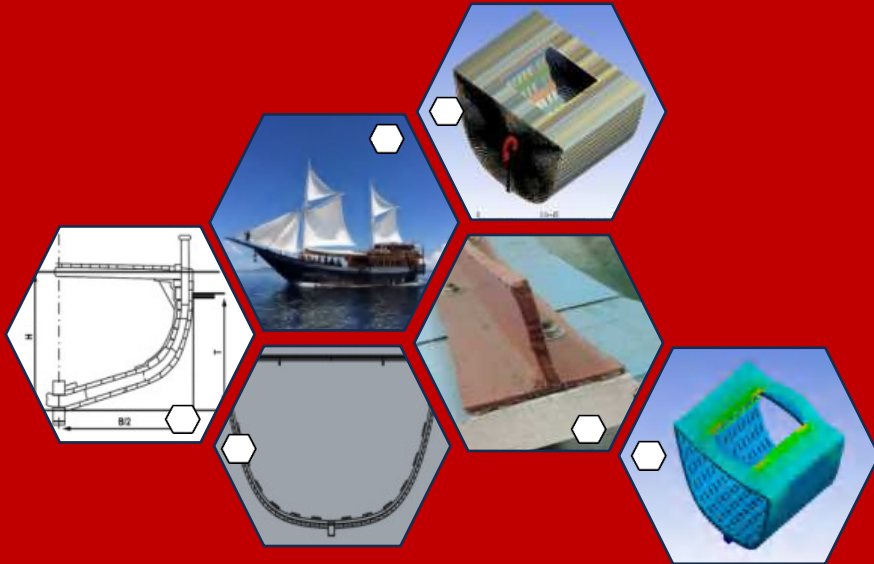


**STUDI ALTERNATIF PENGGUNAAN BAJA SEBAGAI PENGGANTI  
KAYU UNTUK LUNAS, GADING, DAN BALOK GELADAK KAPAL KAYU**



**SURNIATI**

**D031 20 1080**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2024**



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

**STUDI ALTERNATIF PENGGUNAAN BAJA SEBAGAI PENGGANTI  
KAYU UNTUK LUNAS, GADING, DAN BALOK GELADAK KAPAL KAYU**

**SURNIATI**

**D031 20 1080**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2024**



**STUDI ALTERNATIF PENGGUNAAN BAJA SEBAGAI PENGGANTI  
KAYU UNTUK LUNAS, GADING, DAN BALOK GELADAK KAPAL KAYU**

SURNIATI

D031 20 1080

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Perkapalan

pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2024**



## SKRIPSI

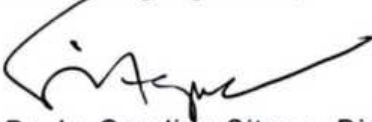
**STUDI ALTERNATIF PENGGUNAAN BAJA SEBAGAI PENGGANTI  
KAYU UNTUK LUNAS, GADING, DAN BALOK GELADAK KAPAL KAYU**SURNIATI

D031 20 1080

Skripsi,

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 20 Agustus 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Mengesahkan:  
Pembimbing Tugas Akhir,



Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing.  
NIP: 19600425 198811 1 001

Mengetahui:  
Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.  
NIP: 19730206 200012 1 002



## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "**Studi Alternatif Penggunaan Baja sebagai Pengganti Kayu untuk Lunas, Gading, dan Balok Geladak Kapal Kayu**" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Dr. Ir. Gading Sitepu, Dipl.-Ing.). Karya ini belum pernah diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. 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.

Makassar, 20 Agustus 2024



METERAI  
TEMPEL  
70E0DALX325657447  
SURNIATI  
D031201080



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Studi Alternatif Penggunaan Baja sebagai Pengganti Kayu untuk Lunas, Gading, dan Balok Geladak Kapal Kayu**” yang diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Perkapalan Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam proses penyusunan dan penyelesaian skripsi ini penulis banyak mendapatkan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang kepada:

1. Mama dan adik saya atas segala kasih sayang, dukungan maupun materi, beserta doa yang tiada henti diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST. M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing., Bapak Hamzah, S.T., M.T., dan Ibu Dr. Eng. Andi Ardianti, S.T., M.T. selaku dosen labo struktur kapal yang telah memberikan masukan, arahan dan ilmu kepada penulis.
4. Seluruh bapak dan ibu dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan, bimbingan, motivasi dan ilmu yang telah diberikan.
5. Seluruh pegawai/staf Departemen Teknik Perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin atas kebaikan dalam membantu segala administrasi selama kuliah.
6. Seluruh teman-teman CHAZER 2020 yang telah memberikan dukungan dan pengalaman yang berharga selama penulis menuntut ilmu di Departemen Teknik Perkapalan.
7. Semua pihak yang telah membantu, dalam bentuk fisik maupun dalam bentuk doa. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian dengan yang lebih baik.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik serta saran yang bersifat membangun guna penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan kepada pembaca pada umumnya.



Makassar, 20 Agustus 2024

## ABSTRAK

### **SURNIATI. Studi Alternatif Penggunaan Baja sebagai Pengganti Kayu untuk Lunas, Gading, dan Balok Geladak Kapal Kayu (dibimbing oleh Ganding Sitepu)**

Era globalisasi dan perkembangan teknologi yang pesat telah membawa perubahan signifikan pada industri perkapalan. Kapal kayu yang telah menjadi bagian dari sejarah industri perkapalan merupakan jenis kapal yang sebagian besar lambungnya terbuat dari kayu. Kayu sebagai bahan utama pembuatan kapal kayu mudah diperoleh di Indonesia. Namun, kerusakan hutan akibat penebangan liar dan kebakaran hutan menyebabkan kayu semakin langka. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan menentukan dimensi lunas, gading, dan balok geladak dari baja yang respon beban yang bekerja sama dengan respon beban lunas, gading, dan balok geladak dari kayu untuk mengurangi penggunaan material kayu pada kapal kayu. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis keterpaduan atau integrasi antara lunas, gading, dan balok geladak baja dengan komponen lain yang terbuat dari kai, serta menganalisis respon struktur kombinasi baja dan kayu terhadap beban lentur, puntir, dan tekan. Pada penelitian ini, konstruksi yang ditinjau adalah lunas, gading, dan balok geladak. Pemodelan konstruksi kayu dan baja menggunakan *software* Rhino dan perhitungan tegangan konstruksi menggunakan *software* Ansys Workbance. Adapun dimensi penampang lunas baja yaitu 160 x 180 x 7 mm, gading baja yaitu 65 x 60 x 7 mm, dan balok geladak yaitu 50 x 50 x 7 mm. Dimensi tersebut dipilih berdasarkan pertimbangan nilai properties pada lunas, gading, dan balok geladak kayu serta ketebalan plat pada dimensi penampang tersebut telah memenuhi tebal pelat minimum plat *marine*. Berdasarkan hasil pengujian tegangan baja menggunakan 3 variasi beban, seluruh tegangan yang diperoleh berada dibawah nilai tegangan izin baja yaitu 150 Mpa (Tegangan Normal) dan 180 Mpa (Tegangan *Equivalent*).

Kata Kunci: Konstruksi; Tegangan; Material; Ansys; Rhino





## ABSTRACT

### **SURNIATI. A Study of Alternative Use of Steel as a Replacement for Wood in the Keel, Frames, and Deck Beams of Wooden Ships** (supervised by Ganding Sitepu)

The era of globalization and rapid technological development has brought significant changes to the shipbuilding industry. Wooden ships, which have been a part of the shipbuilding industry's history, are vessels whose hulls are mostly made of wood. Wood, as the main material for making wooden ships, is easily obtained in Indonesia. However, deforestation due to illegal logging and forest fires has caused wood to become increasingly scarce. Therefore, this research aims to determine the dimensions of steel keels, frames, and deck beams that have a load response that cooperates with the load response of wooden keels, frames, and deck beams to reduce the use of wood material in wooden ships. In addition, this research also analyzes the integration between steel keels, frames, and deck beams with other components made of wood, as well as analyzes the structural response of the combination of steel and wood to bending, torsional, and compressive loads. In this study, the construction being reviewed is the keel, frames, and deck beams. Modeling of wooden and steel constructions uses Rhino software, and the calculation of structural stress uses Ansys Workbench software. The dimensions of the steel keel cross-section are 160 x 180 x 7 mm, the steel frame is 65 x 60 x 7 mm, and the deck beam is 50 x 50 x 7 mm. These dimensions were chosen based on considerations of the properties of wooden keels, frames, and deck beams, and the plate thickness in these cross-sectional dimensions has met the minimum thickness of marine plates. Based on the results of steel stress testing using 3 load variations, all stresses obtained are below the allowable stress of steel, which is 150 MPa (Normal Stress) and 180 MPa (Equivalent Stress).

Keywords: Construction; Stress; Material; Ansys; Rhino





## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGANTAR .....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	iii
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL .....	xv
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Teori .....	2
1.2.1 Kapal kayu .....	2
1.2.2 Ukuran utama .....	3
1.2.3 Komponen konstruksi kapal kayu .....	4
1.2.4 Konstruksi lunas .....	6
1.2.5 Konstruksi gading .....	8
1.2.6 Konstruksi balok geladak .....	12
1.2.7 Beban rancang .....	14
1.2.8 Tegangan dan regangan .....	18
1.2.9 Sifat kayu dan baja .....	20
1.2.10 Elemen hingga .....	21
1.2.11 Manfaat .....	22
1.2.12 .....	23
1.2.13 .....	23
1.2.14 .....	23
1.2.15 .....	23
1.2.16 .....	23
1.2.17 .....	23
1.2.18 .....	23
1.2.19 .....	23
1.2.20 .....	23
1.2.21 .....	23
1.2.22 .....	23
1.2.23 .....	23
1.2.24 .....	23
1.2.25 .....	23
1.2.26 .....	23
1.2.27 .....	23
1.2.28 .....	23
1.2.29 .....	23
1.2.30 .....	23
1.2.31 .....	23
1.2.32 .....	23
1.2.33 .....	23
1.2.34 .....	23
1.2.35 .....	23
1.2.36 .....	23
1.2.37 .....	23
1.2.38 .....	23
1.2.39 .....	23
1.2.40 .....	23
1.2.41 .....	23
1.2.42 .....	23
1.2.43 .....	23
1.2.44 .....	23
1.2.45 .....	23
1.2.46 .....	23
1.2.47 .....	23
1.2.48 .....	23
1.2.49 .....	23
1.2.50 .....	23
1.2.51 .....	23
1.2.52 .....	23
1.2.53 .....	23
1.2.54 .....	23
1.2.55 .....	23
1.2.56 .....	23
1.2.57 .....	23
1.2.58 .....	23
1.2.59 .....	23
1.2.60 .....	23
1.2.61 .....	23
1.2.62 .....	23
1.2.63 .....	23
1.2.64 .....	23
1.2.65 .....	23
1.2.66 .....	23
1.2.67 .....	23
1.2.68 .....	23
1.2.69 .....	23
1.2.70 .....	23
1.2.71 .....	23
1.2.72 .....	23
1.2.73 .....	23
1.2.74 .....	23
1.2.75 .....	23
1.2.76 .....	23
1.2.77 .....	23
1.2.78 .....	23
1.2.79 .....	23
1.2.80 .....	23
1.2.81 .....	23
1.2.82 .....	23
1.2.83 .....	23
1.2.84 .....	23
1.2.85 .....	23
1.2.86 .....	23
1.2.87 .....	23
1.2.88 .....	23
1.2.89 .....	23
1.2.90 .....	23
1.2.91 .....	23
1.2.92 .....	23
1.2.93 .....	23
1.2.94 .....	23
1.2.95 .....	23
1.2.96 .....	23
1.2.97 .....	23
1.2.98 .....	23
1.2.99 .....	23
1.2.100 .....	23



2.2 Jenis Penelitian.....	23
2.3 Metode Pengumpulan Data .....	23
2.4 Metode Pengolahan Data .....	23
2.5 Kerangka Pikir.....	24
2.6 Penyajian Data.....	25
2.6.1 Data konstruksi kapal.....	25
2.6.2 Jenis bahan.....	25
2.6.3 Pemilihan dimensi konstruksi baja .....	26
2.7 Pemodelan Struktur .....	27
2.7.1 Model konstruksi kayu.....	27
2.7.2 Model konstruksi kayu dan baja .....	28
2.8 Analisis Model Struktur .....	28
2.8.1 Pemilihan tipe analisis.....	28
2.8.2 Penentuan material properties .....	29
2.8.3 <i>Modelling</i> .....	30
2.8.4 <i>Meshing</i> .....	31
2.8.5 Penentuan kondisi batas dengan metode <i>multi point constraint</i> (MPC) ...	32
2.9 Perhitungan Beban .....	33
2.9.1 Momen bending gelombang vertikal (kondisi <i>hogging</i> ) .....	34
2.9.2 Momen bending gelombang vertikal (kondisi <i>sagging</i> ) .....	34
2.9.3 Momen puntir .....	34
2.9.4 Beban geladak .....	35
2.9.5 Beban sisi .....	35
2.9.6 Beban alas .....	36
2.10 Analisis Respon Struktur.....	36
2.10.1 Input beban .....	36
2.10.2 Running.....	38
2.10.3 Pembacaan hasil.....	39
<b>DAB III</b> .....	40
<b>ANALISIS PERENCANAAN</b> .....	40
Gading, dan Balok Geladak Baja .....	40
Konstruksi Kayu Terhadap Momen Bending Vertikal.....	40
Konstruksi Baja Terhadap Momen Bending Vertikal.....	43



3.4 Perbandingan Respon Model Konstruksi Kayu dan Konstruksi Baja Terhadap Momen Bending Vertikal.....	45
3.5 Respon Model Konstruksi Kayu Terhadap Momen Puntir.....	49
3.6 Respon Model Konstruksi Baja Terhadap Momen Puntir.....	50
3.7 Perbandingan Respon Model Konstruksi Kayu dan Konstruksi Baja Terhadap Momen Puntir.....	52
3.8 Respon Model Konstruksi Kayu Terhadap Beban Melintang .....	54
3.9 Respon Model Konstruksi Baja Terhadap Beban Melintang .....	55
3.10 Perbandingan Respon Model Konstruksi Kayu dan Konstruksi Baja Terhadap Beban Melintang .....	57
BAB IV .....	59
KESIMPULAN DAN SARAN .....	59
4.1 Kesimpulan .....	59
4.2 Saran .....	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN.....	63



## DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Lunas dan linggi haluan untuk kapal pelayaran samudera terbatas .....	7
2. Lunas dan linggi haluan untuk kapal pelayaran pantai .....	8
3. Jumlah potongan kayu balok lunas luar atau dalam .....	8
4. Jarak gading-gading dan tebal kulit luar untuk kapal pelayaran samudera terbatas .....	10
5. Jarak gading-gading dan tebal kulit luar untuk kapal pelayaran samudera terbatas .....	10
6. Jarak gading-gading dan tebal kulit luar untuk kapal pelayaran pantai .....	11
7. Jarak gading-gading dan tebal kulit luar untuk kapal pelayaran pantai .....	11
8. Jarak balok geladak, geladak, tutup sisi geladak dan braket balok kapal pelayaran samudera terbatas .....	12
9. Jarak balok geladak, geladak, tutup sisi geladak dan braket balok kapal pelayaran pantai .....	13
10. Faktor distribusi untuk beban laut di sisi-sisi kapal dan geladak cuaca .....	17
11. Kelas kekuatan kayu .....	21
12. Ukuran utama kapal .....	25
13. Ukuran penampang konstruksi .....	25
14. Sifat bahan .....	26
15. Tegangan konvergen mesh .....	31
16. Dimensi konstruksi baja .....	40
17. Nilai tegangan model konstruksi kayu akibat momen bending vertikal (hogging) .....	41
18. Nilai tegangan model konstruksi kayu akibat momen bending vertikal (sagging) .....	41
19. Nilai tegangan model konstruksi baja akibat momen bending vertikal (hogging) .....	44
20. Nilai tegangan model konstruksi baja akibat momen bending vertikal (sagging) .....	44
21. Perbandingan tegangan model kayu dan model baja akibat momen bending vertikal (hogging) .....	46
22. Perbandingan tegangan model kayu dan model baja akibat momen bending vertikal (sagging) .....	46
23. Persentase nilai tegangan normal maksimum terhadap tegangan izin (hogging) .....	47
24. Persentase nilai tegangan normal maksimum terhadap tegangan izin (sagging) .....	48
25. Nilai tegangan model kayu akibat momen puntir .....	49
26. Nilai tegangan model baja akibat momen puntir .....	51
27. Perbandingan tegangan model kayu dan model baja akibat momen puntir .....	52
28. Tegangan geser maksimum terhadap tegangan izin .....	53
29. Tegangan model kayu akibat beban melintang .....	54
30. Tegangan model baja akibat beban melintang .....	56
31. Tegangan model kayu dan model baja akibat beban melintang .....	57
32. Tegangan equivalent maksimum terhadap tegangan izin .....	58



## DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Kapal kayu .....	3
2. Panjang kapal kayu.....	3
3. Lebar, tinggi, dan sarat kapal kayu .....	4
4. Komponen konstruksi kapal kayu .....	5
5. Gading tunggal lengkung .....	9
6. Gading ganda lengkung .....	9
7. Faktor distribusi $C_M$ dan pengaruh faktor $C_v$ .....	15
8. Faktor distribusi $C_{WT}$ .....	16
9. Faktor distribusi $C_{T1}$ dan $C_{T2}$ .....	17
10. Kerangka pikir .....	24
11. Model konstruksi kayu .....	27
12. Model konstruksi kayu dan baja.....	28
13. Pemilihan tipe analisis pada ansys workbench .....	29
14. Penentuan material properties kayu .....	29
15. Model konstruksi kayu di ansys .....	30
16. Model konstruksi kayu dan baja di ansys.....	30
17. Model kapal yang telah di meshing.....	31
18. Grafik konvergen mesh.....	32
19. Posisi pembebanan dan pengekangan dengan metode MPC .....	33
20. Apply momen bending pada model.....	37
21. Apply momen puntir pada model.....	37
22. Apply beban melintang pada model .....	38
23. Proses running pada ansys workbench .....	38
24. Pembacaan hasil running ansys .....	39
25. Kontur tegangan model konstruksi kayu akibat momen bending vertikal (hogging) .....	40
26. Kontur tegangan model konstruksi kayu akibat momen bending vertikal (sagging) .....	41
27. Kurva nilai tegangan struktur kayu akibat momen bending (hogging).....	42
28. Kurva nilai tegangan struktur kayu akibat momen bending (sagging).....	42
29. Kontur tegangan model konstruksi baja akibat momen bending vertikal (hogging) .....	43
30. Kontur tegangan model konstruksi baja akibat momen bending vertikal (sagging) .....	43
31. Kurva nilai tegangan struktur baja akibat momen bending (hogging) .....	45
32. Kurva nilai tegangan struktur baja akibat momen bending (sagging).....	45
33. Perbandingan nilai tegangan model kayu dan baja akibat momen bending vertikal (hogging).....	47
34. Perbandingan nilai tegangan model kayu dan baja akibat momen bending vertikal .....	48
.....n model konstruksi kayu akibat momen puntir .....	49
.....ngan struktur kayu akibat momen puntir .....	50
.....n model konstruksi baja akibat momen puntir.....	50
.....ngan struktur baja akibat momen puntir .....	51
.....nilai tegangan model kayu dan baja akibat momen puntir .....	53
.....n model konstruksi kayu akibat beban melintang .....	54



41. Kurva nilai tegangan struktur kayu akibat beban melintang ..... 55  
42. Kontur tegangan model konstruksi baja akibat beban melintang ..... 55  
43. Kurva nilai tegangan struktur baja akibat beban melintang ..... 56  
44. Perbandingan nilai tegangan model kayu dan baja akibat beban melintang .... 58



## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
Lampiran 1 Contoh penggunaan material baja pada kapal kayu .....	63
Lampiran 2 Katalog Plat Baja Kapal .....	64





## DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

Lambang / Singkatan	Arti dan Keterangan
KLM	Kapal Layar Motor
BKI	Biro Klasifikasi Indonesia
L1	Jarak antara sisi belakang linggi buritan dan sisi depan linggi haluan
L2	Jarak antara sisi belakang linggi buritan atau sisi belakang buritan datar dengan sisi depan linggi haluan pada geladak
L	Panjang kapal
B	Lebar kapal
H	Tinggi kapal
T	Sarat kapal
M <sub>wv</sub>	Momen bending vertikal
C <sub>0</sub>	Koefisien gelombang
C <sub>B</sub>	Koefisien blok
C <sub>L</sub>	Koefisien panjang
C <sub>M</sub>	Faktor distribusi
C <sub>V</sub>	Koefisien kecepatan kapal
M <sub>WT</sub>	Momen puntir
C <sub>WT</sub>	Faktor distribusi
C <sub>T</sub>	Faktor distribusi
P <sub>D</sub>	Beban geladak
P <sub>0</sub>	Beban luas dasar dinamis
f	Faktor probabilitas
C <sub>D</sub>	Faktor distribusi
z	Jarak vertikal pusat beban struktur
P <sub>s</sub>	Beban sisi
C <sub>F</sub>	Faktor distribusi
P <sub>B</sub>	Beban alas
$\sigma$	Tegangan lentur
$\sigma$	Tegangan aksial
$\tau$	Tegangan geser
F	Gaya
A	Luas penampang
M	Momen
W	Modulus penampang
...	Gaya geser
	Momen statis terhadap sumbu netral
	Momen inersia
	Regangan
	Pertambahan panjang total
	<i>Finite Element Method</i>



Ansys	Software yang digunakan untuk menganalisis berbagai macam struktur, aliran fluida, dan perpindahan panas
E	Modulus elastisitas
EI	Kekakuan
Midship	Bagian tengah kapal
Remote Point	Sumbu netral

---



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Era globalisasi dan perkembangan teknologi yang pesat telah membawa perubahan signifikan pada industri perkapalan. Kapal kayu yang telah menjadi bagian dari sejarah industri perkapalan merupakan jenis kapal yang sebagian besar lambungnya terbuat dari kayu. Pembuatan kapal kayu di Indonesia telah berlangsung selama puluhan bahkan ratusan tahun yang lalu. Keterampilan dalam pembuatan kapal kayu yang dilakukan oleh pengrajin diwariskan dari generasi ke generasi. Kapal kayu tidak hanya berfungsi sebagai alat transportasi, tetapi juga sebagai simbol identitas dan kekuatan nasional. Dalam konteks globalisasi, kapal kayu menjadi salah satu produk ekspor yang menonjol dari Indonesia, menunjukkan bagaimana industri perkapalan lokal dapat bersaing di tingkat Internasional. Dengan demikian, era globalisasi dan perkembangan teknologi yang pesat tidak hanya membawa perubahan signifikan pada industri perkapalan, tetapi juga menciptakan peluang bagi inovasi dan peningkatan kualitas kapal.

Seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan kapal yang lebih kuat, tahan terhadap kerusakan, dan memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah, ada kebutuhan untuk mencari solusi alternatif yang lebih efisien dan berkelanjutan. Kayu merupakan bahan utama pembuatan kapal kayu memiliki peran penting dalam proses konstruksi kapal kayu di Indonesia. Era modern memberikan tantangan baru bagi kapal kayu dalam hal kualitas, kinerja, dan ketahanan yang menjadi faktor utama penentu keberlangsungan hidup kapal kayu di era modern. Kayu yang memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap kerusakan akibat cuaca dan serangga, juga memiliki keterbatasan dalam hal ketahanan terhadap kerusakan fisik dan kimia. Selain itu, kayu juga memiliki dampak lingkungan yang signifikan, termasuk pemanasan global dan polusi udara.

Perahu kayu merupakan perahu yang hampir seluruh konstruksinya terbuat dari kayu. Sampai beberapa tahun yang lalu, bahan kayu untuk pembuatan perahu kayu relatif mudah diperoleh karena banyaknya hutan di Indonesia (Bochary dkk, 2019). Hutan diberbagai daerah di Indonesia menyediakan kayu yang berlimpah untuk digunakan sebagai bahan pembuatan kapal kayu. Provinsi Sulawesi Selatan adalah pusat pembuatan perahu kayu yang terkenal di Indonesia. Khususnya, Perahu Pinisi ditetapkan sebagai warisan budaya takbenda oleh UNESCO (Perahu Pinisi mempunyai berbagai peran, termasuk pelayaran dan Bochary dkk, 2023). Namun demikian, para perajin perahu kayu menghadapi kesulitan dalam penyediaan kayu gelondongan sebagai bahan utama pembuatan perahu kayu khususnya untuk konstruksi rangka kayu meskipun bahan alternatif kayu untuk pembuatan perahu semakin meningkat. Sulitnya



mendapatkan kayu spesifik untuk rangka kayu disebabkan oleh kebutuhan spesifik dari masing-masing rangka kayu (Bochary dkk, 2019). Hal ini disebabkan oleh kerusakan hutan Indonesia akibat penebangan liar dan kebakaran hutan menyebabkan kayu semakin langka. Keterbatasan jumlah kayu memberi dampak pada proses pembangunan kapal kayu di Indonesia. Harga kayu menjadi lebih mahal dan sulit untuk didapatkan sehingga mengancam keberlangsungan tradisi pembuatan kapal kayu.

Menghadapi tantangan tersebut, diperlukan material alternatif sebagai pengganti material kayu pada konstruksi kapal kayu. Kebutuhan untuk mencari alternatif material yang lebih kuat, tahan terhadap kerusakan, dan memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah. Material alternatif yang digunakan hanya dikhususkan pada beberapa material konstruksi kapal kayu agar tetap mempertahankan kekhususan dari kapal kayu di Indonesia. Penelitian sebelumnya telah mencari alternatif pengganti material kayu pada kapal kayu yaitu dengan menggunakan material baja. Pada penelitian tersebut konstruksi lunas dan gading kayu diganti dengan lunas dan gading baja serta interaksi antara gading baja dan lunas baja dengan komponen kayu lainnya. Namun, penggunaan material kayu dengan jumlah besar tidak hanya digunakan pada konstruksi lunas dan gading, akan tetapi pada konstruksi balok geladak juga memberikan dampak penggunaan kayu yang cukup tinggi.

Berdasarkan uraian diatas, penelitian lebih lanjut yang meneliti tentang balok geladak kayu yang diganti menjadi balok geladak baja serta interaksi antara lunas, gading, dan balok geladak baja dengan komponen kayu lainnya pada kapal kayu. Pada penelitian ini akan dimodelkan kombinasi antra lunas, gading, dan balok geladak kapal yang terbuat dari baja berinteraksi dengan komponen konstruksi kapal lainnya yang terbuat dari kayu dalam satu kesatuan serta menganalisis respon strukturnya. Sehingga peneliti mengangkat judul **“STUDI ALTERNATIF PENGGUNAAN BAJA SEBAGAI PENGGANTI KAYU UNTUK LUNAS, GADING, DAN BALOK GELADAK KAPAL KAYU”**.

## 1.2 Teori

### 1.2.1 Kapal kayu

Kapal kayu merupakan jenis kapal yang menggunakan material kayu sebagai bahan baku utama dan dilengkapi dengan mesin penggerak atau layar sebagai alat penggerak lainnya (Jinca, 2002). Kapal kayu banyak digunakan di Indonesia untuk , termasuk sebagai kapal barang, kapal ikan, dan kapal wisata. Kapal kayu yang dibangun di Indonesia dibuat dari material kayu, konstruksi yang dilakukan oleh para pengrajin kapal kayu secara / dkk, 2019). Kapal layar motor (KLM) adalah kapal yang bahan lari kayu dengan menggunakan layar sebagai penggerak utama jenisnya sebagai penggerak bantu. Penggerak bantu hanya



digunakan sebagai alat penggerak disaat layat tidak dapat berfungsi dengan baik sebagai penggerak utama kapal (BKI, 1992). Salah satu jenis kapal kayu dapat dilihat pada Gambar 1:



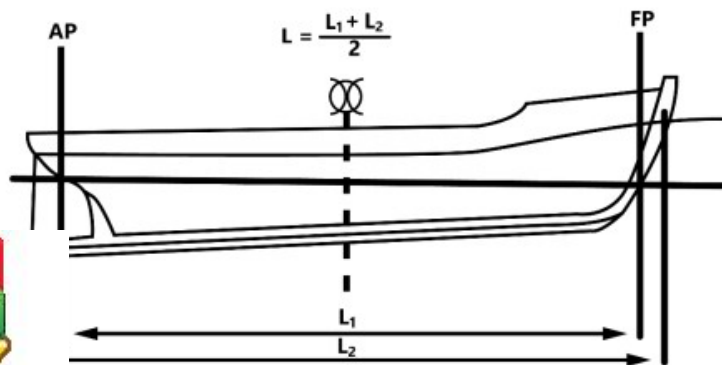
**Gambar 1.** Kapal kayu  
Sumber: pinisi.co.id

### 1.2.2 Ukuran utama

Berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia Volume VI (2023) pengukuran dimensi utama kapal kayu adalah sebagai berikut:

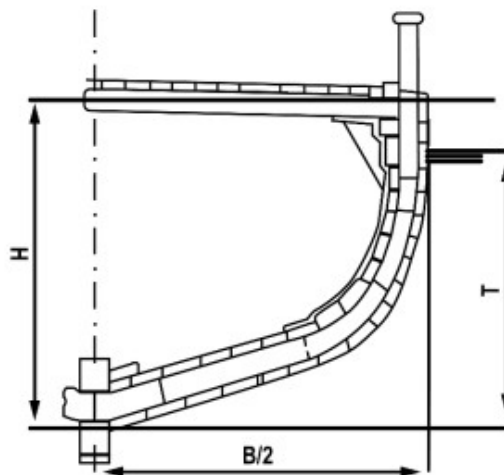
#### 1. Panjang

Panjang kapal ( $L$ ) adalah rata-rata dari panjang pada garis muat  $L_1$  dan panjang geladak  $L_2$ . Berdasarkan gambar 2.2 panjang  $L_1$  adalah jarak antara sisi belakang linggi buritan dan sisi depan linggi haluan; panjang  $L_2$  adalah jarak antara sisi belakang linggi buritan atau sisi belakang buritan datar dengan sisi depan linggi haluan pada geladak. Titik pengukuran panjang kapal kayu dapat dilihat pada Gambar 2:



2. Lebar  
Lebar kapal ( $B$ ) adalah lebar maksimum kapal yang diukur pada sisi luar kulit luar.
3. Tinggi  
Tinggi kapal ( $H$ ) adalah jarak vertikal antara sisi bawah *sponeng* lunas dan sisi atas papan geladak pada sisi kapal diukur pada pertengahan panjang  $L_1$ .
4. Sarat  
Sarat air ( $T$ ) adalah jarak vertikal antara sisi bawah sponeng lunas dan tanda lambung timbul garis muat musim panas diukur pada pertengahan panjang  $L_1$ .

Titik pengukuran lebar, tinggi, dan sarat kapal kayu dapat dilihat pada Gambar 3:

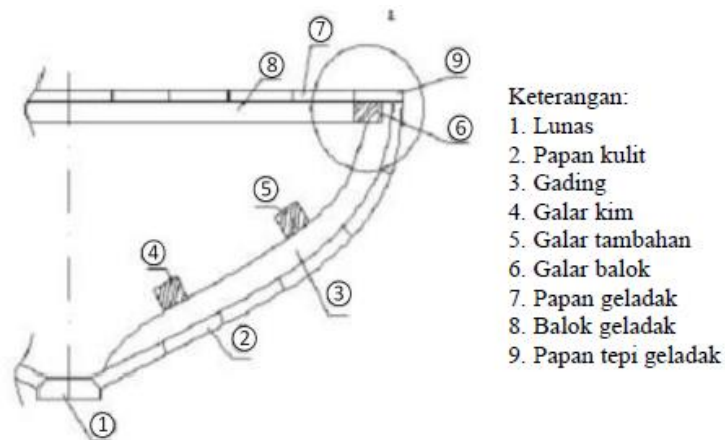


**Gambar 3.** Lebar, tinggi, dan sarat kapal kayu  
Sumber: BKI Volume VI, 2023

### 1.2.3 Komponen konstruksi kapal kayu

Kapal kayu merupakan jenis kapal tradisional Indonesia yang seluruh material komponennya terbuat dari bahan dasar kayu. Kapal kayu terdiri atas beberapa komponen konstruksi yaitu lunas, balok poros, balok geladak, papan sekat, galar, papan sisi, gading, bangunan atas, pilar, dan papan kulit (Dewa dan Muhammad, 2010). Konstruksi kapal kayu berdasarkan letaknya dapat dilihat pada Gambar 4:





**Gambar 4.** Komponen konstruksi kapal kayu

Sumber: Amirullah, 2023

1. Lunas  
Lunas merupakan pondasi utama kapal yang terletak di terbawah dan menahan beban paling besar. Beban dari seluruh struktur kapal dialirkan ke lunas yang menjadikan lunas sebagai elemen vital dalam stabilitas dan kekuatan kapal (Bakri, 2021).
2. Linggi Haluan  
Linggi Haluan merupakan konstruksi lanjutan dari lunas di bagian ujung depan kapal yang berfungsi menghubungkan papan kulit dibagian kiri dan kanan kapal serta menghubungkan galar-galar di kedua sisi kapal (Bakri, 2021).
3. Linggi Buritan  
Linggi buritan merupakan konstruksi lanjutan dari lunas di bagian ujung belakang kapal yang berfungsi sebagai bantalan bawah untuk poros kemudi, rumah untuk tabung poros buritan, serta sebagai tumpuan kemudi dan poros. Adapun bagian-bagian dari linggi buritan yaitu telapak linggi, linggi baling-baling, dan linggi kemudi (Rauf dan Chaerunnisa, 2003).
4. Gading  
Gading adalah salah satu bagian penting dari konstruksi kapal karena gading berperan sebagai kerangka badan kapal dan sekaligus mendukung kekuatan memanjang kapal. Pada kapal, gading dipasang pada bagian sisi kapal dengan posisi melintang sepanjang kapal dari lunas hingga tepi geladak utama. Gading pada kapal kayu umumnya adalah gading Tunggal yaitu gading yang tidak menerus pada sisi kiri dan kanan kapal sehingga pada kapal kayu, gading pada sisi kiri dan kanan terhubung pada lunas kapal (Bochary dkk, 2019).



an elemen penting dalam konstruksi kapal yang berperan dalam an menstabilkan struktur kapal. Galar dipasang memanjang dari (ujung depan) hingga linggi buritan (ujung belakang) dan engan gading-gading (tiang penyangga) dan balok geladak ntai kapal) (BKI, 1996).



#### 6. Balok Geladak

Balok geladak adalah salah satu konstruksi kapal yang memiliki dua fungsi utama yaitu menghubungkan papan geladak: balok geladak menjembatani papan-papan geladak, menyatukannya menjadi satu platform yang kokoh. Hal ini penting untuk memastikan geladak dapat menahan beban dan memberikan ruang yang aman bagi awak kapal dan muatan. Selain itu balok geladak juga berfungsi memperkuat geladak: balok geladak memberikan kekuatan tambahan pada geladak, terutama di area yang mendapat beban besar (Rauf dan Chaerunnisa, 2003).

#### 7. Kulit Luar

Kulit luar merupakan lapisan terluar kapal yang berfungsi sebagai lambung kapal. Kulit luar tersusun dari papan-papan kulit yang dipasang memanjang dari linggi haluan hingga linggi buritan dan menempel pada gading-gading. Adapun fungsi utama dari kulit luar yaitu melindungi kapal dari air laut dan cuaca buruk serta memberikan bentuk dan kestabilan pada lambung kapal. Bagian-bagian kulit luar yaitu lajur lunas, lajur alas, lajur sisi, dan lajur sisi atas (Bakri, 2021).

### 1.2.4 Konstruksi Lunas

Lunas merupakan konstruksi fundamental kapal yang terletak dibawah keseluruhan struktur. Pada kapal kayu, lunas memanjang dari haluan (depan) hingga buritan (belakang) yang menghubungkan kedua linggi (titik temu lunas dan haluan/buritan). Dalam pembuatan kapal kayu, lunas menjadi kerangka utama kulit kapal dan dibentuk menjadi lambung yang utuh. Kekokohan lunas sangat penting karena bertugas menanggung berbagai beban. Beban tersebut berasal dari tekanan kulit kapal, tekanan dari gading, dan beban alas. Lunas yang kokoh akan menjamin ketahanan dan stabilitas kapal selama berlayar (Nur, 2021).

Berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia Volume VI (2023), persyaratan untuk lunas kapal kayu adalah sebagai berikut:

1. Tinggi dan lebar lunas dalam dan lunas luar terdapat dalam Tabel 1 dan 2 dan tergantung dari angka penunjuk  $L (B/3 + H)$ .
2. Kapal yang mempunyai angka penunjuk  $L (B/3 + H)$  lebih kecil dari 140, tidak perlu dipasang lunas dalam (lihat kolom 3 dari Tabel 2.1 dan 2.2), sedangkan yang lebih besar dari 140 harus dipasang lunas dalam (dari linggi buritan sampai linggi haluan) dan lunas luar.
3. Lebar dan tinggi dari lunas dalam dan lunas luar dapat diubah dengan persetujuan BKI dengan syarat luas penampang seluruhnya seperti tertera dalam kolom 2 Tabel 2.1 dan 2.2 dipertahankan. Perbandingan antara luas



lunas dalam dan lunas luar juga boleh diubah, tetapi luas lunas dalam bagaimanapun tidak boleh kurang dari setengah luas lunas luar.

lunas dalam dan lunas luar terbuat dari satu balok maka luas penampang dalam boleh dikurangi 10% dari angka yang terdapat dalam Table 2.1

5. Jumlah maksimum potongan kayu balok (n) dari lunas luar/lunas dalam ditentukan berdasarkan panjang kapal (L) sesuai Tabel 2.3.
6. Bagian yang terpendek dari lunas luar dan lunas dalam yang disambung, paling sedikit panjangnya harus 6 m.
7. Sambungan antara lunas dengan lunas dibagian belakang kapal pada kapal bermotor harus dihindarkan.
8. Sambungan lunas tidak boleh berada di bawah lubang palka atau bukaan geladak yang besar. Letak sambungan ini terhadap sekat yang terdekat, topang atau tiang (mast) paling sedikit harus satu jarak gading-gading sedangkan terhadap penumpu membujur mesin paling sedikit harus dua jarak gading-gading.

Dimensi konstruksi lunas dan linggi haluan untuk Kapal Pelayaran Samudera Terbatas dapat dilihat pada Tabel 1:

**Tabel 1.** Lunas dan linggi haluan untuk kapal pelayaran samudera terbatas

L (B/3 + H)	Lunas				Linggi haluan <sup>1) 2)</sup> (Lebar x Tinggi) [mm]
	Penampang <sup>2)</sup> [cm <sup>2</sup> ]	Hanya lunas luar (Lebar x Tinggi) [mm]	Lunas luar dan lunas dalam <sup>3)</sup> (Lebar x Tinggi) [mm]		
1	2	3	4	5	6
20	320	150 x 215	125 x 140	130 x 115	125 x 180
25	375	160 x 235	130 x 160	135 x 125	135 x 195
30	430	170 x 255	140 x 170	140 x 140	145 x 210
35	485	180 x 275	145 x 185	150 x 145	150 x 225
40	540	190 x 285	150 x 200	155 x 155	160 x 240
50	650	205 x 310	165 x 220	175 x 165	175 x 260
60	750	210 x 340	175 x 235	190 x 175	190 x 280
70	855	235 x 650	190 x 240	205 x 195	200 x 300
80	955	250 x 380	205 x 255	215 x 200	215 x 315
90	1060	265 x 400	215 x 275	225 x 210	225 x 335
100	1160	275 x 420	225 x 280	235 x 225	235 x 355
120	1370	305 x 450	250 x 300	260 x 240	255 x 385
140	1570		270 x 320	280 x 255	275 x 415
160	1775		280 x 350	295 x 270	295 x 440
180	1985		290 x 370	310 x 290	310 x 460
200	2190		310 x 390	325 x 300	325 x 480
220	2400		330 x 400	340 x 320	340 x 510
240	2600		340 x 415	360 x 330	355 x 530
260	2800		350 x 435	375 x 340	370 x 550

<sup>1)</sup> Tinggi linggi buritan harus sekurang-kurangnya 5% lebih besar dari pada tinggi linggi haluan, dan lebarnya boleh sama. (lihat juga C.)

<sup>2)</sup> Berlaku untuk L/H ≤ 8. Untuk L/H > 8 luas penampang harus diperbesar sesuai dengan Tabel 3.1.

<sup>3)</sup> Kolom 4 adalah ukuran lunas luar dan kolom 5 adalah ukuran lunas dalam.

Sumber: Rules BKI Vol. II, 2023

Dimensi konstruksi lunas dan linggi haluan untuk Kapal Pelayaran Samudera Terbatas dapat dilihat pada Tabel 2:



**Tabel 2.** Lunas dan linggi haluan untuk kapal pelayaran pantai

L (B/3 + H)	Lunas				Linggi haluan <sup>1) 2)</sup> (Lebar x Tinggi) [mm]
	Penampang <sup>2)</sup> [cm <sup>2</sup> ]	Hanya lunas luar (Lebar x Tinggi) [mm]	Lunas luar dan lunas dalam <sup>3)</sup> (Lebar x Tinggi) [mm]		
1	2	3	4	5	6
20	290	140 x 200	115 x 135	120 x 110	115 x 180
25	340	150 x 230	125 x 150	130 x 120	125 x 195
30	390	160 x 245	135 x 160	140 x 125	140 x 210
35	440	170 x 260	140 x 175	145 x 140	145 x 225
40	490	180 x 270	145 x 185	150 x 145	155 x 240
50	585	200 x 295	160 x 205	165 x 160	170 x 260
60	675	210 x 320	175 x 220	175 x 175	180 x 280
70	765	225 x 340	180 x 230	190 x 185	190 x 300
80	860	235 x 365	190 x 235	200 x 195	205 x 315
90	955	250 x 380	205 x 260	210 x 205	220 x 335
100	1045	260 x 400	215 x 265	220 x 215	225 x 355
120	1235	285 x 435	225 x 290	245 x 230	240 x 385
140	1410		250 x 305	270 x 240	260 x 415
160	1600		270 x 325	285 x 255	280 x 440
180	1785		280 x 350	295 x 270	295 x 460
200	1970		290 x 365	305 x 290	305 x 480
220	2160		310 x 375	325 x 300	325 x 510
240	2340		330 x 385	340 x 310	335 x 530
260	2520		345 x 400	360 x 320	350 x 550

<sup>1)</sup> Tinggi linggi buritan harus sekurang-kurangnya 5% lebih besar dari pada tinggi linggi haluan, dan lebarnya boleh sarna (lihat juga c.)

<sup>2)</sup> Berlaku untuk L/H ≤ 8. Untuk L/H > 8 luas penampang harus diperbesar sesuai dengan Tabel 3.1.

<sup>3)</sup> Kolom 4 adalah ukuran lunas luar dan kolom 5 adalah ukuran lunas dalam.

Sumber: Rules BKI Vol. II, 2023

Jumlah potongan kayu balok lunas berdasarkan panjang kapal dapat dilihat pada Tabel 3:

**Tabel 3.** Jumlah potongan kayu balok lunas luar atau dalam

Panjang kapal L [m]	Jumlah potongan kayu (n)
$L \leq 14$	1
$14 < L \leq 25$	2
$25 < L \leq 35$	3
$L > 35$	4

Sumber: Rules BKI Vol. II, 2023

### 1.2.5 Konstruksi gading

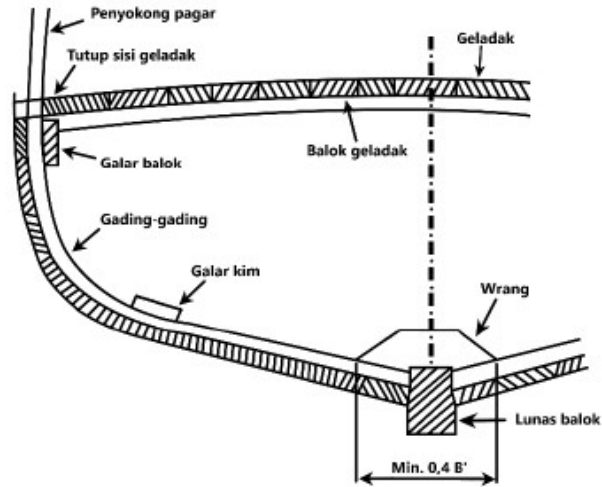
Gading-gading adalah salah satu anggota kerangka kapal melintang yang dipasang pada sisi kapal mulai dari bilge sampai geladak atau dari geladak sampai geladak di atasnya. Gading-gading merupakan tempat melekatnya kulit atau lambung kapal agar bentuknya tidak berubah. Selain sebagai tempat melekatnya kulit atau lambung, gading-gading juga berfungsi sebagai tempat melekatnya galar dan sekaligus sebagai balok geladak kapal. Gading-gading dapat dibuat dari gading-gading tunggal atau gading-gading ganda. Gading-gading tunggal biasanya terdistribusi merata di bagian kanan dan kiri kapal, sedangkan gading-gading ganda terdistribusi di bagian kanan dan kiri kapal. Gading-gading ganda melewati tengah kapal dan di bagian tengah dibuat meninggi. Tinggi gading-gading ganda sama dengan tinggi wrang pada gading-gading tunggal. Pada



konstruksi gading kapal kayu tidak terdapat gading alas dan gading balik (Bochary dan Larengi, 2012).

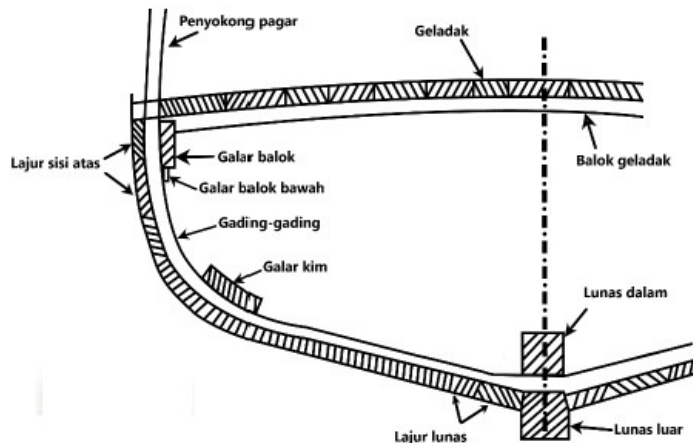
Berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia Volume VI (2023), persyaratan untuk gading kapal kayu adalah sebagai berikut:

1. Gading-gading kayu balok dapat dibuat berupa kayu balok tunggal atau kayu balok berganda, yang dapat dilihat Gambar 5 dan Gambar 6:



**Gambar 5.** Gading tunggal lengkung

Sumber: Rules BKI Vol. VI, 2023



ding ganda lengkung  
3KI Vol. VI, 2023

gading diukur dari tengah gading satu ke tengah gading lainnya  
:ung menurut Tabel 4 hingga Tabel 5:

**Tabel 4.** Jarak gading-gading dan tebal kulit luar untuk kapal pelayaran samudera terbatas

L (B/3 + H)	Jarak gading-gading [mm]		Tebal kulit luar <sup>1) 2)</sup> [mm]
	Gading tunggal	Gading berganda	
1	2	3	4
20	280	310	30
25	300	335	32
30	320	355	34
35	335	370	36
40	350	390	38
45	360	400	39
50	375	415	41

<sup>1)</sup> Untuk kapal kecil tebal papan kulit luar keseluruhannya boleh sama. Untuk kapal yang besar papan lajur sisi atas dan papan lunas harus diperkuat (lihat Tabel 3.7).

<sup>2)</sup> Berlaku untuk  $L/H \leq 8$ . Untuk  $L/H > 8$ , maka tebal kulit luar harus diperbesar sesuai Tabel 3.1.

Sumber: Rules BKI Vol. II, 2023

**Tabel 5.** Jarak gading-gading dan tebal kulit luar untuk kapal pelayaran samudera terbatas

L (B/3 + H)	Jarak gading-gading [mm]		Tebal kulit sisi dan alas [mm]	Kulit luar <sup>1) 2)</sup>	
	Gading tunggal	Gading berganda		Papan lajur sisi atas dan lunas	
				Lebar [mm]	Tebal [mm]
1	2	3	4	5	6
35	315	350	34	400	39
40	330	365	36	410	41
45	340	380	37	420	43
50	355	395	39	430	45
60	380	425	42	460	49
70	405	450	45	490	52
80	425	475	48	530	56
90	440	490	51	570	60
100	455	505	53	600	63
120	485	540	57	680	67
140	515	570	61	760	72
160	530	590	65	830	76
180	545	605	68	900	80
200	560	620	71	970	83
220	570	630	74	1050	87
240	575	640	77	1120	90
260	585	650	80	1200	94

<sup>1)</sup> Lebar keseluruhan papan lajur sisi atas dan papan lunas untuk tiap sisi kapal yang tertera pada kolom 5 dapat terdiri dari beberapa papan.

<sup>2)</sup> Berlaku untuk  $L/H \leq 8$ . Untuk  $L/H > 8$ , maka tebal kulit luar harus diperbesar sesuai Tabel 3.1.

Sumber: Rules BKI Vol. II, 2023

Jarak gading dan tebal kulit luar untuk Kapal Pelayaran Pantai dapat dilihat pada bel 7:



**Tabel 6.** Jarak gading-gading dan tebal kulit luar untuk kapal pelayaran pantai

L (B/3 + H)	Jarak gading-gading [mm]		Tebal kulit luar <sup>1)2)</sup> [mm]
	Gading tunggal	Gading berganda	
1	2	3	4
20	265	295	24
25	275	305	26
30	285	315	28
35	300	330	30
40	315	350	32
45	330	370	34
50	350	390	36

<sup>1)</sup> Untuk kapal kecil tebal papan kulit luar keseluruhannya boleh sama. Untuk kapal yang besar papan lajur sisi atas dan papan lunas harus diperkuat (lihat Tabel 3.8).

<sup>2)</sup> Berlaku untuk  $L/H \leq 8$ . Untuk  $L/H > 8$ , maka tebal kulit luar harus diperbesar sesuai Tabel 3.1.

Sumber: Rules BKI Vol. II, 2023

**Tabel 7.** Jarak gading-gading dan tebal kulit luar untuk kapal pelayaran pantai

L (B/3 + H)	Jarak gading-gading [mm]		Tebal kulit sisi dan alas [mm]	Kulit luar <sup>2)</sup>	
	Gading tunggal	Gading berganda		Papan lajur sisi atas dan lunas	
				Lebar <sup>1)</sup> [mm]	Tebal [mm]
1	2	3	4	5	6
35	280	310	28	380	35
40	300	330	30	400	37
45	315	350	32	420	40
50	330	365	34	430	42
60	340	380	38	450	45
70	370	410	41	490	48
80	390	435	44	530	52
90	405	450	47	570	55
100	420	465	49	600	57
120	445	495	53	680	62
140	470	520	56	760	65
160	490	545	60	830	70
180	505	560	63	900	74
200	515	575	66	970	77
220	525	585	69	1050	81
240	540	600	72	1120	84
260	550	610	79	1200	88

<sup>1)</sup> Lebar keseluruhan papan lajur sisi atas dan papan lunas untuk tiap sisi kapal yang tertera pada kolom 5 dapat terdiri dari beberapa papan.

<sup>2)</sup> Berlaku untuk  $L/H \leq 8$ . Untuk  $L/H > 8$ , maka tebal kulit luar harus diperbesar sesuai Tabel 3.1.

Sumber: Rules BKI Vol. II, 2023

- Untuk gading-gading lengkung dapat dipergunakan kayu yang seratnya searah dengan bentuk gading-gading. Jika kayu tersebut tidak cukup panjang, maka dapat disambung. Sisi kiri dan sisi kanan dari gading-gading tunggal lengkung harus satu dengan yang lain dengan wrang (floor).



### 1.2.6 Konstruksi balok geladak

Berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia Volume VI (2023), persyaratan untuk gading kapal kayu adalah sebagai berikut:

1. Jarak balok geladak, diukur dari tengah balok ke tengah balok lainnya, dapat dihitung menurut Tabel 8 dan 9. Untuk balok ujung palka dan balok-balok yang berjarak tidak sama dengan balok-balok di kedua sisinya, jarak balok yang berlaku adalah panjang bidang geladak yang dipikul oleh balok-balok bersangkutan. Jarak rata-rata antara balok adalah setengah dari jumlah 2 jarak balok yang bersisian. Jarak balok dapat diperbesar sampai dengan 10% dari jarak rata-rata asalkan jarak balok pada sisi yang lain dikurangi dengan presentase yang sama. Berikut merupakan jarak balok geladak, geladak, tutup sisi dan braket balok pada kapal pelayaran samudera terbatas yang dapat dilihat pada Tabel 8:

**Tabel 8.** Jarak balok geladak, geladak, tutup sisi geladak dan braket balok kapal pelayaran samudera terbatas

L (B/3 + H)	Jarak balok geladak [mm]	Tebal geladak [mm]	Tutup sisi geladak (lebar x tebal) [mm]	Jumlah braket horizontal	Tebal pagar [mm]
1	2	3	4	5	6
20	450	36	190 x 36	5	23
25	470	39	200 x 39	5	25
30	490	41	210 x 41	5	27
35	515	43	220 x 43	5	30
40	530	45	230 x 44	5	32
50	570	48	250 x 48	6	35
60	600	51	260 x 51	6	37
70	635	53	270 x 54	7	40

L (B/3 + H)	Jarak balok geladak [mm]	Tebal geladak [mm]	Tutup sisi geladak (lebar x tebal) [mm]	Jumlah braket horizontal	Tebal pagar [mm]
1	2	3	4	5	6
80	660	55	280 x 56	7	42
90	685	57	290 x 58	8	45
100	710	59	300 x 61	8	47
120	745	62	320 x 61	9	50
140	780	66	340 x 61	9	50
160	815	68	350 x 72	10	50
180	840	71	360 x 75	10	50
200	865	73	370 x 77	11	50
	890	74	380 x 80	12	55
	910	76	390 x 83	12	55
	930	78	400 x 86	13	55



3KI Vol. II, 2023



Jarak balok geladak, geladak, tutup sisi geladak dan braket balok kapal pelayaran Pantai dapat dilihat pada Tabel 9:

**Tabel 9.** Jarak balok geladak, geladak, tutup sisi geladak dan braket balok kapal pelayaran pantai

L (B/3 + H)	Jarak balok geladak [mm]	Tebal geladak [mm]	Tutup sisi geladak (lebar x tebal) [mm]	Jumlah braket horizontal	Tebal pagar [mm]
1	2	3	4	5	6
20	425	33	190 x 33	5	21
25	445	35	200 x 35	5	25
30	465	37	210 x 37	5	27
35	490	39	220 x 39	5	30
40	505	41	230 x 40	5	32
50	540	43	250 x 44	6	35
60	570	46	260 x 46	6	37
70	600	48	270 x 49	7	40
80	625	50	280 x 51	7	42
90	650	51	290 x 53	8	45
100	675	53	300 x 55	8	47
120	710	56	320 x 59	9	50
140	740	59	340 x 62	9	50
160	775	61	350 x 65	10	50
180	795	64	360 x 68	10	50
200	820	66	370 x 70	11	50
220	845	67	380 x 72	12	55
240	865	68	390 x 73	12	55
260	880	70	400 x 75	13	55

Sumber: Rules BKI Vol. II, 2023

- Modulus penampang balok geladak ditentukan berdasarkan jarak dan panjang balok. Panjang balok yang berlaku adalah panjang antara sisi-sisi luar gading-gading, dan untuk balok disisi palka, panjang antara sisi luar gading-gading dan ambang palka atau ambang bangunan atas. Jika panjang balok kurang dari setengah lebar kapal, maka panjang balok yang berlaku adalah setengah lebar kapal.
- Tinggi balok geladak yang tidak terputus sampai ke galar balok dapat dikurangi secara berangsur angsur hingga maksimum 25%. Tinggi balok geladak yang diperkuat dapat dikurangi secara berangsur angsur sehingga pada ujungnya sama dengan tinggi balok yang berdekatan.
- Balok geladak yang disambungkan ke gading-gading berganda harus diatur/dibuat sedemikian rupa sehingga ujung-ujungnya berada (duduk) di atas bagian ujung atas dari gading-gading. Jarak antara balok geladak tidak boleh lebih dari 2 kali jarak gading-gading.



yang terdapat di bawah mesin jangkar, mesin derek atau alat-alat harus diperkuat atau ditumpu dengan pilar sesuai dengan beratnya alat-alat tersebut. Bila perlu BKI dapat memintakan perhitungan truksi untuk setiap kasusnya.

### 1.2.7 Beban rancang

Beban penumpu lambung dapat dikategorikan yaitu: momen lentur balok kapal, beban geser balok kapal, beban torsi balok kapal, dan beban lokal. Komponen utama dari momen lentur balok kapal adalah: bending momen air tenang, bending momen di air bergelombang, dan bending momen dinamis (whipping, slamming, springing) (Shama, 2013).

Pada penelitian ini akan dianalisis respon struktur terhadap beban lenturan, beban puntiran, dan beban tekanan. Pada Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Vol. VI tidak ditemukan adanya pembahasan mengenai perencanaan beban pada kapal kayu. Oleh karena itu, rumus perencanaan beban yang diambil ada di Peraturan BKI Vol. II Tentang Pedoman Peraturan Lambung. Adapun beberapa rumus beban-beban tersebut dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Momen bending gelombang vertikal (M<sub>wv</sub>)

Momen bending gelombang vertikal (M<sub>wv</sub>) sepanjang kapal untuk kondisi hogging dan sagging harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 1 sebagai berikut:

$$M_{wv} = L^2 \times B \times C_0 \times C_1 \times C_L \times C_M \quad [\text{kNm}] \quad (1)$$

dengan:

L = panjang kapal (m)

B = lebar kapal (m)

C<sub>0</sub> = koefisien gelombang

$$C_0 = \left( \frac{L}{25} + 4.1 \right) \text{CRW untuk } L < 90 \text{ m}$$

$$C_0 = \left( 10.75 - \left( \frac{300 - L}{100} \right)^{1.5} \right) \text{CRW untuk } 90 \leq L \leq 300 \text{ m}$$

$$C_0 = 10.75 \times \text{CRW untuk } 300 < L < 350 \text{ m}$$

$$C_0 = \left( 10.75 - \left( \frac{L - 350}{150} \right)^{1.5} \right) \text{CRW untuk } 350 \leq L \leq 500 \text{ m}$$

C<sub>1</sub> = 0.19 × CB untuk kondisi hogging

C<sub>1</sub> = -0.11(CB + 0.7) untuk kondisi sagging

C<sub>L</sub> = koefisien panjang

$$C_L = \sqrt{\frac{L}{90}} \text{ untuk } L < 90 \text{ m}$$

$$C_L = 1 \text{ untuk } L \geq 90 \text{ m}$$



...tribusi

$$\text{untuk } 0 \leq \frac{x}{L} < 0.4$$

$$\text{untuk } 0.4 \leq \frac{x}{L} \leq 0.65$$

$$\text{untuk } 0.65 < \frac{x}{L} \leq 1$$

$$CMS = 2.5 \times C_v \times \frac{x}{L} \text{ untuk } 0 \leq \frac{x}{L} < 0.4$$

$$CMS = C_v \text{ untuk } 0.4 \leq \frac{x}{L} \leq 0.65 \times C_v$$

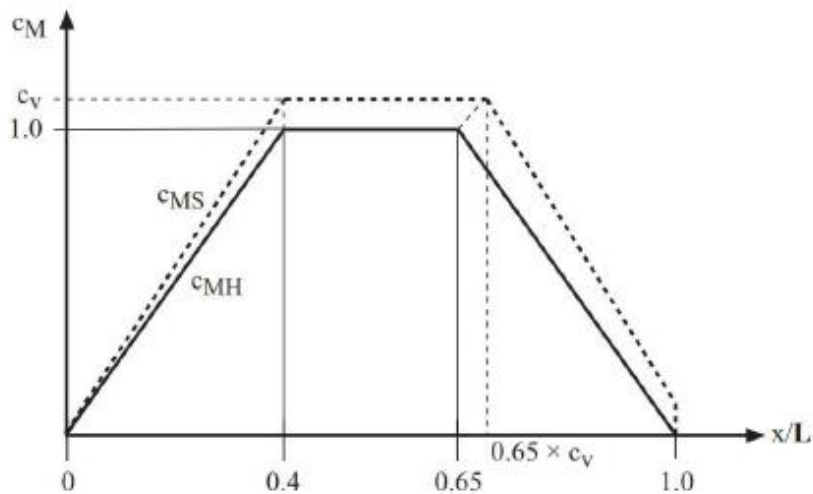
$$CMS = \frac{\frac{x}{L} - 0.65 \times C_v}{1 - 0.65 \times C_v} \text{ untuk } 0.65 \times C_v < \frac{x}{L} \leq 1$$

$C_v$  = koefisien yang dipengaruhi oleh kecepatan kapal

$$C_v = \sqrt[3]{\frac{V_0}{1.4 \times \sqrt{L}}} \geq 1 \text{ untuk nilai } L \text{ tidak boleh kurang dari } 100 \text{ m}$$

$C_v = 1$  untuk kondisi bocor/rusak

Persamaan faktor distribusi  $C_M$  dan pengaruh faktor  $C_v$  dapat diperoleh dari Gambar 7:



**Gambar 7.** Faktor distribusi  $C_M$  dan pengaruh faktor  $C_v$   
Sumber: Rules BKI Vol. II, 2023

2. Momen puntir  
Momen puntir akibat gelombang maksimum ditentukan berdasarkan Persamaan 2 sebagai berikut:

$$MwTmax = \pm L \times B^2 \times CB \times C0 \times CL \times (0.11 + \sqrt{a^2 + 0.012}) [kNm] \quad (2)$$



$\frac{ZQ}{B}$

$\times \frac{L}{B}$

CN min = 2

ZQ = Jarak (m) antara titik pusat geser dan ketinggian di 0.2

$$\times \frac{B \times H}{T} \text{ diatas garis alas}$$

Jika dilakukan perhitungan langsung, momen puntir akibat gelombang sesuai kurva envelope dapat digunakan Persamaan 3 sebagai berikut:

$$M_{wT} = \pm L \times B^2 \times CB \times C0 \times CL \times CWT \text{ [kNm]} \quad (3)$$

dengan:

CWT = faktor distribusi berdasarkan gambar 8

$$CWT = (a \times |CT| + 0.22 \times CT2) \times (0.9 + 0.08 \times a)$$

CT1, CT2 = faktor distribusi berdasarkan gambar 9

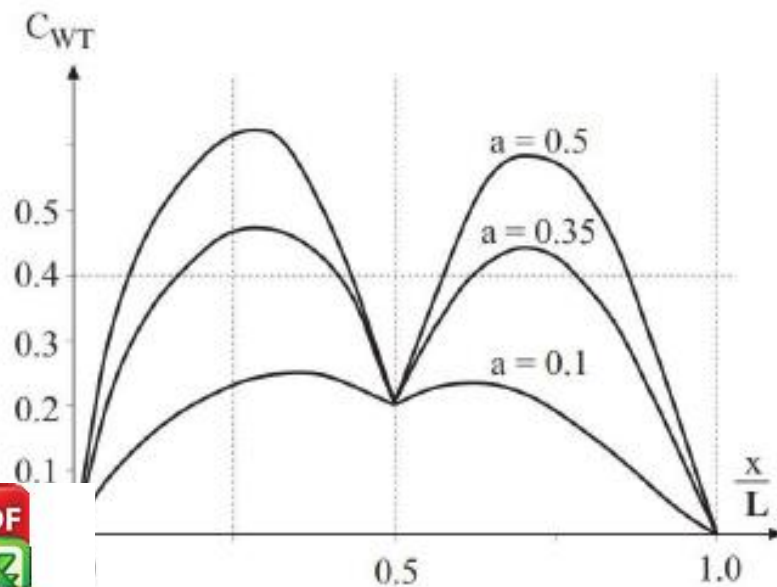
$$CT1 = \sin^{0.5} \left( 2\pi \times \frac{x}{L} \right) \text{ untuk } 0 \leq \frac{x}{L} < 0.25$$

$$CT1 = \sin \left( 2\pi \times \frac{x}{L} \right) \text{ untuk } 0.25 \leq \frac{x}{L} < 1$$

$$CT2 = \sin \left( \pi \times \frac{x}{L} \right) \text{ untuk } 0 \leq \frac{x}{L} < 0.5$$

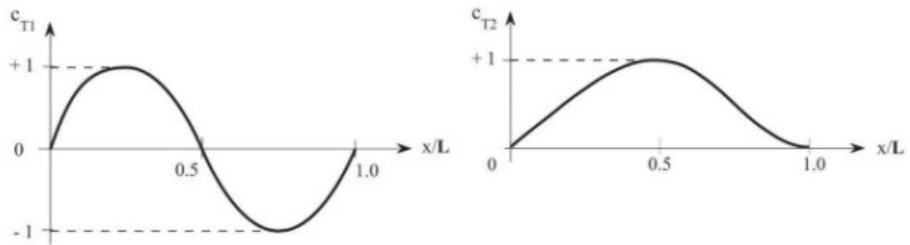
$$CT2 = \sin^2 \left( \pi \times \frac{x}{L} \right) \text{ untuk } 0.5 \leq \frac{x}{L} \leq 1$$

Persamaan faktor distribusi CWT dapat diperoleh berdasarkan Gambar 8:



ktor distribusi Cwr  
3KI Vol. II, 2023

Persamaan faktor distribusi CT1 dan CT2 dapat diperoleh berdasarkan Gambar 9:



**Gambar 9.** Faktor distribusi  $C_{T1}$  dan  $C_{T2}$

Sumber: Rules BKI Vol. II, 2023

### 3. Beban pada geladak cuaca

Beban pada geladak cuaca dapat ditentukan dengan Persamaan 4 berikut:

$$PD = P0 \frac{20 \times T}{(10+z-T) \times H} CD \quad [kN/m^2] \quad (4)$$

dengan:

$P0$  = beban luas dasar dinamis

$$P0 = 2.1 \times (CB + 0.7) \times C0 \times CL \times f$$

$f$  = faktor probabilitas

$f = 1$  untuk panel pelat pada lambung terluar

$f = 0.75$  untuk bagian penguatan sekunder pada lambung terluar

$f = 0.6$  untuk penumpu dan sistem penumpu pada lambung terluar

$CD$  = faktor distribusi berdasarkan tabel 10

$z$  = jarak vertikal pusat beban struktur di atas garis dasar (m)

Persamaan untuk faktor distribusi  $CD$  dan  $C_f$  dapat diperoleh dari Tabel 10:

**Tabel 10.** Faktor distribusi untuk beban laut di sisi-sisi kapal dan geladak cuaca

	Rentang	Faktor $c_D$	Faktor $c_f^{-1}$
A	$0 \leq \frac{x}{L} < 0,2$	$1,2 - \frac{x}{L}$	$1,0 + \frac{5}{C_B} \left( 0,2 - \frac{x}{L} \right)$
M	$0,2 \leq \frac{x}{L} < 0,7$	1,0	1,0
	$\frac{x}{L} \leq 1,0$	$1,0 + \frac{c}{3} \left( \frac{x}{L} - 0,7 \right)$ $c = 0,15L - 10$ dimana: $L_{min} = 100 \text{ m}$ $L_{maks} = 250 \text{ m}$	$1,0 + \frac{20}{C_B} \left( \frac{x}{L} - 0,7 \right)^2$

A rasio  $x/L$  tidak boleh kurang dari 0,1, dalam rentang F rasio  $x/L$  tidak boleh lebih besar dari 0,93



#### 4. Beban pada sisi kapal

Beban pada sisi kapal yang terletak di bawah garis air muat dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 5 sebagai berikut:

$$Ps = 10(T - Z) + P0 \times Cf \left(1 + \frac{Z}{T}\right) [kN/m^2] \quad (5)$$

dengan:

z = jarak vertikal pusat beban struktur di atas garis dasar (m)

P0 = beban luas dasar dinamis

Cf = faktor distribusi berdasarkan tabel 10

Beban pada sisi kapal yang terletak di atas garis air muat dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 6 sebagai berikut:

$$Ps = P0 \times Cf \left(\frac{20}{10+z-T}\right) [kN/m^2] \quad (6)$$

dengan:

z = jarak vertikal pusat beban struktur di atas garis dasar (m)

P0 = beban luas dasar dinamis

Cf = faktor distribusi berdasarkan tabel 10

#### 5. Beban alas

Beban eksternal pada alas kapal dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 7:

$$PB = 10 \times T + P0 \times Cf [kN/m^2] \quad (7)$$

dengan:

P0 = beban luas dasar dinamis

Cf = faktor distribusi berdasarkan tabel 10

### 1.2.8 Tegangan dan regangan

Tegangan dan regangan adalah dua konsep fundamental dalam memahami perilaku material saat dibebani. Memahami keduanya sangat penting dalam meninjau kekuatan dan kekakuan material, baik untuk desain struktur maupun analisis kegagalan. Tegangan dapat didefinisikan sebagai energi internal yang tersimpan dalam material untuk menahan beban yang diberikan. Semakin besar beban yang diberikan, maka semakin besar tegangan yang tercipta. Regangan adalah deformasi untuk yang terjadi pada material akibat tegangan. Deformasi ini diukur sebagai perubahan panjang, lebar, atau volume material. Semakin besar tegangan, maka semakin besar regangan yang terjadi (Bakri, 2021).



Yield strength adalah batas tegangan maksimum yang diizinkan dalam suatu material. Yield strength merupakan nilai tegangan tertinggi yang tidak boleh dilampaui

agar konstruksi tetap aman dan terhindar dari kerusakan. Biro Klasifikasi Indonesia telah menetapkan aturan khusus terkait tegangan izin. Aturan ini memastikan bahwa tegangan yang bekerja pada konstruksi tidak melebihi batas aman, sehingga konstruksi dapat berfungsi dengan baik dan tahan lama (Bakri, 2021).

Baja struktur lambung adalah baja yang mempunyai nominal nilai luluh atas minimal (yield point) REH 235 N/m<sup>2</sup> dan kekuatan tarik (tensile strength) Rm 400 – 520 N/m<sup>2</sup> (BKI, 2014). Tegangan izin kayu jati yaitu 12.75 MPa atau 12.75 N/mm<sup>2</sup> (Rachman, dkk, 2012). Tegangan izin BKI pada plat standar A36 adalah 150 N/mm<sup>2</sup> (Jauhari, 2018).

### 1. Tegangan

Tegangan merupakan besaran gaya yang bekerja per satuan luas. Terdapat dua tipe tegangan yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal adalah ukuran dari gaya normal atau gaya aksial per satuan luas (Patnaik, 2004).

Secara matematis definisi tersebut dapat ditulis dalam Persamaan 8:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (8)$$

dengan:

$\sigma$  = tegangan (N/mm<sup>2</sup>)

F = gaya yang bekerja atau beban (N)

A = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Tegangan lentur adalah fenomena yang terjadi pada balok ketika momen lentur (gaya yang menyebabkan putaran) bekerja pada penampangnya. Tegangan lentur dapat dihitung berdasarkan Persamaan 9:

$$\sigma = \frac{M}{w} \quad (9)$$

dengan:

$\sigma$  = tegangan lentur (N/mm<sup>2</sup>)

M = momen lentur (Nmm)

W = modulus penampang (mm<sup>2</sup>)

Tegangan geser adalah konsep penting dalam mekanika material yang mengacu pada kemampuan suatu material untuk menahan gaya geser. Gaya geser adalah gaya yang berusaha menggeser satu bagian material terhadap bagian lainnya.

Secara sistematis dapat ditulis dalam Persamaan 10 sebagai

$$(10)$$



dengan:

$\tau$  = tegangan geser ( $N/m^2$ )

$V$  = gaya geser (N)

$S_n$  = momen statis terhadap sumbu netral ( $m^3$ )

$I$  = momen inersia ( $m^4$ )

$B$  = lebar balok (m)

## 2. Regangan

Regangan adalah besaran yang menunjukkan perubahan panjang suatu material akibat gaya yang diberikan. Dinyatakan sebagai pertambahan panjang per satuan panjang (Gross, 2011). Regangan dapat dirumuskan pada Persamaan 11 sebagai berikut:

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

dengan:

$\varepsilon$  = regangan (m)

$\Delta L$  = pertambahan panjang total (m)

$L$  = panjang awal (m)

### 1.2.9 Sifat mekanik kayu dan baja

#### 1. Sifat kayu

Kayu memiliki berbagai sifat mekanik yang penting untuk diketahui, salah satunya adalah modulus elastisitas (MOE) sejajar serat atau dikenal juga sebagai modulus young. MOE menunjukkan ketahanan kayu terhadap pemanjangan atau pemendekan saat ditarik atau ditekan. Semakin tinggi nilai MOE, semakin kuat kayu dalam menahan tarikan dan tekanan tanpa mengalami deformasi permanen. MOE memiliki pengaruh penting pada kekuatan struktur, kualitas kayu, dan penggunaannya. Memahami MOE penting untuk memilih jenis kayu yang tepat dan merancang struktur yang aman dan tahan lama (Damanik, 2005).

#### 2. Kelas kekuatan kayu

Vademecum Kehutanan Indonesia (Damanik, 2005) mendefinisikan kelas kekuatan kayu berdasarkan tiga faktor utama:

- Berat jenis: menunjukkan massa kayu per satuan volume.
- Keteguhan lengkung mutlak (K<sub>lm</sub>): Ketahanan kayu terhadap lenturan.
- tekan mutlak (K<sub>tm</sub>): Ketahanan kayu terhadap tekanan.



1 kayu berdasarkan Rules BKI dapat dilihat pada Tabel 11:



**Tabel 11.** Kelas kekuatan kayu

Kelas kuat	Berat jenis kering udara	Kukuh lentur mutlak (MOR) [kg/cm <sup>2</sup> ]	Kukuh tekanan mutlak (F <sub>c</sub> ) [kg/cm <sup>2</sup> ]
I	$\rho \geq 0,90$	MOR $\geq 1100$	F <sub>c</sub> $\geq 650$
II	$0,60 \leq \rho < 0,90$	$725 \leq \text{MOR} < 1100$	$425 \leq F_c < 650$
III	$0,60 > \rho \geq 0,40$	$500 \leq \text{MOR} < 725$	$300 \leq F_c < 425$
IV	$0,40 > \rho > 0,30$	$360 < \text{MOR} < 500$	$215 < F_c < 300$
V	$\rho \leq 0,30$	MOR $\leq 360$	F <sub>c</sub> $\leq 215$

Sumber: Rules BKI Vol. VI, 2023

### 3. Baja

Bagian konstruksi dari logam pada kapal kayu antara lain lapisan kulit kapal, paku, sekrup, mur, baut, paku keling dan lain lain harus tahan air laut atau bila terbuat dari baja tidak tahan karat, harus disepuh seng atau dilapis dengan cara lain yang memadai. Material dari bagian-bagian konstruksi dari logam ini harus memenuhi Rules for Materials (BKI Volume VI, 2023).

Baja untuk konstruksi kapal pada umumnya dibagi menjadi dua bagian, yaitu baja konstruksi biasa dan baja dengan kekuatan tinggi. Baja konstruksi biasa digunakan pada bagian-bagian kapal yang mendapatkan tekanan kecil, sedangkan baja dengan kekuatan tinggi digunakan pada bagian-bagian kapal yang mendapatkan tekanan tinggi. Salah satu bagian kapal yang menggunakan baja berkekuatan tinggi adalah plat lunas (BKI Vol. II, 2023).

#### 1.2.10 Metode elemen hingga

Metode elemen hingga adalah prosedur numerik yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah mekanika kontinum dengan tingkat ketelitian yang dapat diterima. Pada dasarnya, elemen hingga merupakan bagian-bagian kecil dari struktur aktual. Elemen hingga harus dapat berdeformasi dengan cara yang terbatas. Metode elemen hingga dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan permukaan suatu benda yang tidak datar (Pranata, 2024).

Permasalahan struktur dengan bentuk geometri dan pembebanan yang kompleks, tidak dapat diselesaikan dengan persamaan diferensial parsial. Hal ini dapat diselesaikan dengan metode numerik pendekatan metode elemen hingga. Daerah yang dianalisis dapat mempunyai bentuk, beban, dan kondisi batas sembarang. Elemen-elemen kecilnya dapat terdiri atas elemen yang berbeda jenis, bentuk dan besaran fisiknya (Pranata, 2024).

*Software Finite Element Method (FEM)* tersedia dengan berbagai Tingkat kualitas dan kemudahan penggunaan. Beberapa software FEM yang sering digunakan adalah MSC.NASTRAN, ABAQUS, ANSYS, dan LS-DYNA. Pada penelitian ini akan digunakan *software ANSYS*. ANSYS adalah salah satu *software* untuk menganalisis berbagai macam struktur, aliran *fluida*, dan s (Pinem, 2013). Secara umum penyelesaian elemen hingga YS dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:



1. *Preprocessing* (Pendefinisian Masalah)  
Langkah umum dalam preprocessing terdiri dari: (i) mendefinisikan keypoint/lines/areas/volume, (ii) mendefinisikan tipe elemen dan bahan yang digunakan/sifat geometrik, dan (iii) mesh *lines/areas/volumes* sebagaimana dibutuhkan.
2. *Solution*  
*Assigning loads, constraints, and solving.* Disini, perlu menentukan beban (titik atau tekanan), *constraints* (translasi dan rotasi) dan kemudian menyelesaikan hasil persamaan yang telah diset.
3. *Postprocessing*  
*Further processing and viewing of the results.* Pada tahanan *postprocessing* dapat dilihat (i) daftar *displacement nodal*, (ii) elemen gaya dan momen, (iii) defleksi bidang dan (iv) *stress contour diagrams* atau *temperature maps*.

### 1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan dimensi lunas, gading, dan balok geladak dari baja yang respon beban yang bekerja sama dengan respon beban lunas, gading, dan balok geladak dari kayu.
2. Menganalisis keterpaduan atau integrasi antara lunas, gading, dan balok geladak baja dengan komponen lain yang terbuat dari kayu.
3. Menganalisis respon struktur kombinasi baja dan kayu terhadap beban lentur, puntir, dan tekan.

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai informasi untuk menambah wawasan dan pengetahuan mengenai penggunaan material baja sebagai alternatif pengganti material kayu pada kapal kayu.
2. Sebagai bahan pertimbangan material alternatif pada konstruksi lunas, gading, dan balok geladak pada kapal kayu.
3. Sebagai referensi penggunaan lunas, gading, dan balok geladak dari baja sebagai pengganti material kayu.
4. Sebagai bahan pertimbangan dalam upaya pelestarian hutan akibat dikurangnya penebangan untuk mencari bentuk kayu yang sesuai untuk pembuatan kapal kayu.



## BAB II

### METODE PENELITIAN

#### 2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian dilakukan ialah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian  
Penelitian dilaksanakan pada galangan kapal tradisional kabupaten Takalar, dan di Laboratorium Struktur dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Waktu penelitian  
Penelitian dilaksanakan selama  $\pm$  empat (4) bulan terhitung mulai dari Mei 2024 – Agustus 2024.

#### 2.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini berbasis simulasi numerik, yaitu menentukan dimensi balok geladak, menganalisis integrasi antara lunas, gading, dan balok geladak, serta menganalisis respon beban dengan menggunakan simulasi *software* Ansys.

#### 2.3 Metode Pengumpulan Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, data sekunder yang diperoleh melalui bahan-bahan tertulis dari sumber data yang erat kaitannya dengan penelitian. Adapun metode pengumpulan data penelitian dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Metode simulasi numerik dengan mensimulasikan penggantian material kayu menjadi material baja pada model kapal dan menghitung kekuatan struktur kapal menggunakan *software* Ansys.
2. Studi literatur dengan mengumpulkan semua jenis referensi yang terkait dengan permasalahan yang diteliti seperti buku, jurnal, skripsi dan karya ilmiah lainnya.

#### 2.4 Metode Pengolahan Data

Metode pengolahan data merupakan suatu langkah yang paling menentukan dari suatu penelitian, karena analisa data berfungsi untuk menyimpulkan hasil penelitian. Pengolahan data dapat dilakukan melalui tahap berikut ini:



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

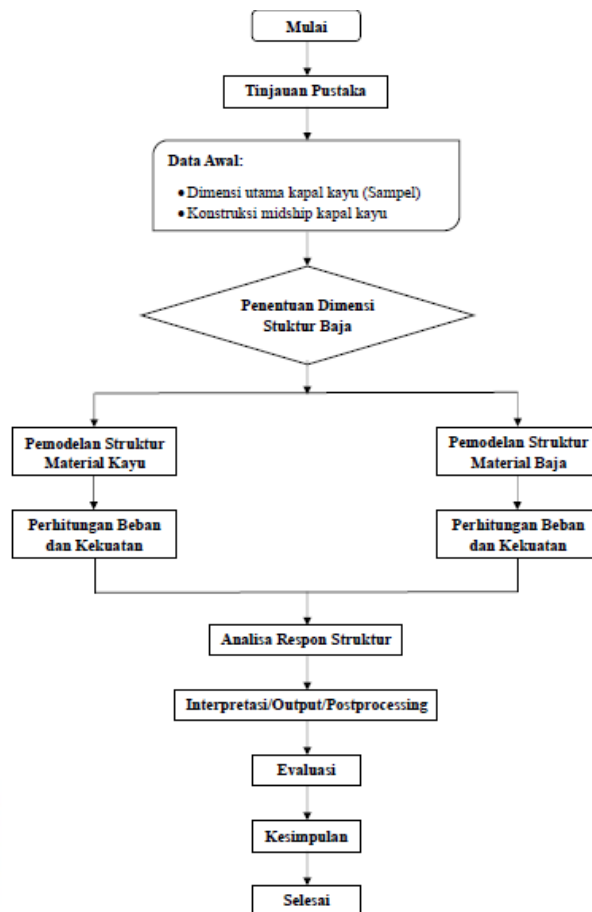
Model lunas kayu, gading kayu, balok geladak kayu, dan konstruksi  
Ansys.  
Model lunas baja, gading baja, balok geladak baja dan konstruksi  
Ansys.  
Kekuatan lunas, gading, dan balok geladak kayu menggunakan  
lunas, gading, dan balok geladak kayu diuji pada aplikasi Ansys

dengan memberikan beban untuk mengetahui tegangan maksimum dan kekuatannya.

4. Perhitungan kekuatan lunas, gading, balok geladak baja dan konstruksi kayu lainnya menggunakan Ansys. Model diuji pada aplikasi Ansys dengan memberikan beban untuk mengetahui tegangan maksimum dan kekuatannya.
5. Membandingkan kekuatan lunas, gading, dan balok geladak kayu dan baja. Hasil pengujian kekuatan konstruksi baja harus lebih atau sama dengan konstruksi kayu.
6. Hasil dari penelitian adalah rekomendasi dimensi lunas, gading, dan balok geladak baja untuk kapal kayu.

## 2.5 Kerangka Pikir

Untuk mempermudah proses pelaksanaan penelitian disusunlah kerangka pikir penelitian sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 10 berikut ini:



## 2.6 Penyajian Data

Objek kapal yang diteliti adalah kapal kayu tradisional yang bertempat di Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Data yang digunakan pada penelitian ini ialah data ukuran utama kapal, data dimensi penampang konstruksi kapal, dan data bahan yang digunakan dalam Pembangunan kapal kayu yaitu kayu dan bahan alternatif pengganti kayu berupa baja.

### 2.6.1 Data konstruksi kapal

Berdasarkan data yang diperoleh pada penelitian sebelumnya, data ukuran utama kapal kayu dapat dilihat pada Tabel 12:

**Tabel 12.** Ukuran utama kapal

Tipe Kapal	Kapal Kayu
Panjang Kapal (L)	28 meter
Lebar Kapal (B)	5.35 meter
Tinggi Kapal (H)	2.6 meter
Lebar Palka	2.5 meter

Sumber: Nur, 2023

Data penampang konstruksi yang terpasang dengan dimensi rata-rata dapat dilihat pada Tabel 13:

**Tabel 13.** Ukuran penampang konstruksi

Penampang Gading	130 x 120 mm
Jarak antar Gading	250 mm
Penampang Galar	40 x 220 mm
Jarak antar Galar	300 mm
Penampang Balok Geladak	85 x 115 mm
Jarak antar Balok Geladak	295 mm
Tebal Papan Geladak	35 mm
Lebar Papan Geladak	120 - 155 mm
Tebal Papan Kulit	60 mm
Lebar Papan Kulit	220 - 250 mm
Penampang Lunas	300 x 300 mm
Balok Penumpu Geladak	73 x 33 mm
Panjang Lunas	17100 mm

Sumber: Nur, 2023



ig digunakan dalam Pembangunan kapal ini adalah kayu. litian sebelumnya (Nur, 2020), pada umumnya kayu yang ayu besi untuk lunas, galar, balok geladak, dan pelat kulit. ading menggunakan kayu bitti, dan papan geladak menggunakan

kayu jati. Adapun bahan baja yang digunakan merupakan baja yang tersertifikasi oleh BKI. Sifat-sifat bahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 14:

**Tabel 14.** Sifat bahan

Bahan	Modulus Elastisitas (Mpa)	Berat Jenis (g/cm <sup>3</sup> )
Kayu Jati	11866	0.4 - 0.52
Kayu Besi	18400	0.9 - 1.19
Kayu Bitti	12331	0.6 - 0.69
Baja	210000	7.85

Sumber: Khairil, 2017 dan Martawijaya, 2005

### 2.6.3 Pemilihan dimensi konstruksi baja

Dimensi konstruksi baja yang digunakan sebagai pengganti beberapa konstruksi kayu pada kapal kayu dapat ditentukan dengan cara melihat respon konstruksi kayu yaitu lendutan pada konstruksi kayu harus kurang lebih atau sama dengan lendutan pada konstruksi baja. Adapun pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *trial and error* yaitu dengan memvariasikan dimensi penampang konstruksi baja (lunas, gading, dan balok geladak) untuk mendapatkan dimensi konstruksi baja yang memenuhi Persamaan 12 sebagai berikut:

$$EI_{kayu} = EI_{baja} \quad (12)$$

#### 1. Dimensi penampang lunas kayu

Ukuran 300 x 300

$$E = 18400 \quad \text{Mpa}$$

$$I = 6.75 \times 10^8 \quad \text{mm}^4$$

$$EI = 1.24 \times 10^{13} \quad \text{Nmm}^3$$

#### 2. Dimensi penampang lunas baja

Ukuran 160 x 180 x 7

$$E = 210000 \quad \text{Mpa}$$

$$I = 6.14 \times 10^7 \quad \text{mm}^4$$

$$EI = 1.29 \times 10^{13} \quad \text{Nmm}^3$$

$$EI_{kayu} \approx EI_{baja} = 1.24 \times 10^{13} \text{ Nmm}^3 \approx 1.29 \times 10^{13} \text{ Nmm}^3$$

#### 3. Dimensi penampang gading kayu

Ukuran 130 x 120

$$E = 12331 \quad \text{Mpa}$$

$$I = 1.1 \times 10^8 \quad \text{mm}^4$$

$$EI = 1.36 \times 10^{12} \quad \text{Nmm}^3$$

Dimensi penampang gading baja  
 Ukuran 130 x 120 x 7

$$E = 210000 \quad \text{Mpa}$$

$$I = 1.1 \times 10^8 \quad \text{mm}^4$$

$$EI = 2.31 \times 10^{13} \quad \text{Nmm}^3$$

$$I = 1.37 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$EI = 2.88 \times 10^{11} \text{ Nmm}^3$$

$$Elkayu \approx Elbaja = 2.71 \times 10^{11} \text{ Nmm}^3 \approx 2.88 \times 10^{11} \text{ Nmm}^3$$

#### 5. Dimensi penampang balok geladak kayu

Ukuran 85 x 115

$$E = 18400 \text{ Mpa}$$

$$I = 5.89 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$EI = 1.08 \times 10^{11} \text{ Nmm}^3$$

#### 6. Dimensi penampang balok geladak baja

Ukuran 50 x 50 x 7

$$E = 210000 \text{ Mpa}$$

$$I = 5.21 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

$$EI = 1.09 \times 10^{11} \text{ Nmm}^3$$

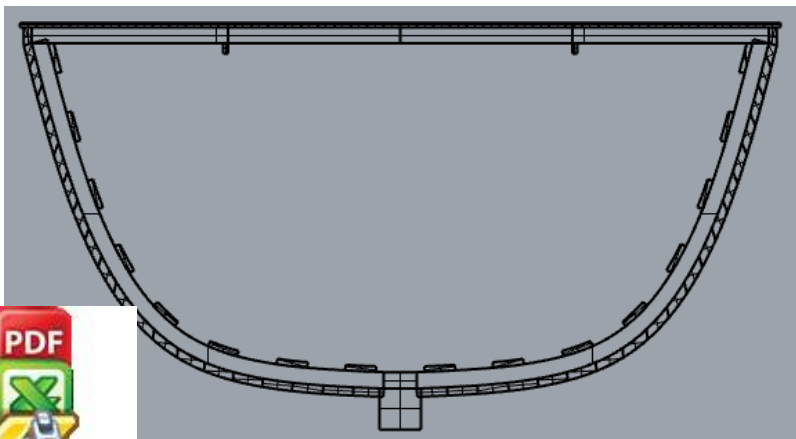
$$Elkayu \approx Elbaja = 1.08 \times 10^{11} \text{ Nmm}^3 \approx 1.09 \times 10^{11} \text{ Nmm}^3$$

## 2.7 Pemodelan Struktur

Data yang digunakan pada pemodelan ialah data konstruksi *midship* yang telah diperoleh dan dimodelkan menggunakan *software* Rhino. Model yang digunakan pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

### 2.7.1 Model konstruksi kayu

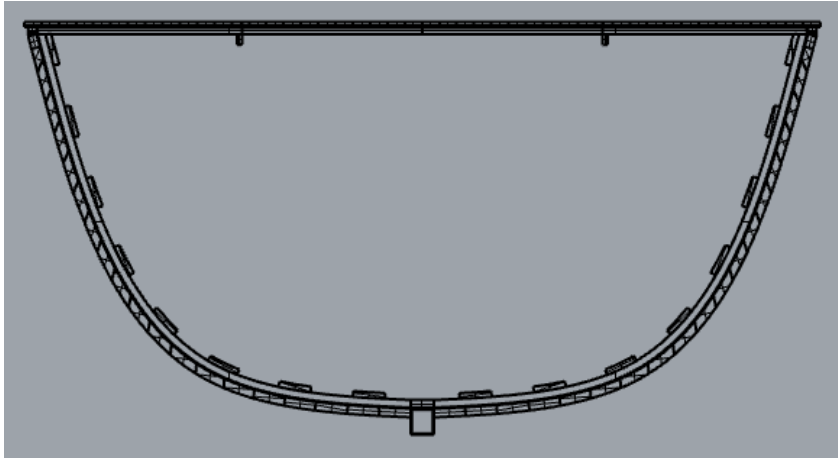
Pembuatan model konstruksi kayu pada penelitian ini berdasarkan data ukuran utama kapal pada Tabel 12 dan ukuran penampang konstruksi kapal kayu pada Tabel 13. Seluruh konstruksi pada model konstruksi kayu menggunakan jenis material kayu yang kemudian dimodelkan melalui *software* Rhino yang dapat dilihat pada Gambar 11:



konstruksi kayu  
ata, 2024

## 2.7.2 Model konstruksi kayu dan baja

Pembuatan model konstruksi kayu dan baja pada penelitian ini berdasarkan data ukuran utama kapal pada Tabel 12 dan ukuran penampang konstruksi kapal kayu pada Tabel 13. Adapun untuk konstruksi lunas, gading, dan balok geladak baja berdasarkan ukuran yang telah direncanakan pada 2.6.3. Pada model konstruksi kayu dan baja, bagian rangka (lunas, gading, dan balok geladak) menggunakan material baja, kemudian dimodelkan melalui *software* Rhino yang dapat dilihat pada Gambar 12:



**Gambar 12.** Model konstruksi kayu dan baja

Sumber: Hasil Olah Data, 2024

## 2.8 Analisis Model Struktur

Model konstruksi yang telah dibuat pada *software* Rhino diimport ke *software* Ansys Workbench untuk dilakukan analisis metode elemen hingga (*Finite Elemen Method*) agar diperoleh hasil tegangan yang terjadi pada model konstruski. Adapun tahap-tahap yang dilakukan dapat dijelaskan sebagai berikut:

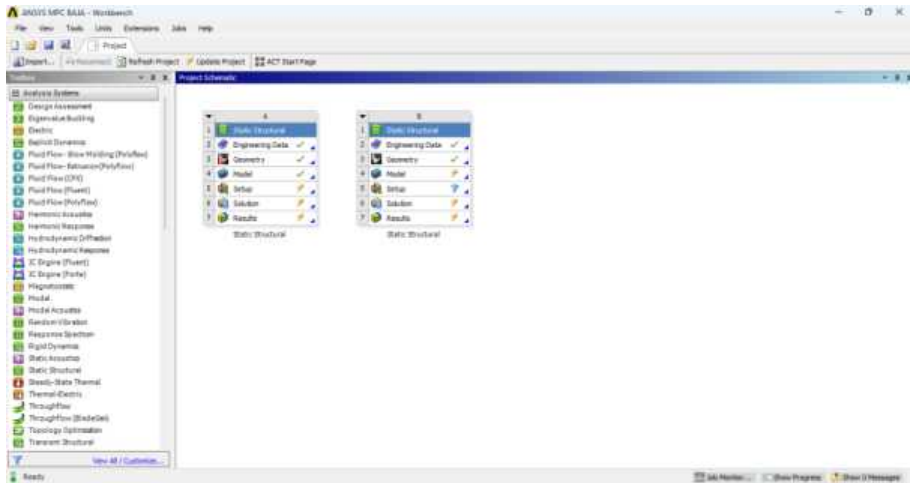
### 2.8.1 Pemilihan tipe analisis

Pada Ansys Workbench terdapat beberapa analisis yang umum dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga. Pada penelitian ini, analisis yang digunakan yaitu *static structural* untuk menganalisis tegangan yang terjadi pada konstruksi akibar adanya beban lentur, puntir, dan beban melintang kapal. Pemilihan tipe

: pada Gambar 13:



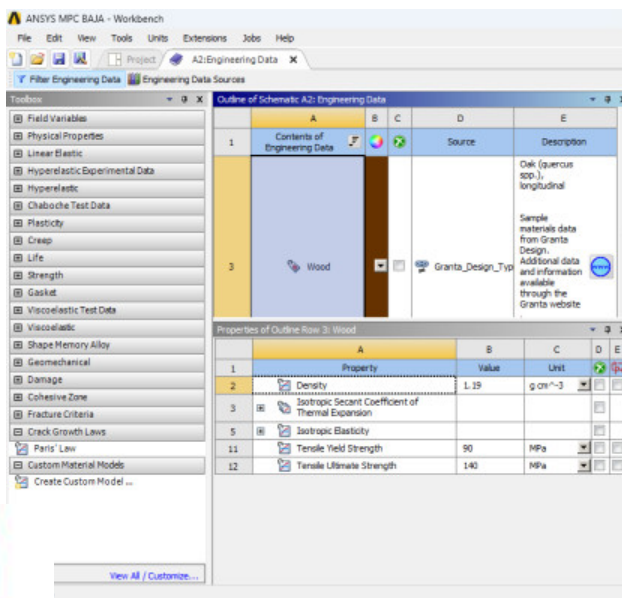




**Gambar 13.** Pemilihan tipe analisis pada ansys workbench  
 Sumber: Ansys Workbench, 2024

**2.8.2 Penentuan material properties**

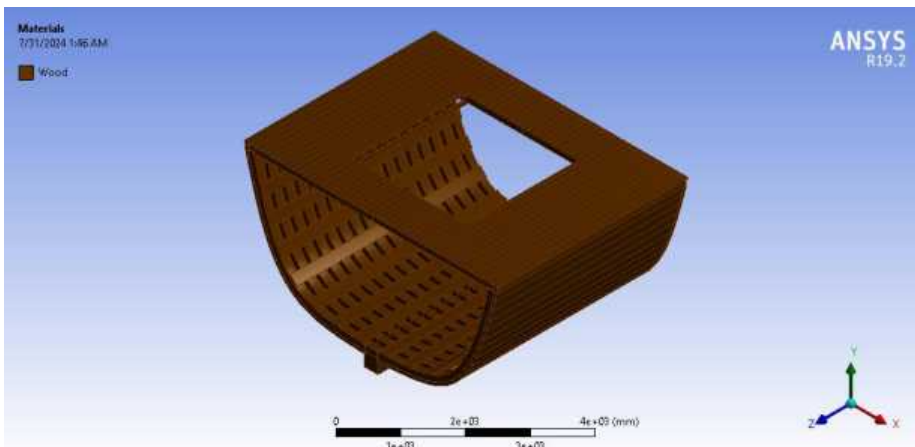
Pada tahap ini dilakukan pendefinisian sifat-sifat mekanis dan sifat-sifat fisik material yang dimodelkan yaitu kayu dan baja. Data yang diinput untuk penentuan material properties kayu ialah *Tensile Yield Strength* dan *Tensile Ultimate Strength*. Adapun untuk material properties baja telah di atur langsung oleh Ansys Workbench. Input material properties kayu dapat dilihat pada Gambar 14:



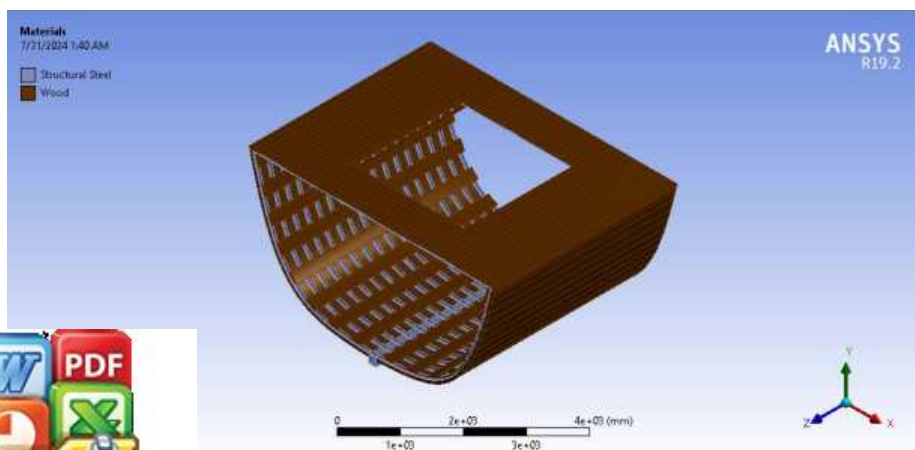
tuan material properties kayu  
 bench, 2024

### 2.8.3 Modelling

Pembuatan model pada aplikasi Ansys Workbench dilakukan dengan mengimpor desain awal yang telah dibuat di aplikasi Rhino. Terdapat dua jenis model yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu model rangka kayu (lunas, gading, dan balok geladak menggunakan material kayu) dan model rangka baja (lunas, gading, dan balok geladak menggunakan material baja). Selanjutnya penggantian jenis material model konstruksi kayu dilakukan pada bagian *geometry* untuk diubah keseluruhan konstruksi menjadi material kayu. Adapun material model konstruksi kayu dan baja, untuk konstruksi lunas, gading, dan balok geladak diganti menjadi material baja. Model konstruksi kayu serta model konstruksi kayu dan baja dapat dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16:



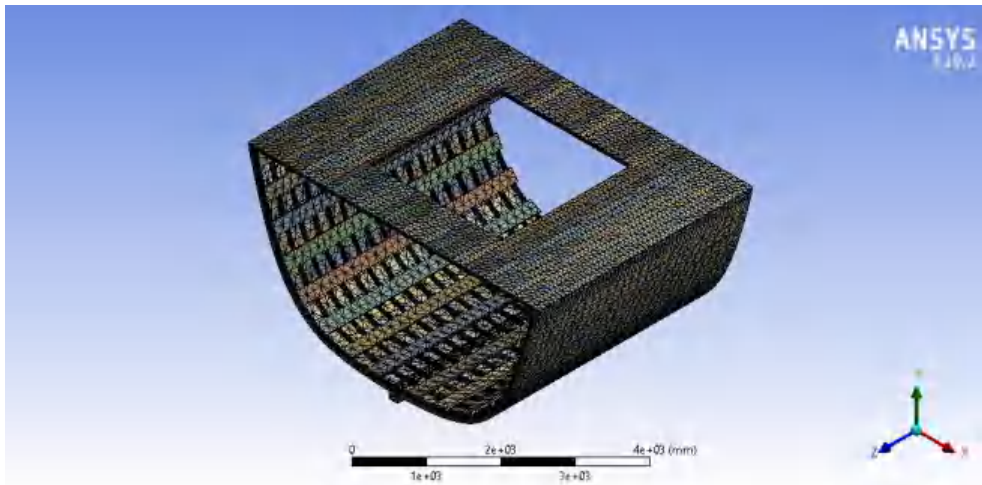
**Gambar 15.** Model konstruksi kayu di ansys  
Sumber: Hasil Olah Data, 2024



konstruksi kayu dan baja di ansys  
ata, 2024

### 2.8.4 Meshing

*Meshing* merupakan salah satu tahap penting dalam pemodelan elemen hingga. Semakin kecil ukuran *meshing* maka semakin akurat hasil dan begitupun sebaliknya. Namun ukuran *meshing* yang semakin kecil membutuhkan spesifikasi komputer yang tinggi karena jumlah nodal yang semakin banyak. Pada analisis di Ansys Workbench telah diuji *meshing* yang paling kecil yang dapat dilakukan dengan spesifikasi komputer yang digunakan yaitu pembagian *meshing* 75. Hasil *meshing* model dapat dilihat pada Gambar 17:



**Gambar 17** .Model kapal yang telah di *meshing*

Sumber: Hasil Olah Data, 2024

Adapun untuk menentukan ukuran *meshing* dilakukan dengan menggunakan metode *trial and error* agar mendapatkan tegangan yang konvergen. Konvergen *mesh* adalah kondisi ketika hasil simulasi tidak mengalami perubahan signifikan meskipun ukuran *mesh* ditingkatkan. Konvergen *mesh* dilakukan untuk mendapatkan hasil yang tegangan yang akurat pada saat menganalisis sebuah model. Hasil tegangan untuk menentukan konvergen *mesh* dapat dilihat pada Tabel 15:

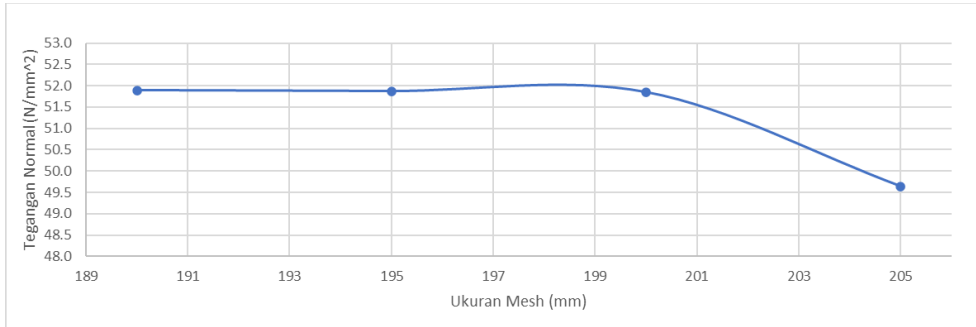
**Tabel 15.** Tegangan konvergen *mesh*

Ukuran Mesh (mm)	Tegangan Normal (N/mm <sup>2</sup> )
190	51.894
195	51.873
200	51.848
205	49.639

lata, 2024



Berdasarkan data pada Tabel 15, dapat dilihat pada ukuran *mesh* 190-200 mm menghasilkan tegangan yang konstan dan kemudian pada ukuran *mesh* 205 mm tegangan mulai turun. Maka dari itu, ukuran *meshing* yang digunakan adalah 200 mm. Penurunan nilai tegangan dapat dilihat pada Gambar 18:



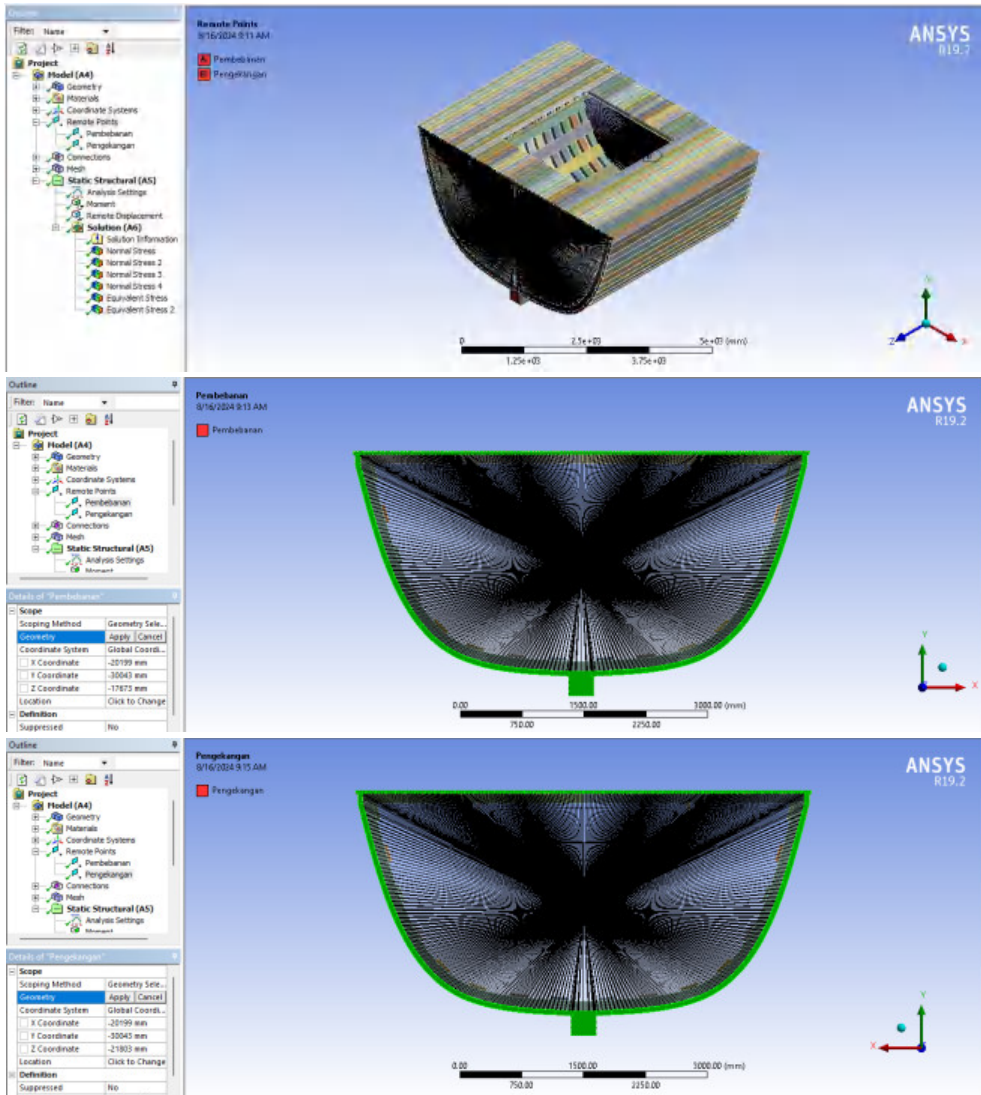
**Gambar 18.** Grafik konvergen *mesh*

Sumber: Hasil Olah Data, 2024

### 2.8.5 Penentuan kondisi batas dengan metode *Multi Point Constraint (MPC)*

Metode MPC merupakan metode yang digunakan untuk penentuan kondisi batasan pada penelitian ini. Metode MPC menyatukan semua nodal yang berada pada ujung model menjadi sebuah titik (*remote point*). *Remote point* merupakan sumbu netral dari model yang di kedua ujung-ujung model. Masing-masing dari *remote point* diberikan tumpuan atau pembebanan (momen atau gaya). Penentuan *remote point* dilakukan dengan cara memilih *face geometry* pada ujung-ujung model yang kemudian akan menjadi satu titik (*point*). Pengaplikasian metode MPC dapat dilihat pada Gambar 19:





**Gambar 19.** Posisi pembebanan dan pengekangan dengan metode MPC  
 Sumber: Hasil Olah Data, 2024

**2.9 Perhitungan Beban**

Perhitungan beban pada kapal kayu diperlukan untuk menentukan ukuran konstruksi yang sesuai, namun pada penelitian ini perhitungan beban digunakan untuk menguji ketahanan kapal yang telah dimodelkan sebelumnya. Peraturan Biro Klasifikasi I23 tentang kapal kayu tidak membahas mengenai perencanaan kapal kayu. Maka dari itu, dilakukan perhitungan perencanaan dengan rumus perencanaan beban pada kapal baja.

Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia Vol. II Tentang Peraturan sebagai berikut:



### 2.9.1 Momen bending gelombang vertikal (kondisi *hogging*)

$$L = 28 \text{ m}$$

$$B = 5.35 \text{ m}$$

$$C_0 = 5.22$$

$$C_1 = 0.135$$

$$C_L = 0.558$$

$$C_M = 1$$

Untuk menghitung momen bending gelombang vertikal pada kondisi *hogging* dapat menggunakan Persamaan 1 yang hasilnya sebagai berikut:

$$M_{wv} = 1.65 \times 10^3 [\text{kNm}]$$

$$M_{wv} = 1.65 \times 10^9 [\text{Nmm}]$$

Jadi, nilai momen bending gelombang vertikal kondisi *hogging* ialah  $1.65 \times 10^9 \text{ Nmm}$ .

### 2.9.2 Momen bending gelombang vertikal (kondisi *sagging*)

$$L = 28 \text{ m}$$

$$B = 5.35 \text{ m}$$

$$C_0 = 5.22$$

$$C_1 = -0.155$$

$$C_L = 0.558$$

$$C_M = 1.141$$

Untuk menghitung momen bending gelombang vertikal pada kondisi *sagging* dapat menggunakan Persamaan 1 yang hasilnya sebagai berikut:

$$M_{wv} = -2.16 \times 10^3 [\text{kNm}]$$

$$M_{wv} = -2.16 \times 10^9 [\text{Nmm}]$$

Jadi, nilai momen bending gelombang vertikal kondisi *sagging* ialah  $-2.16 \times 10^9 \text{ Nmm}$ .



ir

$$CB = 0.71$$

$$C0 = 5.22$$

$$CL = 0.558$$

$$a = 0.1$$

Untuk menghitung momen puntir dapat menggunakan Persamaan 2 yang hasilnya sebagai berikut:

$$M_{wtmax} = 4.28 \times 10^2 [\text{kNm}]$$

$$M_{wtmax} = 4.28 \times 10^8 [\text{Nmm}]$$

Jadi, nilai momen puntir ialah  **$4.28 \times 10^8$  Nmm**.

#### 2.9.4 Beban geladak

$$P_o = 8.621 \text{ kN/m}^2$$

$$f = 1$$

$$Z = 2.6 \text{ m}$$

$$CD = 1$$

$$T = 1.2 \text{ m}$$

$$H = 2.6 \text{ m}$$

Untuk menghitung beban geladak dapat menggunakan Persamaan 4 yang hasilnya sebagai berikut:

$$PD = 6.981 [\text{kN/m}^2]$$

$$PD = 6.981 \times 10^{-3} [\text{N/mm}^2]$$

Jadi, nilai beban geladak ialah  **$6.981 \times 10^{-3}$  N/mm<sup>2</sup>**.

#### 2.9.5 Beban sisi

Beban sisi di bawah garis muat:

$$P_o = 6.47 \text{ kN/m}^2$$





Untuk menghitung beban sisi di bawah garis muat dapat menggunakan Persamaan 5 yang hasilnya sebagai berikut:

$$PS = 18.005 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$PS = 1.8 \times 10^{-2} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Jadi, nilai beban sisi di bawah garis muat ialah  $1.8 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ .

Beban sisi di atas garis muat:

$$Z = 0.5 \text{ m}$$

Untuk menghitung beban sisi di atas garis muat dapat menggunakan Persamaan 6 yang hasilnya sebagai berikut:

$$PS = 13.905 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$PS = 1.39 \times 10^{-2} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Jadi, nilai beban sisi di atas garis muat ialah  $1.39 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ .

### 2.9.6 Beban alas

$$Po = 6.47 \text{ kN/m}^2$$

$$CF = 1$$

$$T = 1.2 \text{ m}$$

Untuk menghitung beban alas dapat menggunakan Persamaan 7 yang hasilnya sebagai berikut:

$$PB = 18.466 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$PB = 1.85 \times 10^{-2} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Jadi, nilai beban alas ialah  $1.85 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ .

### 2.10 Analisis Respon Struktur

Analisis respon struktur merupakan cara untuk memperoleh hasil pengujian dari sebuah model. Adapun tahap-tahap dalam menganalisis sebuah model ialah sebagai berikut:

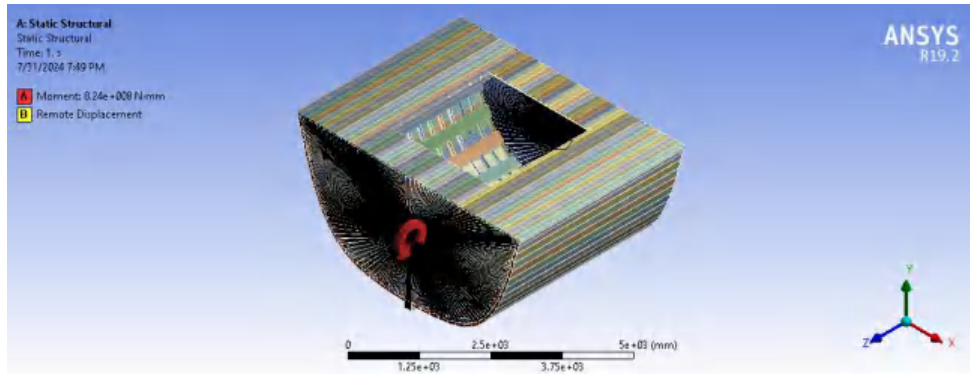


n

digunakan adalah semua beban yang bekerja pada kapal berupa n puntir, dan beban tekan. Input pembebanan diterapkan pada lirencanakan untuk mengetahui respon struktur dari setiap model.



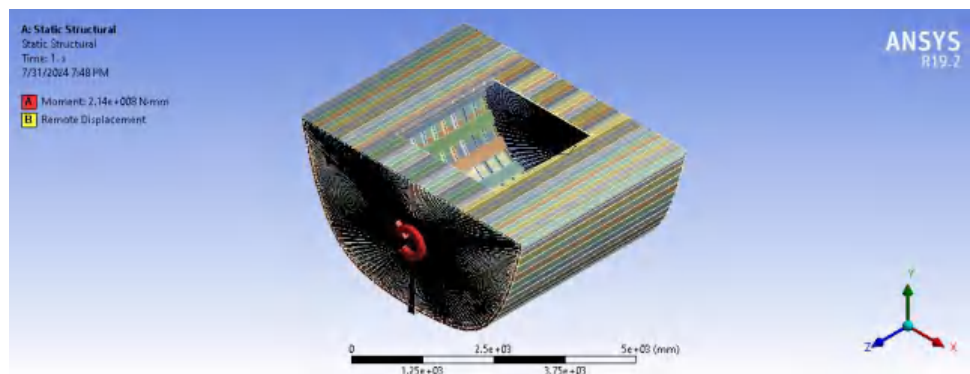
Input beban pada penelitian ini dilakukan pada *remote point 1* dan pengekangan dilakukan pada *remote point 2*. Beban pertama yang diterapkan adalah momen lentur vertikal (MX) yang berputar pada arah melintang kapal (sumbu X) sehingga mengakibatkan lentur pada arah membujur kapal (sumbu Z). *Apply* beban lentur dapat dilihat pada Gambar 20:



**Gambar 20.** *Apply* momen bending pada model

Sumber: Hasil Olah Data, 2024

Beban kedua yang diterapkan adalah momen puntir (MZ) yang berputar pada arah membujur kapal (sumbu Z) sehingga memberikan tegangan pada arah melintang kapal (sumbu X). Input beban puntir dapat dilihat pada Gambar 21:

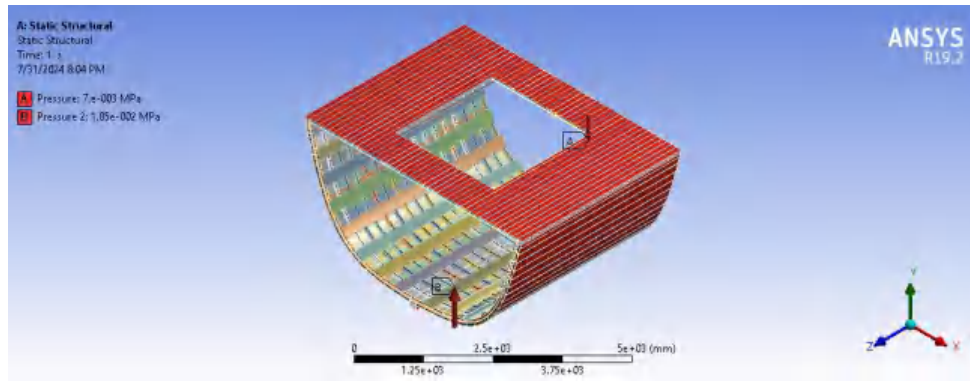


**Gambar 21.** *Apply* momen puntir pada model

Sumber: Hasil Olah Data, 2024



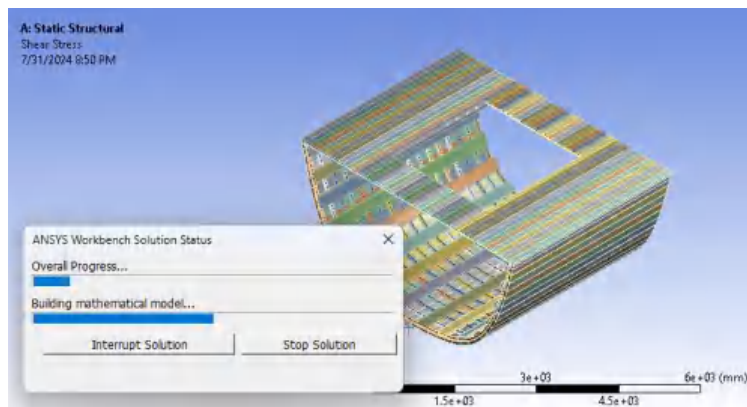
diterapkan adalah beban melintang kapal berupa beban geladak, ban alas. Pada penentuan pembebanan ini, bagian node yang rukaan papan geladak, permukaan kulit, dan permukaan lunas melintang kapal dapat dilihat pada Gambar 22:



**Gambar 22.** *Apply* beban melintang pada model  
Sumber: Hasil Olah Data, 2024

### 2.10.2 Running

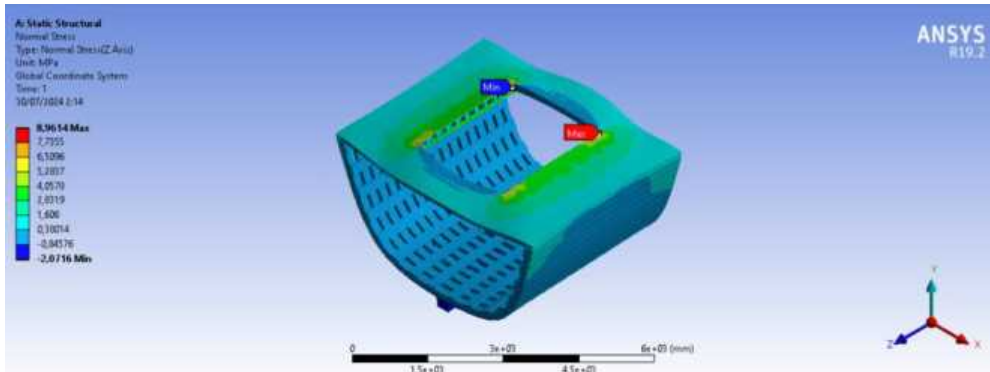
Analisis perbandingan model konstruksi kayu dengan model konstruksi kayu dan baja menggunakan analisis statik. Penyelesaian dilakukan terhadap model dalam bentuk elemen sesuai dengan pembebanan dan kondisi batas yang diberikan pada model. Kondisi pembebanan pertama yaitu momen bending, maka penyelesaian dilakukan dengan menggunakan *normal stress*. Kondisi pembebanan kedua yaitu momen puntir, maka penyelesaian dilakukan dengan menggunakan *sheer stress*. Adapun untuk pembebanan ketiga yaitu beban geladak, beban sisi, dan beban alas, maka penyelesaian dilakukan dengan menggunakan *equivalen*. Proses ini sering disebut dengan istilah *running*. Proses *running* di Ansys dapat dilihat pada Gambar 23:



running pada ansys workbench  
ata, 2024

### 2.10.3 Pembacaan hasil

Setelah proses *running* selesai, hasil dapat ditampilkan dalam beberapa pilihan sesuai dengan apa yang diinginkan seperti: deformasi, tegangan, dan sebagainya. Pada penelitian ini hasil yang ditampilkan berupa tegangan normal, tegangan geser, dan equivalen. Pembacaan hasil Ansys dapat dilihat pada Gambar 23:



**Gambar 24.** Pembacaan hasil *running* ansys  
Sumber: Hasil Olah Data, 2024

