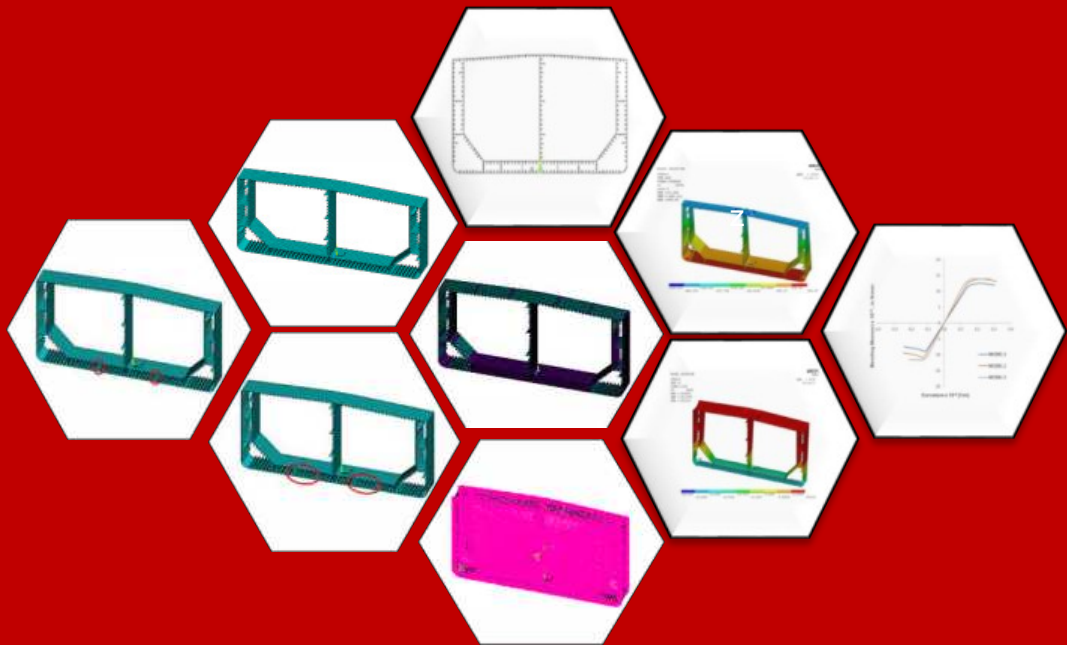


PENGARUH JARAK PENUMPU SAMPING TERHADAP KEKUATAN KAPAL *DOUBLE HULL* TANKER



ELSA FITRIA RAHMADANI

D08 20 1022



Optimized using
trial version
www.balesio.com

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

**PENGARUH JARAK PENUMPUSAMPING TERHADAP KEKUATAN
KAPAL *DOUBLE HULL* TANKER**

ELSA FITRIA RAHMADANI

D081201022



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

**PENGARUH JARAK PENUMPU SAMPING TERHADAP KEKUATAN
KAPAL *DOUBLE HULL* TANKER**

**ELSA FITRIA RAHMADANI
D081 20 1022**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana
Teknik Kelautan

pada

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Gowa



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

**PENGARUH JARAK PENUMPUSAMPING TERHADAP KEKUATAN
KAPAL *DOUBLE HULL* TANKER**

**Elsa Fitria Rahmadani
D081201022**

Skripsi,

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana Pada 19 Juni 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK KELAUTAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA**

Mengesahkan:

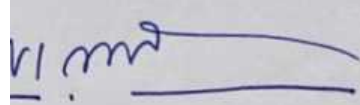
Pembimbing Utama



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Mengetahui:

Ketua Program Studi,


Zubair Muis Alie, ST., MT., Ph.D-Eng
011 003


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 "**Pengaruh Jarak Penumpu Samping Terhadap Kekuatan Kapal *Double Hull Tanker***". 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 bahwa 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, 24 Juni 2024



Elsa Fitria Rahmadani
D081201022



Optimized using
trial version
www.balesio.com

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul " Pengaruh Jarak Penumpu Samping Terhadap Kekuatan Kapal *Double Hull Tanker*". Shalawat dan salam tak lupa juga penulis kirimkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW yang telah mengantarkan dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang-benderang. Penulis menyadari bahwa dalam proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini telah banyak pihak yang membantu dalam bentuk apapun itu. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak dengan segala keikhlasannya yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada:

1. Kedua Orang Tua, **Bapak Mulkin Dahlan** dan **Ibu Rusniati** yang telah berjuang dan terus mendoakan sedari awal serta melakukan apapun untuk mengusahakan anaknya bisa berada di titik lebih dari dirinya. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih untuk semua pengorbanan tulus yang tentunya tidak akan pernah bisa terbalaskan. Penulis percaya bahwa setiap langkah yang memudahkan oleh-Nya adalah hasil pengijabahan doa kedua orang tua penulis.
2. Dosen Pembimbing, **Prof. Ir. Muhammad Zubair Muis Alie, ST., MT., Ph.D-Eng.** Terima kasih atas segala keikhlasan, kesabaran dan ketulusannya serta dukungan tak terhitung dalam mengarahkan, memberikan bimbingan, bantuan dan motivasi serta masukan-masukan kepada penulis dimulai dari awal perkuliahan dan ditahap penelitian, penulisan skripsi sampai dengan hari ini.
3. Bapak **Ir. H. Juswan, ST., MT.** dan **Dr.Eng. Firman Husain, ST., MT.**, selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu dan memberikan kritik serta saran yang sangat membantu penulis dalam proses penelitian maupun penyusunan skripsi ini.
4. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah mengesahkan skripsi ini.
5. Ibu **Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.** selaku penasehat akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan sehingga saya dapat menyelesaikan studi.
6. **Dosen - Dosen Teknik Kelautan** yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama dalam proses perkuliahan.
7. **Tenaga Kependidikan Departemen Teknik Kelautan**, yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Teman terdekat penulis, **Rizka, Ismy, Irmayanti, Ayu**, Terima kasih untuk selalu meluangkan waktu untuk menemani, mengarahkan, memberikan masukan, motivasi yang tak henti-hentinya.



Naval20 dan khususnya mahasiswa Teknik Kelautan 2020 yang sama waktu yang telah kita lalui bersama dalam suka dan duka. Tak lupa menyampaikan banyak terimakasih kepada kanda-kanda Senior dan or atas motivasi dan dukungannya.

10. Teman-teman **Labo OSAREL** yang selalu memberikan semangat kepada saya, penulis mengucapkan banyak terima kasih juga kepada **Alumni Labo OSAREL** yang selalu bersedia memberikan pengarahan.
11. Dan yang terakhir saya mengucapkan terima kasih banyak kepada **diri saya sendiri** yang sudah berjuang sampai sejauh ini, terima kasih untuk tubuh yang selalu kuat menahan beban yang sangat berat ini. Kepada diri sendiri terima kasih sekali lagi telah berjuang karna hanya dirimu sendiri yang tau jatuh bangunnya dan susahny otak berpikir bersatu melawan Overthinking setiap malam. Masalah yang silih berganti mengajarkan saya bahwa nangis dalam penyusunan skripsi itu wajib ada dan itulah bumbu yang sebenarnya yang harus dicoba.
12. Serta semua pihak yang turut serta dalam penyelesaian pendidikan, penelitian, dan penyusunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Penulis menyampaikan ucapan Terima Kasih yang sebesar-besarnya untuk seluruh bantuan yang diberikan. Dengan segala kerendahan hati penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Elsa Fitria Rahmadani



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

Elsa Fitria Rahmadani. **Pengaruh Jarak Penumpu Samping Terhadap Kekuatan Kapal *Double Hull Tanker*.** (dibimbing oleh Muhammad Zubair Muis Alie)

Kasus insiden kecelakaan kapal sering terjadi karena struktur kapal tidak mampu menahan beban yang melebihi batas kekuatan kapal. Peningkatan standar keselamatan maritim oleh *International Maritime Organization* (IMO) mendorong para insinyur dan desainer kapal untuk terus mengevaluasi dan meningkatkan aspek keselamatan struktur kapal. Penelitian ini menginvestigasi pengaruh penumpu samping terhadap kekuatan struktur kapal *double hull tanker*. Metode *Nonlinear Finite Element Analysis* (NLFEA) digunakan untuk mengevaluasi kekuatan batas struktur kapal dengan mempertimbangkan momen lentur vertikal sebagai beban membujur. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan penumpu samping memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan struktur kapal. Model dengan dua penumpu samping (model 3) memiliki kekuatan batas yang lebih tinggi dibandingkan dengan model dengan satu penumpu samping dan model tanpa penumpu samping (model 2 dan 1). Pada kondisi *hogging*, kekuatan batas momen lentur kapal *double hull tanker* dengan dua penumpu samping mencapai $13,8 \times 10^{13}$ Nmm, sedangkan pada kondisi *sagging* mencapai $-11,6 \times 10^{13}$ Nmm. Kapal tanpa penumpu samping memiliki kekuatan batas momen lentur sebesar $12,59 \times 10^{13}$ Nmm pada *hogging* dan $-8,09 \times 10^{13}$ Nmm pada *sagging*. Analisis juga menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa penumpu samping, tegangan kerja di *deck* kapal mengalami peningkatan signifikan, mencapai 45,76% dari batas tegangan yang diizinkan oleh standar DNV GL. Sementara kapal dengan dua penumpu samping menunjukkan rasio perbandingan yang lebih rendah, yaitu 14,41% pada *hogging* dan 42,92% pada *sagging*, menunjukkan bahwa kapal memiliki margin kekuatan yang cukup besar untuk menahan tekanan dan gaya tarik pada kondisi operasional normal dan ekstrem. Penelitian ini memberikan rekomendasi untuk penggunaan penumpu samping pada desain kapal *double hull tanker* sebagai upaya untuk meningkatkan keamanan struktural dan mengoptimalkan kinerja struktur kapal dalam berbagai kondisi operasional laut. Hasil analisis disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara momen dan kelengkungan (*Curvature*) serta menampilkan gambaran deformasi yang terjadi pada kapal *double hull tanker*.

Kata Kunci: *Double hull tanker*, Penampang melintang, Penumpu Samping, NLFEA, Kekuatan batas



ABSTRACT

Elsa Fitria Rahmadani. **The Effect of Side Girder Distance to the Ultimate Strength on Double Hull Tanker.** (Supervised by Muhammad Zubair Muis Alie)

The increasing number of ship accidents occurs due to ship structures failing to withstand loads exceeding their strength limits. The International Maritime Organization (IMO) encourages continuous evaluation and improvement of ship structure safety. This study aims to examine the effect of side girder distance on the ultimate strength of double hull tankers. Double hull tankers are analyzed with and without side girders, considering one and two side girders under hogging and sagging stages using Nonlinear Finite Element Analysis. The study adopts multiple point constraints to investigate the effect of side girders on ultimate strength, simplifying calculations to one frame space of the double hull tanker. Material properties are set as homogenous, excluding initial imperfections, cracks, and damages from the analysis. Results indicate that in hogging conditions, the ultimate bending moment strength of double hull tankers with two side girders is $13,8 \times 10^{13}$ Nmm, while in sagging conditions it is $-11,6 \times 10^{13}$ Nmm. Tankers without side girders show ultimate strengths of $12,59 \times 10^{13}$ Nmm in hogging and $-8,09 \times 10^{13}$ Nmm in sagging conditions. Stress analysis reveals that ships without side girders experience a significant increase in deck stress, reaching 45.76% of the allowable limit by DNV GL standards. In contrast, ships with two side girders show lower stress ratios: 14.41% in hogging and 42.92% in sagging, indicating a large strength margin to withstand normal and extreme operating pressures and forces. The study recommends using side girders in double hull tanker design to enhance structural safety and optimize performance in various marine operational conditions. Analysis results are presented as graphs showing moment-curvature relationships and deformations in double hull tankers.

Key Words: Double hull tanker, Cross section, Side girder, NLFEA, ultimate strenght.



DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR ISTILAH	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Teori	2
1.3 Studi Kasus	14
1.4 Rumusan Masalah	15
1.5 Tujuan dan Kegunaan Penelitian	15
BAB II. METODE PENELITIAN	16
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	16
2.2 Jenis Penelitian	16
2.3 Metode Penentuan Sampel	16
2.3.1 Tipe metode NLFEA	16
2.3.2 Algoritma iterative solution	16
2.3.3 Proses peningkatan beban	17
2.3.4 Pembebanan dan Kondisi Syarat Batas	17
2.3.5 Ketidaktepatan Geometrik	18
2.3.6 Spesifikasi Material	18
2.3.7 Meshing	18
2.3.8 Tipe Elemen	19
2.4 Tahap Pengumpulan Data	19
2.4.1 Tahap Pengumpulan Data	19
2.4.2 Tahap Pengumpulan Data	19
2.4.3 Tahap Pengumpulan Data	21
2.4.4 Tahap Pengumpulan Data	21



2.7.2. Tahap Kedua	21
2.7.3. Tahapan Ketiga	22
2.7.4. Hasil Penelitian	23
2.7.5. Kesimpulan	23
2.8 Diagram Alir	24
BAB III. HASIL	25
3.1 Objek Penelitian	25
3.2 Perhitungan momen lentur – batas vertikal	25
3.3 Tegangan Izin	27
3.4 Tegangan Kerja <i>Double Hull</i> Tanker Terhadap Momen Lentur-Batas Vertikal	28
3.4.1. Tegangan Kerja <i>Double Hull</i> Tanker T4 Model 1 Kondisi Saat <i>Sagging</i>	28
3.4.2. Tegangan Kerja <i>Double Hull</i> Tanker T4 Model 1 Kondisi Saat <i>Hogging</i>	28
3.4.3. Tegangan Kerja <i>Double Hull</i> Tanker T4 Model 2 Kondisi Saat <i>Sagging</i>	29
3.4.4. Tegangan Kerja <i>Double Hull</i> Tanker T4 Model 2 Kondisi Saat <i>Hogging</i>	30
3.4.3. Tegangan Kerja <i>Double Hull</i> Tanker T4 Model 3 Kondisi Saat <i>Sagging</i>	30
3.4.6. Tegangan Kerja <i>Double Hull</i> Tanker T4 Model 3 Kondisi Saat <i>Hogging</i>	31
BAB IV. PEMBAHASAN	32
4.1 Momen lentur - batas vertikal	32
4.2 Kekuatan batas momen vertikal	33
4.2.1 <i>Double hull</i> tanker T4 tanpa penumpu samping	33
4.2.2 <i>Double hull</i> tanker T4 dengan satu penumpu samping	36
4.2.3 <i>Double hull</i> tanker T4 dengan dua penumpu samping	39
4.3 Perbandingan kekuatan batas <i>Double Hull</i> Tanker	42
4.4 Perbandingan Tegangan Kerja Kapal <i>Double Hull</i> Tanker	45
4.4.1 <i>Double hull</i> tanker T4 Model 1 dengan nilai tegangan yang diizinkan	45
4.4.2 <i>Double hull</i> tanker T4 Model 2 dengan nilai tegangan yang diizinkan	46
4.4.3 <i>Double hull</i> tanker T4 Model 3 dengan nilai tegangan yang diizinkan	48
BAB V. KESIMPULAN	50
5.1 Kesimpulan	50
	50
.....	53



DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
Tabel 1 Spesifikasi Material	18
Tabel 2 Konfigurasi Material Stifener Kapal Tanker T4	20
Tabel 3 Karakteristik Material Penyusun <i>Hull Girder</i> Kapal Tanker T4	25
Tabel 4 Formula perhitungan momen lentur-batas vertikal	25
Tabel 5 Momen lentur-batas vertikal <i>sagging</i> dan <i>hogging</i> tanker T4	27
Tabel 6 Tegangan izin kerja material tanker	28
Tabel 7 Hasil rekapitulasi tegangan kerja arah Z pada kapal <i>double hull</i> tanker T4.....	31
Tabel 8 Kekuatan Batas Kapal <i>Double Hull Tanker</i> T4.....	33
Tabel 9 Rekapitulasi Tegangan Kerja arah z Kapal Tanker akibat kekuatan batas	35
Tabel 10 Kekuatan Batas Kapal <i>Double Hull Tanker</i> T4.....	36
Tabel 11 Rekapitulasi Tegangan Kerja arah z Kapal Tanker akibat kekuatan batas.....	38
Tabel 12 Kekuatan Batas Kapal <i>Double Hull Tanker</i> T4.....	39
Tabel 13 Rekapitulasi Tegangan Kerja arah z Kapal Tanker akibat kekuatan batas ...	41
Tabel 14 Rekapitulasi Kekuatan Batas Kapal <i>Double Hull Tanker</i> T4	42
Tabel 15 Rekapitulasi Tegangan Kerja arah z Kapal Tanker akibat kekuatan batas	45
Tabel 16 Rekapitulasi Tegangan Kerja arah z Kapal Tanker akibat kekuatan batas	46
Tabel 17 Rekapitulasi Tegangan Kerja arah z Kapal Tanker akibat kekuatan batas	48



DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
Gambar 1 Konstruksi Kapal Tanker	2
Gambar 2 Kapal <i>double hull</i> tanker dengan dua sekat memanjang (IACS, 2023)	3
Gambar 3 Kapal <i>double hull</i> tanker dengan satu sekat memanjang (IACS, 2023)	3
Gambar 4 Konstruksi midship kapal <i>double hull</i> tanker (AICS,2024).....	4
Gambar 5 Garis Batas Tangki Muat pada Dasar Ganda	5
Gambar 6 Dasar Berganda Kerangka Melintang	5
Gambar 7 Disrtibusi beban (load diagram), gaya geser (shear force), terhadap momen lentur (bending moment).....	6
Gambar 8 Momen Lentur Gelombang pada Gelombang Regular	7
Gambar 9 Momen Lentur Ketika Air Tenang dan Bergelombang	7
Gambar 10 Diagram Tegangan – Regangan Baja	9
Gambar 11 Tegangan Tarik	11
Gambar 12 Tegangan Tekan.....	11
Gambar 13 Grafik kekuatan momen lentur dan kelengkungan (DNV GL, 2017)	13
Gambar 14 Kondisi syarat batas untuk kontrol kelengkungan	17
Gambar 15 Model material <i>bilinear isotropic hardening</i>	18
Gambar 16 Konfigurasi Penampang Kapal Tanker Tipe T4 (Muis-Alie et al, 2023)	21
Gambar 17 Konfigurasi Penampang Kapal Tanker tanpa penumpu samping(model 1).....	22
Gambar 18 Konfigurasi Penampang Kapal Tanker dengan satu penumpu samping setengah lebar kapal (model 2).....	22
Gambar 19 Konfigurasi Penampang Kapal Tanker dengan dua penumpu samping setengah lebar kapal (model 3).....	23
Gambar 20 Diagram Alir	24
Gambar 21 Perilaku dan distribusi tegangan kerja <i>hull girder</i> pada kondisi tanpa penumpu samping akibat <i>sagging</i>	28
Gambar 22 Perilaku dan distribusi tegangan kerja <i>hull girder</i> pada kondisi tanpa penumpu samping akibat <i>hogging</i>	29
Gambar 23 Perilaku dan distribusi tegangan kerja <i>hull girder</i> pada kondisi dengan satu penumpu samping setengah lebar kapal akibat <i>sagging</i>	29
Gambar 24 Perilaku dan distribusi tegangan kerja <i>hull girder</i> pada kondisi dengan satu penumpu samping setengah lebar kapal akibat <i>hogging</i>	30
Gambar 25 Perilaku dan distribusi tegangan kerja <i>hull girder</i> pada kondisi dengan dua penumpu samping setengah lebar kapal akibat <i>sagging</i>	30
Gambar 26 Perilaku dan distribusi tegangan kerja <i>hull girder</i> pada kondisi dengan dua penumpu samping setengah lebar kapal akibat <i>hogging</i>	31
Gambar 27 Grafik Momen kelengkungan <i>Double hull</i> tanker T4 Model 1.....	33
Gambar 28 Deformasi kekuatan-batas double hull tanker T4 tanpa penumpu samping akibat <i>sagging</i>	34
Gambar 29 Deformasi kekuatan-batas <i>double hull</i> tanker T4 tanpa penumpu samping akibat <i>hogging</i>	34
Gambar 30 Grafik Momen kelengkungan <i>Double hull</i> tanker T4 Model 2.....	36
Gambar 31 Deformasi kekuatan-batas double hull tanker T4 satu penumpu samping akibat <i>sagging</i>	37



Gambar 32 Deformasi kekuatan-batas <i>double hull</i> tanker T4 satu penumpang samping dengan kondisi utuh akibat <i>hogging</i>	37
Gambar 33 Grafik Momen kelengkungan <i>Double hull</i> tanker T4 Model 3.....	39
Gambar 34 Deformasi kekuatan-batas <i>double hull</i> tanker T4 dua penumpang samping dengan kondisi utuh akibat <i>sagging</i>	40
Gambar 35 Deformasi kekuatan-batas <i>double hull</i> tanker T4 dua penumpang samping dengan kondisi utuh akibat <i>hogging</i>	40
Gambar 36 Grafik Momen- <i>Curvature</i> Kapal <i>Double Hull</i> Tanker Model 1, 2 dan 3.....	43



DAFTAR NOTASI

Lambang	Arti dan Penjelasan	
B	Lebar kapal	(mm)
b	lebar kerusakan akibat kandas	(mm)
bx	gaya apung	(N)
C	koefisien momen lentur	
Cb	koefisien blok kapal	
D	tinggi kapal	(mm)
E	modulus elastisitas	(N/mm ²)
F _x	gaya geser arah sumbu x	N
H	tinggi kerusakan akibat tubrukan	(mm)
I	inersia penampang	(mm ⁴)
I _{min}	inersia Ijin	(mm ⁴)
K _M	faktor distribusi	
l	panjang kerusakan akibat tubrukan/kandas	(mm)
L	panjang kapal	(mm)
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	(mm ³)
S _b	modulus penampang bagian <i>bottom</i>	(mm ³)
S _d	modulus penampang bagian <i>deck</i>	(mm ³)
S _p	modulus penampang ijin	(mm ³)
Z	jarak dari sumbu netral ke lokasi tegangan lentur	(mm)
Z _b	jarak dari sumbu netral ke lokasi tegangan lentur <i>bottom</i>	(mm)
Z _d	jarak dari sumbu netral ke lokasi tegangan lentur <i>deck</i>	(mm)
	gangan lentur	(N/mm ²)
	gangan lentur izin	(N/mm ²)
	gangan	
	formasi material	(m)



DAFTAR ISTILAH

Lambang	Arti dan Penjelasan
BKI	Biro Klasifikasi Indonesia
IACS	International Association of Classification Societies
Defleksi	Perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertical yang diberikan pada balok atau batang
Deformasi	Perubahan bentuk atau ukuran dari sebuah objek karena pengaruh gaya
Mesh	Membagi Struktur menjadi bagian-bagian kecil
Modulus Elastisitas	Sebuah ukuran yang digunakan untuk merepresentasikan kekakuan suatu bahan.
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.
Run	Menjalankan program untuk menghitung hasil analisis
Tanker T4	Type kapal tanker Aframax
Software	Istilah khusus untuk data yang diformat dan disimpan secara digital, termasuk program komputer, dokumentasinya dan berbagai informasi yang bisa dibaca dan bisa ditulis oleh komputer.
<i>Tensile Strength</i>	Tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
Lampiran 1. Tabel Perhitungan Kekuatan Batas Kapal Tanker T4 Model 1 menggunakan Metode NLFEA Kondisi <i>Sagging</i> dan <i>Hogging</i>	53
Lampiran 2. Tabel Perhitungan Kekuatan Batas Kapal Tanker T4 Model 2 menggunakan Metode NLFEA Kondisi <i>Sagging</i> dan <i>Hogging</i>	61
Lampiran 3. Tabel Perhitungan Kekuatan Batas Kapal Tanker T4 Model 3 menggunakan Metode NLFEA Kondisi <i>Sagging</i> dan <i>Hogging</i>	69
Lampiran 4. Bukti kartu kontrol asistensi skripsi	77





Optimized using
trial version
www.balesio.com

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal tanker adalah salah satu jenis kapal yang memiliki peranan penting dalam industri maritim, terutama dalam transportasi minyak, gas, dan bahan kimia. Dengan meningkatnya permintaan global akan energi dan bahan bakar, keberadaan kapal tanker menjadi krusial untuk mendukung distribusi dari produsen ke konsumen. Di antara berbagai jenis kapal tanker, desain *double hull* tanker telah menjadi standar industri, terutama setelah berbagai insiden tumpahan minyak yang menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan.

Double hull tanker memiliki dua lapisan lambung yang dirancang untuk memberikan perlindungan ekstra terhadap kebocoran muatan jika terjadi kerusakan pada lambung luar. Desain ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan keselamatan tetapi juga untuk mematuhi peraturan internasional yang semakin ketat terkait perlindungan lingkungan. Salah satu elemen penting dalam desain struktur kapal *double hull* adalah penumpu samping (*side girder*). Penumpu samping (*side girder*) juga berfungsi untuk memperkuat struktur kapal dan mendistribusikan beban secara merata sepanjang lambung. Variasi jarak antara penumpu samping dapat berdampak signifikan terhadap kekuatan struktural kapal, terutama dalam kondisi beban operasional yang berat. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai pengaruh jarak penumpu samping terhadap kekuatan kapal menjadi sangat penting dalam proses desain dan konstruksi kapal *double hull* tanker.

Selain itu, peningkatan standar keselamatan maritim yang diterapkan oleh organisasi internasional seperti *International Maritime Organization* (IMO) mendorong para insinyur dan desainer kapal untuk terus mengevaluasi dan meningkatkan aspek-aspek keselamatan struktur kapal. Dalam konteks ini, penelitian mengenai jarak penumpu samping menjadi relevan untuk memastikan bahwa kapal tanker yang beroperasi tidak hanya efisien secara ekonomi tetapi juga memenuhi standar keselamatan yang ketat, ditambah lagi seiring dengan perkembangan teknologi dan metodologi rekayasa, studi mengenai pengaruh jarak penumpu samping dilakukan untuk mendapatkan desain yang optimal. Penelitian ini melibatkan analisis struktural menggunakan metode numerik untuk mengevaluasi kinerja struktur kapal dalam berbagai kondisi operasional.

Pentingnya penelitian ini semakin diperkuat oleh fakta bahwa keselamatan dan efisiensi operasional kapal tanker merupakan aspek yang tidak dapat dikompromikan. Insiden seperti tumpahan minyak tidak hanya merugikan dari segi ekonomi, tetapi juga memiliki dampak jangka panjang terhadap ekosistem laut dan kehidupan manusia. Oleh karena itu, desain struktur yang aman dan andal adalah kunci untuk mengurangi risiko dan memastikan keberlanjutan operasi kapal tanker.



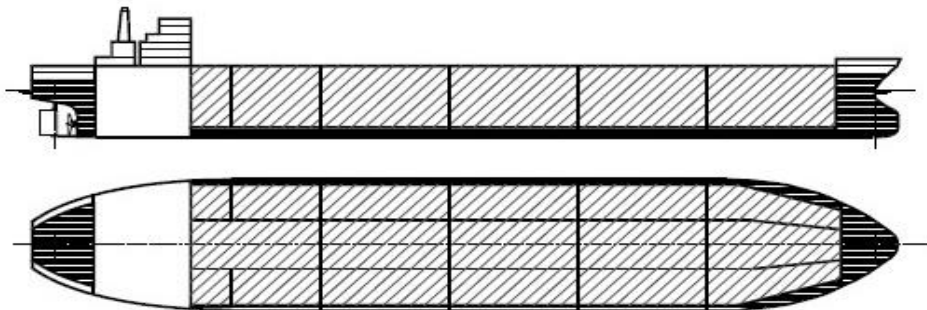
1, studi tentang pengaruh jarak penumpu samping terhadap kekuatan kapal menjadi sangat relevan dalam konteks kebutuhan industri dan maritim. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan desain dan operasional kapal tanker, serta mendukung upaya menjaga lingkungan laut dari potensi bahaya yang ditimbulkan oleh kapal.

1.2 Teori

Penumpu samping, yang juga dikenal dengan sebutan *side girder*, ialah berfungsi sebagai elemen penopang pada bagian dasar kapal yang memiliki peran penting dalam meningkatkan kekuatan strukturalnya secara memanjang. Dalam perhitungan peraturan klasifikasi, ada 2 hal yang mempengaruhi perencanaan Penumpu samping (*side girder*) yaitu tebal pelat dan jarak pemasangan pelat dengan penumpu tengah (*center girder*). Analisa yang dilakukan pada penelitian ini dipusatkan pada pengaruh jarak penumpu samping terhadap kekuatan *Double Hull 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 (Lee & Paik, 2020).

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. Ukuran dari kapal pengangkut minyak mentah biasanya lebih besar dari pengangkut minyak produksi, tetapi dalam pengaturan jaringan pipa-pipanya lebih kompleks. Adapun contoh konstruksi kapal tanker dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut

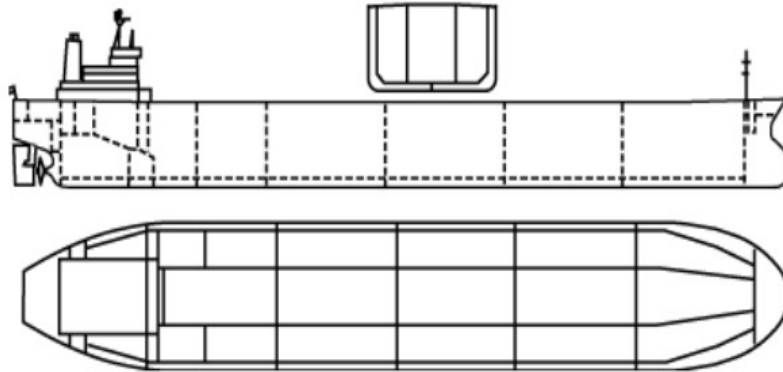


Gambar 1 Konstruksi Kapal Tanker

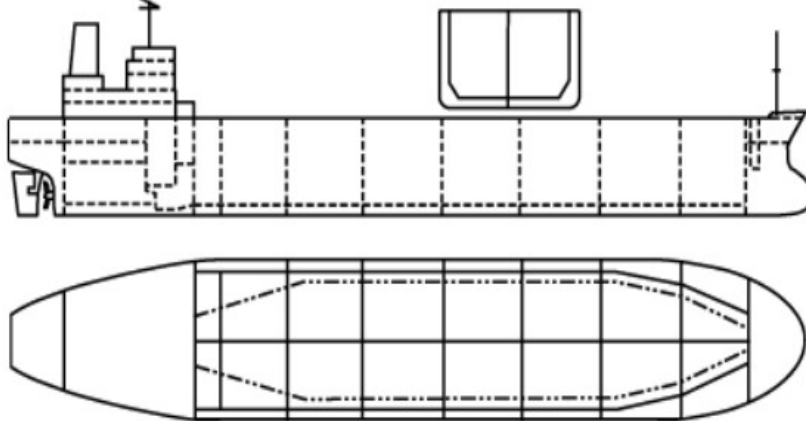
Sejumlah produsen telah menggunakan kapal tanker minyak dengan lambung ganda karena memperkuat lambung kapal, mengurangi kemungkinan bencana minyak dalam tabrakan berdampak rendah dan grounding di atas kapal lambung tunggal. Selain itu, konstruksi double hull juga mengurangi kemungkinan kebocoran yang terjadi pada dampak kecepatan rendah di daerah pelabuhan saat kapal sedang dalam tahap uji coba. Penelitian kerusakan dampak kapal telah mengungkapkan bahwa kapal tanker berlambung ganda tidak mungkin melubangi kedua lambung kapal ketika tabrakan, merembes keluar.



Salah satunya untuk kapal tanker minyak lambung ganda yang digunakan untuk pengangkutan minyak dalam jumlah besar dan yang memiliki perlindungan oleh lambung ganda yang meluas untuk seluruh wilayah sisi ganda dan dasar bawah ruang untuk pengangkutan air ballast. Gambar 2 dan 3 menunjukkan gambaran umum tentang tanker minyak dengan dua sekat longitudinal atau satu sekat memanjang.



Gambar 2 Kapal *double hull* tanker dengan dua sekat memanjang
(Sumber: IACS, 2023)



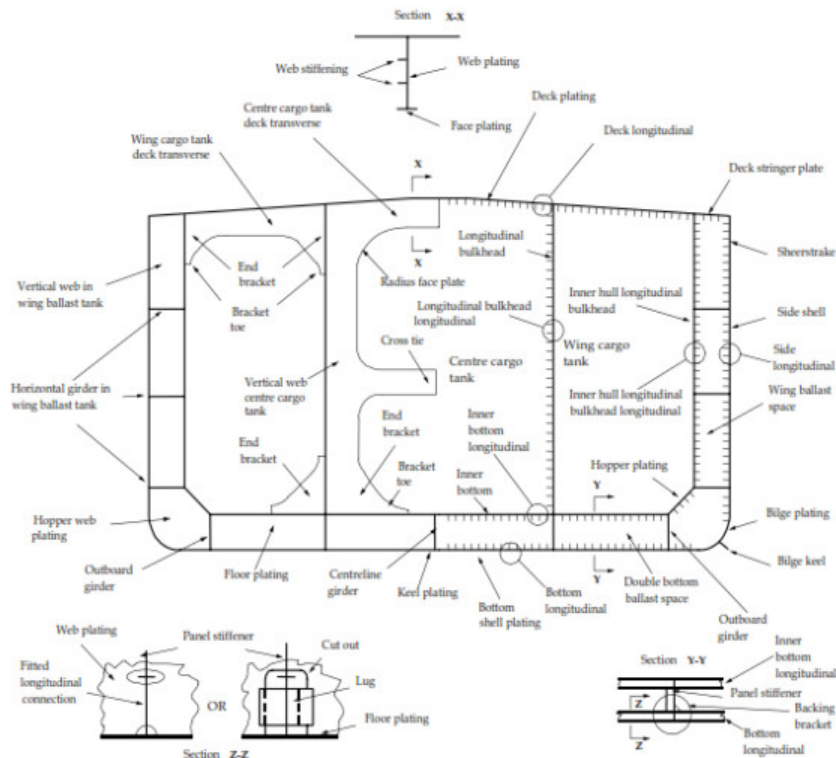
Gambar 3 Kapal *double hull* tanker dengan satu sekat memanjang
(Sumber: IACS, 2023)

Double Hull, seperti namanya, adalah lambung kapal tanker dengan lapisan permukaan lambung kedap air. Lapisan dalam dan luar lambung ada di bagian bawah dan juga sisi kapal tanker. Konstruksi lapisan ganda membantu mengurangi risiko pencemaran laut selama benturan, landasan, dan bentuk kerusakan lambung kapal lainnya.

Jika satu lapisan rusak karena kecelakaan tabrakan atau kerusakan serupa, lapisan kedua bertindak sebagai back-up dan mencegah masuknya air laut ke dalam kapal. Konstruksi lapisan ganda membantu mengurangi risiko terjadinya pencemaran laut akibat benturan, atau kebocoran.



lambung ganda dalam kapal tanker minyak yang direkomendasikan oleh MARPOL (MARPOL) atau konvensi internasional untuk pencegahan pencemaran laut. Rekomendasi ini pun muncul setelah mengamati penggunaan lapisan (hulls) ganda di kapal penumpang yang telah memiliki lambung ganda sesuai dengan SOLAS (Keselamatan Jiwa di Laut). Adapun konstruksi midship kapal double hull tanker dapat dilihat pada Gambar 4. (AICS, 2024)



Gambar 4 Konstruksi midship kapal double hull tanker
(Sumber: AICS,2024)

Beberapa Kapal tanker, kapal carrear kombinasi, dan beberapa kapal carrier minyak mentah sudah memiliki *Double hull*, yang secara esensial merupakan kombinasi dari *double bottom* dan *double side*. Lebar tangki samping mungkin kurang dari pada desain *double side*. Namun, karena ballast yang dibutuhkan bisa dibagi antara sisi dan ruang bawah. Oleh karena itu, kapal *double hull* mungkin lebih rendah kerusakan ambang sisi yang berkelanjutan pada saat bertabrakan.

Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) menentukan aturan bahwa Pada semua kapal penumpang dan kapal barang sebesar 500 GT dan lebih selain dari kapal tangki, alas ganda harus dipasang menerus dari sekat tubrukan ke sekat buritan, sejauh hal ini dapat dilakukan dan dapat diterapkan dengan desain dan pengerjaan kapal yang sesuai. Kapal tangki minyak kurang dari 5000 dwt setidaknya harus dilengkapi dengan tangki atau ruang alas ganda (BKI 2022)

Dasar Ganda ialah bagian dari konstruksi kapal yang dibatas,



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Oleh kulit kapal bagian bawah (*bottom shell planting*)

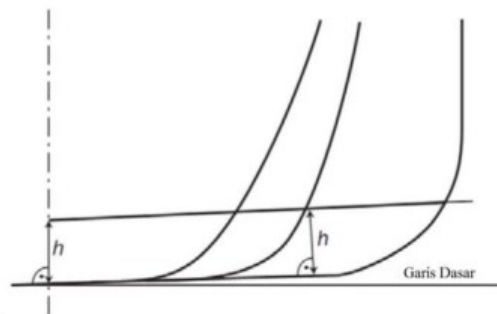
Oleh pelat dasar dalam (*inner bottom plating*)

Oleh lempeng samping (*Margin Plate*)

Oleh sekat kedap air terdepan (*collision bulkhead*)

Sekat kedap air paling belakang atau sering disebut sekat ceruk belakang (*after peak bulkhead*)

Berikut gambaran untuk garis batas tanki muat, seperti pada gambar 5 dibawah ini



Gambar 5 Garis Batas Tangki Muat pada Dasar Ganda
(Sumber: BKI, 2022)

Fungsi Dasar Ganda

- Bila kapal kandas dan mengalami kebocoran, masih ada dasar yang kedap air.
- Sebagai ruangan muatan cair, air tawar, bahan bakar, ballas.
- Membantu stabilitas kapal
- Menambah kekuatan melintang kapal

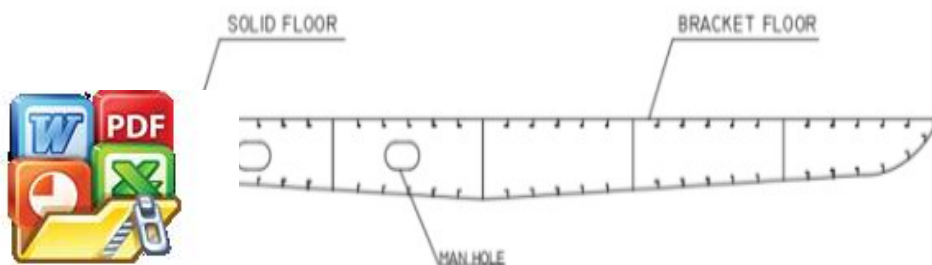
Konstruksi Dasar Ganda

- Sistem konstruksi kerangka melintang dengan wrang–wrang penuh dan wrang–wrang terbuka.
- Sistem konstruksi kerangka membujur dengan wrang–wrang penuh dan wrang–wrang terbuka.

Dasar Ganda Kerangka Melintang

- Dilengkapi dengan wrang–wrang penuh pada setiap gading di bawah kamar mesin.
- Jarak antara wrang penuh tidak lebih dari 3.05 m diselingi wrang terbuka
- Wrang penuh yang terbentang melintang dari penyanggah tengah sampai lempeng samping pada setiap sisinya diberi lubang peringan.
- Pada sistem kerangka melintang, penyanggah tengah dan lempeng samping tidak terputus

Dari ciri-ciri di atas lihat Gambar 6 berikut ini



Menurut aturan BKI(2022) Setidaknya satu penumpang sisi harus dipasang di ruang permesinan dan di area 0,25L belakang FP. Di bagian lain dari alas ganda, satu penumpang sisi harus dipasang jika jarak horisontal antara sisi kapal dan penumpang tengah melebihi 4,5 m. Dua penumpang sisi harus dipasang jika jarak melebihi 8,0 m, dan tiga penumpang sisi jika melebihi 10,5 m.

Jarak penumpang sisi satu sama lain dan dari penumpang tengah dan sisi kapal masing-masing tidak boleh lebih besar dari:

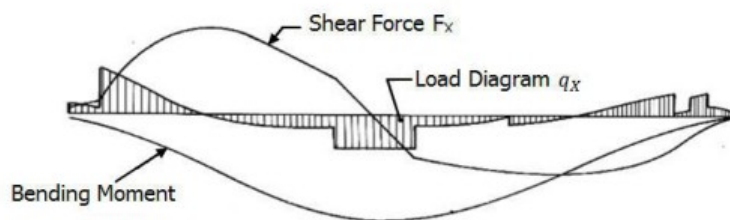
- 1,8 m di ruang mesin di dalam lebar dudukan mesin,
- 4,5 m Jika satu penumpang sisi dipasang di bagian lain dari alas ganda,
- 4,0 m Jika dua penumpang sisi dipasang di bagian lain dari alas ganda,
- 3,5 m Jika tiga penumpang sisi dipasang di bagian lain dari alas ganda.

Ukuran Konstruksi menurut BKI (2022), yaitu Ukuran konstruksi Tebal penumpang sisi tidak boleh kurang dari:

$$t = \frac{h^2}{120 \times h_2} \sqrt{k} \text{ (mm)} \quad (1)$$

dimana h = tinggi penumpang tengah (mm), h_a = tinggi sebagaimana yang terpasang dari penumpang sisi (mm), h_a tidak perlu diambil kurang dari h untuk menghitung t , t = tidak boleh kurang dari t

Kekuatan longitudinal lambung kapal dievaluasi berdasarkan momen lentur dan gaya geser yang bekerja pada kapal. Adapun momen lentur dan gaya geser pada kapal dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini



Gambar 7 Distribusi beban (load diagram), gaya geser (shear force), terhadap momen lentur (bending moment).

Adapun distribusi beban kapal dapat dihitung dengan Persamaan 2 berikut

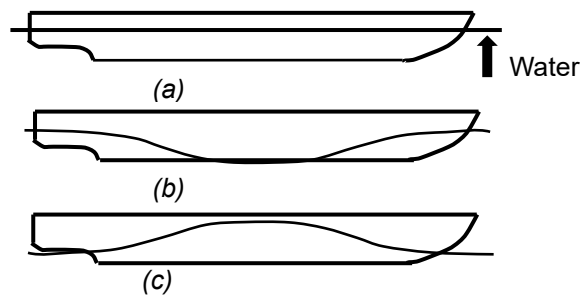


gaya apung diasumsikan sebagai b_x dan w_x

istribusi gaya geser dan momen lentur pada kapal dapat dihitung berikut

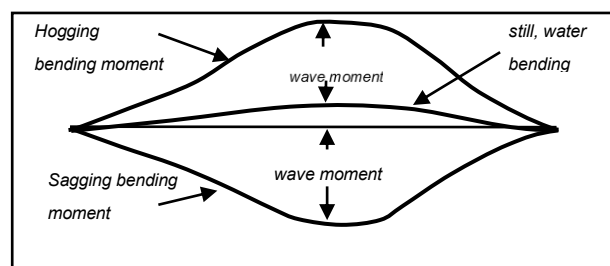
Untuk kapal pada kondisi bergelombang, momen lentur dipisahkan menjadi dua istilah, yaitu: momen lentur air tenang (M_{sw}), dan momen lentur akibat gelombang (M_w). Kombinasi beban statis dan beban dinamis untuk menganalisa kekuatan kapal terhadap momen lentur-batas vertikal kapal dapat dihitung dengan penjumlahan momen lentur-batas vertikal pada air tenang dan momen lentur-batas vertikal akibat gelombang, DNV GL (2017a) memberikan Persamaan 4

$$m = m_{sw} + 1,2 m_w \quad (4)$$



Gambar 8 Momen Lentur Gelombang pada Gelombang Regular

Gambar 8 mengilustrasikan kapal pada gelombang sama dengan panjangnya. Gambar 8 (a) menunjukkan kondisi air tenang dimana hanya momen lentur yang bekerja pada kapal adalah momen lentur kondisi air tenang itu sendiri. Gambar 8 (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 8 (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 seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Momen Lentur Ketika Air Tenang dan Bergelombang



momen lentur-batas vertikal pada kondisi air tenang (M_s) untuk dari 90 meter, DNVGL (2017a) memberikan Persamaan 5 untuk 6 untuk kondisi *hogging*.

$$CL^2 B(C_b + 0,7) \quad (5)$$

$$B(11,97 - 1,96C_b) \quad (6)$$

Adapun besaran momen lentur-batas vertikal akibat gelombang (M_w) untuk panjang kapal lebih dari 90 meter, DNVGL (2017a) memberikan Persamaan 7, untuk kondisi *sagging*, dan 8, untuk kondisi *hogging*.

$$M_w = -0,11K_m CL^2 B (C_b + 0,7) \quad (7)$$

$$M_s = -0,19K_m CL^2 B C_b \quad (8)$$

dimana:

K_m = Faktor distribusi

B = Lebar kapal (mm)

L = Panjang Kapal (mm)

C_b = Koefisien blok ($\geq 0,6$)

C = $10,75 - ((300 - L) / 100)1,5$ untuk $90.000 \leq L \leq 300.000$ mm

= $10,75$ untuk $300.000 \leq L \leq 350.000$ m

= $10,75 - ((L - 350) / 150)1,5$ untuk $350 \leq L \leq 500.000$ mm

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 (torsi).

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 berikut:

$$\delta l = \varepsilon \cdot l = \frac{\sigma \cdot l}{E} = \frac{Pl}{AE} \quad (9)$$

dimana:

σ = Tegangan yang timbul pada material (N/m^2)

ε = Regangan yang timbul pada material

P = Beban atau gaya yang bekerja pada material (kN/m^2)



A = Luas penampang material (m^2)

E = Modulus elastisitas material (GPa)

l = Panjang material (m)

δl = Deformasi material (m)

Dengan Catatan:

1. Rumus di atas dapat juga digunakan untuk tekanan
2. Untuk sebagian besar material, modulus elastisitas untuk kompresi sama dengan tarikan.
3. Terkadang dalam perhitungan, tegangan regangan tarik diberi tanda positif, dan tegangan, regangan tekan/kompresi diberi tanda negatif.

Pengetahuan dan pengertian tentang bahan dan perilakunya jika mendapat gaya atau beban sangat dibutuhkan di bidang teknik bangunan. Jika suatu batang prismatik, dengan luas penampang seragam di sepanjang batang menerima beban atau gaya searah dengan panjang batang, maka gaya tersebut akan menimbulkan tegangan atau tekanan pada penampang batang. Tegangan atau tekanan merupakan besaran gaya per satuan luas tampang. Sehingga besar tegangan yang dialami batang prismatik tersebut masing-masing sebesar $\sigma = \frac{F}{A}$ dan $\tau = \frac{F_V}{A}$. Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan bentuk dan ukuran benda bergantung pada arah dan letak gaya luar yang diberikan. Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk benda, Secara matematis dituliskan:

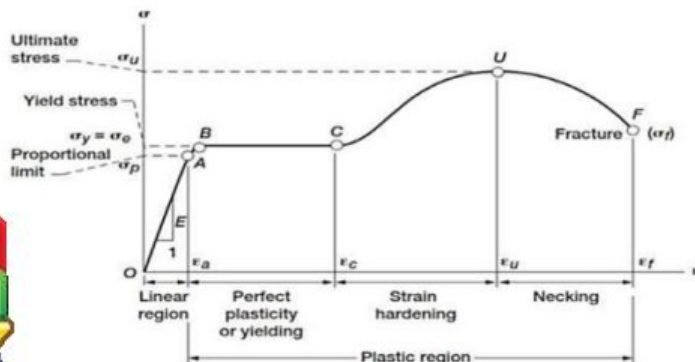
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (10)$$

dimana, σ = tegangan (N/mm²), F = gaya (N), dan A = luas penampang (mm²), Satuan SI untuk tegangan adalah *pascal* (Pa), dengan konversi: 1 Pa = 1 N/mm².

Adapun regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang atau pendek batang dengan ukuran mula-mula dinyatakan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (11)$$

dimana, ε = regangan, ΔL = pertambahan panjang (mm) dan L = Panjang mula-mula (mm), dan hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini



Seperti yang terlihat pada Gambar 10, batas elastis (*elastic limit*) bahan tercapai (titik B). Setelah batas elastisitas dicapai, tiba-tiba terjadi pemanjangan, sementara beban pada batang sesungguhnya turun. Yaitu bahan secara tiba-tiba mulur (pada titik C) yang disebut titik luluh (*yield point*), tetapi bahan segera memperlihatkan lagi kemampuan menahan kenaikan tegangan, tetapi pemanjangan sekarang naik dengan laju yang lebih cepat dari tegangan sampai mencapai titik F yaitu tegangan maksimum batas kekuatan bahan. Tegangan ini disebut tegangan batas (*ultimate stress*) yaitu tegangan suatu bahan yang dapat ditahan tanpa menimbulkan kerusakan. Diluar titik F, pemanjangan akan berlanjut, tetapi secara perlahan tegangan berkurang, sampai akhirnya batang patah. Penjelasan lebih detail dari gambar 10 sebagai berikut:

1. Daerah Linear (*elastic limit*)

Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula) yaitu regangan "nol" pada titik O. Hal ini terjadi karena bahan tersebut berada dalam daerah elastis, di mana deformasi yang terjadi masih sebanding dengan besarnya beban yang diberikan. Sesuai dengan Hukum Hooke, bila beban dihilangkan, maka bahan akan kembali ke bentuk dan ukuran semula.

2. Titik Luluh (batas proporsional)

Titik dimana suatu bahan apabila diberi suatu bahan memasuki fase peralihan deformasi elastis ke plastis. Yaitu titik sampai di mana penerapan hukum Hooke masih bisa ditolerir. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.

3. Deformasi plastis (*plastic deformation*)

Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula, bila bahan di tarik sampai melewati batas proporsional. Ultimate Tensile Strenght (UTS) merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

4. Titik Putus

Merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

Regangan merupakan ukuran mengenai seberapa jauh batang tersebut berubah bentuk. Tegangan diberikan pada material dari arah luar, sedangkan regangan adalah tanggapan material terhadap tegangan pada daerah elastis, besarnya tegangan berbanding lurus dengan regangan. Perbandingan antara tegangan dan regangan benda tersebut, disebut modulus elastisitas atau *Modulus Young*. Pengukuran *modulus Young* dapat dilakukan dengan menggunakan gelombang akustik, karena kecepatan jalannya bergantung pada *modulus Young*, Secara matematis dirumuskan:

$$- \frac{F \cdot L}{A} = \frac{F \cdot L}{A} \quad (12)$$



$$(13)$$

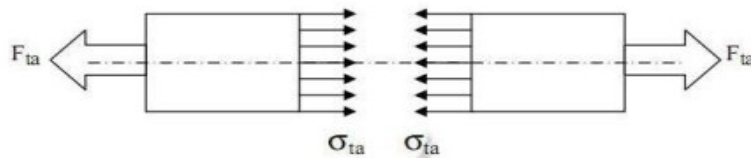
- F = gaya (N)
 L = panjang mula-mula (mm)
 ΔL = pertambahan panjang/pendek (mm)
 A = luas penampang (mm^2)

Nilai *modulus Young* hanya bergantung pada jenis benda (komposisi benda), tidak bergantung pada ukuran atau bentuk benda.

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 sumbunya. 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:

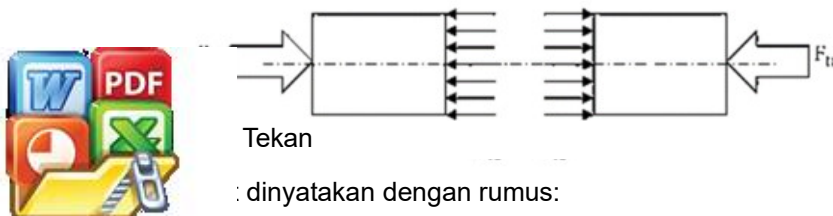
$$\sigma_{ta} = \frac{F_{ta}}{A} \quad (14)$$

Dimana, σ_{ta} = tegangan tarik (kg/cm^2 atau kg/mm^2), F = gaya tarik (N), dan A = Luas penampang (mm^2) serta dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 11 Tegangan Tarik

Tegangan Tekan (*Compressive Stress*) ialah Jika batang gaya dikenakan pada ujung-ujung batang dalam arah menuju ke batang, sehingga batang dalam kondisi tertekan, maka terjadi tegangan tekan, batang. Tegangan tekan (σ_{te}) terjadi akibat kerja suatu gaya tekan (F_{ta}), pada satuan luas penampang (A) stuktur material, sehingga bendanya mengalami perpendekan. Rasio/Perbandingan antara perpendekan yang terjadi (ΔL) terhadap panjang benda semula (L) disebut sebagai regangan tekan (ϵ_{te}) seperti pada gambar dibawah ini:



dinyatakan dengan rumus:

$$(15)$$

dimana, σ_{te} = tegangan tekan (kg/cm^2 atau kg/mm^2), F = gaya tarik (N), dan A = Luas penampang (mm^2).

Tegangan Geser (*Shear*) ialah Jika gaya normal/tangensial merupakan gaya sejajar arah memanjang batang, gaya geser merupakan gaya yang berarah tegak lurus dengan panjang batang. Besaran tegangan geser dinyatakan dengan simbol (τ) dalam satuan (N/mm^2). Tegangan geser terjadi ketika aksi dari sebuah gaya geser di distribusikan pada sebuah luas penampang melintang yang paralel (tangensial) dengan gaya geser tersebut.

Tegangan geser (τ) timbul akibat kerja dari dua gaya geser (S) 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 (τ). Tegangan geser (τ), yaitu tegangan yang timbul akibat gaya geser atau gaya lintang. Ciri dari gaya geser atau gaya lintang adalah melintang batang atau tegak lurus batang, dan untuk rumus persamaannya sebagai berikut:

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (16)$$

dimana, τ = tegangan geser (N/mm^2), P = gaya geser atau gaya lintang (N) F = Luas penampang (mm^2)

Tegangan lentur (*Bending Stress*) 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. 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.

Tegangan Luluh (*Crushing/Bearing Stress*) Merupakan tegangan yang timbul akibat terkonsentrasi/terpusatnya gaya tekan pada suatu daerah kontak yang sangat kecil, diantara suatu elemen struktur yang sedang bekerja sama dalam meneruskan tegangan. Tegangan jenis ini umumnya terjadi pada elemen/komponen struktur yang berfungsi sebagai penyambung.

Tegangan izin dasar (selanjutnya disebut tegangan izin) tergantung material jenis yang digunakan. Spesifikasi tersebut bersumber pada AISC (AISC,2024). 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



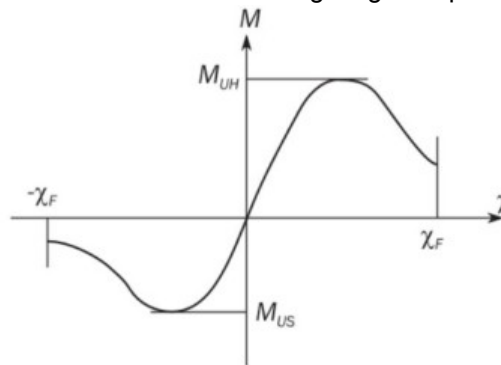
dihitung dengan tegangan izin dasar (tanpa kenaikan sepertiganya) bekerja adalah gabungan bobot mati dan hidup.

Kekuatan-batas (*Ultimate Strength*) adalah batas kekuatan struktur pembebanan maksimum sebelum mengalami *collapse* total (Campanile dengan kekuatan-batas kapal Tanker berdasarkan keakuratan dan 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). Kekuatan-batas kapal tanker (MU) harus dihitung dengan metode NLFEA atau metode buckling dan harus memenuhi kriteria seperti Persamaan 17 dibawah ini (DNV GL, 2017).

$$M_t \leq \frac{M_u}{Y_r} \quad (17)$$

dimana M_t adalah momen lentur-batas total vertikal dan Y_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 13



Gambar 13 Grafik kekuatan momen lentur dan kelengkungan (DNV GL, 2017)

Hubungan antara kekuatan-batas momen lentur dan kelengkungan ditunjukkan pada Gambar 10 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 18

$$\sigma = \frac{M \times Z}{I} \quad (18)$$

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 19

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S} \quad (19)$$

Modulus penampang (S) seperti pada Persamaan 19, untuk penampang kapal dibagi Persamaan 20 dan 21



ian deck (20)

an bottom (21)

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 22 dan 23 sebagai berikut:

$$M_{US} = S_d \sigma_{ud} \text{ , untuk } deck \quad (22)$$

$$M_{UH} = S_b \sigma_{ub} \text{ , untuk } bottom \quad (23)$$

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

1.3 Studi Kasus

Saat ini beberapa kemajuan telah dibuat untuk meningkatkan persyaratan *scantling* dan mendefinisikan prosedur analisis keandalan yang lebih baik dalam kondisi kerusakan, seperti yang ditunjukkan oleh Aturan dan Pedoman baru yang disediakan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan *International Association of Classification Societies* (IACS).

Para ahli di bidang perkapalan dan bangunan lepas pantai, tergolong masih sedikit melakukan penelitian tentang Penumpu Samping (*side girder*), namun penelitian untuk analisis *double hull* dan *double bottom* kapal tanker dengan menggunakan metode *NonLinear Finite Element Analysis* (NLFEA) telah banyak dilakukan sebelumnya seperti Investigasi kekuatan penumpu lambung kapal dengan alasan kerusakan oleh (Muis-Alie, 2018), metode analisis numerik dan sederhana untuk analisis kekuatan sisa kapal pada daerah dasar ganda oleh (Muis-Alie et al., 2018), melakukan eksperimen model pengaruh superstruktur besar terhadap kekuatan *ultimate hull girder* untuk kapal pesiar. Penilaian kekuatan batas dari struktur lambung kapal yang mengalami momen lentur siklik oleh (Liu et al., 2020) Analisis pengaruh deformasi Ruang Muat *Double-Hull* Tanker Terhadap Kekuatan Kapal oleh (Fathurakhman M, 2020), Investigasi eksperimen dan numerik pada struktur *Double Hull* yang terkena tumbukan oleh (Bai-Qiao Chen et al., 2022), Analisa progresif dari unsur lokal dan kekuatan ultimasi kapal Ro-Ro oleh (Muis-Alie et al., 2019), Menganalisis kekuatan *girder hull* kapal pada kerusakan *grounding* oleh (Muis-Alie, 2018), Sisa analisis kekuatan akhir tanker minyak pada lambung ganda setelah tabrakan oleh (Parunov et al., 2017), Metode analitik untuk menilai struktur lambung ganda pada kapal dengan benturan oleh (Bin Liu, 2017), Tinjau eksperimen dan prosedur perhitungan untuk tabrakan kapal dan kerusakan landasan oleh (Bin Liu, 2018). Analisis kekuatan kapal container yang utuh dan rusak yang dikenakan beban lentur asimetris oleh (Tekgoz,



an di atas yang berkaitan dengan penumpu samping, *double hull* dan serta analisa kekuatan menjadi fokus utama dalam pengerjaan tugas a peneliti mengangkat penelitian dengan judul “**Pengaruh Jarak Terhadap Kekuatan Kapal *Double Hull* Tanker**”.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah bagaimana Pengaruh Jarak Penumpu Samping Terhadap Kekuatan Kapal *Double Hull* Tanker, menurut aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan *International Association of Classification Societies* (IACS)

1.5 Tujuan dan Kegunaan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui Pengaruh Jarak Penumpu Samping Terhadap Kekuatan Kapal *Double Hull* Tanker menurut aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan *International Association of Classification Societies* (IACS) dalam bentuk tegangan yang bekerja di bottom pada kondisi *hogging* dan *sagging*. Adapun manfaat dan kegunaan dari penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan bagi bidang akademis, yaitu memperdalam wawasan mahasiswa dan memberikan masukan bagi ilmu pengetahuan, khususnya mengetahui Pengaruh Jarak Penumpu Samping Terhadap Kekuatan Kapal *Double Hull* Tanker, dan juga bagi bidang industri yaitu memberikan kontribusi dan perbandingan kekuatan kepada perusahaan-perusahaan serta sebagai informasi dalam hal menentukan kebijakan dalam hal regulasi/aturan pada Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan *International Association of Classification Societies* (IACS).



BAB II. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari - April 2024, yang dimana Penelitian ini dilakukan di *Ocean Structure Analysis Research Laboratory* (OSAREL) Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa.

2.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian kuantitatif yang melibatkan penggunaan angka dalam seluruh proses penelitian, mulai dari pengumpulan data, interpretasi data/penafsiran terhadap data, hingga presentasi hasilnya dengan melakukan penyelidikan untuk mengetahui Pengaruh Jarak Penumpu Samping Terhadap Kekuatan Kapal *Double Hull* Tanker, serta membandingkan variasi model-model dari jarak penumpu samping kapal *double hull* tanker menurut standar aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan *International Association of Classification Societies* (IACS).

2.3 Metode Penentuan Sampel

Teknik atau pengambilan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode *Non-Linear Finite Element Analysis* (NLFEA) ialah salah satu metode elemen hingga yang digunakan dan direkomendasikan oleh biro klasifikasi untuk menghitung kekuatan struktur kapal, disamping metode lainnya seperti teori balok, metode *presumed stress distribution*, ISUM dan ISFEM. Hughes dan Paik (2010), menghitung dan membandingkan kekuatan-batas struktur kapal dengan menggunakan metode teori balok, metode *presumed stress distribution*, NLFEA, ISUM dan ISFEM.

Penelitian ini akan menggunakan metode *Non-Linear Finite Element Analysis* (NLFEA) untuk menghitung kekuatan-batas longitudinal struktur kapal tanker pada kondisi utuh. Perhitungan kekuatan-batas struktur dengan metode *Non-Linear Finite Element Analysis* (NLFEA) perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

2.3.1 Tipe metode NLFEA

Kekuatan-batas momen lentur kapal pada kondisi utuh dan rusak dapat dianalisis dengan menggunakan 3 tipe metode NLFEA yaitu:

- a. Analisa statis
- b. Analisa quasi-statis
- c. Analisa dinamis

Analisa statis dan analisa quasi statis banyak digunakan oleh para peneliti untuk kekuatan-batas struktur kapal.



ve solution

iterative solution yang dapat digunakan pada metode *Non-Linear Analysis* (NLFEA) adalah algoritma *Newton-Raphson*, algoritma *Newton-Raphson* dan algoritma resiko. Algoritma N-R dan quasi N-R dapat

digunakan pada analisa statis dan analisa dinamis implisit. Algoritma resiko hanya dapat digunakan pada analisa statis. Analisa dinamis eksplisit tidak menggunakan algoritma *iterative solution*.

2.3.3 Proses peningkatan beban

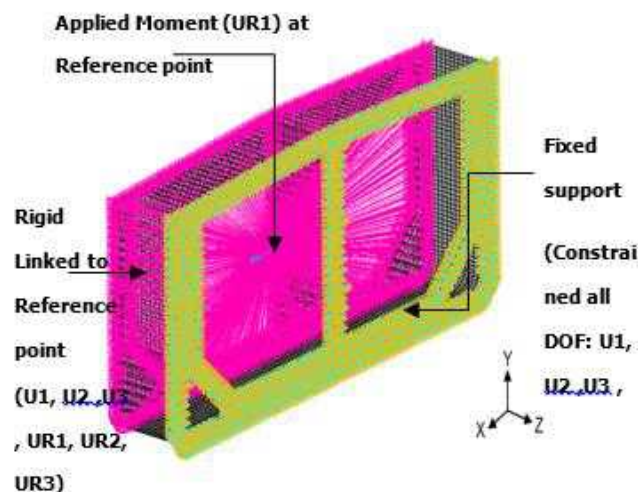
Pembebanan yang diaplikasikan pada metode *Non-Linear Finite Element Analysis* (NLFEA) menggunakan proses peningkatan pembebanan. Dua jenis kontrol beban yang digunakan untuk mendapatkan nilai kekuatan-batas momen lentur kapal tanker yaitu kontrol kelengkungan dan kontrol momen.

Kontrol kelengkungan dilakukan dengan menggunakan *rigid link* pada kedua ujung model elemen hingga. Rigid link dihubungkan ke titik acuan pada sumbu netral. Peningkatan nilai kelengkungan diperoleh dengan menggunakan kecepatan akselerasi dan damping factor. Kedua ujung pada titik acuan diberikan beban momen.

Kontrol momen dilakukan dengan menggunakan rigid link pada salah satu ujung model elemen hingga dan ujung yang lainnya di-full constrain. Ujung model yang menggunakan rigid link, diberikan momen lentur. Reaksi pada ujung model yang di-constrain akan mencapai titik batas kekuatan dari struktur.

2.3.4 Pembebanan dan Kondisi Syarat Batas

Pengaplikasian pada model elemen hingga sangat tergantung pada jenis proses peningkatan beban yang digunakan. Kontrol kelengkungan menggunakan kondisi syarat batas dimana kedua ujung model diberikan *rigid link* dengan pembebanan seperti pada Gambar 14



syarat batas untuk kontrol kelengkungan

Gambar diatas terdapat 6 derajat kebebasan (DOF) (translasi x,y,z dan rotasi model FEM. Masing-masing DOF ini harus diberi kondisi apakah sesuai dengan kondisi struktur yang sebenarnya.

2.3.5 Ketidaksempurnaan Geometrik

Selama fabrikasi struktur kapal (pemotongan, *rolling*, pembentukan, pengelasan dan perlakuan panas) terjadi ketidaksempurnaan geometri dan tegangan sisa yang dapat mempengaruhi kekuatan batas struktur. Metode *Non-Linear Finite Element Analysis* (NLFEA) dapat mengkondisikan ketidaksempurnaan geometric tersebut.

2.3.6 Spesifikasi Material

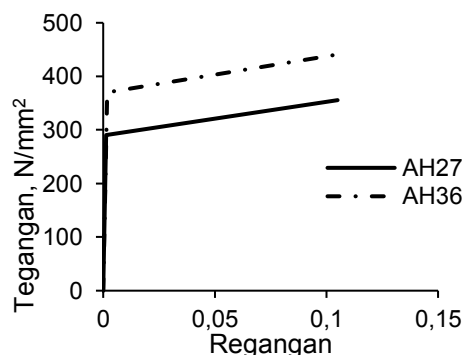
Kurva tegangan regangan dari material yang digunakan pada model elemen hingga harus tersedia. Kurva tegangan regangan sangat menentukan nilai kekuatan-batas dari struktur kapal. Penelitian ini menggunakan spesifikasi material pada Tabel 1, serta kurva tegangan regangan seperti pada Gambar 15.

Tabel 1
Spesifikasi Material

Spesifikasi Material	Jenis Material	
	AH27	AH36
<i>Density</i> (kg/m ³)	7850	7850
<i>Modulus Young</i> (N/mm ²)	210000	210000
<i>Poisson's Ratio</i>	0,3	0,3
<i>Yield Strength</i> (N/mm ²)	290	355
<i>Tangent Modulus</i> (N/mm ²)	625	675

(Sumber: IACS, 2024)

Berdasarkan Tabel di atas Material AH27 dan AH36 merupakan material khusus untuk *marine*. Modulus elastisitas sebesar 210000 N/mm², rasio poisson 0,3 dan tegangan luluh AH27 sebesar 290 N/mm², AH36 sebesar 355 N/mm² serta *tangent modulus* AH27 sebesar 625 N/mm² dan AH36 sebesar 675 N/mm². Model material bilinear isotropic hardening dapat dilihat pada Gambar 15 berikut.



Material bilinear isotropic hardening

salah satu tahapan yang penting dalam pemodelan elemen hingga. sangat menentukan akurat atau tidaknya hasil perhitungan, Ukuran penting guna membandingkan hasil perhitungan antara metode *Non-linear Finite Element Analysis* (NLFEA) dan metode *linear Finite Element Analysis*.

Sebelum melakukan analisa dengan metode *Non-Linear Finite Element Analysis* (NLFEA) dalam skala besar perlu untuk melakukan studi *mesh convergence*. Bagian model yang diperkirakan akan mengalami tegangan yang besar sebaiknya di-*meshing* dengan ukuran yang lebih kecil untuk dapat memperlihatkan bentuk kegagalan dengan lebih jelas dan akurat. Semakin kecil nilai *meshing* maka perangkat komputer yang digunakan harus memiliki spesifikasi yang tinggi. Dalam penelitian ini, ukuran *meshing* yang digunakan sebesar 350 mm dengan bentuk *quadmapped*.

2.3.8 Tipe Elemen

Semua pelat yang digunakan pada penelitian ini menggunakan tipe *Shell 181* (*quadrilateral elements*)

2.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah:

- Wawancara, yaitu metode untuk mendapatkan data dengan cara memberikan pertanyaan-pertanyaan secara langsung kepada pihak yang bersangkutan guna mendapatkan data dan keterangan yang menunjang analisis dalam penelitian.
- Observasi, yaitu metode pengumpulan data dengan cara melakukan pengamatan pada objek yang diteliti dengan tujuan untuk memperoleh informasi yang jelas
- Dokumentasi, yaitu melengkapi analisis dan memperkuat kesimpulan, seluruh data dan kegiatan dalam penelitian didokumentasikan dalam bentuk gambar
- Teknik kepustakaan adalah suatu tehnik penelitian dengan cara membaca dan menelaah buku kepustakaan dan sumber-sumber yang bersifat tekstual yang erat hubungannya dengan masalah yang saat ini sedang diteliti oleh peneliti. Masalah yang akan diteliti oleh penulis.

2.5 Sumber Data

Adapun sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Data Sekunder, Data sekunder adalah sumber data penelitian yang diperoleh secara tidak langsung melalui media perantara (diperoleh atau dicatat pihak lain), studi literatur berbagai buku, skripsi, internet.

2.6 Penyajian Data

Penelitian ini menggunakan kapal tanker dengan ukuran utama (Muis-Alie et al., 2023) sebagai berikut:

1. Panjang kapal, L : 234 m
 lebar Kapal, B : 44 m
 tinggi Kapal, D : 22.1 m
 : 0,78



spesifikasi dan parameter, dari material penyusun yang digunakan pada

ker ini adalah sebagai berikut.

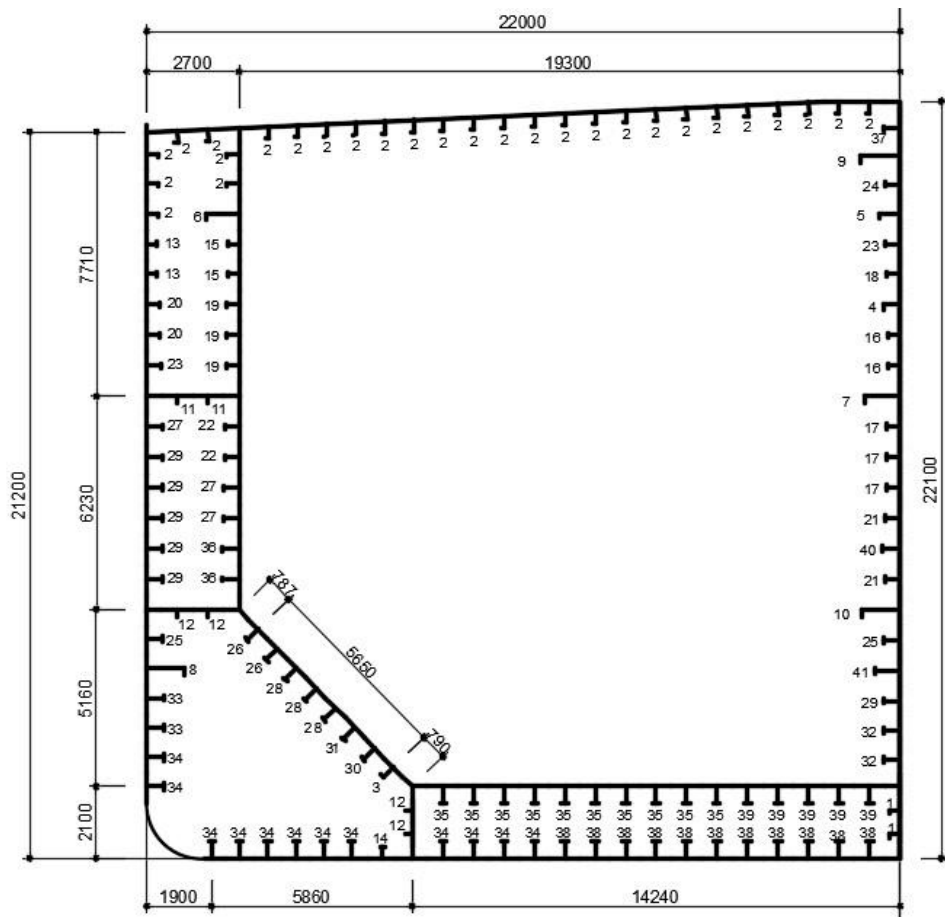
konfigurasi stiffener penampang kapal tanker T4 dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2

Konfigurasi Material Stifener Kapal Tanker T4

Stiffener No.	Description	Type
1	300 x 11 + 90 x 16	Angle Bar
2	350 x 12 + 100 x 17	Angle Bar
3	400 x 11.5 + 100 x 16	Angle Bar
4	489 x 11 + 150 x 19	Angle Bar
5	619 x 12 + 150 x 19	Angle Bar
6	966 x 16 + 200 x 16	Angle Bar
7	1016 x 16 + 200 x 16	Angle Bar
8	1116 x 16 + 200 x 16	Angle Bar
9	1116 x 16 + 200 x 16	Angle Bar
10	1145 x 16 + 200 x 16	Angle Bar
11	200 x 13	Flat Bar
12	200 x 14	Flat Bar
13	306 x 11 + 125 x 16	Tee Bar
14	324 x 12 + 125 x 19	Tee Bar
15	324 x 11 + 125 x 19	Tee Bar
16	344 x 11 + 125 x 19	Tee Bar
17	367 x 11 + 150 x 22	Tee Bar
18	379 x 11 + 125 x 19	Tee Bar
19	379 x 11 + 125 x 19	Tee Bar
20	386 x 11 + 125 x 16	Tee Bar
21	412 x 11 + 150 x 22	Tee Bar
22	429 x 11 + 125 x 19	Tee Bar
23	431 x 11 + 125 x 16	Tee Bar
24	431 x 12 + 125 x 16	Tee Bar
25	452 x 11 + 150 x 22	Tee Bar
26	454 x 11 + 150 x 19	Tee Bar
27	459 x 11 + 125 x 19	Tee Bar
28	469 x 11 + 150 x 19	Tee Bar
29	472 x 11 + 150 x 22	Tee Bar
30	472 x 11 + 150 x 22	Tee Bar
31	474 x 11 + 150 x 19	Tee Bar
32	475 x 11 + 150 x 25	Tee Bar
33	485 x 11 + 150 x 30	Tee Bar
34	487 x 11 + 180 x 32	Tee Bar
	487 x 11 + 180 x 32	Tee Bar
	489 x 11 + 125 x 19	Tee Bar
	492 x 12 + 125 x 25	Tee Bar
	507 x 11 + 200 x 32	Tee Bar
	507 x 11 + 200 x 32	Tee Bar
	522 x 11 + 150 x 22	Tee Bar





Gambar 16 Konfigurasi Penampang Kapal Tanker Tipe T4 (Muis-Alie et al, 2023)

2.7 Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode atau cara yang ditempuh dalam rangka mengumpulkan, menyusun (mengatur), menganalisis dan memberikan penafsiran terhadap sekumpulan melalui Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam menganalisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

2.7.1. Tahapan Pertama

Kegiatan penelitian dilakukan dengan pengambilan data dari berbagai sumber dalam bentuk jurnal atau artikel-artikel maupun buku-buku yang berhubungan dengan penelitian ini, yang ada di laboratorium ataupun dari sumber-sumber lainnya



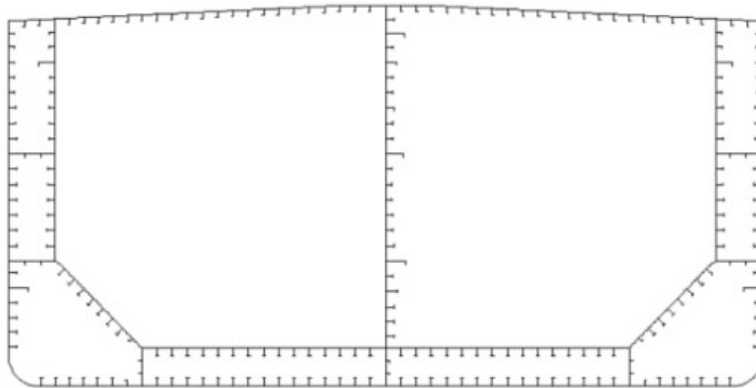
studi atau pemahaman terhadap data yang dikumpulkan, dilanjutkan data berupa:

asi data-data yang digunakan pada struktur kapal tanker seperti bu samping, ketebalan pelat, ketebalan, dan *properties* material

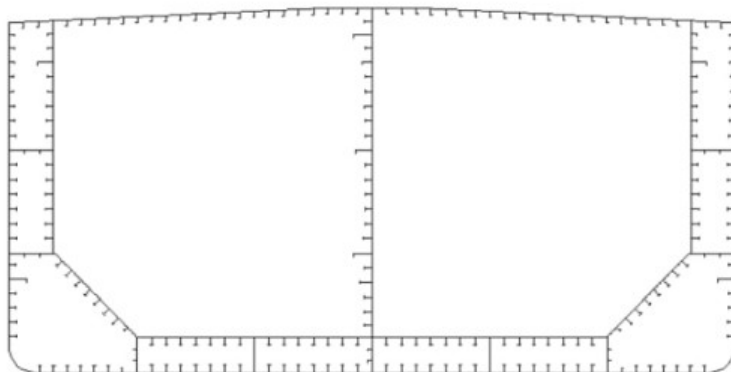
- b. Melakukan studi literatur terkait metode perhitungan kekuatan batas beban lentur dengan perangkat ANSYS yang mengaplikasikan metode Linear dan Non Linear dan dilanjutkan dengan perhitungan kekuatan struktur kapal sebelum dan sesudah mengalami perubahan.
- c. Mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada struktur kapal tanker
- d. Mengidentifikasi gaya-gaya yang bekerja pada kapal tanker yang menyebabkan kapal tanker mencapai kekuatannya.

2.7.3. Tahapan Ketiga

Pemodelan dengan tiga kondisi: kondisi pertama yaitu kapal tanker tanpa penumpang samping (model 1), kondisi kedua kapal tanker dengan satu penumpang samping setengah lebar kapal (model 2), dan kondisi ketiga kapal tanker dengan dua penumpang samping setengah lebar kapal (model 3). Tiga kondisi tersebut ditunjukkan seperti pada Gambar 17, 18 dan 19 sebagai berikut:

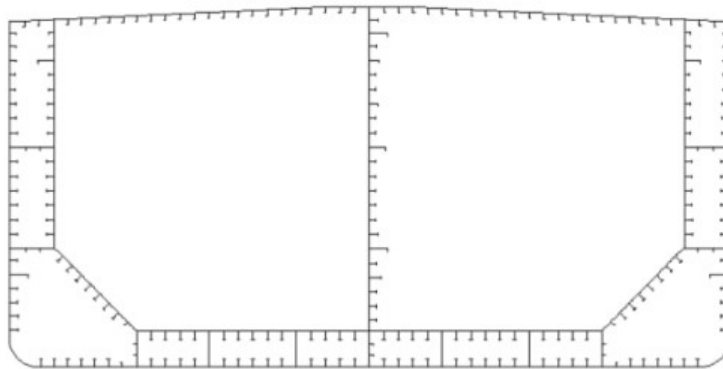


Gambar 17 Konfigurasi Penampang Kapal Tanker tanpa penumpang samping(model 1)



rasi Penampang Kapal Tanker dengan satu penumpang samping (model 2)





Gambar 19 Konfigurasi Penampang Kapal Tanker dengan dua penumpu samping setengah lebar kapal (model 3)

2.7.4. Hasil Penelitian

Ketika pengecekan analisis selesai dan analisis model dinyatakan berhasil maka tahapan selanjutnya adalah memaparkan hasil analisis yang telah didapatkan, berupa kurva hubungan antara *bending moment* dengan *curvature*, dan bentuk deformasi yang diakibatkan oleh beban yang bekerja pada struktur kapal tanker. Selain itu juga diperoleh perbandingan analisis kekuatan dari variasi model jarak penumpu samping menurut aturan BKI dan *International Association of Classification Societies* (IACS).

Tahapan selanjutnya, kapal tanker dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi menggunakan ANSYS. Pemodelan menggunakan elemen shell 181 dengan konfigurasi dan spesifikasi material tiap elemen seperti pada gambar diatas. Model-model tersebut kemudian di *meshing* dengan ukuran 350mm.

Penelitian ini menggunakan proses kontrol momen untuk mengetahui nilai kekuatan-batas struktur baik sebelum dan setelah mengalami kerusakan. Kondisi syarat batas pada penelitian ini adalah seluruh titik ujung model bagian *aft* di *full constrain*. Tidak ada pembebanan pada titik acuan *aft*. Ujung model bagian *fwd* pada titik acuan sumbu netral, diberikan momen lentur kemudian semua titik pada ujung *fwd* di *rigid link full constrain* ke titik acuan sumbu netral. Besaran nilai momen lentur yang diaplikasikan pada titik *fwd* dilakukan dalam dua tahapan pembebanan dimana ada peningkatan nilai momen lentur pada setiap tahapan sampai aplikasi ANSYS mendapatkan nilai kekuatan-batas struktur.

Keakuratan nilai kekuatan-batas struktur dapat diperoleh dengan meningkatkan jumlah tahapan pembebanan. Penelitian ini menggunakan 100 tahapan pembebanan. Metode NLFEA menggunakan analisa statis yaitu dengan menggunakan metode *arc* untuk mencari nilai batas *buckling* dan *post buckling* pada struktur.



2.8 Diagram Alir

Adapun Alur penelitian atau diagram alir dalam penelitian pengaruh tinggi dasar ganda terhadap kapal double hull tanker yaitu :

