

**STUDI PENGGUNAAN BAJA SEBAGAI PENGGANTI KAYU UNTUK
GADING DAN LUNAS KAPAL KAYU TRADISIONAL**

SKRIPSI

Diajukan Untuk memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



DISUSUN OLEH:

DWIKI TIMUR PRATAMA BAKRI

D31115502

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
Jalan Poros Malino KM. 6 Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan 92171

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mengikuti ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL SKRIPSI :

**STUDI PENGGUNAAN BAJA SEBAGAI PENGGANTI KAYU UNTUK GADING
DAN LUNAS KAPAL KAYU TRADISIONAL**

Disusun Oleh:

DWIKI TIMUR PRATAMA BAKRI

D311 15 502

Gowa, Juni 2021

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing 1

Ir. Lukman Bochary, MT.
NIP. 19581127 198803 1 001

Dosen Pembimbing 2

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

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dwiki Timur Pratama Bakri

NIM : D31115502

Program Studi : S1 Teknik Perkapalan

Menyatakan dengan ini bahwa tugas akhir saya berjudul 'Studi Penggunaan Baja Sebagai Pengganti Kayu Untuk Gading dan Lunas Kapal Kayu Tradisional' adalah karya saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Juni 2021

Yang Menyatakan



Dwiki Timur Pratama Bakri

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kehadiran Allah ﷻ yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul adalah “**Studi Penggunaan Baja Sebagai Pengganti Kayu Untuk Gading dan Lunas Kapal Layu Tradisional**” yang disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Program Sarjan (S1) di Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Shalawat serta salam semoga tetap selalu tercurahkan kepada *Rasulullah* Muhammad ﷺ beserta keluarga, sahabat, serta para pengikutnya yang setia hingga akhir zaman.

Proses pengerjaan Tugas Akhir ini melalui banyak proses dan tantangan, namun dengan penuh kesabaran dan keikhlasan serta bantuan, bimbingan, kritikan dan saran dari berbagai pihak semuanya dapat teratasi. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tulisan ini. Selanjutnya penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang turut membantu dalam penyelesaian penelitian ini, yaitu:

1. Kedua orang tua, Ayahanda **Muhammad Bakri Rajab** dan Ibunda **Nolina Mahmud**, yang senantiasa mendo'akan, mendukung serta motivasi yang tiada hentinya kepada penulis. Semoga selalu dalam perlindungan dan bimbingan Allah ﷻ.
2. Kedua saudara perempuan saya, kakak saya **Debby Utami Pratiwi Bakri** dan adik saya **Sri Fani Agustanti Bakri**, saudara yang sering memotivasi dan membantu dalam proses kuliah khususnya dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak **Ir. Lukman Bochary, MT**, selaku pembimbing I dan Bapak **Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing**, selaku pembimbing II yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
4. Bapak **Hamzah, ST., MT** dan Ibu **Dr. Eng Andi Ardianti, ST., MT** selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu berkonsultasi dalam tugas akhir ini.

5. Bapak **Wahyuddin ST., MT**, selaku penasehat akademik penulis yang senantiasa membimbing dan memotivasi selama berkuliah di Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.
6. Bapak **Dr. Eng Suandar Baso, ST., MT**, selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Unhas yang senantiasa membantu, membimbing, dan memotivasi kami.
7. Seluruh **Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Perkapalan** Fakultas Teknik Unhas yang tidak bisa disebutkan satu per satu, semoga ilmu dan bimbingan bapak dan ibu membawa berkah dan mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT.
8. **Seluruh Pegawai/Staf Departemen Teknik Perkapalan** Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang membantu segala urusan administrasi selama kuliah.
9. Teman-teman seperjuangan **Teknik Perkapalan 2015** yang telah berbagi suka dan duka selama berkuliah. Juga kepada senior dan junior di Departemen Teknik Perkapalan yang senantiasa berbagi ilmu dan pengalaman selama proses kuliah.
10. Teman seperjuangan Labo Struktur 2015: Bayu, Ibnu, Hariyono, Mursalim, dan Zhafirah. Senior dan junior di labo struktur: Afdi, Idhil, Syahrul, Indah, Nisa, Dilla, Melda, Amanul, Farid, Wardi, dkk. Terima kasih telah banyak membantu dalam berdiskusi dan memotivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
11. Teman-teman KKN Kebangsaan Gel 99 Provinsi Lampung yang kebersamaan perjuangan selama proses KKN. Semoga kita senantiasa dalam kebaikan.
12. Teman-teman seperjuangan selama belajar dan berproses selain di ruang kelas: Peer Mentor FT-UH, GKM Al-Muhandis, HMDP FT-UH, UKM KPI Unhas, HMI, dan BEM Unhas. Disini saya belajar banyak, semoga yang saya dapatkan dapat memberikan manfaat yang sebesar-sebesarnya bagi kehidupan.
13. Semua pihak yang telah membantu, dalam bentuk fisik ataupun dalam bentuk doa. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian dengan yang lebih baik. Semoga proses belajar dan tugas akhir ini diridhoi dan diberkahi oleh Allah SWT.
Aamiin

Makassar, Juni 2021

Penulis

ABSTRAK

Dwiki Timur Pratama Bakri, 2021. *Studi Penggunaan Baja Sebagai Pengganti Kayu Untuk Gading Dan Lunas Kapal Kayu Tradisional* (dibimbing oleh Ir. Lukman Bochary, MT. dan Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl. Ing.)

Sebagai material utama, kayu sangat dibutuhkan dalam proses pembangunan kapal kayu di Indonesia. Tetapi seiring dengan terjadinya penebangan liar dan kebakaran hutan, material kayu sebagai bahan utama kapal kayu menjadi lebih sulit untuk didapatkan. Akibatnya harga kayu menjadi lebih mahal. Hal ini juga disebabkan karena belum adanya alternatif material pengganti kayu. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk memilih gading baja dan lunas baja sebagai alternatif pengganti gading kayu dan lunas kayu yang dilakukan secara terpisah atau sendiri-sendiri. Hasilnya menunjukkan bahwa material baja dengan dimensi tertentu dapat memiliki karakteristik tegangan yang dihasilkan kurang lebih sama dengan material kayu dari segi kekuatan. Namun interaksi antara gading baja dan lunas baja dengan komponen lainnya terbuat dari kayu dalam kesatuan model yang utuh belum diteliti. Pada penelitian ini dimodelkan kombinasi antara gading baja berbentuk profil T dan lunas kapal baja berbentuk penampang persegi empat yang berinteraksi dengan komponen konstruksi lain yang terbuat dari kayu, kemudian dianalisis respon strukturnya terhadap beban lenturan, beban puntiran, dan beban tekanan. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga dan perhitungan dilakukan dengan bantuan *software* ANSYS. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketika gading baja dan lunas baja dibuat lebih kuat maka akan menanggung beban lebih banyak sehingga tegangannya meningkat, akibatnya komponen lain di sekitarnya menanggung beban yang lebih kecil sehingga tegangannya menurun. Ukuran dimensi gading baja yang sesuai berdasarkan respon struktur dan tegangan izin baja serta tegangan izin kayu yaitu untuk dimensi gading baja adalah 110 x 90 x 6 mm dan untuk dimensi lunas baja adalah 160 x 160 x 12 atau 160 x 160 x 13 mm.

Kata Kunci: gading kayu, gading baja, lunas kayu, lunas baja, kapal kayu tradisional

ABSTRACT

Dwiki Timur Pratama Bakri, 2021. *A Study on the Application of Steel Frames and Steel Keels on a Traditional Wooden Boat* (supervised by Ir. Lukman Bochari, MT. and Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl. Ing)

As its main material, wood is required in the construction of traditional wooden boat in Indonesia. But with the illegal logging and forest fires, wooden material becomes more challenging to obtain and more expensive. The challenge is also due to the absence of materials alternative to replace wood. Previous research has been carried out to select steel frame and steel keel as an alternative to replace wooden frames and wooden keels by separately or individually. The results show that steel material with a particular dimension can have the same stress characteristics as wooden material from strength. However, the interaction between steel frames and steel keel with other wooden construction components has not been studied. In this study, analysis using the finite element method in ANSYS software of the structure response to bending, torsional, and pressure loads on the interaction of T profile steel frames and a square cross-section of steel keel with other wooden boat construction components have been carried out. The analysis shows that, as the dimension of steel frames and keel is increasing, the stress on the wooden construction components will be reduced as the steels will restrain the stress. The steel frames and steel keel dimension is 110 x 90 x 6 mm and 160 x 160 x 12 or 160 x 160 x 13 mm respectively. The dimensions are selected based on the compromised structure response of the steel and wooden stresses.

Keywords: wooden frame, steel frame, wooden keel, steel keel, traditional wooden boat

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II	5
2.1. Pengertian Kapal Kayu.....	5
2.2. Ukuran Utama Kapal Kayu	5
2.3. Konstruksi Kapal Kayu	6
2.3.1 Lunas.....	6
2.3.2 Linggi Haluan.....	7
2.3.3. Linggi Buritan	7
2.3.4. Gading.....	7
2.3.5. Galar.....	8
2.3.6. Balok Geladak	8
2.3.7. Kulit Luar	8
2.4. Konstruksi Gading	8
2.5. Konstruksi Lunas	9
2.6. Beban Rancang.....	10
2.6.1. Momen Gelombang Vertikal (M _{wv})	11
2.6.2. Momen Puntir.....	14
2.6.3. Gaya Geser Ombak Vertikal.....	15
2.7. Tegangan dan Regangan.....	16

2.7.1. Tegangan	16
2.7.2. Regangan.....	19
2.8. Tegangan Izin.....	19
2.9. Sifat Kayu dan Baja.....	20
2.9.1. Sifat Kayu.....	20
2.9.2. Kelas Kekuatan Kayu	20
2.9.3. Baja	21
2.10. Metode Elemen Hingga / <i>Finite Element Method (FEM)</i>	21
2.10.1. ANSYS.....	22
BAB III	23
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian	23
3.2. Teknik Pengumpulan Data	23
3.2.1. Teknik Pengambilan Data	23
3.2.2. Jenis dan Sumber Data	23
3.3. Metode Analisis Data	24
3.4. Diagram Alir Penelitian.....	25
3.5. Penyajian Data.....	26
3.5.1. Data dan Ukuran Dimensi Konstruksi Kapal Kayu Tradisional	27
3.5.2. Jenis Kayu	31
3.5.3. Baja	34
3.6. Pemilihan Input <i>Material Properties</i> Kayu	35
3.7. Pemodelan Struktur Kapal di <i>ANSYS Mechanical APDL</i>	35
3.7.1. Pemilihan Tipe Analisis	35
3.7.2. Pemilihan Tipe Elemen	36
3.7.3. Penentuan <i>Material Properties</i>	37
3.7.4. Modeling	38
3.7.5. Meshing.....	38
3.8. Penentuan Kondisi Batas dengan Metode Multi Point Constraint (MPC)	39
3.8.1 Penentuan Letak Sumbu Netral	39
3.8.2. Penentuan Kondisi Batas (<i>Boundary Condition</i>)	40
3.9. Validasi Model.....	41
3.10. Input Beban, Running, dan Pembacaan Hasil.....	42

3.10.1. Input Beban	42
3.10.2. Running	44
BAB IV	47
4.1. Pemilihan Dimensi Gading Baja	47
4.2. Analisis Respon Struktur Gading Baja Terhadap Momen Lentur Vertikal.....	49
4.2.1. Respon Model Gading Kayu Terhadap Momen Lentur Vertikal	49
4.2.2. Respon Model Gading Baja Terhadap Momen Lentur Vertikal	50
4.2.3 Perbandingan Respon Model Gading Kayu dan Gading Baja Terhadap Momen Lentur Vertikal.....	52
4.3. Analisis Respon Model Gading Kayu dan Model Gading Baja Terhadap Momen Puntir 53	
4.3.1. Respon Model Gading Kayu Terhadap Momen Puntir.....	53
4.3.2. Respon Model Gading Baja Terhadap Momen Puntir	54
4.3.3. Perbandingan Respon Model Gading Kayu dan Model Gading Baja Terhadap Momen Puntir	56
4.4 Respon Gading Kayu dan Gading Baja Terhadap Gaya Arah Vertikal	57
4.4.1 Respon Model Gading Kayu Terhadap Gaya Arah Vertikal.....	57
4.4.2 Respon Model Gading Baja Terhadap Gaya Arah Vertikal.....	58
4.4.3 Perbandingan Respon Struktur Model Gading Kayu dan Model Gading Baja Terhadap Gaya Arah Vertikal	59
4.5. Respon Gading Kayu dan Model Gading Baja Terhadap Beban Kombinasi (MY, MX, FZ) 60	
4.5.1. Respon Gading Kayu Terhadap Beban Kombinasi (MY, MX, FZ).....	60
4.5.2. Respon Gading Baja Terhadap Beban Kombinasi (MY, MX, FZ)	61
4.5.3. Perbandingan Respon Struktur Gading Kayu dan Model Gading Baja Terhadap Beban Kombinasi (MY, MX, FZ).....	62
4.6. Penentuan Dimensi Gading Baja yang Sesuai	64
4.7. Pemilihan Dimensi Lunas Baja	64
4.7.1. Respon Gading dan Lunas Baja Terhadap Momen Lentur Vertikal	65
4.7.2. Respon Gading dan Lunas Baja Terhadap Momen Puntir	68
4.7.3. Respon Gading dan Lunas Baja Terhadap Gaya Arah Vertikal	69
4.7.4. Respon Gading dan Lunas Baja Terhadap Beban Kombinasi.....	70
4.8. Penentuan Dimensi Lunas Baja yang Sesuai	72

BAB V	74
5.1. Kesimpulan	74
5.2. Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ukuran Utama Kapal Kayu	6
Gambar 2.2 Konstruksi Melintang Kayu.....	9
Gambar 2.3 Sambungan Antara Lunas dan Linggi Haluan	10
Gambar 2.4 Distribusi Beban, Gaya Geser, dan Momen Lentur	11
Gambar 2.5 Gabungan Distribusi Beban, Gaya Geser, dan Momen Lentur	11
Gambar 2.6 Kondisi Hogging dan Kondisi Sagging	12
Gambar 2.7 Faktor Distribusi c_M dan Faktor Pengaruh c_V	13
Gambar 2.8 Faktor Distribusi CWT	14
Gambar 2.9 Faktor Distribusi C_{T1} dan C_{T2} Untuk Momen Puntir	15
Gambar 2.10 Faktor Distribusi C_q	15
Gambar 2.11 Tegangan yang Bekerja Pada Suatu Bidang	17
Gambar 3.1 Proses Pembangunan Kapal Kayu Tradisional 20 GT	26
Gambar 3.2 Pemilihan Tipe Analisis Pada Ansys Mechanical APDL.....	36
Gambar 3.3 Pemilihan Tipe Elemen Solid	36
Gambar 3.4 Penentuan Material Properties Penentuan Material Properties Baja	37
Gambar 3.5 Model Kapal yang Telah Dibuat di ANSYS.....	38
Gambar 3.6 Model Kapal yang Telah Termeshing.....	39
Gambar 3.7 Window Calc Geom of Areas	39
Gambar 3.8 Window Koordinat Netral Axis (Sumbu Netral)	40
Gambar 3.9a Kondisi Batas Struktur Pada Input Beban.....	40
Gambar 3.10 Pengecekan Geometri Model.....	41
Gambar 3.11 Reaksi Tumpuan Arah X, Y, dan Z	41
Gambar 3.12 Pembebanan Lenturan Pada Model	42
Gambar 3.13 Pembebanan Puntiran Pada Model	43
Gambar 3.14 Pembebanan Tekanan Pada Model	43
Gambar 3.15 Pembebanan Kombinasi (Lenturan, Puntiran, dan Tekanan)	44
Gambar 3.16 Proses Running di Aplikasi ANSYS Mechanical APDL	45
Gambar 3.17 Tampilan Running Saat Telah Selesai dan Berhasil.....	45
Gambar 3.18 Tampilan Pilihan Daftar Pembacaan Hasil Analisis di ANSYS	46
Gambar 3.19 Pembacaan Hasil Analisis Tegangan (<i>von Mises Stress</i>)	46
Gambar 4.1 Model Gading Baja yang Akan Digunakan	47
Gambar 4.2 Kontur Tegangan Model Gading Kayu Akibat Beban Lenturan.....	49
Gambar 4.3 Kurva Momen Lentur dan Tegangan Pada Model Gading Kayu	50
Gambar 4.4 Kontur Tegangan Model Gading Baja Akibat Beban Lenturan	51
Gambar 4.5 Kontur Tegangan Model Gading Kayu dan Gading Baja Akibat Momen Lentur Vertikal	52
Gambar 4.6 Kontur Tegangan Model Gading Kayu Akibat Beban Puntiran.....	53
Gambar 4.7 Kurva Momen Puntir dan Tegangan Pada Model Gading Kayu	54
Gambar 4.8 Kontur Tegangan Model Gading Baja Akibat Momen Puntir	55

Gambar 4.9 Kurva Momen Puntir dan Tegangan Pada Model Gading Baja	55
Gambar 4.10 Tegangan Model Gading Kayu dan Gading Baja Akibat Momen Puntir	56
Gambar 4.11 Kontur Tegangan Gading Kayu Akibat Gaya Arah Vertikal	57
Gambar 4.12 Kontur Tegangan Gading Kayu Akibat Gaya Arah Vertikal	58
Gambar 4.13 Kontur Tegangan Gading Kayu dan Gading Baja Akibat FZ	59
Gambar 4.14 Kontur Tegangan Pada Gading Kayu Akibat Beban Kombinasi	60
Gambar 4.15 Kontur Tegangan Model Gading Baja Akibat Beban Kombinasi	61
Gambar 4.16 Kontur Tegangan Model Gading Kayu dan Model Gading Baja Akibat Beban Kombinasi	62
Gambar 4.17 Model Lunas Baja yang Akan Dimodelkan	65
Gambar 4.18 Kontur Tegangan Model Gading Baja dan Lunas Baja 160x160x12 mm dan Model Gading Baja dan Lunas Baja 160x160x13 mm Akibat Momen Lentur Vertikal	66
Gambar 4.19 Kurva Variasi Tebal Pelat Lunas Baja dan Tegangan Akibat MY	67
Gambar 4.20 Kontur Tegangan Gading Baja dan Lunas Baja 160 x 160 x 12 mm dan Gading Baja dan Lunas Baja 160 x 160 x 13 mm Akibat Momen Puntir ..	68
Gambar 4.21 Kontur Tegangan Lunas Baja 160 x 160 x 12 mm dan Lunas Baja 160 x 160 x 13 mm Akibat Gaya Arah Vertikal	69
Gambar 4.22 Kontur Tegangan Gading Baja 160 x 160 x 12 mm (a) dan Gading Baja 160 x 160 x 13 mm (b) Akibat Beban Kombinasi	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Distribusi	12
Tabel 2.2 Faktor Distribusi c_Q	16
Tabel 2.3 Kelas Kekuatan Kayu.....	21
Tabel 3.1 Data dan Ukuran Utama Kapal Kayu	27
Tabel 3.2 Data dan Ukuran Gading Kapal	28
Tabel 3.3 Data dan Ukuran Balok Geladak Kapal.....	29
Tabel 3.4 Data dan Ukuran Galar Kapal	29
Tabel 3.5 Data dan Ukuran Tiang Taju Kapal.....	30
Tabel 3.6 Dimensi Konstruksi Kapal	30
Tabel 3.7 Jenis Kayu dan Kelas Kuat Menurut BKI	31
Tabel 3.8 Sifat Fisik dan Mekanis Kayu Ulin	32
Tabel 3.9 Sifat Fisik dan Mekanis Kayu Bitti	32
Tabel 3.10 Sifat Fisik dan Mekanis Kayu Jati	33
Tabel 3.11 Sifat Mekanik Kayu Keruing.....	34
Tabel 3.12 Sifat Beberapa Bahan	34
Tabel 4.1 Data Gading Kayu.....	48
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Model Gading Baja dengan Metode <i>Trial and Error</i>	48
Tabel 4.3 Variasi MY dan Tegangan Maksimum Pada Konstruksi Gading Kayu.....	50
Tabel 4.4 Variasi MY dan Tegangan Maksimum Pada Konstruksi Gading Baja	51
Tabel 4.5 Perbandingan Tegangan Pada Papan Geladak Model Gading Kayu dan Gading Baja Terhadap Beban Lenturan (Momen Lentur Vertikal)	52
Tabel 4.6 Perbandingan Tegangan Pada Lunas Model Gading Kayu dan Gading Baja Terhadap Beban Lenturan (Momen Lentur Vertikal)	53
Tabel 4.7 Variasi MX dan Tegangan Maksimum Pada Model Gading Kayu.....	54
Tabel 4.8 Variasi MX dan Tegangan Maksimum Pada Konstruksi Gading Baja	55
Tabel 4.9 Perbandingan Tegangan Gading Kayu dan Gading Baja Terhadap MX.....	56
Tabel 4.10 Variasi FZ dan Tegangan Maksimum Pada Konstruksi Gading Kayu	58
Tabel 4.11 Variasi FZ dan Tegangan Maksimum Pada Konstruksi Gading Baja.....	59
Tabel 4.12 Perbandingan Tegangan Gading Kayu dan Gading Baja Terhadap FZ	60
Tabel 4.13 Beban Kombinasi dan Tegangan Maksimum Model Gading Kayu.....	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kapal kayu adalah kapal yang hampir seluruh bagian lambungnya dibuat dari kayu. Pembuatan kapal kayu di Indonesia telah dilakukan sejak puluhan bahkan ratusan tahun yang lalu. Kemampuan pembuatan kapal kayu bagi pengrajin kapal kayu didapatkan dari warisan keterampilan dari para pendahulu mereka. Kemampuan ini didapatkan secara turun temurun. Sebagai material utama, kayu sangat dibutuhkan dalam proses pembangunan kapal kayu di Indonesia. Kayu yang dibutuhkan adalah kayu jenis khusus yang tahan terhadap air untuk konstruksi kulit kapal, kayu yang bisa dibentuk mengikuti bentuk lengkung lambung kapal pada konstruksi gading serta kayu dengan bentuk utuh untuk penggunaan pada lunas kapal sebagai tumpuan gading-gading. Bentuk lunas kapal adalah harus menerus sepanjang dasar kapal dan untuk mendapatkan kekuatan kapal yang maksimum sebaiknya tanpa sambungan.

Hingga beberapa waktu yang lalu, material kayu sebagai bahan utama pembuatan kapal kayu dapat dengan mudah diperoleh karena melimpahnya bahan kayu dari beberapa daerah di Indonesia. Tetapi seiring dengan terjadinya kerusakan yang cukup parah akibat penebangan liar dan kebakaran hutan pada beberapa hutan di Indonesia, material kayu sebagai bahan utama kapal kayu menjadi lebih sulit untuk didapatkan. Sebagai akibatnya harga kayu menjadi lebih mahal. Kesulitan perolehan bahan kayu untuk konstruksi lunas ini mengancam keberlanjutan proses pembangunan kapal kayu di Indonesia. Sehingga diperlukan alternatif penggunaan material lain sebagai bahan pengganti kayu untuk konstruksi kapal kayu. Hal ini juga disebabkan oleh belum adanya alternatif material pengganti kayu sebagai material konstruksi pada kapal kayu. Jika hal ini terus terjadi, maka dikhawatirkan pada suatu saat kapal kayu tidak dapat lagi diproduksi di Indonesia.

Untuk mendukung keberlanjutan proses pembangunan kapal kayu di Indonesia, maka perlu dilakukan usaha untuk mencari material alternatif sebagai pengganti material kayu pada konstruksi kapal kayu. Material alternatif ini hanya

dikhususkan pada material konstruksi dalam kapal kayu untuk mempertahankan kekhususan kapal kayu ini. Sebuah penelitian telah dilakukan untuk memilih gading baja sebagai pengganti gading kayu pada kapal kayu. Bentuk profil gading baja yang ditinjau adalah bentuk profil T. Kriteria pemilihan bentuk profil adalah waktu pengerjaan, metode pengikatan, serta dengan melihat pada kelebihan dan kekurangan lainnya masing masing. Selain gading baja, penelitian tentang penggunaan lunas baja juga telah dilakukan. Pemilihan konstruksi lunas sebagai objek penelitian ini dikarenakan penggunaan kayu pada konstruksi lunas sangat besar. Sehingga penggantian material kayu pada konstruksi lunas kapal ini akan menghemat penggunaan kayu yang cukup signifikan.

Pada penelitian gading baja dan lunas baja secara sendiri-sendiri atau terpisah sebelumnya tersebut hasilnya menunjukkan bahwa material baja dengan dimensi tertentu dapat memiliki karakteristik tegangan yang dihasilkan kurang lebih sama dengan material kayu dari segi kekuatan. Namun interaksi antara gading baja dan lunas baja dengan komponen lainnya terbuat dari kayu dalam kesatuan model yang utuh belum dianalisis atau diteliti. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang meneliti integrasi antara gading dan lunas baja sekaligus. Pada penelitian ini akan dimodelkan kombinasi antara gading dan lunas kapal yang terbuat dari baja berinteraksi dengan komponen konstruksi kapal lainnya yang terbuat dari kayu dalam satu kesatuan serta menganalisis respon strukturnya. Judul penelitian ini adalah ‘Studi Penggunaan Baja Sebagai Pengganti Kayu Untuk Gading dan Lunas Kapal Kayu Tradisional’

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana integrasi gading dan lunas baja sedangkan komponen konstruksi lain tetap material kayu?
- Bagaimana respon struktur konstruksi kapal kayu yang gading dan lunasnya terbuat dari baja sedangkan komponen lain dari kayu terhadap beban lenturan, beban puntiran, dan beban tekanan?

1.3. Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- Dimensi gading, lunas, dan konstruksi kapal kayu diukur berdasarkan yang digunakan pengrajin.
- Bagian yang ditinjau hanya pada bagian midship.
- Jarak gading yang digunakan berdasarkan jarak gading kapal kayu.
- Perhitungan respon struktur menggunakan Metode Elemen Hingga atau *Finite Element Method* (software ANSYS Mechanical APDL).
- Bentuk sambungan diasumsikan tidak ada.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis integrasi atau keterpaduan interaksi gading dan lunas baja dengan komponen lainnya yang terbuat dari kayu serta menganalisis bagaimana respon struktur kombinasi baja dan kayu terhadap beban lenturan, beban tekanan, dan beban puntiran.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu:

- Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan pengetahuan serta menjadi bahan informasi khususnya penggunaan material baja sebagai alternatif pengganti material kayu pada kapal kayu tradisional.

- Tersedianya material alternatif pada konstruksi gading dan lunas pada kapal kayu.
- Menjadi referensi dalam penggunaan gading dan lunas baja sebagai pengganti gading dan lunas kayu untuk menunjang keberlanjutan proses pembangunan kapal kayu tradisional.
- Dukungan pada upaya pelestarian hutan kayu akibat dikurangnya penebangan tidak beraturan untuk mencari bentuk kayu yang sesuai dengan karakteristik lunas kayu.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan alur penyusunan skripsi yang jelas dan memudahkan pembaca memahami uraian dan makna secara sistematis, maka skripsi ini disusun menjadi beberapa bagian, yaitu:

Bab I Pendahuluan, di sini dibahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan penelitian.

Bab II Tinjauan Pustaka, pada bab ini teori-teori permasalahan yang akan dibahas seperti penjelasan tentang konstruksi kapal kayu, gading kapal kayu, lunas kapal kayu, penjelasan tentang kekuatan melintang dan memanjang kapal dengan pengujian model secara numerik.

Bab III Metode Penelitian, terdiri atas lokasi dan waktu penelitian, metode pengambilan data, dan metode analisis data serta kerangka pikir penelitian.

Bab IV Hasil dan Pembahasan, berisi penyajian data, analisis data dan evaluasi yang dilakukan sesuai dengan permasalahan penelitian dan juga hasil dari penelitian tersebut.

Bab V Penutup, di sini terdapat kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran dari penulis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Kapal Kayu

Kapal kayu adalah kapal yang dibuat dari kayu sebagai bahan utama adalah kayu, serta dilengkapi dengan alat penggerak berupa mesin penggerak atau alat lainnya seperti layar (Jinca, 2002). Kapal layar motor atau KLM adalah kapal yang dibuat dari kayu sebagai bahan utama dengan menggunakan layar lengkap sebagai penggerak utama dan dilengkapi dengan pesawat penggerak bantu. Pesawat penggerak bantu adalah motor atau sejenisnya pada kapal, yang hanya digunakan dalam keadaan tertentu sebagai alat penggerak disaat layar tidak dapat berfungsi. (BKI, 1992)

2.2. Ukuran Utama Kapal Kayu

Adapun berdasarkan Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia (1996) pengukuran dimensi utama kapal kayu diukur sebagai berikut:

a. Panjang

Ukuran panjang kapal merupakan salah satu hal yang disebutkan oleh pemilik kapal pada saat memesan kapal, yaitu panjang kapal dan panjang keseluruhan. Panjang L adalah panjang rata-rata dari panjang garis muat L_1 dan panjang di geladak L_2 , jadi $= \frac{L_1+L_2}{2}$.

Perhatikan gambar 2.1 panjang L_1 adalah jarak antara sisi belakang linggi buritan dan sisi depan linggi haluan; panjang L_2 adalah jarak sisi belakang belakang linggi buritan atau sisi belakang buritan datar dan sisi depan linggi haluan pada geladak.

b. Lebar

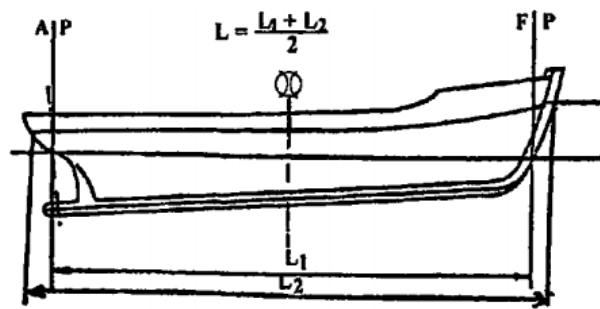
Lebar kapal B diukur pada posisi luar kulit-luar pada lebar yang terbesar dari kapal

c. Tinggi

Tinggi H diukur pada pertengahan panjang L_1 sebagai jarak vertikal antara sisi bawah sponeng lunas dan sisi atas papan geladak pada sisi kapal.

d. Sarat

Sarat air T diukur pada pertengahan panjang L_1 sebagai jarak vertikal antara sisi bawah sponeng lunas dan tanda lambung timbul untuk garis muat musim panas. (BKI, 1996)



Gambar 2.1 Ukuran Utama Kapal Kayu
(Sumber: BKI, 1996)

2.3. Konstruksi Kapal Kayu

Sebuah kapal bukan hanya harus dibangun dengan baik, tetapi juga harus mempunyai kekuatan dan stabilitas kapal yang baik. Kekuatan pada kapal sangat ditentukan oleh konstruksi-konstruksi yang berada pada kapal. Sistem konstruksi kapal yang tidak memiliki sambungan akan memberikan beban konstruksi merata, sehingga badan kapal menjadi lebih kuat dan tegar. Sistem konstruksi yang menggunakan kayu sambungan akan menimbulkan kelemahan akibat lubang baut dan mengurangi luas penampang. Komponen-komponen konstruksi pada kapal kayu antara lain berupa lunas, linggi haluan, linggi buritan, gading-gading, balok geladak, galar, dan kulit luar.

2.3.1 Lunas

Lunas merupakan konstruksi yang berada pada bagian terbawah dari bangunan kapal. Dengan aliran beban yang sebagian besar bermuara ke konstruksi lunas maka konstruksi ini menahan beban yang terbesar. Lunas dibuat dari linggi

buritan sampai linggi haluan. Untuk kapal kecil, lunas dapat dibuat dari satu bagian saja, sedangkan untuk kapal besar lunas terdiri dari dua bagian yaitu bagian bawah disebut lunas luar dan bagian atas disebut lunas dalam. Pada lunas inilah melekat kulit kapal dan gading kapal.

2.3.2 Linggi Haluan

Linggi haluan merupakan lanjutan dari lunas dan berfungsi menghubungkan papan kulit bagian kiri dan kanan. Selain itu, linggi haluan juga menghubungkan galar-galar pada kedua sisi kapal.

2.3.3. Linggi Buritan

Linggi buritan juga merupakan lanjutan dari lunas, di mana ujung belakang ini disebut sepatu linggi jika ia berfungsi sebagai bantalan bawah untuk poros kemudi. Selain itu, linggi buritan juga berfungsi memegang atau sebagai rumah untuk tabung poros buritan jika kapal memakai baling-baling, juga kemudi atau porosnya bertumpu pada linggi buritan. Bagian-bagian linggi buritan adalah telapak linggi yang merupakan lanjutan lunas, linggi baling-baling yang tegak lurus lunas, linggi kemudi yang memegang kemudi serta kayu mati dan kayu pondasi (Rauf dan Chaerunnisa, 2003).

2.3.4. Gading

Fungsi gading adalah menghubungkan papan kulit antara satu papan dengan papan lainnya, secara struktur konstruksi gading berfungsi memperkuat kulit luar pada arah melintang untuk menahan beban eksternal (air) dan muatan diatas palka. Gading dapat dibuat secara tunggal (gading tunggal) ataupun secara ganda (gading ganda). Gading tunggal biasanya terdiri dari bagian kiri dan bagian kanan yang dihubungkan dengan wrang. Gading ganda umumnya menerus melewati tengah kapal dan dibagian tengah dibuat meninggi. Tingginya diambil sama dengan tinggi wrang pada gading tunggal. Jarak gading diukur dari tengah gading yang satu ke tengah gading berikutnya, dan jarak ini ditentukan berdasarkan daerah pelayaran kapal yang bersangkutan. (Karim, 2011)

2.3.5. Galar

Galar adalah salah satu elemen konstruksi yang dipasang memanjang dari linggi haluan ke linggi buritan yang letaknya bersilangan dengan gading-gading dan balok geladak. Galar terdiri atas galar balok dan galar kim. Galar balok terletak dibawah balok geladak dan samping gading. Sedangkan galar kim terletak di daerah lajur bilga dan diletakkan secara memanjang dari linggi haluan hingga linggi buritan. (BKI, 1996)

2.3.6. Balok Geladak

Balok geladak berfungsi menghubungkan papan geladak satu dengan lainnya dan juga memperkuat geladak pada arah melintang, yaitu bersama papan-papan pada daerah yang mendapat beban besar. Untuk daerah di samping ambang palka, balok geladak dipasang dari gading-gading di sisi samping ambang palka, balok geladak dipasang dari gading-gading di sisi sampai pada penumpu samping palka, balok geladak dipasang dari sisi kiri sampai kanan. (Rauf dan Chaerunnisa, 2003)

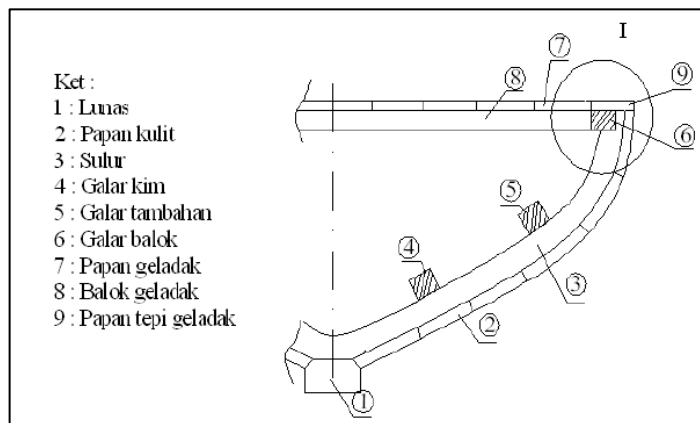
2.3.7. Kulit Luar

Kulit Luar merupakan susunan dari papan-papan kulit yang berfungsi sebagai lambung kapal. Kulit luar diletakkan ke gading-gading secara memanjang dari linggi haluan hingga linggi buritan. Kulit luar atau papan kulit terdiri atas lajur lunas, lajur alas, lajur sisi, lajur sisi atas

2.4. Konstruksi Gading

Pada kapal kayu, konstruksi gadingnya sedikit berbeda dapat dilihat pada gambar 2.2, hal ini ditunjukkan pada konstruksi dari gading yang ada. Salah satu diantaranya yaitu tidak terdapat gading alas dan gading balik pada kapal kayu. Gading-gading kapal kayu dibuat dari kayu yang melengkung secara alami. Hal ini memperkuat konstruksi kapal karena arah serat kayu tidak ada yang berpotongan. Kayu yang digunakan pada pembuatan gading-gading berasal dari pohon yang belum cukup tua. Penggunaan kayu pada gading tergantung dari sifat-sifat kayu

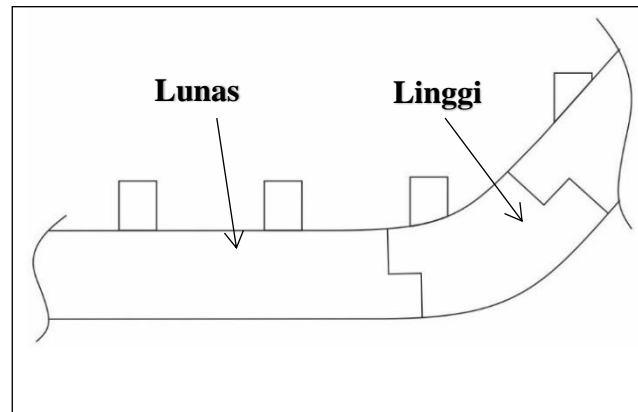
yang bersangkutan dan persyaratan teknis yang diperlukan dimana dalam hal ini kayu mempunyai sifat kuat, tidak mudah pecah, dan elastis.



Gambar 2.2 Konstruksi Melintang Kayu
(Sumber: Karim, 2011)

2.5. Konstruksi Lunas

Dimensi dari lunas ditentukan berdasarkan pada besar atau kecilnya kapal kayu. Untuk kapal kayu kecil, umumnya lunas dibuat dari sebuah kayu utuh sepanjang panjang kapal dan kemudian disambung pada bagian haluan dan buritan sedangkan pada kapal kayu yang besar, disebabkan karena kesulitan untuk mendapatkan satu kayu utuh sesuai dengan besar kapal, maka konstruksi lunas umumnya terdiri dari dua bagian. Bagian bawah dari lunas disebut lunas luar dan bagian dalam dari lunas disebut lunas dalam. Pada bagian haluan, lunas disambung dengan linggi haluan dengan menggunakan balok lutut. Pada pembuatan kapal kayu, kulit akan disambungkan pada lunas kemudian disusun hingga membentuk sebuah lambung yang utuh. Selain menerima tekanan dari kulit, lunas juga menerima beban sisi dan beban alas dari gading sehingga lunas harus benar-benar kokoh dari segala bentuk pembebanan. Konstruksi lunas dapat dilihat pada gambar 2.3.



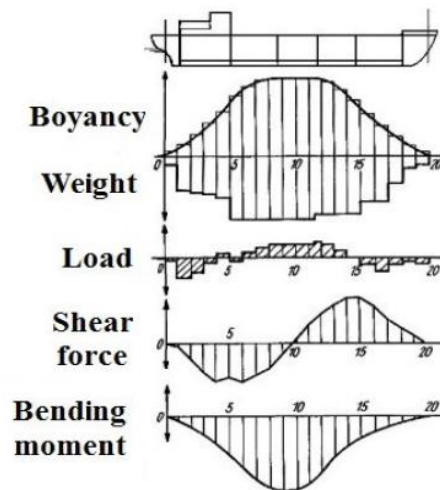
Gambar 2.3 Sambungan Antara Lunas dan Linggi Haluan
(Sumber: Jauhari, 2018)

Pada pembangunan kapal kayu baik dilakukan secara modern maupun dengan metode tradisional, lunas adalah komponen konstruksi kapal kayu yang paling pertama dibuat. Urutan pembangunan selanjutnya yang menentukan dan membedakan apakah kapal kayu itu dibangun secara tradisional atau modern. Pada metode pembangunan kapal secara tradisional, setelah peletakan lunas, dilanjutkan dengan pemasangan linggi dan balok tegak/poros, lajur kulit, gading, galar, balok geladak dan papan geladak (Dewa, Muhammad, 2010).

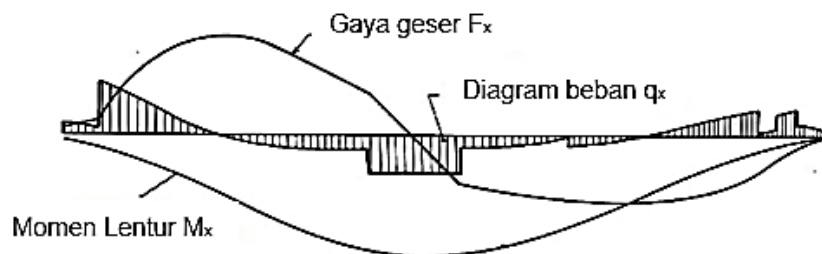
2.6. Beban Rancang

Menurut Mohamed Shama (2013), 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*).

Momen lentur disebabkan karena adanya beban yang bekerja pada titik tengah suatu struktur sehingga menyebabkan struktur tersebut seakan-akan melengkung. Beban momen lentur di air tenang dan gaya geser diperoleh dari distribusi daya apung (titik tekan air) dan berat sepanjang konstruksi memanjang kapal, lihat gambar 2.4 dan jika digabungkan antara distribusi beban, gaya geser, dan momen lentur dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.4 Distribusi Beban, Gaya Geser, dan Momen Lentur
(Sumber: Shama, 2013)



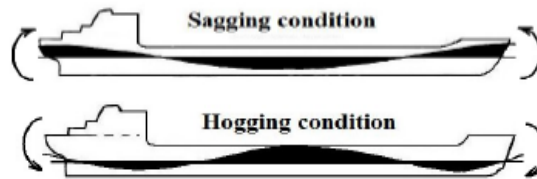
Gambar 2.5 Gabungan Distribusi Beban, Gaya Geser, dan Momen Lentur
(Sumber: Shama, 2013)

Pada penelitian ini akan menganalisis respon struktur terhadap beban lenturan, beban puntiran, dan beban tekanan. Pada Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) tentang Peraturan Kapal Kayu Tahun 1996 tidak ditemukan adanya pembahasan mengenai perencanaan beban pada kapal kayu. Oleh karena itu, rumus perencanaan beban yang diambil ada di Peraturan BKI 2016 Jilid 1 Tentang Pedoman Lambung Edisi 2016. Adapun beberapa rumus beban-beban tersebut dijelaskan sebagai berikut:

2.6.1. Momen Gelombang Vertikal (M_{wv})

Momen ini disebabkan karena adanya beban akibat kondisi gelombang seperti kondisi hogging dan sagging. Pada kondisi hogging, kapal mendapatkan gaya tarik

pada bagian dasar (*bottom*) dan gaya tekan pada bagian geladak (*deck*) kapal. Sebaliknya untuk kondisi sagging.



Gambar 2.6 Kondisi Hogging dan Kondisi Sagging
(Sumber: Shama, 2013)

Momen lengkung ombak vertikal di bagian tengah kapal ditentukan dengan rumus berikut:

$$M_{WV} = L^2 \cdot B \cdot C_0 \cdot C_1 \cdot C_L \cdot C_m \quad (\text{KN.m}) \quad (2.1)$$

L = Panjang kapal (m)

C₀ = koefisien gelombang (lihat tabel 2.5)

$$= m \cdot L^{0.31} \quad \text{untuk } L < 270 \text{ m}$$

$$= n \quad \text{untuk } L \geq 270 \text{ m}$$

Tabel 2.1 Faktor Distribusi

Koefisien	Zona 1	Zona 2	Zona 3
m	1,42	1,6	1,7
n	8,05	9,14	9,65

(Sumber: BKI, 2016)

C_L = koefisien panjang

$$= \sqrt{L/90} \quad \text{untuk } L < 90 \text{ m}$$

$$= 1,0 \quad \text{untuk } L \geq 90 \text{ m}$$

C_{RW} = koefisien daerah pelayaran

$$= 0,90 \quad \text{untuk daerah pelayaran zona 3}$$

$$= 0,85 \quad \text{untuk daerah pelayaran zona 2}$$

$$= 0,75 \quad \text{untuk daerah pelayaran zona 1}$$

C_1 = koefisien gelombang sagging/hogging

C_{1H} = 0,19. C_b kondisi hogging

C_{1S} = -0.11($C_b+0,7$) kondisi sagging

C_M = faktor distribusi, lihat gambar 2.9

C_L = koefisien panjang

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

$$= 1,0 \quad \text{untuk } L \geq 90 \text{ m}$$

C_{MH} = kondisi hogging

$$= 2.5 \cdot \frac{X}{L} \quad \text{untuk } 0 \leq \frac{X}{L} < 0.4$$

$$= 1.0 \quad \text{untuk } 0.4 \leq \frac{X}{L} \leq 0.65$$

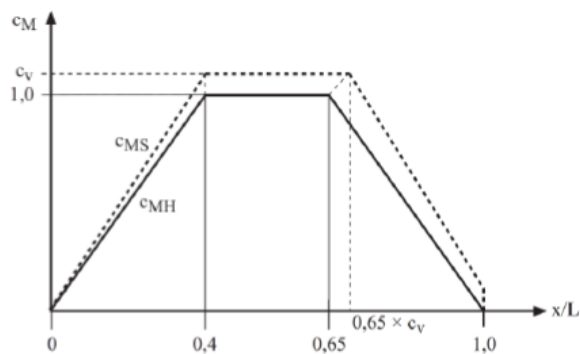
$$= \frac{1-\frac{X}{L}}{0.35} \quad \text{untuk } 0.65 < \frac{X}{L} \leq 1$$

C_{MS} = kondisi sagging

$$= C_v \cdot 2.5 \cdot \frac{X}{L} \quad \text{untuk } 0 \leq \frac{X}{L} < 0.4$$

$$= C_v \quad \text{untuk } 0.4 \leq \frac{X}{L} \leq 0.65 \cdot c_v$$

$$= C_v \cdot \frac{\frac{X}{L} - 0.65 \cdot c_v}{1 - 0.65 \cdot c_v} \quad \text{untuk } 0.65 \cdot c_v < \frac{X}{L} \leq 1$$



Gambar 2.7 Faktor Distribusi c_M dan Faktor Pengaruh c_v
(Sumber: BKI, 2016)

c_v = pengaruh yang berkaitan dengan kecepatan kapal v_0

$$= \sqrt[3]{\frac{v_0}{1.4 \cdot \sqrt{L}}} \geq 1.0 \quad \text{untuk } L \text{ tidak kurang dari } 100$$

= 1,0, untuk kondisi bocor.

2.6.2. Momen Puntir

Momen puntir ombak maksimum ditentukan sebagai berikut:

$$M_{WTmax} = \pm L \cdot B^2 \cdot C_B \cdot C_0 \cdot C_L \cdot [0,11 + \sqrt{a^2 + 0,012}] \quad (2.2)$$

$$a = \sqrt{\frac{T}{L}} \cdot \frac{C_N \cdot Z_Q}{B}$$

$$a_{min} = 0,1$$

$$C_N = \text{lihat } 1 + 0,15 \frac{L}{B}$$

$$C_{Nmin} = 2$$

$$Z_Q = \text{jarak antara pusat geser dan ketinggian pada } 0,2 \cdot \frac{B \cdot H}{T}$$

diatas dasar (m)

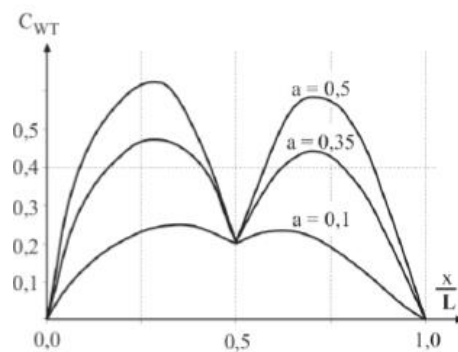
Bila dilakukan perhitungan langsung untuk momen puntir ombak, maka harus diambil kurva lengkung berikut:

$$M_{WT} = L \cdot B^2 \cdot C_B \cdot C_0 \cdot C_L \cdot C_{WT} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$C_{WT} = \text{faktor distribusi, lihat juga gambar 2.8}$$

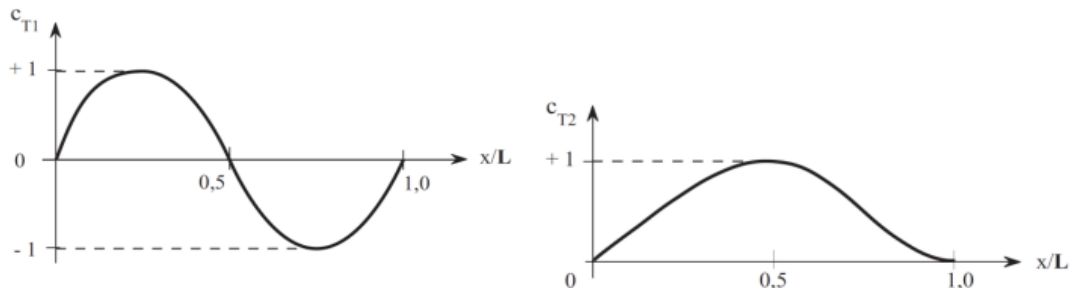
$$= [a \cdot |CT1| + 0,22 \cdot CT2] \cdot (0,9 + 0,08 \cdot a)$$

$$CT1, CT2 = \text{faktor distribusi, lihat juga gambar 2.9}$$



Gambar 2.8 Faktor Distribusi CWT

(Sumber: BKI, 2016)



Gambar 2.9 Faktor Distribusi c_{T1} dan c_{T2} Untuk Momen Puntir

(Sumber: BKI, 2016)

Catatan: lengkungan dapat diperkirakan dengan penggabungan kedua distribusi menurut gambar 2.9

2.6.3. Gaya Geser Ombak Vertikal

Gaya geser ombak vertikal ditentukan dengan rumus berikut:

$$QWV = c_0 \cdot c_L \cdot L \cdot B (CB + 0,7) c_Q \text{ [kN]} \quad (2.3)$$

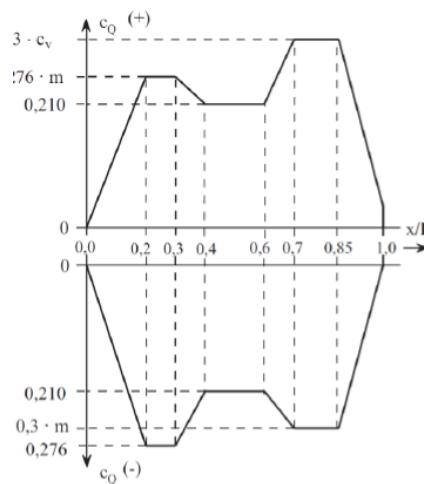
c_0, c_L = lihat 2.6.1. (momen gelombang vertikal)

c_Q = faktor distribusi, lihat tabel 2.2, lihat juga gambar 2.10

$$c_m = - \frac{c_{1H}}{c_{1S}}$$

c_{1H} = $0,19 \cdot CB$ kondisi hoging

c_{1S} = $-0,11 (CB + 0,7)$ kondisi saging



Gambar 2.10 Faktor Distribusi c_Q

(Sumber: BKI, 2016)

Daerah	Gaya geser positif	Gaya geser negatif
$0 \leq \frac{x}{L} < 0,2$	$1,38 \cdot m \frac{x}{L}$	$-1,38 \frac{x}{L}$
$0,2 \leq \frac{x}{L} < 0,3$	$0,276 \cdot m$	$-0,276$
$0,3 \leq \frac{x}{L} < 0,4$	$1,104 m - 0,63 + (2,1 - 2,76 m) \frac{x}{L}$	$-\left[0,474 - 0,66 \frac{x}{L}\right]$
$0,4 \leq \frac{x}{L} < 0,6$	$0,21$	$-0,21$
$0,6 \leq \frac{x}{L} < 0,7$	$(3 c_v - 2,1) \left(\frac{x}{L} - 0,6\right) + 0,21$	$-\left[1,47 - 1,8m + 3(m - 0,7) \frac{x}{L}\right]$
$0,7 \leq \frac{x}{L} < 0,85$	$0,3 \cdot c_v$	$-0,3 m$
$0,85 \leq \frac{x}{L} \leq 1,0$	$\frac{1}{3} \left[c_v \left(14 \frac{x}{L} - 11 \right) - 20 \frac{x}{L} + 17 \right]$	$-2 m \left[1 - \frac{x}{L} \right]$

Tabel 2.2 Faktor Distribusi c_Q

(Sumber: BKI, 2016)

2.7. Tegangan dan Regangan

Tegangan dan regangan adalah konsep yang penting dalam peninjauan baik kekuatan maupun kekakuan. Keduanya merupakan konsekuensi yang tidak dapat dipisahkan dari bekerjanya suatu beban terhadap suatu bahan struktur. Tegangan dapat dianggap sebagai suatu energi yang menahan beban, regangan adalah ukuran deformasi yang terjadi sebagai akibat tegangan.

2.7.1. Tegangan

Tegangan didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja per satuan luas. Ada dua tipe tegangan: tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal (σ) merupakan ukuran dari gaya normal atau gaya aksial per satuan luas. (Patnaik, 2004). Secara matematis definisi tersebut dapat ditulis sebagai:

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

Keterangan:

- σ = tegangan (N/mm^2)
- F = gaya yang bekerja atau beban (N)
- A = luas penampang (mm^2)

Tegangan lentur terjadi pada suatu elemen jika gaya luar menyebabkan momen lentur bekerja di penampangnya. Besarnya tegangan lentur bervariasi dalam setiap penampang. Besarnya tegangan lentur di suatu titik dalam elemen tergantung pada empat faktor, yaitu momen lentur pada penampang dimana titik itu berada, ukuran penampang, bentuk penampang dan tempat titik itu di dalam penampang.

$$\sigma = \frac{M}{w} \quad (2.5)$$

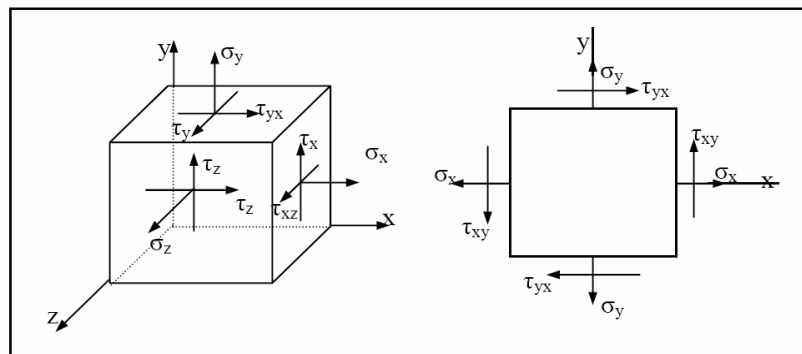
Dimana;

σ = Tegangan lentur (N/mm^2)

M = Momen lentur (Nmm)

w = Modulus penampang (mm^3)

Pada suatu bidang yang dikenali suatu gaya akan terdapat dua jenis tegangan yang mempengaruhi bidang tersebut, yaitu sebagaimana terlihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Tegangan yang Bekerja Pada Suatu Bidang

Keterangan:

σ_x = tegangan normal yang bekerja pada bidang x

σ_y = tegangan normal yang bekerja pada bidang y

σ_z = tegangan normal yang bekerja pada bidang z

τ_{xy} = tegangan geser yang bekerja pada bidang normal x dalam arah y

τ_{xz} = tegangan geser yang bekerja pada bidang normal x dalam arah z

τ_{yx} = tegangan geser yang bekerja pada bidang normal y dalam arah x

τ_{yz} = tegangan geser yang bekerja pada bidang normal y dalam arah z

Adapun persamaan tegangan normal untuk untuk bidang tiga dimensi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\varepsilon_x(1-\nu) + \nu(\varepsilon_y + \varepsilon_{zy})] \\ \sigma_y &= \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\varepsilon_y(1-\nu) + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_z)] \\ \sigma_z &= \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\varepsilon_z(1-\nu) + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_y)]\end{aligned}\quad (2.6)$$

Analisis perangkat lunak elemen hingga biasanya memiliki kelebihan untuk dapat menghasilkan nilai tegangan *von Mises* atau tegangan ekuivalen, yakni jenis tegangan yang mengakibatkan kegagalan pada struktur material yang dirumuskan oleh penemunya yang bernama *von Mises*. Untuk menentukan tegangan *von Mises* terlebih dahulu dihitung tegangan utama yang bekerja pada struktur dengan persamaan (2.6) diatas, Setelah tegangan-tegangan utama ditemukan maka tegangan *von Mises* bisa didapat dengan persamaan: (Patnaik, 2004)

$$\sigma = \left\{ \frac{[\sigma_1 - \sigma_2]^2 + [\sigma_2 - \sigma_3]^2 + [\sigma_3 - \sigma_1]^2}{2} \right\}^{1/2} \quad (2.7)$$

Komponen lain dari intensitas gaya yang bekerja sejajar dengan bidang dari luas elemen adalah seperti pada gambar (2.11) di atas adalah tegangan geser yang dilambangkan dengan τ , yang secara matematis didefinisikan sebagai:

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2.8)$$

Keterangan:

τ = tegangan geser (N/m²)

V = komponen gaya yang sejajar dengan bidang elementer (N)

A = luas bidang (m²)

Adapun persamaan tegangan geser untuk persoalan tiga dimensi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\tau_{xy} &= \frac{E}{2(1+\nu)}\gamma_{xy} = G\cdot\gamma_{xy} \\ \tau_{xz} &= \frac{E}{2(1+\nu)}\gamma_{xz} = G\cdot\gamma_{xz} \\ \tau_{yz} &= \frac{E}{2(1+\nu)}\gamma_{yz} = G\cdot\gamma_{yz}\end{aligned}\tag{2.9}$$

2.7.2. Regangan

Regangan dinyatakan sebagai pertambahan panjang per satuan panjang. Hukum Hooke menyatakan bahwa dalam batas-batas tertentu, tegangan pada suatu bahan adalah berbanding lurus dengan regangan. Regangan dapat ditulis sebagai:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}\tag{2.10}$$

Keterangan:

- ε = regangan
- ΔL = pertambahan panjang total (m)
- L = panjang mula – mula (m)

Hubungan regangan – perpindahan secara umum didefinisikan: (Gross, 2011)

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad ; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \quad ; \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}\tag{2.11}$$

2.8. Tegangan Izin

Tegangan izin adalah tegangan tertinggi yang diizinkan dalam suatu konstruksi atau dapat dikatakan sebagai tegangan maksimum yang terjadi dalam suatu konstruksi yang tidak diperkenankan untuk dilampaui. Secara khusus tegangan izin ditentukan oleh BKI (2016), bahwa tegangan izin yang bekerja tidak boleh melewati:

$$\text{Tegangan} = \frac{150}{k} \text{ [N/mm}^2\text{]}; \text{ dengan } k = \text{faktor baja}$$

Baja struktur lambung adalah baja yang mempunyai nominal nilai luluh atas minimal (*yield point*) R_{EH} 235 N/m² dan kekuatan tarik (*tensile strength*) R_m 400 – 520 N/m² (BKI, 2014). Tegangan izin kayu jati yaitu 12.75 MPa atau 12.75 N/mm² (Rachman, dkk, 2012). Tegangan izin BKI pada plat standar A36 adalah 150 N/mm² (Jauhari, 2018).

2.9.Sifat Kayu dan Baja

2.9.1. Sifat Kayu

Sifat-sifat kayu yang penting sehubungan dengan penggunaannya meliputi sifat fisik, sifat mekanik, sifat kimia dan keawetan alami. Sifat kayu yang erat kaitannya dengan kekuatan kayu adalah sifat mekanik kayu. Kekuatan dan ketahanan terhadap perubahan bentuk suatu bahan disebut sebagai sifat-sifat mekaniknya (Haygreen dan Bowyer, 1993 dalam Damanik, 2005). Menurut Damanik (2005) sifat-sifat mekanik kayu yang penting diketahui kaitannya dengan kekuatan kayu, yaitu salah satunya adalah modulus elastisitas (MOE) sejajar serat (modulus young) yaitu ukuran ketahanan terhadap pemanjangan atau pemendekan suatu contoh uji di bawah tarikan atau tekanan.

2.9.2. Kelas Kekuatan Kayu

Di dalam Vademecum Kehutanan Indonesia dalam Damanik (2005), kelas kekuatan kayu didasarkan pada berat jenis, keteguhan lengkung mutlak (Klm) dan keteguhan tekan mutlak (Ktm), dan dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Kelas Kekuatan Kayu

Kelas Kayu	Berat Jenis	K _{lm} (kg/cm ²)	K _{tm} (kg/cm ²)
I	0,90	1.1	650
II	0,60 - <0,90	725 - <1.100	425 - <650
III	0,40 - <0,60	500 - <725	300 - <425
IV	0,30 - <0,40	300 - <500	215 - <300
V	<0,30	<300	<215

Sumber: Damanik, 2005

2.9.3. Baja

Berdasarkan pada peraturan konstruksi kapal kayu BKI (1996), seluruh bagian konstruksi dari logam antara lain lapisan kulit kapal, paku sekerup, mur, baut, paku keling, dan lain-lain, harus tahan air laut, atau bila dibuat dari baja, harus disepuh seng atau dengan cara lain yang memadai. Bahan dari bagian-bagian konstruksi dari logam ini harus memenuhi peraturan BKI tentang bahan. Dalam memilih bahan untuk bagian-bagian konstruksi dari logam yang mungkin terkena air laut atau cuaca, harus diperhatikan agar korosi karena pengaruh eletro kimia bisa dihindarkan.

Menurut BKI (2011), 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.

2.10. Metode Elemen Hingga / *Finite Element Method (FEM)*

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala phisis. Tipe masalah teknik dan matematis phisis yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga yaitu analisis struktur dan non struktur. Tipe permasalahan analisis struktur meliputi analisis tegangan, buckling dan analisis getaran sedangkan non struktur meliputi perpindahan panas dan massa, mekanika fluida, dan distribusi potensial listrik dan magnet (Susatio, 2004). Tipe-

tipe permasalahan struktur meliputi: (1) analisa tegangan/stress yang meliputi analisa truss dan frame serta masalah-masalah yang berhubungan dengan tegangan-tegangan yang terkonsentrasi, (2) buckling, (3) analisa getaran. Penyelesaian analisis dari suatu persamaan diferensial suatu geometri yang kompleks, pembebanan yang rumit, tidak mudah diperoleh, formulasi dari metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini (Susatio, 2004).

2.10.1. ANSYS

ANSYS adalah salah satu software yang digunakan untuk menganalisis berbagai macam struktur, aliran fluida, dan perpindahan panas dari software analisis yang lain yaitu NASTRAN, CATIA, Fluent dan yang lain (Pinem, 2013). Secara umum penyelesaian elemen hingga menggunakan ANSYS 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 tahap postprocessing dapat dilihat (i) daftar displacement nodal, (ii) elemen gaya dan momen, (iii) defleksi bidang dan (iv) stress contour diagrams atau temperature maps.