasih kepada Kakek & Nenek dari mama saya yang selalu memberikan yang terbaik dalam bentuk doa dan kasih sayang. Juga Almarhum Kakek & Nenek dari Bapak saya, terima kasih atas kasih sayang dan nyanyian khusus “Lagu untuk Indah” dari Kakek di kala itu.
6. Kepada (**Bapak Hardi & Ibu Andi Irmayani**), (**Bapak Jaenuddin & Ibu Hj. Hasdiah**), (**Bapak Syamsuddin & Ibu Hasmiah**), (**Bapak Supriadi & Ibu Meldawati**) serta yang lainnya, terima kasih telah menjadi bagian *support system* atas segala bentuk dukungannya selama ini dalam proses perkuliahan saya.
7. Terima kasih kepada saudara-saudara saya **Kakak Wahyudi & Kakak Dewi Ratna, Adik Abdul Wahid, Adik Muh Adris, serta Keponakan saya Afizah Ghania Wahda**, telah menjadi bagian *support system* saya dan membuat saya semangat menjalani hari-hari.
8. Kepada **Teman Cemara (Ilham, Fatur, Amanda, Ani, Rasul, Maya, Zultan, Arham, Sinta, Sulaika)** yang merupakan lingkaran teman SMA saya yang selalu ada di setiap suka maupun duka dari awal kita berjumpa hingga saat ini dan seterusnya.
9. Terima kasih kepada sahabat saya **Nur Indah & Anisa Eka Ramadani** yang selalu mendorong saya, memberi semangat, dan selalu ada suka maupun duka selama berjuang di Teknik Kelautan. Serta **Nursalsabila Aulia & Bulan Purnama** yang menjadi teman baik saya dan tentunya segala hal-hal baik yang pernah ada, terima kasih.
10. Terima kasih kepada sepupu yang telah saya anggap saudara **Siti Fatima, Sri Yunizar, Nur Hikma, Erna & Erni**.
11. Terima kasih kepada **Teman-Teman Labo Osarel serta Alumni Labo Osarel** juga telah menjadi bagian *support system* dalam proses saya di Teknik Kelautan.
12. Terima kasih kebersamaan kepada segenap **Teman-Teman Teknik Kelautan 2021 serta senior-senior dan alumni**.
13. Terima kasih kepada segenap lingkaran pertemanan Winda **C.1230/Jardin Family’s, Bismillah Rinjanii (Semuanya NABUNG!!!)** hahaa ini teman pmm circle jogja traveler,

segenap **Teman-Teman PMM 3 ITB hingga yang ada di ITB, Bandung**, serta circle lainnya karena saya punya banyak circle sana-sini bukan lupa tapi ini sudah kepanjangan. Terima kasih karena kalian adalah bagian terkecil tapi amat membuat saya senang dalam momen hidup ini.

14. Terima kasih kepada pihak manapun, teman apapun, tangan-tangan tak terlihat, doa-doa yang terpanjat dan tak terdengar namun terdengar oleh langit. Terima kasih meski tak semua nama terucap, segala doa dan dukungan kalian adalah pijakan dalam perjalanan ini. Sekali lagi terima kasih.

Akhir kata, saya berharap skripsi atau penelitian ini dapat bermanfaat bagi pihak manapun. Atas lebih dan kurangnya saya memohon maaf, Terima kasih.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

SRI WINDA

ABSTRAK

SRI WINDA. **Analisis Struktur Kekuatan Longitudinal Kapal *Single Hull Tanker VLCC (Very Large Crude Carrier)* dengan Pengaruh Tiga Variasi Sekat terhadap *Hogging* dan *Sagging* menggunakan *Finite Element Analysis*** (dibimbing oleh Muhammad Zubair Muis Alie)

Latar belakang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konfigurasi sekat membujur terhadap kekuatan longitudinal Kapal Tanker VLCC (*Very Large Crude Carrier*) yang menggunakan lambung tunggal. Kapal VLCC memerlukan struktur yang dapat mendukung kekuatan longitudinal agar tahan terhadap kondisi *hogging* dan *sagging*. Penelitian ini mengevaluasi dua variasi sekat yaitu konfigurasi dengan dua sekat simetris tanpa tambahan sekat di tengah bagian atas dan bawah serta konfigurasi satu sekat tunggal di tengah kapal. **Metode.** Penelitian ini menggunakan *Non-Linear Finite Element Analysis* dengan *Ansys Mechanical APDL* untuk mengetahui perilaku lambung Kapal VLCC yang memiliki konfigurasi sekat membujur seperti tegangan dan deformasi. Tegangan izin yang ditetapkan sebesar 490 N/mm² dan tegangan luluh 355 N/mm². **Hasil.** Penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi dua sekat simetris menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata dan optimal dengan nilai tegangan mencapai 86,92% dari batas izin di *deck* dan 85,11% di *bottom* saat *hogging*, serta 66,56% di *deck* dan 73,46% di *bottom* saat *sagging*. Sementara itu, konfigurasi satu sekat tunggal tetap memadai dengan tegangan di bawah batas izin *American Bureau of Shipping (ABS)*. **Kesimpulan.** Momen lentur terbesar dicapai oleh kapal dengan dua sekat simetris yaitu $1,45 \times 10^{13}$ Nmm pada kondisi *hogging* dan $-1,11 \times 10^{13}$ Nmm pada kondisi *sagging*. Dengan demikian, konfigurasi dua sekat membujur memiliki kekuatan lebih besar dibandingkan satu sekat membujur.

Kata kunci: VLCC; Penampang; Sekat; *Ultimate Strength*

ABSTRACT

SRI WINDA. **Analysis of Longitudinal Strength Structure of Single Hull Tanker VLCC (Very Large Crude Carrier) with the Effect of Three Bulkhead Variations on Hogging and Sagging Using Finite Element Analysis** (supervised by Muhammad Zubair Muis Alie).

Background. The objective of this study is to analyze the effect of longitudinal bulkhead configuration on the longitudinal strength of a VLCC (Very Large Crude Carrier) Tanker using a single hull. VLCC vessels require a structure that can support longitudinal strength to withstand hogging and sagging conditions. This study evaluates two bulkhead variations, namely a configuration with two symmetrical bulkheads without additional bulkheads at the center of the top and bottom and a single bulkhead configuration at the center of the ship. **Methods.** This study uses Non-Linear Finite Element Analysis with Ansys Mechanical APDL to determine the hull behavior of VLCC Vessels having longitudinal bulkhead configuration such as stress and deformation. The allowable stress was set at 490 N/mm² and the yield stress was 355 N/mm². **Results.** The study shows that the configuration of two symmetrical bulkheads produces a more even and optimal stress distribution with stress values reaching 86,92% of the allowable limit at the deck and 85,11% at the bottom when hogging, as well as 66,56% at the deck and 73,46% at the bottom when sagging. Meanwhile, the single bulkhead configuration remains adequate with stresses below the American Bureau of Shipping (ABS) clearance limits. **Conclusion.** The largest bending moment is achieved by the ship with two symmetrical bulkheads which is $1,45 \times 10^{13}$ Nmm under hogging condition and $-1,11 \times 10^{13}$ Nmm under sagging condition. Thus, the configuration of two longitudinal bulkheads has greater strength than one longitudinal bulkhead.

Keywords: VLCC; Cross Section; Bulkhead; Ultimate Strength

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
PENGAJUAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
DAFTAR ISTILAH	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Teori	2
1.3 Rumusan Masalah	18
1.4 Batasan Masalah	19
1.5 Tujuan Penelitian	19
1.6 Manfaat Penelitian	19
1.7 Sistematika Penulisan.....	20
BAB II METODE PENELITIAN	21
2.1 Jenis Penelitian	21
2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	21
2.3 Penyajian Data	21
2.4 Analisa Data	26
2.5 Kerangka Alur Pemikiran	27
2.6 Diagram Alir.....	28
BAB III HASIL & PEMBAHASAN	29
3.1 Hasil	29
3.1.1 <i>Modelling</i> 3 Kondisi Struktur Kapal <i>Single Hull Tanker VLCC</i>	29
3.1.2 Analisis Kekuatan Batas Momen Lentur pada Kondisi Sekat Utuh	32
3.1.3 Analisis Kekuatan Batas Momen Lentur pada Kondisi Sekat Simetris.....	34
3.1.4 Analisis Kekuatan Batas Momen Lentur pada Kondisi Sekat Tunggal.....	36
3.2 Pembahasan	38
3.2.1 Kekuatan Batas Momen Lentur Vertikal Kondisi Sekat Utuh.....	38
3.2.2 Kekuatan Batas Momen Lentur Vertikal Kondisi Sekat Simetris	40
3.2.3 Kekuatan Batas Momen Lentur Vertikal Kondisi Sekat Tunggal	42
3.2.4 Perbandingan Kekuatan Batas Kapal <i>Single Hull Tanker VLCC</i> dengan Metode <i>NLFEA</i>	44
3.2.5 Perbandingan Tegangan Kerja Kapal <i>Single Hull Tanker VLCC</i> dengan Metode <i>NLFEA</i>	46

BAB IV KESIMPULAN & SARAN	49
4.1 Kesimpulan.....	49
4.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN.....	53
TENTANG PENULIS.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Tegangan Izin Pada Struktur Baja Elemen Pemasangan dan <i>Substructure</i> (N/mm ²)	13
Tabel 2 Uraian Jadwal Penelitian	21
Tabel 3 Data Kapal VLCC.....	21
Tabel 4 Konfigurasi Material Stiffener Kapal VLCC.....	22
Tabel 5 Kekuatan Batas Momen Lentur Kapal VLCC Kondisi Sekat Utuh.....	38
Tabel 6 Kekuatan Batas Momen Lentur Kapal VLCC Kondisi Sekat Simetris	40
Tabel 7 Kekuatan Batas Momen Lentur Kapal VLCC Kondisi Sekat Tunggal	42
Tabel 8 Rekapitulasi Perbandingan Kekuatan Batas Kapal VLCC	44
Tabel 9 Rekapitulasi Tegangan Kerja Kapal VLCC Kondisi Sekat Utuh Akibat Kekuatan Batas	46
Tabel 10 Rekapitulasi Tegangan Kerja Kapal VLCC Kondisi Sekat Simetris Akibat Kekuatan Batas	47
Tabel 11 Rekapitulasi Tegangan Kerja Kapal VLCC Kondisi Sekat Tunggal Akibat Kekuatan Batas	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Konstruksi Kapal Tanker (Bachman, 1991)	2
Gambar 2 Kapal Pengangkut Minyak Mentah (www.pertamina.com)	3
Gambar 3 Konstruksi <i>Single Hull Tanker</i> (Shama, 2013)	3
Gambar 4 Struktur Utama Batang Kapal <i>Tanker Single Hull</i> (Shama, 2013)	4
Gambar 5 Struktur Utama Batang Pada Struktur <i>Bottom</i> Dan Sekat Melintang Pada Kapal <i>Tanker Single Hull</i> (Shama, 2013)	4
Gambar 6 Struktur Anggota Pada Bagian Tengah Tanker Dari <i>Single Hull Tanker</i> (Shama, 2013)	5
Gambar 7 Struktur Utama Batang Pada Bagian Sayap Tanker Pada <i>Single Hull Tanker</i> (Shama, 2013)	5
Gambar 8 Struktur <i>Web-Frame</i> Kapal <i>VLCC</i> (Parkway, 2012)	6
Gambar 9 <i>Single Hull Tanker</i> (Shama, 2013)	7
Gambar 10 Tegangan-Regangan (NPTEL)	10
Gambar 11 Tegangan Tarik (NPTEL)	10
Gambar 12 Tegangan Tekan (NPTEL)	11
Gambar 13 <i>Von Mises Yield Surface For Plain Stress</i> (ABS, 2024)	12
Gambar 14 Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan (Timoshenko, 1930)	14
Gambar 15 Grafik Kekuatan Momen Lentur Dan Kelengkungan (DNV GL, n.d.)	15
Gambar 16 <i>Box Girder</i> Tanpa Elemen di Tengah Penampang (Alie et al., 2021)	18
Gambar 17 Konfigurasi Penampang <i>Midship VLCC</i> (Alie et al, 2012)	22
Gambar 18 Penampang <i>Midship VLCC</i> Kondisi Sekat Simetris (Desain <i>AutoCAD</i>)	25
Gambar 19 Penampang <i>Midship VLCC</i> Kondisi Sekat Tunggal (<i>Desain AutoCAD</i>)	26
Gambar 20 <i>Meshing</i> (Hasil Olahan, 2024)	27
Gambar 21 Diagram alir	28
Gambar 22 Kondisi Sekat Utuh (Hasil Olahan, 2024)	29
Gambar 23 Kondisi Sekat Simetris (Hasil Olahan, 2024)	30
Gambar 24 Kondisi Sekat Tunggal (Hasil Olahan, 2024)	31
Gambar 25 Distribusi Tegangan Kerja pada Kapal <i>VLCC</i> dengan Sekat Utuh Akibat Kondisi <i>Hogging</i> (Hasil Olahan, 2024)	32
Gambar 26 Distribusi Tegangan Kerja pada Kapal <i>VLCC</i> dengan Sekat Utuh Akibat Kondisi <i>Sagging</i> (Hasil Olahan, 2024)	33
Gambar 27 Distribusi Tegangan Kerja pada Kapal <i>VLCC</i> dengan Sekat Simetris Akibat Kondisi <i>Hogging</i> (Hasil Olahan, 2024)	34

Gambar 28 Distribusi Tegangan Kerja pada Kapal VLCC dengan Sekat Simetris Akibat Kondisi <i>Sagging</i> (Hasil Olahan, 2024)	35
Gambar 29 Distribusi Tegangan Kerja pada Kapal VLCC dengan Sekat Tunggal Akibat Kondisi <i>Hogging</i> (Hasil Olahan, 2024)	36
Gambar 30 Distribusi Tegangan Kerja pada Kapal VLCC dengan Sekat Tunggal Akibat Kondisi <i>Sagging</i> (Hasil Olahan, 2024)	37
Gambar 31 Grafik Momen Lentur Kelengkungan Kapal VLCC Kondisi Sekat Utuh (Hasil Olahan, 2024).....	38
Gambar 32 Detail Deformasi Kekuatan Batas Kapal VLCC Kondisi Sekat Utuh Saat <i>Hogging</i> (Hasil Olahan, 2024)	39
Gambar 33 Detail Deformasi Kekuatan Batas Kapal VLCC Kondisi Sekat Utuh Saat <i>Sagging</i> (Hasil Olahan, 2024)	39
Gambar 34 Grafik Momen Lentur Kelengkungan Kapal VLCC Kondisi Sekat Simetris (Hasil Olahan, 2024).....	40
Gambar 35 Detail Deformasi Kekuatan Batas Kapal VLCC Kondisi Sekat Simetris Saat <i>Hogging</i> (Hasil Olahan, 2024)	41
Gambar 36 Detail Deformasi Kekuatan Batas Kapal VLCC Kondisi Sekat Simetris Saat <i>Sagging</i> (Hasil Olahan, 2024)	41
Gambar 37 Grafik Momen Lentur Kelengkungan Kapal VLCC Kondisi Sekat Tunggal (Hasil Olahan, 2024).....	42
Gambar 38 Detail Deformasi Kekuatan Batas Kapal VLCC Kondisi Sekat Tunggal Saat <i>Hogging</i> (Hasil Olahan, 2024).....	43
Gambar 39 Detail Deformasi Kekuatan Batas Kapal VLCC Kondisi Sekat Tunggal Saat <i>Sagging</i> (Hasil Olahan, 2024)	43
Gambar 40 Grafik Momen Kelengkungan 3 Model Sekat Kapal VLCC (Hasil Olahan, 2024)	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Hasil Analisis Kekuatan Batas Kapal VLCC Sekat Utuh menggunakan Metode <i>NLFEA</i> Kondisi <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i>	53
Lampiran 2 Tabel Hasil Analisis Kekuatan Batas Kapal VLCC Sekat Simetris menggunakan Metode <i>NLFEA</i> Kondisi <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i>	54
Lampiran 3 Tabel Hasil Analisis Kekuatan Batas Kapal VLCC Sekat Tunggal menggunakan Metode <i>NLFEA</i> Kondisi <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i>	55
Lampiran 4 Bukti Kartu Asistensi Skripsi	56

DAFTAR SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
A	Luas penampang	m^2
B	Lebar kapal	m
b	Lebar kerusakan akibat kandas	m
b_x	Gaya apung	N
C	Koefisien momen lentur	
C_b	Koefisien blok kapal	
D	Tinggi kapal	m
E	Modulus elastisitas	N/mm^2
F_{ta}	Gaya tekan	N
F_{tr}	Gaya tarik	N
F_x	Gaya geser arah sumbu x	N
h	Tinggi kerusakan akibat tubrukan	m
I	Inersia penampang	m^4
I_{min}	Inersia ijin	m^4
K_M	Faktor distribusi	
L	Panjang kapal	
M	Momen lentur	Nmm
M_{US}	Kekuatan batas momen lentur <i>sagging</i>	Nmm
M_{UH}	Kekuatan batas momen lentur <i>hogging</i>	Nmm
M_{sw}	Momen lentur pada air tenang	Nmm
M_w	Momen lentur akibat gelombang	Nmm
M_t	Momen lentur-batas total	Nmm
S	Modulus penampang	Nmm

S_b	Modulus penampang bagian <i>bottom</i>	m^3
S_d	Modulus penampang bagian <i>deck</i>	m^3
S_p	Modulus penampang izin	m^3
z	Jarak dari sumbu netral ke lokasi tegangan lentur	m
z_b	Jarak dari sumbu netral ke lokasi tegangan lentur <i>bottom</i>	m
σ	Tegangan lentur	N/mm^2
σ_p	Tegangan lentur izin	N/mm^2
σ_{max}	Tegangan lentur maksimum	N/mm^2
σ_e	Tegangan rata-rata	N/mm^2
σ_{te}	Tegangan tekan	N/mm^2
σ_{tr}	Tegangan tarik	N/mm^2
τ	Tegangan geser	N/mm^2
ε	Regangan	
δl	Deformasi material	m

DAFTAR ISTILAH

<i>ANSYS</i>	: <i>Software</i> yang digunakan untuk menghitung kekuatan struktur
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
<i>Mesh</i>	: Membagi Struktur menjadi bagian-bagian kecil
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.
<i>Run</i>	: Menjalankan program untuk menghitung hasil analisis
<i>VLCC</i>	: <i>Very Large Crude Carrier</i>
<i>Software</i>	: 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.
<i>Tensile Strength</i>	: Tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik atau ditekan, sebelum bahan tersebut patah atau putus.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Very Large Crude Carrier (VLCC) adalah salah satu jenis kapal tanker yang memiliki lambung tunggal. Lambung tunggal sangat sensitif karena kapal berada di bawah pembengkokan longitudinal karena kurangnya konstruksi elemen untuk memperkuat kekuatan longitudinal. Oleh karena itu, kekuatan longitudinal *Very Large Crude Carrier (VLCC)* harus dianalisis (Suci et al., 2021). Kapal tanker yang dirancang untuk membawa muatan cair dalam jumlah besar di dalam ruang muatannya tanpa menggunakan barel atau container 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 (Lee & Paik, 2020).

Banyak kapal tanker yang dioperasikan menggunakan *single hull* pada tahun 1960-1990. Pada tahun itu, banyak terjadi kecelakaan kapal yang mengakibatkan pencemaran dan dampak kerusakan lingkungan laut. Sehubungan dengan itu, karena adanya degradasi struktural kapal, kapal kemudian kehilangan kekakuannya dan terjadi keruntuhan kapal (Rizkiani et al., 2019). Salah satunya Kapal VLCC tipe *single hull* masih digunakan hingga sekarang dikarenakan besarnya ruang muat yang ada, sehingga jumlah muatan (minyak) yang diangkut lebih besar dibandingkan *double hull tanker*.

Telah diketahui dengan baik bahwa *ultimate strength* merupakan hal yang penting pada desain kapal. Kekuatan ini harus diperhitungkan untuk melindungi kapal dari kerusakan. Ada tiga jenis kekuatan kapal yaitu membujur, melintang, dan lokal. Kekuatan membujur adalah yang paling signifikan dan parameternya selalu dinilai untuk menetapkan kapasitas momen lentur kapal terhadap beban saat di Laut (Alie & Latumahina, 2019).

Adanya sekat membujur pada Kapal Tanker VLCC diduga berpengaruh terhadap kekuatan struktur kapal, karena sekatnya dilengkapi dengan balok penegar dan penumpu baik arah melintang maupun membujur. Kekuatan membujur Kapal Tanker VLCC secara kondisi sekat utuh telah dianalisis sebelumnya yaitu terdapat 2 sekat yang simetris serta sekat penambah di bagian tengah atas dan bawah. Berdasarkan penelitian tersebutlah sehingga dalam penelitian ini akan melanjutkan penelitian dengan judul "Analisis Struktur Kekuatan Longitudinal Kapal *Single Hull Tanker VLCC (Very Large Crude Carrier)* dengan Pengaruh Tiga Variasi Sekat terhadap *Hogging* dan *Sagging* menggunakan *Finite Element Analysis*".

Dalam penelitian ini ada 2 jenis pengujian dengan mempertimbangkan sekat pada Kapal Tanker VLCC yaitu ketika terdapat 2 sekat yang simetris tanpa sekat penambah di bagian tengah atas dan bawah kemudian ketika hanya terdapat satu sekat di tengah kapal.

Beberapa pendekatan untuk melakukan analisis kekuatan lambung kapal berdasarkan kekuatan sekat tersebut. Salah satunya *Finite Element Analysis* atau

metode elemen hingga. Banyak peneliti telah melakukan penelitian tentang perhitungan kekuatan membujur kapal dalam kondisi utuh ataupun rusak dengan menggunakan analisis *FEM nonlinear* (Vu Van et al., 2018).

Beban longitudinal (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* (Liu et al., 2021).

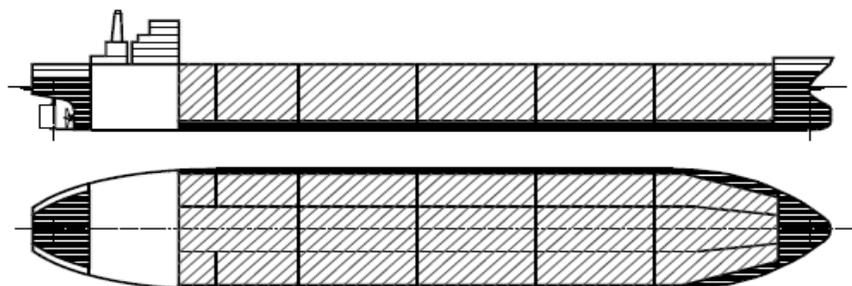
Berdasarkan penelitian ini akan menghasilkan kondisi *hogging* dan *sagging* masing-masing dari 2 kasus yang telah dibahas sebelumnya terkait sekat membujur yang telah diuji pada kekuatan struktur Kapal Tanker VLCC dan akan menjadi perbandingan terhadap kondisi sekat utuh Kapal *Single Hull Tanker VLCC*. Kemudian manfaat dari penelitian ini juga untuk memberikan informasi kepada pihak industri galangan kapal terkait apakah kondisi sekat yang diuji itu efektif atau berkontribusi positif pada kekuatan struktur Kapal Tanker VLCC sehingga dapat berdampak pada ruang muat Kapal Tanker VLCC.

1.2 Teori

1.2.1 Konstruksi Kapal Tanker

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 (Anish, 2017).

Ukuran dari kapal pengangkut minyak mentah biasanya lebih besar dari pengangkut minyak produksi, tetapi dalam pengaturan jaringan pipa-pipanya lebih kompleks (Anish, 2017). Adapun contoh konstruksi kapal tanker dapat dilihat pada Gambar 1 di Halaman 3.



Gambar 1 Konstruksi Kapal Tanker (Bachman, 1991)

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

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

1.2.2 Kapal *Crude Carrier*

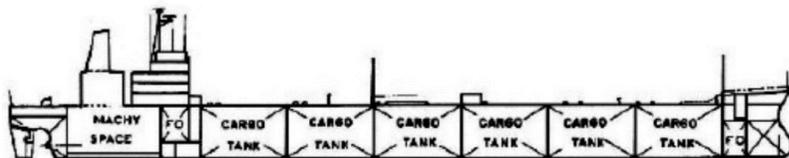
Crude Carrier adalah kapal tanker pengangkut minyak mentah atau *crude oil* yang ditunjukkan pada Gambar 2. Kargo jenis ini umumnya homogen. Perbedaan spesifikasi mentah tidak berpengaruh karena pada akhirnya akan diolah di tahap berikutnya. Ukuran *crude carrier* Mulai dari 50.000 MT DWT hingga sekitar 500.000 MT DWT.



Gambar 2 Kapal Pengangkut Minyak Mentah (www.pertamina.com)

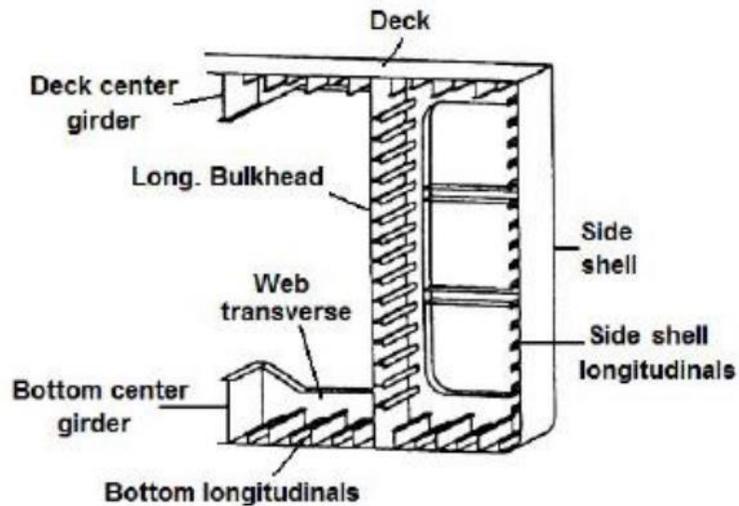
1.2.3 Desain Struktur VLCC

Ruang akomodasi dan permesinan selalu berada di belakang sesuai dengan Gambar 3. Kargo terpasang dengan pompa muatan yang dipasang pada satu atau lebih kamar pompa balik di ujung atau di tengah bagian tanki muatan. Panjang kargo tanker yang membawa minyak dibagi-bagi menjadi 6 tank oleh sekat transversal. Bagian kapal ini juga dibagi oleh sekat longitudinal.

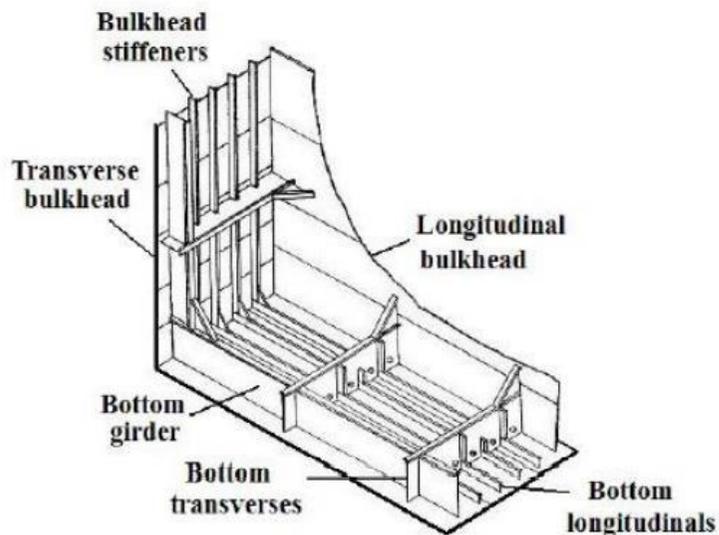


Gambar 3 Konstruksi *Single Hull Tanker* (Shama, 2013)

Pada Gambar 4 di bawah tidak ada *double bottom* yang terpasang pada *cargo-carrying* dari kapal tanker konvensional. Struktur utama pada struktur bagian bawah dan sekat melintang pada *single hull oil tanker* ditunjukkan pada Gambar 5.

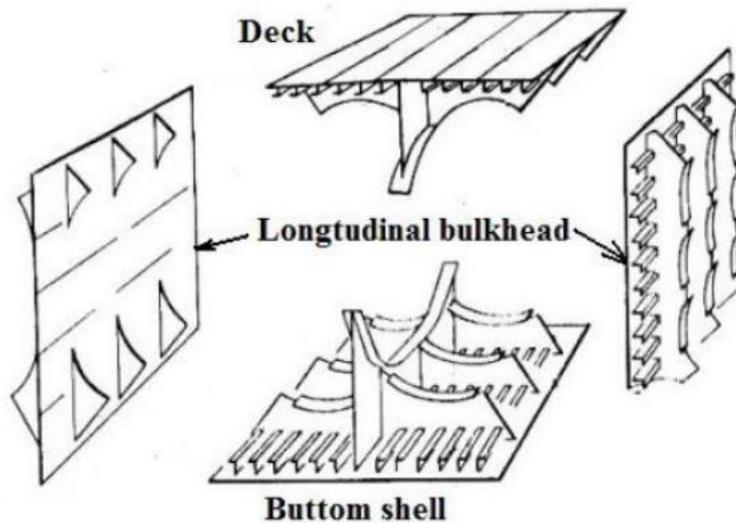


Gambar 4 Struktur Utama Batang Kapal *Tanker Single Hull* (Shama, 2013)

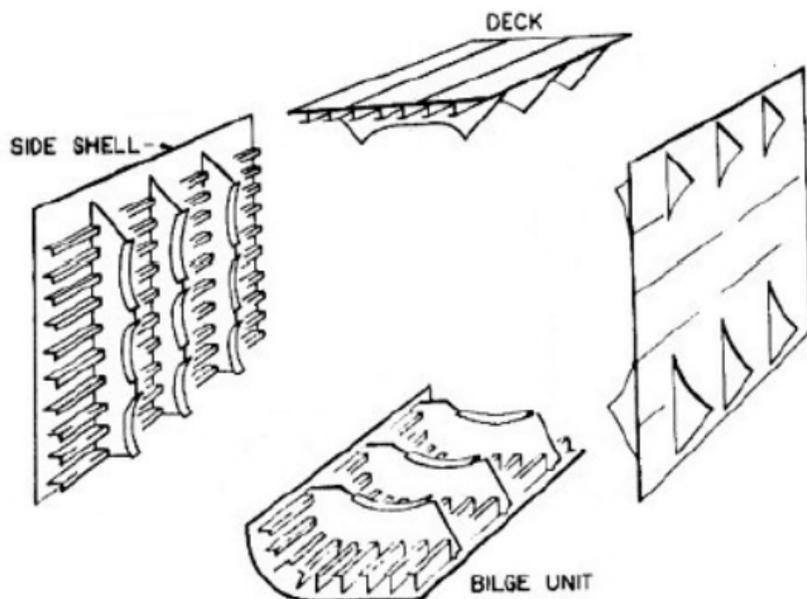


Gambar 5 Struktur Utama Batang Pada Struktur *Bottom* Dan Sekat Melintang Pada Kapal *Tanker Single Hull* (Shama, 2013)

Struktur utama anggota pada bagian tengah kapal tanker pada *single hull oil tanker* ditunjukkan pada Gambar 6 dan untuk sayap kapal ditunjukkan pada Gambar 7.

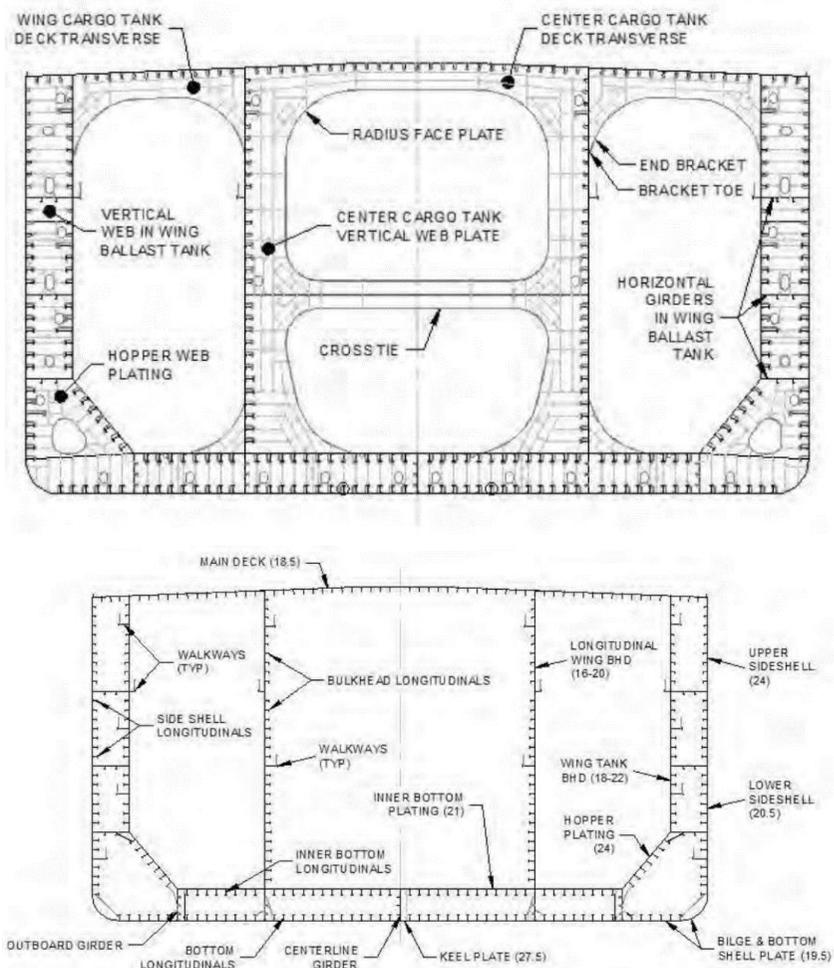


Gambar 6 Struktur Anggota Pada Bagian Tengah Tanker Dari *Single Hull Tanker* (Shama, 2013)



Gambar 7 Struktur Utama Batang Pada Bagian Sayap Tanker Pada *Single Hull Tanker* (Shama, 2013)

Susunan struktur dari *web frame* Kapal *Very Large Crude Carrier* ditunjukkan pada Gambar 8. Pelat horizontal (*Girder* atau *Stringer Horizontal*) disusun di *wing tanks* dan *walkways* diatur di bagian atas ruang kargo untuk memungkinkan pemeriksaan semua struktur. Struktur *sloping hopper* di bagian bawah tanki berfungsi untuk memberikan kekuatan dan kekakuan pada antarmuka *double bottom* atau *wing tank*. Bagian pelat bawah dalam kapal harus bersih untuk memungkinkan *drainase*. *Web frames* biasanya sebesar 3.5 meter sampai 5 meter tergantung dari ukuran kapal itu sendiri.



Gambar 8 Struktur *Web-Frame* Kapal VLCC (Parkway, 2012)

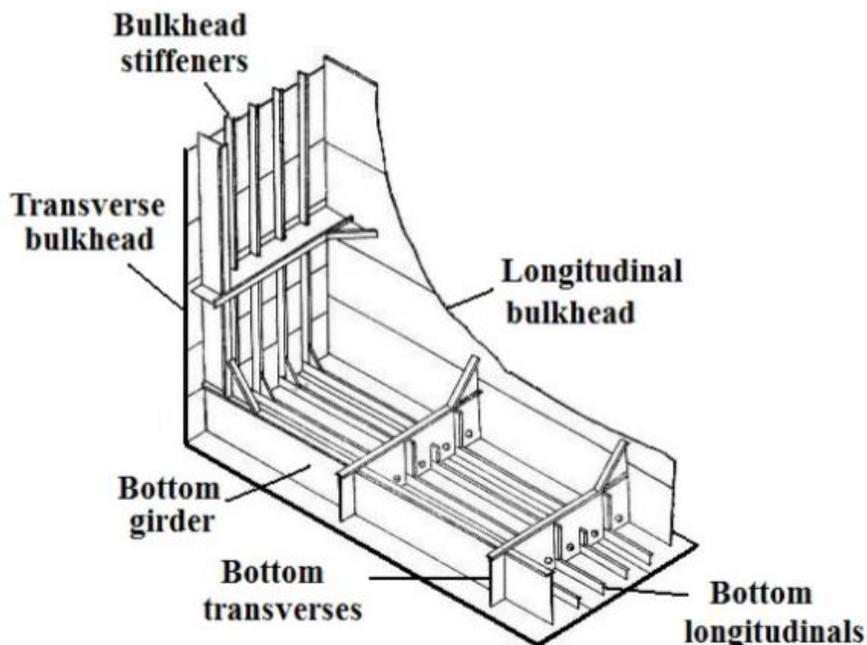
Kapal tanker *single hull* memiliki satu lambung dan secara langsung mengangkut minyak di dalam struktur lambung kapal. Beberapa tanker *single hull* mengangkut minyak dan air *ballast* dalam tanki yang sama. Terdapat juga *single hull tanker* yang memiliki tanki *ballast* yang terpisah dengan lambung kapal (minyak dibawa langsung ke dalam lambung kapal

dan tanki *ballast* terpisah dari muatan). Sehingga jika terjadi kebocoran atau tumpahan minyak, hanya satu lambung yang akan diterobos.

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. 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.

1.2.4 Konstruksi *Single Hull*

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 tanki yang sama, sementara beberapa kapal *Single hull tanker* memiliki tanki pemberat terpisah di dalam lambung (yaitu minyak dibawa langsung ke dalam lambung kapal, tapi tanki pemberat terpisah dari muatan). Akibat hanya satu lapisan, kapal *single hull tanker* menimbulkan ancaman lebih besar terhadap lingkungan laut jika terjadi kecelakaan apapun. Adapun contoh *single hull tanker* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 *Single Hull Tanker* (Shama, 2013)

1.2.5 Deformasi Material

Deformasi material merupakan perubahan bentuk atau ukuran dari sebuah material karena sebuah gaya kerja yang diterapkan padanya. Dalam hal ini deformasi material yang dimaksud timbul akibat gaya kerja berupa kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan lipatan atau memutar (torsion).

Ketika deformasi terjadi gaya internal antar-molekul muncul melawan beban atau gaya kerja yang diberikan. Jika gaya yang diberikan tidak melebihi kekuatan internal antar-molekul material maka memungkinkan material tersebut dapat mencapai keadaan setimbang baru dan kembali ke kondisi semula ketika beban atau gaya kerja yang diberikan dihapuskan. Sebaliknya jika beban atau gaya kerja yang diberikan melebihi kemampuan gaya internal antar-molekul material maka dapat menyebabkan deformasi permanen dari material (kegagalan struktur). Adapun deformasi yang timbul pada material dapat dihitung dengan Persamaan 1 berikut.

$$\delta l = \epsilon l = \frac{\sigma l}{E} = \frac{Pl}{AE} \quad (1)$$

Dimana:

- σ = Tegangan yang timbul pada material (N/mm²)
- ϵ = Regangan yang timbul pada material
- P = Beban atau gaya yang bekerja pada material (N)
- A = Luas penampang material (mm²)
- E = Modulus elastisitas material (N/mm²)
- l = Panjang material (mm)
- δl = Deformasi material (mm)

1.2.6 Tegangan dan Regangan

a. Tegangan Kerja

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 sejajar 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:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Dimana:

- σ = Tegangan (N/mm²)
- P = Gaya total (N)

A = Luas penampang batang (mm^2)

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

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2} + [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2]} \quad (3)$$

Dimana x , y , dan z menyatakan arah sumbu tegangan-tegangan pada setiap elemen yang bekerja. Secara umum mempertimbangkan adanya tekuk (*buckling*) dan luluh (*yielding*).

b. Tegangan Normal pada Arah Memanjang Kapal

Tegangan normal merupakan hasil dari penjumlahan tegangan lentur dan tegangan aksial.

1) Tegangan Normal Akibat Momen Lentur Vertikal

Untuk penelitian kali ini menggunakan jenis statis momen lentur vertikal. Adapun rumus untuk mencari statis momen lentur vertikal sebagai berikut.

Statical From M_{sw} :

$$\sigma_{sw} = \frac{M_{sw} \times e_z}{I_y \times 10^3} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (4)$$

Dimana:

- σ_{sw} = Tegangan statis akibat momen lentur vertikal (N/mm^2)
- M_{sw} = Momen lentur vertikal saat air tenang (Nmm)
- I_y = Inersia penampang kapal yang memanjang (mm^4)
- e_z = Jarak horizontal sumbu vertikal dan netral (m)

2) Tegangan Normal Akibat Momen Lentur Gelombang Horizontal

Untuk penelitian kali ini menggunakan jenis dinamis momen lentur horizontal. Adapun rumus untuk mencari statis momen lentur horizontal sebagai berikut.

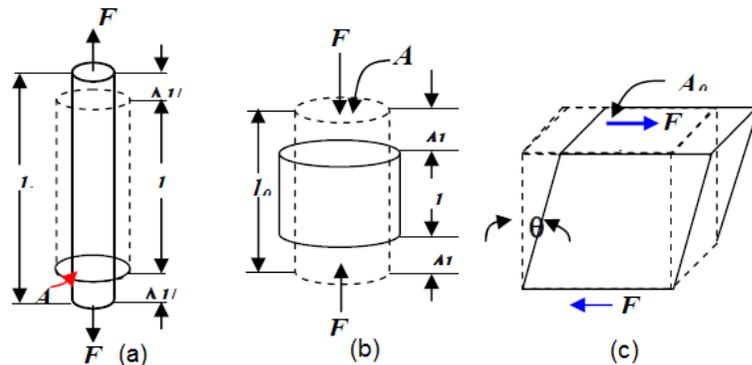
Dynamical From M_{wh} :

$$\sigma_{wh} = \frac{M_{wh} \times e_y}{I_z \times 10^3} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (5)$$

Dimana:

- σ_{wh} = Tegangan statis akibat momen lentur vertikal (N/mm^2)
- M_{wh} = Momen lentur vertikal saat air tenang (Nmm)
- I_z = Inersia penampang kapal yang memanjang (mm^4)
- e_y = Jarak horizontal sumbu vertikal dan netral (m)

Tegangan normal dibedakan menjadi tiga macam, yaitu tegangan tarik, tegangan tekan, dan tegangan geser, seperti ditunjukkan pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10 Tegangan-Regangan (NPTEL)

c. Tegangan Tarik (*Tensile Stress*)

Tegangan tarik yaitu tegangan yang timbul akibat gaya tarik. Apabila sepasang gaya tarik aksial menarik suatu batang dan akibatnya batang ini cenderung menjadi meregang atau bertambah panjang. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tarik pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbuinya. Tegangan Tarik (σ_{ta}) terjadi akibat bekerjanya gaya Tarik (F_{ta}) pada satuan luas penampang (A) struktur material, sehingga benda mengalami perpanjangan. Rasio/Perbandingan antara perpanjangan yang terjadi (ΔL) terhadap panjang benda semula (L) disebut sebagai regangan Tarik ϵ_{ta} secara matematik dapat ditulis dengan Persamaan 6 dan dapat dilihat pada Gambar 11.

Rumus:

$$\sigma_{tr} = \frac{F_{tr}}{A} \quad (6)$$

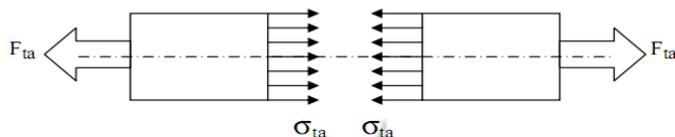
Dimana:

σ_{tr} = Tegangan tarik (N/mm²)

F = Gaya tarik (N)

A = Luas penampang (mm²)

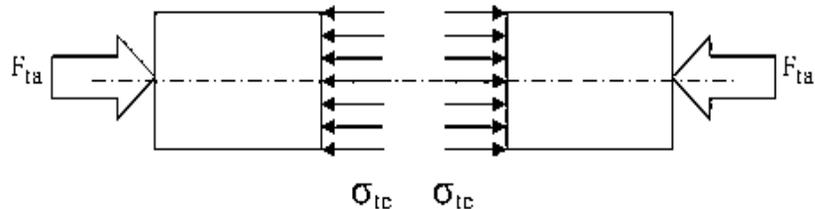
$$\sigma_{ta} = F_{ta} / A \quad \text{dan} \quad \epsilon_{ta} = \Delta L / L$$



Gambar 11 Tegangan Tarik (NPTEL)

d. Tegangan Tekan (*Compressive Stress*)

Jika batang gaya dikenakan pada ujung-ujung batang dalam arah menuju ke batang sehingga batang dalam kondisi tertekan, maka terjadi tegangan tekan pada batang. Tegangan tekan (σ_{te}) terjadi akibat kerja suatu gaya tekan (F_{ta}) pada satuan luas penampang (A) struktur material, sehingga bendanya mengalami perpendekan.



Gambar 12 Tegangan Tekan (NPTEL)

Hal tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan 7.

$$\sigma_{te} = \frac{F_{te}}{A} \quad (7)$$

Dimana:

σ_{te} = Tegangan tekan (N/mm²)

F_{te} = Gaya tekan (N)

A = Luas penampang (mm²)

e. Tegangan Geser Akibat Gaya Geser Vertikal

Jika gaya normal atau tangensial merupakan gaya sejajar arah memanjang batang, gaya geser merupakan gaya yang berarah tegak lurus dengan panjang batang. Besaran tegangan geser dinyatakan dengan simbol (σ_r) dalam satuan (N/mm²).

Tegangan geser (σ_r) timbul akibat kerja dari dua gaya geser (F_r) yang saling berlawanan arah (aksi-reaksi) terhadap suatu bidang geser, pada satuan luas bidang penampang tahanan elemen struktur (A). Sehingga bidang penampang tersebut mengalami regangan geser searah bekerjanya gaya. Jika besaran gaya geser (S) dikerjakan pada batang akan menimbulkan tegangan geser (σ_r). Tegangan geser (σ_r), yaitu tegangan yang timbul akibat gaya geser atau gaya lintang. Ciri dari gaya geser atau gaya lintang adalah melintang batang atau tegak lurus batang. Secara matematik dapat ditulis dengan Persamaan 8.

$$\sigma_r = \frac{F_r}{A} \quad (8)$$

Dimana:

σ_r = Tegangan geser (N/mm²)

F_r = Gaya geser atau gaya lintang (N)

A = Luas penampang (mm²)

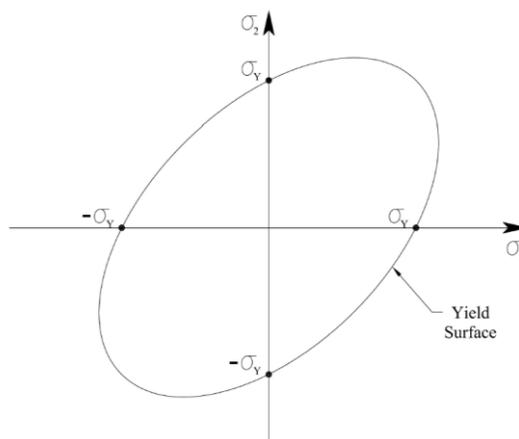
f. Tegangan Lentur (*Bending Stress*)

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

g. Tegangan Luluh (*Yield Stress*)

Tegangan luluh merupakan tegangan yang timbul akibat terkonsentrasi atau terpusatnya gaya tekan pada suatu daerah kontak yang sangat kecil diantara suatu elemen struktur yang sedang bekerja sama dalam meneruskan tegangan. Kondisi luluh menentukan kombinasi tegangan pada komponen struktural tertentu dimana material mulai luluh. Direkomendasikan agar kriteria hasil *Von Mises* (juga disebut *oktahedral* kriteria luluh tegangan geser) digunakan dalam *NLFEA*. Kriterianya menyatakan bahwa bahan mulai luluh ketika nilai tegangan *Von Mises ekuivalen* mencapai tegangan luluh material seperti pada Persamaan 9 dan ditunjukkan pada Gambar 13, dimana semua keadaan tegangan di dalam permukaan luluh berada dalam domain elastis dan semua keadaan tegangan pada permukaan luluh berada dalam domain elasto-plastik. Perlu diperhatikan juga bahwa permukaan luluh bergeser atau berubah ukuran seiring berkembangnya regangan plastis pada material, namun keadaan tegangan selalu tetap pada permukaan luluh. Keadaan tegangan tidak mungkin berada di luar permukaan luluh. Kriteria hasil *Von Mises* sudah tertanam di sebagian besar dari program *NLFEA*.

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2]} \quad (9)$$



Gambar 13 *Von Mises Yield Surface For Plain Stress* (ABS, 2024)

h. Tegangan Izin Dasar

Tegangan izin dasar (selanjutnya disebut tegangan izin) tergantung material jenis yang digunakan. Spesifikasi tersebut diatur dalam *ABS (American Bureau of Shipping)*. Untuk jenis struktur dan jenis pembebanan yang tidak dibahas dalam spesifikasi ini, maka harus dilakukan analisa rasional dengan faktor keamanan yang digunakan pada spesifikasi ini. Apabila tegangan yang terjadi diakibatkan oleh gaya lateral dan gaya vertikal akibat kondisi lingkungan, maka tegangan izin dasar di atas dapat dinaikkan dengan sepertiganya.

Ukuran struktur yang dihitung dengan kriteria tegangan izin tambah ini harus tidak boleh lebih kecil dari yang dihitung dengan tegangan izin dasar (tanpa kenaikan sepertiganya) apabila beban yang bekerja adalah gabungan bobot mati dan hidup.

Tabel 1 Tegangan Izin Pada Struktur Baja Elemen Pemasangan dan *Substructure* (N/mm²)

<i>Type of Stress</i>	<i>Service Load Case</i>	<i>Extraordinary Load Cases</i>
<i>Normal stress</i> (σ_n)	$0,6 \times R_{eH}$ or $0,4 \times R_m$	$0,75 \times R_{eH}$ or $0,5 \times R_m$
<i>Shear stress</i> (τ)	$0,35 \times R_{eH}$ or $0,23 \times R_m$	$0,43 \times R_{eH}$ or $0,3 \times R_m$
<i>Equivalent stress</i> (σ_v) = $\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$	$0,75 \times R_{eH}$	$0,95 \times R_{eH}$

(Sumber: BKI Volume, 2024)

Tegangan izin yang diberikan pada Tabel 1 tidak boleh dilampaui pada struktur baja elemen pemasangan dan sub struktur (*deck beams, girders of the deckhouse and deck, on which the deckhouse is located*). Tegangan yang diizinkan untuk merancang elemen pemasangan elastis dari berbagai sistem dipertimbangkan dari kasus ke kasus. Data yang cukup harus diserahkan untuk disetujui. Tegangan yang bekerja pada penelitian ini tidak boleh melebihi nilai tegangan yang ditentukan dalam Tabel 1.

i. Regangan

Sesuai dengan bunyi Hukum Hooke bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangannya. Adapun regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perbandingan antarsa pertambahan panjang atau pendek batang dengan ukuran mula-mula dinyatakan pada Persamaan 10 dan ditunjukkan pada Gambar 14.

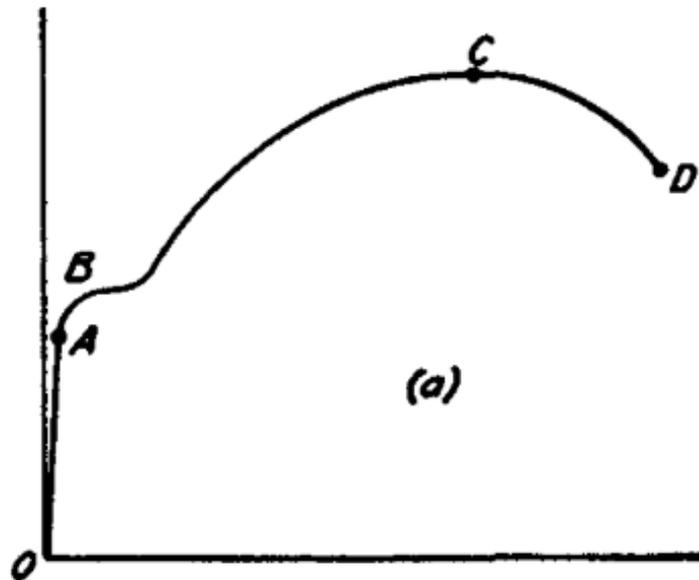
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (10)$$

Dimana:

ε = Regangan

ΔL = Pertambahan panjang (m)

L = Panjang mula-mula (m)



Gambar 14 Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan (Timoshenko, 1930)

Seperti yang terlihat pada Gambar 14 (Timoshenko, 1930), menunjukkan diagram untuk batas elastis baja struktural. Pada gambar tersebut, elongasi di-plot sepanjang sumbu horizontal dan tegangan yang sesuai diberikan oleh koordinat kurva OABCD yang pada akhirnya material mencapai batas elastis (*elastic limit*). 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*). Kemudian bahan segera memperlihatkan lagi kemampuan menahan kenaikan tegangan, tetapi pemanjangan sekarang naik dengan laju yang lebih cepat dari tegangan sampai mencapai titik F_u yaitu tegangan maksimum batas kekuatan bahan. Tegangan ini disebut tegangan batas (*ultimate strength*) yaitu tegangan suatu bahan yang dapat ditahan tanpa menimbulkan kerusakan. Diluar titik F_u , pemanjangan akan berlanjut tetapi secara perlahan tegangan berkurang, sampai akhirnya batang patah.

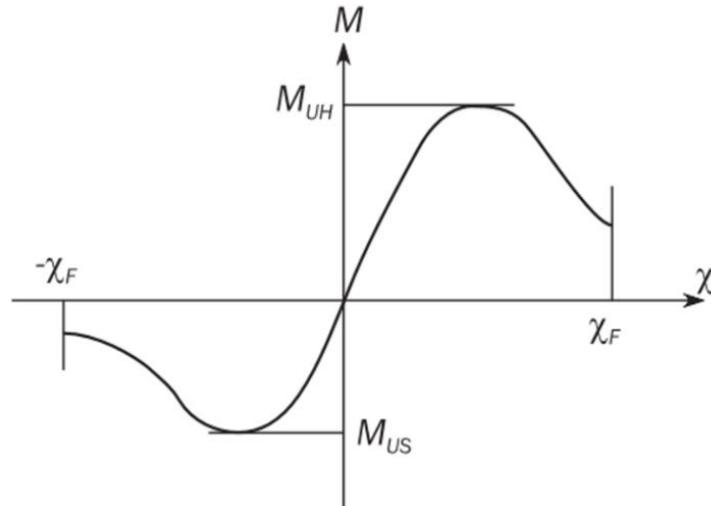
1.2.7 Kekuatan Batas Kapal Tanker (*Ultimate Strength*)

Kekuatan batas adalah batas kekuatan struktur untuk mengalami pembebanan maksimum sebelum mengalami *collapse total* (Béghin et al., n.d.). 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 *NLFEA (Non-Linear Finite Element Analysis)*.

Kekuatan-batas kapal tanker (MU) harus dihitung dengan metode *NLFEA* atau metode *buckling* dan harus memenuhi kriteria seperti Persamaan 11 di bawah ini (DNV GL, n.d.).

$$M_t \leq \frac{MU}{\gamma_R} \quad (11)$$

Dimana M_t adalah momen lentur-batas total vertikal dan γ_R adalah faktor keamanan untuk kekuatan-batas lentur vertikal (1,1 untuk kondisi *sagging* dan 1,21 untuk kondisi *hogging*). Grafik kekuatan momen lentur dan kelengkungan dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Grafik Kekuatan Momen Lentur Dan Kelengkungan (DNV GL, n.d.)

Hubungan antara kekuatan-batas momen lentur dan kelengkungan ditunjukkan pada Gambar 15. Nilai kelengkungan yang positif menunjukkan kondisi *hogging* dan nilai kelengkungan yang negatif menunjukkan kondisi *sagging*.

Berdasarkan teori balok, tegangan lentur (σ) pada penampang balok yang mengalami momen lentur dapat dihitung dengan Persamaan 12.

$$\sigma = \frac{M \times z}{I} \quad (12)$$

Dimana M adalah momen lentur, I adalah momen inersia dan z adalah jarak dari sumbu netral dari penampang balok ke lokasi tegangan lentur pada arah tinggi dari balok. Tegangan lentur maksimum (σ_{max}) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 13 sebagai berikut:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S} \quad (13)$$

Modulus penampang (S) seperti pada Persamaan 14. Untuk penampang kapal dibagi menjadi dua yaitu Persamaan 14 dan 15.

$$S_d = \frac{I}{z_d}, \text{ untuk bagian } \textit{deck} \quad (14)$$

$$S_b = \frac{I}{z_b}, \text{ untuk bagian } \textit{bottom} \quad (15)$$

Dimana S_d dan S_b adalah potongan penampang vertikal pada bagian *deck* dan *bottom* kapal, Z_d dan Z_b adalah jarak dari sumbu netral dari potongan penampang kapal ke *deck* atau *bottom*.

Pada teori balok, lambung kapal akan mengalami kekuatan-batas ketika tegangan lentur maksimum pada bagian yang tertekan mencapai kekuatan tekan batas, yaitu untuk *deck* pada saat *sagging* dan untuk *bottom* pada saat *hogging*. Kekuatan-batas akibat momen lentur untuk kapal dapat dihitung dengan Persamaan 16 dan Persamaan 17 sebagai berikut.

$$M_{US} = S_d \sigma_{ud}, \text{ untuk } \textit{deck} \quad (16)$$

$$M_{UH} = S_b \sigma_{ub}, \text{ untuk } \textit{bottom} \quad (17)$$

Dimana M_{US} dan M_{UH} adalah kekuatan-batas momen lentur untuk *sagging* dan *hogging* dan σ_{ud} dan σ_{ub} adalah tegangan tekan batas untuk *deck* dan *bottom* kapal.

1.2.8 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 di bidang 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 (Isworo & Pd, 2018).

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

Metode elemen hingga diimplementasikan oleh Turner et al (Béghin et al., n.d.). Namun, disebutkan di beberapa sumber bahwa metode elemen hingga telah jauh ada sebelumnya. 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 (Béghin et al., n.d.).

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 (Sujiatanti & Setyawan, 2017).

Metode Elemen Hingga berkembang pesat dalam analisis struktur mulai dari yang sederhana sampai yang lebih kompleks. Analisis kekuatan kapal dengan Metode Elemen Hingga memberi kontribusi yang sangat besar karena dapat memberi informasi yang lebih detail perihal perilaku

struktur kapal sebelum dan sesudah mengalami pembebanan.

Metode Elemen Hingga menggunakan formulasi integral untuk membentuk sebuah sistem dari persamaan aljabar. Lebih lanjut, sebuah pendekatan fungsi menerus diasumsikan untuk menggambarkan solusi untuk setiap elemen. Solusi lengkap ini kemudian di turunkan untuk menghubungkan atau membentuk solusi individu, kemudian di teruskan untuk menghasilkan kontinuitas dengan syarat inkremental. Adapun langkah-langkah dasar dalam metode elemen hingga yakni fase *preprocessing*, fase solusi, dan fase *postprocessing*.

- 1) Pada fase *preprocessing*, dibuat terlebih dahulu dan diskritasi domain solusi ke dalam elemen hingga. Sebuah fungsi bentuk diasumsikan untuk mempresentasikan perilaku fisik dari sebuah elemen. Pada fase ini, matriks kekakuan global dibentuk kemudian kondisi syarat batas, kondisi awal, dan pembebanan diterapkan.
- 2) Pada fase solusi, sebuah persamaan aljabar linear atau *non-linear* secara simultan diselesaikan untuk memperoleh hasil nodal titik.
- 3) Pada fase *postprocessing*, diperoleh informasi penting lainnya. Nilai-nilai tegangan utama ataupun nilai lainnya lebih ditekankan.

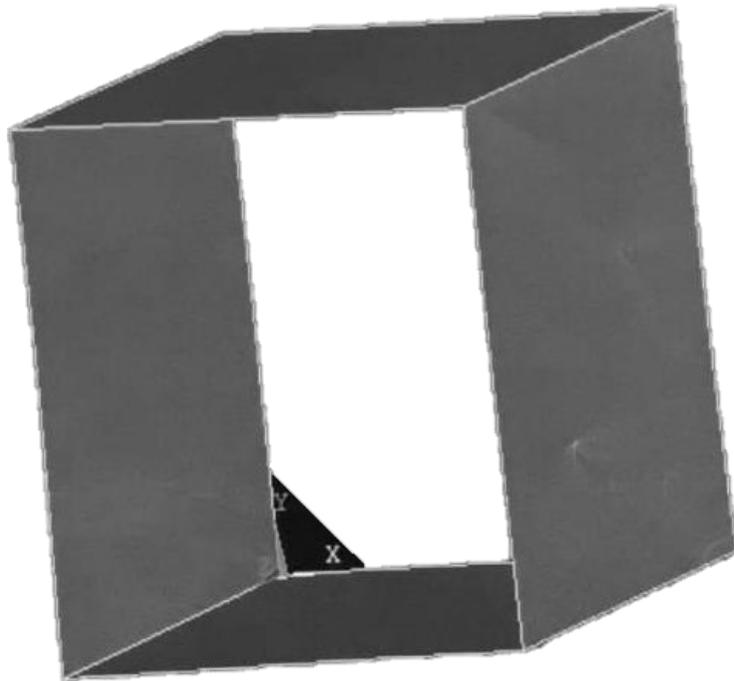
1.2.9 Nodal Constrained

Ada dua jenis *nodal constraints* yaitu *single-point* dan *multi-point*. *Single-point constraint* membatasi satu atau beberapa DOF dari gerakan tertentu (misalnya nol perpindahan ke segala arah, nol gerakan vertikal tetapi bebas bergerak secara horizontal, dan lain-lain) pada sebuah titik. Sebuah *node* tidak dapat memiliki *single-point constrained* sementara pada saat yang sama didefinisikan sebagai bagian dari satu set *multipoint constrained*. Untuk batasan *single-point*, nilai yang ditentukan bisa nol atau bukan nol. Nol kendala perpindahan juga dikenal sebagai kendala homogen, sementara bukan nol kendala dikenal sebagai gerakan yang ditentukan atau kendala *non-homogen*.

Sebagai contoh sebuah *box girder* berukuran $5000 \times 5000 \times 5000$ mm dengan material pelat $t=10$ mm diketahui material *properties* dengan Modulus Elastis= 200000 N/mm^2 , Poisson Ratio= $0,3$ dan densitas= $7,8 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^2$. Adapun bentuk *box girder* dapat dilihat seperti gambar yang telah didesain di *Ansys*.

Pada Gambar 16 menunjukkan bahwa *box girder* tidak memiliki penampang tengah yang dapat dijadikan sebagai contoh sederhana apabila penampang kapal tidak memiliki elemen di tengah penampang. Dalam kondisi batas (*boundary condition*) penentuan letak *netral axis* sangat berpengaruh terhadap proses *running* di *Ansys* sementara diketahui bahwa *netral axis* merupakan titik pusat massa bekerja pada sebuah struktur. Apabila letak *netral axis* struktur tersebut berada pada posisi tengah, hal tersebut membuat tumpuan yang akan diberikan pada *netral axis* tidak diketahui. Oleh karena itu *software Ansys* dapat membuat titik atau *node*

bayangan yang dapat digunakan sebagai letak tumpuan atau *multiple point constrained* (MPC) (Alie et al., 2021)



Gambar 16 *Box Girder* Tanpa Elemen di Tengah Penampang (Alie et al., 2021)

1.2.10 *Displacement Control*

Pendekatan pembebanan ini terdiri dari peningkatan perpindahan batas struktur. Dalam kasus *hull girder under* momen lentur, rotasi kekakuan (*rigid*) elemen dari model *cross-section* (kelengkungan) menjadi bertambah. Maka dari itu *displacement control* berfungsi untuk menghitung perilaku struktur pasca keruntuhan (*post collapse*) wilayah di luar titik batas. Diperlukan pengolahan hasil tegangan untuk menghitung gaya dan momen pada berbagai *cross-section* yang dibutuhkan di dalam struktur. Ketika *displacement control* diterapkan pada struktur asimetris misalnya, asimetris *hull girder damaged*.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana kekuatan membujur Kapal *Single Hull Tanker VLCC* terhadap dua sekat simetris membujur pada kapal.
2. Bagaimana kekuatan membujur Kapal *Single Hull Tanker VLCC* terhadap

satu sekat membujur pada tengah kapal.

3. Bagaimana perbandingan kondisi *hogging* dan *sagging* terhadap kedua kondisi sekat tersebut.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah ini mencakup beberapa hal agar penelitian dapat terarah sesuai dengan kerangka yang direncanakan. Batasannya mencakup sebagai berikut:

1. Beban yang bekerja yaitu momen lentur *vertical longitudinal* (*hogging* dan *sagging*).
2. Tidak meneliti kekuatan melintang.
3. Analisis kekuatan membujur dengan menggunakan metode elemen hingga pada *software Ansys Mechanical APDL*.
4. Kapal dianalisis dalam 3 kondisi sekat yaitu kondisi utuh sekat VLCC pada umumnya, kondisi sekat tipe 2, dan kondisi sekat tipe 3.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk menghasilkan analisis kekuatan membujur Kapal *Single Hull Tanker VLCC* terhadap dua sekat simetris membujur pada kapal.
2. Untuk menghasilkan analisis kekuatan membujur Kapal *Single Hull Tanker VLCC* terhadap satu sekat membujur pada tengah kapal.
3. Untuk mengetahui perbandingan kekuatan *longitudinal VLCC* dalam kondisi *hogging* dan *sagging* dari hasil kondisi sekat yang telah dianalisis.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian “Analisis Struktur Kekuatan Longitudinal Kapal *Single Hull Tanker VLCC (Very Large Crude Carrier)* dengan Pengaruh Tiga Variasi Sekat terhadap *Hogging* dan *Sagging* menggunakan *Finite Element Analysis*” ini adalah:

1. Bagi bidang akademis, dapat memberikan wawasan baru kepada mahasiswa, khususnya bidang ilmu analisis struktur kekuatan membujur Kapal *Single Hull Tanker*.
2. Bagi bidang industri, memberikan kontribusi dan perbandingan kekuatan kepada perusahaan-perusahaan industri kapal tanker dalam mempertimbangkan kekuatan sekat membujur pada Kapal VLCC sesuai dalam penelitian ini.
3. Sebagai informasi terhadap hasil penelitian ini sesuai dengan judulnya kepada regulasi/peraturan pada galangan kapal untuk membuat perencanaan struktur Kapal VLCC.

1.7 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 diuraikan tentang latar belakang dan teori penelitian yang membahas terkait permasalahan atau alasan yang mendasari penulis dalam melakukan penelitian mengenai “Analisis Struktur Kekuatan Longitudinal Kapal *Single Hull Tanker VLCC (Very Large Crude Carrier)* dengan Pengaruh Tiga Variasi Sekat terhadap *Hogging* dan *Sagging* menggunakan *Finite Element Analysis*”. Selain itu berisi juga mengenai perumusan masalah yang dianalisis, batasan masalah penelitian yang tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini agar penelitian lebih spesifik juga dalam bab ini terdapat tujuan dari penelitian dan manfaat penelitian yang dapat diambil dari penelitian ini serta sistematika penulisan penyusunan skripsi.

BAB II: METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan langkah-langkah sistematis penelitian yang terdiri dari jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, objek penelitian yaitu sekat membujur pada Kapal *Single Hull Tanker VLCC*, kemudian 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 nilai kekuatan batas Kapal *Single Hull Tanker VLCC* dari dianalisanya perbandingan antara kondisi 3 sekat membujur sesuai dari tujuan penelitian ini menggunakan *finite element analysis*. Data yang digunakan adalah data dari rancangan Alie et al, 2012 dan kerangka alur pemikiran.

BAB III: HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi pembahasan tentang investigasi kekuatan batas Kapal *Single Hull Tanker VLCC*, mulai dari dimensi kapal yang digunakan, material, gambar penampang Kapal *Single Hull Tanker VLCC* yang diteliti dan juga berupa hasil investigasi kekuatan batas menggunakan alat *software Ansys* berupa nilai momen yang bekerja pada kondisi *hogging* dan *sagging*, nilai tegangan kerja pada penampang kapal dan perbandingan kekuatan batas Kapal *Single Hull Tanker VLCC* menggunakan *finite element analysis*.

BAB IV: PENUTUP

Pada bab yang terakhir ini disimpulkan keseluruhan isi dan hasil dari penelitian serta menambahkan saran terkait untuk penelitian berikutnya.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian kuantitatif mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta menampilkan hasil dari studi kasus mengenai kekuatan membujur Kapal *Single Hull Tanker VLCC* dengan 3 variasi sekat yang dianalisis menggunakan metode elemen hingga pada *software Ansys Mechanical APDL*.

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di *Ocean Structure Analysis Research Laboratory (OSAREL)* Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa dengan waktu penelitian dilaksanakan dari Juli-September 2024. Susunannya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Uraian Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Waktu Penelitian (2024)					
		7	8	9	10	11	12
1	Penelitian						
2	Penyusunan Skripsi						
3	Seminar Hasil						
4	Ujian Tutup						

2.3 Penyajian Data

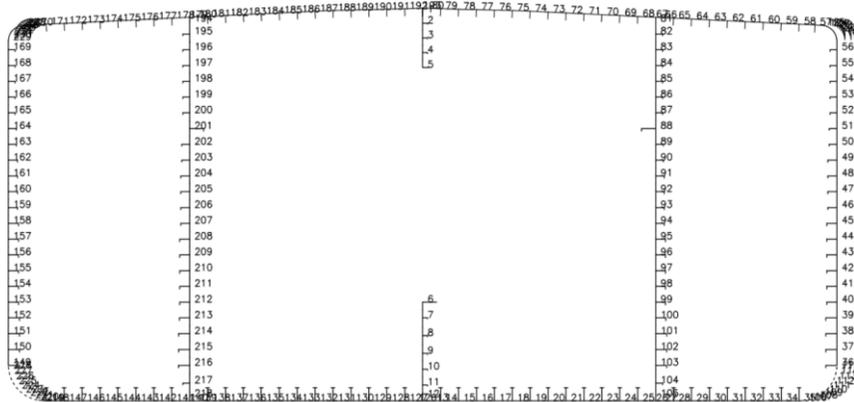
Data pada penelitian ini menggunakan data Kapal VLCC dengan ukuran utama sebagai berikut.

Tabel 3 Data Kapal VLCC

Lebar Kapal (B)	42	m
Tinggi Kapal (H)	20,3	m
<i>Type of Material</i>	AH36	
<i>Elastic Modulus</i>	210000	N/mm ²
<i>Density</i>	$7,7 \times 10^{-5}$	N/mm ³
<i>Yield Strength</i>	355	N/mm ²
Rasio Poison	0,3	

(Sumber: Alie et al, 2012)

Adapun konfigurasi stiffener penampang dan spesifikasi material Kapal Tanker VLCC seperti pada Gambar 17 dan Tabel 4 sebagai berikut.



Gambar 17 Konfigurasi Penampang *Midship* VLCC (Alie et al, 2012)

Tabel 4 Konfigurasi Material Stiffener Kapal VLCC

Nomor Stiffener	Tinggi Badan (mm)	Tebal Badan (mm)	Lebar Sayap (mm)	Tebal Sayap (mm)	Bentuk Stiffener
1	250	12	67	18	Angel
2	250	12	67	18	Angel
3	250	12	67	18	Angel
4	300	19	-	-	Flat-Bar
5	700	30	-	-	Flat-Bar
6	250	12	67	18	Angel
7	250	12	67	18	Angel
8	250	12	67	18	Angel
9	250	12	67	18	Angel
10	250	12	67	18	Angel
11	675	13	200	25	Tee-Bar
12	675	13	200	25	Tee-Bar
13	675	13	200	25	Tee-Bar
14	675	13	200	25	Tee-Bar
15	675	13	200	25	Tee-Bar
16	675	13	200	25	Tee-Bar
17	675	13	200	25	Tee-Bar
18	675	13	200	25	Tee-Bar
19	675	13	200	25	Tee-Bar

Lanjutan Tabel 4 Konfigurasi Material Stiffener Kapal VLCC

Nomor Stiffener	Tinggi Badan (mm)	Tebal Badan (mm)	Lebar Sayap (mm)	Tebal Sayap (mm)	Bentuk Stiffener
20	675	13	200	25	<i>Tee-Bar</i>
21	675	13	200	25	<i>Tee-Bar</i>
22	675	13	200	25	<i>Tee-Bar</i>
23	675	13	200	25	<i>Tee-Bar</i>
24	675	13	200	25	<i>Tee-Bar</i>
25	675	13	200	25	<i>Tee-Bar</i>
26	675	13	200	25	<i>Tee-Bar</i>
27	675	13	200	25	<i>Tee-Bar</i>
28	675	13	200	25	<i>Tee-Bar</i>
29	675	13	200	25	<i>Tee-Bar</i>
30	675	13	200	25	<i>Tee-Bar</i>
31	572	12	150	22	<i>Angel</i>
32	572	12	150	22	<i>Angel</i>
33	572	12	150	22	<i>Angel</i>
34	572	12	150	22	<i>Angel</i>
35	522	11	150	22	<i>Angel</i>
36	522	11	150	22	<i>Angel</i>
37	518	11.5	150	18	<i>Angel</i>
38	518	11.5	150	18	<i>Angel</i>
39	518	11.5	150	18	<i>Angel</i>
40	518	11.5	150	18	<i>Angel</i>
41	468	11.5	125	18	<i>Angel</i>
42	468	11.5	125	18	<i>Angel</i>
43	468	11.5	125	18	<i>Angel</i>
44	468	11.5	125	18	<i>Angel</i>
45	400	12	100	18	<i>Angel</i>
46	400	12	100	18	<i>Angel</i>
47	350	12	100	17	<i>Angel</i>
48	350	12	100	17	<i>Angel</i>
49	350	12	100	17	<i>Angel</i>
50	350	12	100	17	<i>Angel</i>
51	350	12	100	17	<i>Angel</i>
52	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
53	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>

Lanjutan Tabel 4 Konfigurasi Material Stiffener Kapal VLCC

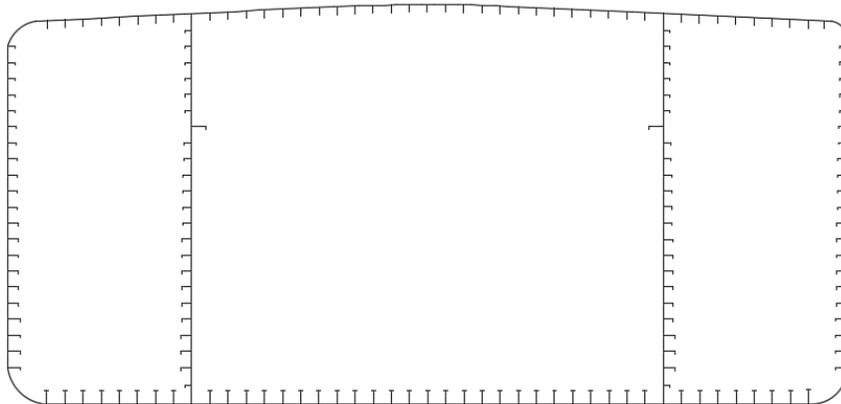
Nomor Stiffener	Tinggi Badan (mm)	Tebal Badan (mm)	Lebar Sayap (mm)	Tebal Sayap (mm)	Bentuk Stiffener
54	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
55	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
56	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
57	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
58	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
59	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
60	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
61	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
62	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
63	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
64	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
65	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
66	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
67	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
68	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
69	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
70	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
71	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
72	350	28	-	-	<i>Flat-Bar</i>
73	350	12	100	17	<i>Angel</i>
74	350	12	100	17	<i>Angel</i>
75	350	12	100	17	<i>Angel</i>
76	350	12	100	17	<i>Angel</i>
77	350	12	100	17	<i>Angel</i>
78	350	12	100	17	<i>Angel</i>
79	716	12.5	150	16	<i>Angel</i>
80	400	12	100	18	<i>Angel</i>
81	400	12	100	18	<i>Angel</i>
82	450	11.5	125	18	<i>Angel</i>
83	450	11.5	125	18	<i>Angel</i>
84	450	11.5	125	18	<i>Angel</i>
85	450	11.5	125	18	<i>Angel</i>
86	500	11.5	150	18	<i>Angel</i>
87	500	11.5	150	18	<i>Angel</i>

Lanjutan Tabel 4 Konfigurasi Material Stiffener Kapal VLCC

Nomor Stiffener	Tinggi Badan (mm)	Tebal Badan (mm)	Lebar Sayap (mm)	Tebal Sayap (mm)	Bentuk Stiffener
88	500	11.5	150	18	Angel
89	500	11.5	150	18	Angel
90	500	11.5	150	18	Angel
91	522	11	150	22	Angel
92	572	12	150	22	Angel
93	572	12	150	22	Angel
94	572	12	150	22	Angel
95	350	12	100	17	Angel

(Sumber: Alie et al, 2012)

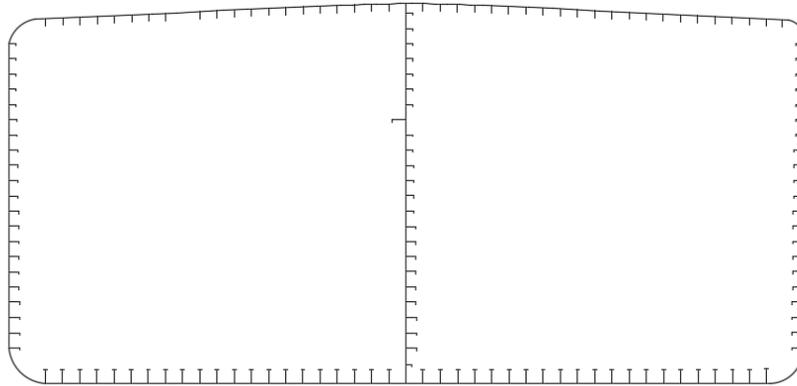
Selanjutnya di bawah ini Gambar 18 merupakan penampang Kapal VLCC kondisi sekat simetris yang di-desain ulang menggunakan *AutoCAD*.



Gambar 18 Penampang *Midship* VLCC Kondisi Sekat Simetris (Desain *AutoCAD*)

Pada konfigurasi stiffener yang digunakan untuk kondisi sekat simetris, dilakukan modifikasi dengan menghilangkan dua sekat pada bagian tengah atas dan bawah. Dengan demikian, konfigurasi ini menghasilkan struktur sekat yang lebih sederhana dibandingkan desain awal. Meski ada pengurangan jumlah sekat, data stiffener yang digunakan tetap mengacu pada konfigurasi awal untuk memastikan kesesuaian dengan perancangan struktur.

Selain konfigurasi sekat simetris, dilakukan pula desain ulang untuk kondisi sekat tunggal. Proses perancangan ulang ini juga menggunakan *AutoCAD* untuk menghasilkan konfigurasi baru yang terperinci. Pada kondisi ini, sekat bagian kanan diubah menjadi sekat tunggal yang terletak di tengah struktur utama. Dengan perubahan tersebut, data stiffener yang digunakan disesuaikan sehingga stiffener berada pada posisi nomor 82 hingga 104 dalam konfigurasi. Desain kondisi sekat tunggal tersebut dilihat pada Gambar 19 di halaman 26.



Gambar 19 Penampang *Midship* VLCC Kondisi Sekat Tunggal (*Desain AutoCAD*)

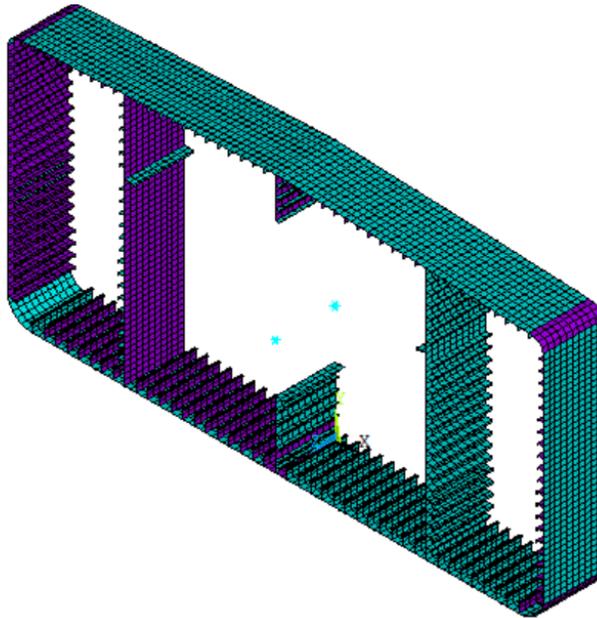
2.4 Analisa Data

Dalam analisis data, terdapat beberapa tahapan yang akan dilakukan. Tahap awal dimulai dengan pengumpulan data awal yang mencakup pengumpulan ukuran utama kapal sebagai informasi dasar yang sangat penting. Setelah data awal terkumpul, dilanjutkan dengan melakukan studi literatur terkait dengan analisis kekuatan membujur Kapal *Single Hull Tanker VLCC*. Studi ini melibatkan tiga variasi sekat yang masing-masing akan dianalisis secara terperinci.

Tahap selanjutnya dalam proses analisis adalah pemodelan Kapal VLCC yang dilakukan dalam bentuk tiga dimensi menggunakan *software Ansys*. Proses pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan elemen tipe SHELL 181 yang dipilih karena elemen ini dirancang khusus untuk menangani analisis struktur pelat tipis seperti lambung kapal dengan memperhitungkan variasi material yang digunakan pada setiap elemen struktur kapal.

Setelah proses pemodelan selesai, langkah berikutnya adalah melakukan *meshing* terhadap model kapal tersebut. Proses *meshing* ini penting untuk memecah model kapal menjadi elemen-elemen kecil yang dapat dihitung secara numerik dalam analisis. Ukuran elemen *mesh* yang digunakan pada tahap ini adalah 500 mm, dimana dipilih untuk mencapai keseimbangan antara ketelitian dan waktu komputasi yang efisien. Dengan *meshing* yang tepat, distribusi beban dan respon struktur kapal dapat dihitung dengan lebih optimal dan akurat. Proses ini juga memastikan bahwa elemen-elemen kecil yang membentuk struktur kapal dapat merepresentasikan secara tepat deformasi dan tegangan yang terjadi selama simulasi.

Sebagai ilustrasi lebih lanjut, hasil *meshing* yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 20 yang menunjukkan detail pemecahan model menjadi elemen-elemen *mesh*.



Gambar 20 *Meshing* (Hasil Olahan, 2024)

2.5 Kerangka Alur Pemikiran

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam menganalisis data pada penelitian ini adalah:

1. Tahap Pertama

Kegiatan penelitian dilakukan dengan pengambilan data dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku, atau artikel-artikel ilmiah yang berhubungan dengan tema penelitian. Data diperoleh di Laboratorium ataupun dari sumber-sumber lainnya.

2. Tahapan Kedua

Setelah mengadakan studi literatur atau pemahaman terhadap data yang telah dikumpulkan kemudian akan dilanjutkan dengan pengolahan data berupa:

- a. Mengidentifikasi data-data yang digunakan pada struktur Kapal VLCC seperti dimensi kapal.
- b. Mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada struktur Kapal VLCC.
- c. Pemodelan kekuatan sekat arah membujur pada 2 kondisi.
- d. Mengidentifikasi gaya-gaya yang bekerja pada Kapal VLCC sesuai kondisi sekat.

3. Tahapan Ketiga

Menghitung kekuatan batas dengan metode elemen hingga sesuai kondisi masing-masing sekat.

4. Hasil Penelitian

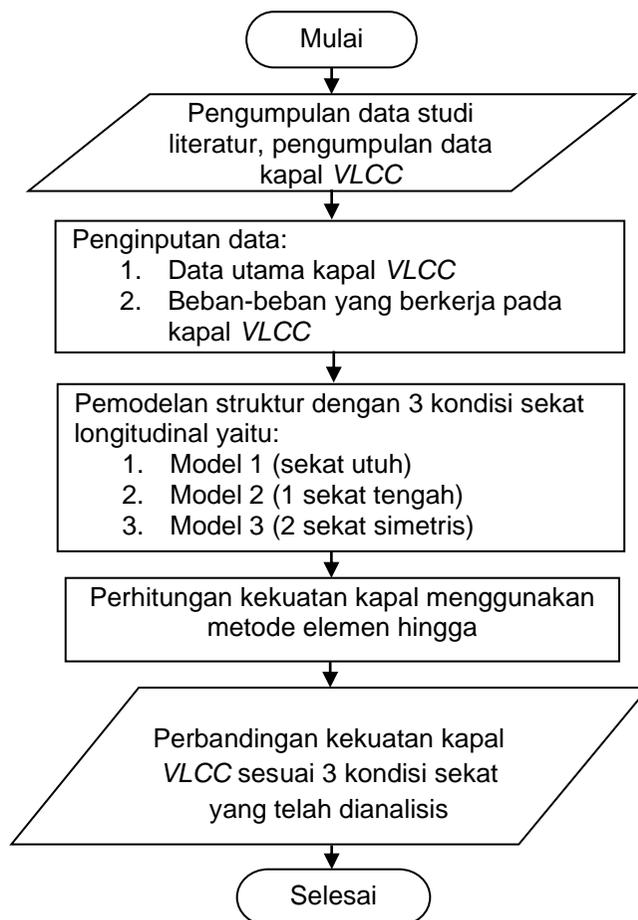
Pada hasil penelitian dengan menggunakan metode elemen hingga, selanjutnya dilakukan *plotting* dengan menghubungkan momen *curvature* pada kondisi masing-masing sekat. Ketika pengecekan analisis selesai dan analisis model dinyatakan berhasil maka tahapan selanjutnya adalah memaparkan hasil analisis yang telah didapatkan.

5. Kesimpulan

Kesimpulan mengenai hasil perhitungan kekuatan longitudinal Kapal *Single Hull Tanker VLCC* dengan 3 variasi sekat tersebut.

2.6 Diagram Alir

Berikut di bawah ini merupakan alur penelitian.



Gambar 21 Diagram alir