

# Studi Teknis Dan Ekonomis Dimensi Konstruksi Kapal Kayu Berdasarkan BKI

Bagus Kusuma Aditya<sup>1)</sup>, Heri Supomo<sup>2)</sup>, Buana Ma'ruf<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Teknik Produksi dan Material Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111  
Email: [baguskusumaaditya@gmail.com](mailto:baguskusumaaditya@gmail.com)

<sup>2)</sup> Balai Teknologi Hidrodinamika, Jl. Hidrodinamika BPPT, Kompleks ITS, Sukolilo, 60111

<sup>3)</sup> Balai Teknologi Hidrodinamika, Jl. Hidrodinamika BPPT, Kompleks ITS, Sukolilo, 60111

## Abstract

Wooden ships are one of the non-steel ships that are widely available in Indonesian waters, which are built using conventional methods. In this study, a survey was conducted to determine the dimensions of the construction elements on the ship's kasko from the keel to the main deck, the price of wood materials and the construction process using interview and observation methods. Existing ship data is analyzed according to the 1996 BKI Rule on wooden ships to determine the level of comparison for each element of ship construction. Existing ship construction data based on regulatory analysis is modeled to get the optimum reductions of construction dimensions. Based on the results of the technical and economic analysis of the three vessels, it is known that the two existing ships have heavier construction than the calculation according to the BKI Rule. This is influenced by differences in ivory spacing, deck beam distance, outer shell thickness and deck thickness. The size of the construction dimensions is proportional to its economic value. Therefore, to determine the optimum level of reduction in construction dimensions, structural modeling is used. In the modeling that is done, it is found that the value of the reduction in construction dimensions is 10%, 20%, 30% and 40%. This reduction was carried out because the magnitude of the stress of the three ships according to the BKI Rule was still far below the limit allowed according to DIN 68364. According to the results, the recommendation for the reduction in construction dimensions is up to 30%. The 40% reductions were not recommended because the stress value were closed to the stress limit. The allowable stress is 115 MPa. Based on the data, it can be conclude that the economic value also can be reduced up to 30%.

**Keywords:** Construction Dimensions; Wooden Ships; Structural Modeling; BKI Rules (1996)

## Abstrak

Kapal kayu merupakan salah satu kapal non baja yang banyak terdapat di wilayah perairan Indonesia yang dibangun dengan metode konvensional. Dalam penelitian ini dilakukan survey untuk mengetahui dimensi elemen konstruksi pada kasko kapal dari lunas sampai dengan geladak utama, harga material kayu dan proses pembangunan dengan metode wawancara dan pengamatan. Data kapal *Existing* selanjutnya dianalisis dimensinya sesuai *Rule* BKI 1996 tentang kapal kayu guna mengetahui tingkat komparasi tiap elemen konstruksi kapal. Data konstruksi kapal *Existing* dan kapal secara analisis regulasi selanjutnya akan dimodelkan untuk bisa mendapatkan nilai pengurangan dimensi konstruksi yang lebih optimum. Dari hasil analisis teknis dan ekonomis tiga kapal, diketahui bahwa untuk dua kapal *Existing* memiliki konstruksi lebih berat dibandingkan dengan perhitungan menurut *Rule* BKI. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan jarak gading, jarak balok geladak, tebal pelat kulit luar serta tebal geladak. Besarnya dimensi konstruksi sebanding dengan nilai ekonomisnya. Maka dari itu, untuk mengetahui besaran tingkat pengurangan dimensi konstruksi secara optimum digunakan pemodelan struktur. Dalam pemodelan yang dilakukan didapatkan nilai pengurangan dimensi konstruksi sebesar 10%, 20%, 30% dan 40%. Pengurangan ini dilakukan karena besarnya tegangan ketiga kapal secara *Rule* BKI masih jauh di bawah batas yang diizinkan menurut DIN 68364. Dari hasil pengurangan dapat direkomendasikan pengurangan dimensi konstruksi hanya sampai dengan 30%, sedangkan untuk pengurangan 40% tidak direkomendasikan karena nilai tegangan sudah mendekati batas tegangan yang diijinkan yaitu sebesar 115 N/mm<sup>2</sup>. Sehingga, nilai ekonomis yang mampu direduksi juga sampai 30%.

**Kata Kunci:** Dimensi Konstruksi; Kapal kayu; Pemodelan Struktur; *Rules* BKI (1996).

## PENDAHULUAN

Regulasi terkait pembangunan kapal pada umumnya diatur oleh pemerintah serta mengacu pada perhitungan-perhitungan konstruksi secara nasional maupun internasional. Regulasi pembangunan kapal secara umum diatur dan diawasi pembangunannya oleh sebuah badan resmi yaitu badan klasifikasi atau biro klasifikasi. Kegiatan klasifikasi merupakan kegiatan penggolongan kapal berdasarkan konstruksi lambung, mesin, dan listrik kapal dengan tujuan memberikan salah satu penilaian laik laut kapal untuk berlayar. Setiap negara memiliki badan klasifikasi sendiri, semisal negara Jepang memiliki badan

klasifikasi *Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK)*, negara Norwegia memiliki biro klasifikasi *Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd (DNV GL)*, negara Amerika memiliki biro klasifikasi *American Bureau of Shipping (ABS)* serta negara Indonesia memiliki biro klasifikasi yaitu Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

Secara umum, saat ini peraturan yang ada mengakomodir kapal-kapal berbahan metal yang memiliki regulasi yang cukup kompleks dan mendetail mengingat akan kebutuhan kekuatan dan keselamatan yang lebih dalam beroperasi, karena kapal berbahan metal biasanya digunakan untuk pelayaran samudera (*ocean going*).

Selain itu, untuk kapal-kapal berbahan non metal, tersedia panduan aturan yang disediakan oleh biro klasifikasi, namun regulasi akan penggunaan material non metal sebagai konstruksi utama kapal kurang mendetail dan jelas, termasuk regulasi akan kapal berbahan kayu. Regulasi terkait kapal berbahan kayu kurang mendapat perhatian lebih dari beberapa pihak untuk mereview isi dari regulasi. Pada peraturan yang dikeluarkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia, peraturan akan penggunaan kayu sebagai konstruksi kapal merupakan aturan yang dibuat pada tahun 1996, yaitu Buku Peraturan Klasifikasi dan Konstruksi Kapal Laut, Peraturan Kapal Kayu 1996, dan hingga saat ini belum ada edisi yang terbaru untuk digunakan.

Kapal kayu yang terdapat di Indonesia kebanyakan digunakan sebagai kapal penangkap ikan dan kapal angkut muatan dengan skala kecil. Dalam proses pembangunan kapal kayu yang ada di galangan-galangan kapal kecil di Indonesia, masih banyak menggunakan teknologi tradisional dan menggunakan perhitungan konstruksi yang turun menurun dari nenek moyang. Pembangunan kapal kayu erat dengan aspek kearifan lokal, sehingga banyak kita dapati setiap kapal kayu yang ada di lautan Indonesia memiliki bentuk dan ukuran konstruksi yang berbeda-beda, dan biasanya memberikan ciri khas asal dari daerah nelayan tersebut. Kapal kayu yang ada saat ini banyak digunakan, cenderung terlihat memiliki konstruksi kayu yang berukuran besar, terlihat kokoh dan cukup berat. Hal ini terlihat dari dimensi konstruksi yang digunakan yaitu menggunakan jenis balok-balok berbahan kayu yang cukup besar, tebal kulit kayu yang besar pula. Dimensi yang cukup besar ini bisa terlihat pada gambar 1 yang menampilkan ukuran dari konstruksi kapal kayu. Ukuran konstruksi yang cukup besar ini tentunya akan membuat volume muatan dari kapal menjadi sangat minim dan terbatas, selain itu juga membuat *displacement* kapal menjadi besar.



Gambar 1 Konstruksi Gading dan Ukuran Balok Kayu  
Sumber: Widodo (1998)

Dalam gambar 1 tersebut bisa terlihat ukuran gading-gading dari kapal serta proses pembuatan lunas kapal menggunakan bahan kayu dengan dimensi yang cukup besar dan berat, sehingga bisa diasumsikan bahwa tingkat kekuatan dari kapal akan menjadi terlalu kuat dan terlalu kokoh. Selain itu hal ini akan menyebabkan berat kapal menjadi besar dan menurunkan kapasitas muat dari kapal itu sendiri. Dengan asumsi yang ada tersebut secara tidak langsung mempengaruhi jumlah muatan yang bisa diangkut oleh kapal kayu cenderung lebih kecil dibandingkan dengan kapal berbahan metal yang memiliki ukuran utama kapal yang mirip. Hal ini secara fungsi, tentunya kapal kayu tidak bisa dikatakan optimal untuk

proses distribusi/angkutan dari satu tempat ke tempat lainnya. Maka dari itu, penulis melakukan penelitian dengan mengangkat permasalahan dengan judul “Studi Teknis Dan Ekonomis Dimensi Konstruksi Kapal Kayu Berdasarkan BKI”, dengan menggunakan aturan BKI Peraturan Kapal Kayu tahun 1996.

Pemilihan jenis material kayu untuk keperluan pembuatan kapal kayu harus didasarkan pada sifat atau karakteristik dari kayu yang akan digunakan. Dalam suatu teori menyatakan bahwa terdapat beberapa pertimbangan-pertimbangan prinsip yang harus diperhatikan dalam pemilihan kayu yang meliputi kekuatan, daya tahan, dan ketersediaan dalam hal mutu, jumlah dan ukuran yang diinginkan (Fyson & FAO, 1985). Material kayu harus memiliki kekuatan yang tinggi dan tahan terhadap air laut serta serangan organisme laut. Dilihat dari proses pengerjaannya, pembangunan kapal dengan material kayu cenderung lebih mudah dibandingkan dengan bahan lain dan tidak membutuhkan tingkat teknologi yang cukup tinggi, dan potensi penggunaan bahan kayu sebagai konstruksi utama kapal yaitu masih banyaknya hutan produksi di Indonesia yang bisa digunakan hasil kayunya untuk konstruksi kapal. Dan disisi lain, pengerjaan konstruksi kapal dengan berbahan kayu relatif lebih mudah, sehingga potensi pengembangan usaha menengah bagi masyarakat terbuka lebar. Hal ini adalah salah satu alasan yang menjadikan kayu lebih unggul untuk digunakan sebagai material kapal dibandingkan dengan bahan lain untuk pembangunan kapal.

### Kapal Kayu

Kapal kayu adalah salah satu dari sekian banyak jenis kapal yang ada dimana kapal kayu merupakan kapal yang sebagian maupun secara keseluruhan baik dari lambung (*shell*), geladak (*deck*), serta konstruksi dan beberapa komponennya berbahan kayu yang terhubung dengan pengeleman, pembautan ataupun pemasakan. Metode atau cara pembangunan pada kapal kayu biasanya dibuat dengan metode blok utuh, yang artinya kapal tidak dibangun secara bagian per bagian, dan kapal dibangun secara utuh, dimana tahap awal yaitu pemasangan lunas, gading, bracket kemudian pemasangan stringer, setelah itu pemasangan kulit lambung, selanjutnya pemasangan balok geladak, dan pemasangan konstruksi untuk bangunan atas kapal. Metode pembangunan ini dipilih dikarenakan bahwa proses penyambungan komponen antar kayu yang tidak mudah dan menjadi tahapan yang tidak mudah dalam proses pembangunannya serta tingkat kekuatan sambungan akan menjadi tuntutan utama bagi galangan pembangun, sehingga pembangunan kapal secara utuh masih banyak digunakan oleh galangan kapal kayu.

Karakteristik dari pembangunan kapal kayu yang terdapat di Indonesia diantaranya adalah bahwa kapal dibangun tanpa adanya perencanaan yang matang dan dibuat berdasarkan keahlian turun temurun. Setiap daerah memiliki ciri khas yang berbeda dibandingkan dengan daerah lainnya, mulai dari bentuk lambung dan ukuran konstruksinya pun berbeda. Selain itu, pemilihan material untuk kapal kayu akan menyesuaikan dengan jenis kayu yang banyak terdapat pada daerah produsen kapal kayu

berada. Transformasi pembangunan kapal kayu di Indonesia bisa dilihat pada gambar 2



Gambar 2 Transformasi Pembangunan Kapal Kayu  
Sumber: Nugroho & Widodo (1998)

Di Indonesia, kapal berbahan kayu banyak ditemui pada pesisir pantai di seluruh Indonesia dan daerah sungai pedalaman, tetapi ada pula kapal berbahan kayu yang juga ditemui untuk pelayaran antar pulau meskipun jumlahnya yang tidak begitu banyak. Jenis kapal berbahan kayu yang banyak ditemui ini diantaranya berjenis:

- Kapal ikan berbahan kayu;
- Kapal pelayaran rakyat;
- Kapal wisata;
- Kapal penyeberangan sungai.

### Rules BKI (1996) Tentang Kapal Kayu

Selain peraturan tentang kapal baja, kapal *Aluminium* dan kapal FRP, Biro Klasifikasi Indonesia yang merupakan *regulator* bagi pembangunan kapal di Indonesia juga mengeluarkan peraturan terkait kapal kayu. Dimana dalam peraturan ini membahas tentang aturan umum seperti Konstruksi, Instalasi Mesin, Instalasi Listrik serta bentuk perencanaan dari kapal kayu. Peraturan tentang kayu yang digunakan pada pembangunan kapal kayu di Indonesia menurut Biro Klasifikasi Indonesia dijabarkan pada beberapa terbitan diantaranya, Biro Klasifikasi Indonesia-Peraturan Untuk Material-Non Metal (Bagian 2-Kayu / 2006) dan Biro Klasifikasi Indonesia-Peraturan Kapal Kayu (1996)

Selain persyaratan tentang berat jenis dari kayu yang akan digunakan, Biro Klasifikasi Indonesia secara umum dalam regulasi yang dikeluarkannya menentukan besaran dari konstruksi kapal kayu hanya didasarkan pada angka penunjuk yang terlihat pada tabel angka penunjuk dari kapal yang merupakan fungsi dari ukuran Utama kapal. Sehingga dalam penentuan dimensi konstruksi kapal kayu yang dibangun nantinya akan mengacu pada nilai L (panjang), B (lebar), dan H (tinggi) kapal dan menyesuaikannya dengan nilai angka penunjuk yang ada di tabel yang sudah disediakan. Untuk nilai yang berada diantara nilai yang ada, maka perlu dilakukan interpolasi untuk mendapatkan besaran dimensi konstruksi kapal.

### Metode Produksi Kapal Kayu

Dalam proses produksi atau proses pembangunan kapal kayu, besarnya biaya produksi sangatlah penting mengingat sebagian besar kapal kayu ini diproduksi oleh kalangan menengah kebawah yang memiliki keterbatasan

dalam hal finansial. Para pemesan kapal kayu pun sebagian besar tergolong perusahaan atau perorangan yang sangat mengutamakan harga dari kapal. Hal yang mempengaruhi biaya produksi kapal kayu antara lain harga material kayu yang akan digunakan yaitu banyaknya *raw* material yang akan dipakai serta upah pekerja yang kebanyakan adalah pekerja dengan kemampuan khusus. Oleh karenanya pengaruh perubahan harga material kayu yang merupakan fungsi dari volume kayu dan upah pekerja terhadap biaya produksi harus diketahui atau bahkan direncanakan dengan matang. Disisi lain perencanaan akan pemakaian bahan kayu juga harus diperhitungkan dengan matang, karena setiap kayu di daerah memiliki ciri khas yang tersendiri dan membutuhkan perlakuan khusus ketika akan digunakan sebagai bahan konstruksi kapal.

Metode yang digunakan dalam menghitung volume kayu terpasang adalah dengan suatu bentuk perencanaan serta kalkulasi tiap komponen kapal ditambahkan dengan besarnya upah pekerja sehingga menjadi nilai pokok dalam suatu proses produksi kapal. Diharapkan nantinya dengan hasil kalkulasi yang ada mampu menunjukkan sensitivitas biaya produksi terhadap harga kayu dan terhadap upah pekerja semakin kecil seiring semakin besarnya ukuran kapal serta prospek ke depan semakin kurang baik seiring semakin besarnya ukuran kapal kayu apabila tidak diimbangi oleh daya beli pasar.

Proses produksi kapal kayu memiliki beberapa tahapan yang secara umum hampir sama dalam pembangunan kapal berbahan metal. Dalam pembuatan kapal kayu ini ada beberapa tahapan yaitu;

- Adanya *owner* (pemesan kapal);
- Perencanaan gambar;
- Persiapan;
- Pembuatan komponen utama kapal;
- Assembly* (penggabungan);
- Sistim permesinan;
- Sistim kelistrikan;
- Sistim bahan bakar minyak dan perpipaan;
- Akomodasi dan *out fitting*;
- Finishing*;
- Launcing and sea trial*.

Kapal kayu yang ada di Indonesia pada umumnya adalah kapal kayu penangkap ikan yang banyak diproduksi secara konvensional di daerah pesisir pantai. Pembangunan kapal kayu ini sangat minim teknologi dan hanya didasarkan pada keahlian dan pengalaman para pengrajin kayu. Dengan berbekal peralatan perkayuan sederhana, mereka melakukan proses produksi kapal kayu dengan menggunakan material yang banyak dan umum didaerah pengrajin itu sendiri. Pada proses pembangunan kapal kayu, setiap konstruksi kapal kayu secara umum memiliki jenis kayu yang berbeda seperti pada konstruksi lunas menggunakan kayu jati, ulin kapur, untuk konstruksi gading menggunakan kayu jati, bengkirai, bungur, untuk konstruksi senta menggunakan kayu bengkirai, bungur kapur, dan penggunaan untuk kulit lambung kapal biasanya menggunakan kayu bengkirai, bungur, meranti serta pada bangunan atas kapal biasanya menggunakan kayu meranti, kapur dan bengkirai. Penggunaan kayu

sebagai konstruksi kapal juga memperhatikan kesediaan jenis kayu yang ada di daerah tempat pembuatan kapal.

**Nilai Ekonomis Kapal Kayu**

Menurut Islahuzzaman, 2012 “ Harga pokok produksi adalah biaya manufaktur yang berkaitan dengan barang-barang yang diselesaikan dalam periode tertentu”. Kapal kayu pada umumnya dibuat berdasarkan pesanan dengan tujuan bisnis/usaha dari suatu badan atau perorangan.. Selain itu diharapkan bahwa kapal dalam operasionalnya harus dibuat dengan biaya yang murah untuk menekan biaya dalam usaha serta memberikan nilai balik modal dengan cepat.

Komponen biaya dalam pembangunan kapal kayu ini secara umum meliputi beberapa biaya diantaranya:

- Biaya Perencanaan;
- Biaya Material Kayu dan Material Penunjang;
- Biaya Permesinan;
- Biaya Kelistrikan dan sumber daya;
- Biaya Perlengkapan Navigasi dan Komunikasi;
- Biaya Surat dan Perijinan;
- Biaya Lain-lain dan *Overhead*.

Dari beberapa jenis biaya tersebut diatas bahwa nilai investasi/produksi terbesar dalam pembangunan kapal kayu adalah pada material kayu dan biaya permesinan.

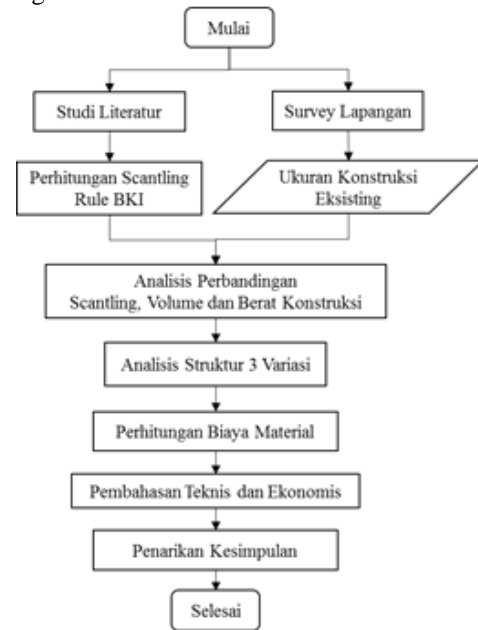
**Pemodelan Struktur dengan *Finite Elemen Method (FEM)***

Permodelan *Finite Element Analysis* untuk kekuatan batas kapal *hull girder* meliputi properti material, tipe elemen, ukuran *mesh*, panjang model dan kondisi batas. Kemudian pengaruh tegangan sisa pengelasan dan defleksi awal. Secara potensial, hasil yang paling akurat mengenai penilaian *ultimate strength* dapat diperoleh dengan menggunakan analisis *Non Linier Finite Elemen Method (NLFEM)* dari keseluruhan model struktural yang didiskritkan, yang memungkinkan simulasi dan evaluasi respon struktural non-linier untuk berbagai tingkat pembebanan. Namun, kualitas hasil yang diperoleh sangat bergantung pada kepatutan teknik idealisasi struktural yang digunakan (geometri, sifat material, ketidaksempurnaan struktural awal); kesetiaan diskritisasi (digunakan jenis elemen hingga, kepadatan mesh); dan sejauh mana model yang dianalisis (model struktural lengkap atau parsial). Secara umum, dapat disimpulkan bahwa sejumlah besar waktu, pengetahuan dan pengalaman masih diperlukan untuk menyelesaikan seluruh prosedur analisis NLFEM secara sukses (terutama untuk pra/pasca pemrosesan). Oleh karena itu, pemanfaatan NLFEM dalam praktik analisis kekuatan *ultimate girder* lambung saat ini sebagian besar dikurangi menjadi analisis model parsial untuk tujuan verifikasi metode analisis alternatif, atau untuk analisis langka dari model lengkap dan terperinci untuk merekonstruksi keadaan dan mengidentifikasi sebab-sebab keruntuhan struktural yang nyata terjadi selama eksploitasi strukturstruktur tertentu. Di sisi lain, analisis NLFEM sering digunakan untuk derivasi dan verifikasi berbagai formulasi sederhana dari respons elasto-plastik dari komponen struktural yang dikenakan dengan berbagai

jenis muatan murni atau gabungan (Kitarovic & Zanic, 2014).

**METODE PENELITIAN**

Dalam penelitian ini berikut digambarkan skema diagram alir, sebagai berikut :



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

**PEMBAHASAN**

**Hasil Survey Kapal Eksisting**

Penelitian ini dilaksanakan pada kapal kayu yang telah dibangun oleh nelayan tradisional di pesisir pantai. Secara umum metode pembangunan kapal yang mereka laksanakan adalah dengan metode konvensional. Studi lapangan/survei dalam penelitian ini dilakukan dengan pengambilan sampel pada kapal yang sedang dibangun dan hampir selesai pada galangan berikut:

- Galangan Kapal H. Muhammad Ali – Kapal Kota Baru II (Mayangan – Probolinggo);
- Galangan Kapal Bapak Abu – Kapal King Anugerah (Mayangan – Probolinggo);
- Galangan Kapal Bapak Taufik – Kapal Titipan Ilahi (Paciran – Lamongan).

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

Item	Kapal A [m]	Kapal B [m]	Kapal C [m]
Panjang	16,40	16,00	16,50
Lebar	05,50	05,50	06,00
Tinggi	02,10	01,60	01,40
Sarat	01,00	01,00	08,00

Tabel 1 adalah rincian data kapal kayu dari masing-masing galangan kapal yang penulis teliti yaitu Kota Baru II (Kapal A), King Anugerah (Kapal B), dan Titipan Ilahi (Kapal C). Ketiga kapal kayu menggunakan jenis kayu jati lokal dengan harga Rp. 12.000.000 per meter kubik untuk daerah Probolinggo dan Rp. 10.000.000 per m<sup>3</sup> untuk daerah Lamongan.

### Analisis Perbandingan Ukuran Konstruksi Kapal Existing dan Menurut Perhitungan Secara Rules BKI (1996)

Dari hasil yang didapat baik berdasarkan survey maupun rules BKI terdapat perbedaan ukuran konstruksi yang cukup signifikan, di mana perbedaan tersebut tentu memiliki pengaruh, salah satunya adalah pengaruh terhadap berat kapal itu sendiri.

Adapun perbandingan ukuran dan volume konstruksi antara kapal Existing dan berdasarkan penentuan dimensi secara Rule BKI 1996 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Perbandingan Ukuran dan Volume Konstruksi

Member konstruksi	Kapal A [%]		Kapal B [%]		Kapal C [%]	
	Web	Face	Web	Face	Web	Face
Lunas	+166	+108,6	+142,8	0	+148,5	+118,18
Linggi Haluan	+24	-29,5	+10	-47,2	+48,6	-32,5
Linggi Buritan	+12	-43,2	-2,5	-66,7	+41,4	-50
Gading	+28	-55	-5,83	-2,5	+29,4	-36,7
Wrang	+20	-32,9	+26,7	-36,7	+45	-173,3
Galar	-106,7	-6,7	-55,6	+27,5	-20,5	-3,3
Balok Kim	-63,3	+6,7	-27,8	-10	-4,5	+8,3
Lutut Balok Geladak	-80	+18,3	-44,4	+8	-18,18	+23,3
Balok Geladak	+52	-180	+42,5	-37,5	-15	+8,3
Penegar	+60	+37,5	+46,7	0	+60	+58,3
Jarak Gading	+7,5		-13,4		+43,3	
Pelat Kulit Luar	-2,5		+24		+5	
Jarak Balok Geladak	+10		+9,3		+43,3	
Tebal Geladak	-60		+8		-53,3	
Tebal Sekat	0		-14,29		+20	
Volume	-7,5		+11,2		-9,1	

### Analisis Perbandingan Biaya Material Kayu berdasarkan Volume Kayu Terpasang antara kapal Existing dan Kapal Sesuai Analisis Rules BKI 1996

Biaya material kayu yang terpasang dihitung berdasarkan volume masing-masing komponen konstruksi dan dikalikan dengan harga kayu dalam satuan meter kubik. Berdasarkan data tersebut diatas, maka berikut tabel Resume Biaya material kayu terpasang pada kapal.

Tabel 3. Biaya Material

Kapal	Biaya [rupiah dalam ribuan]	
	Kondisi Eksisting	Rule BKI
Kapal A	300.240	322.800
Kapal B	295.800	263.040
Kapal C	214.100	233.500

Dari hasil tersebut di atas, ada perbedaan dari biaya hasil perhitungan menggunakan rule BKI dan dari kondisi eksisting. Kapal A dan C menunjukkan biaya material terpasang yang lebih besar apabila dihitung menggunakan rule BKI, namun Kapal B memiliki kondisi sebaliknya. Dari hasil perbandingan biaya sesuai rule BKI terhadap biaya kondisi eksisting, ketiga kapal memiliki selisih yaitu 7.5%, 11.07%, dan 9.06%, secara berurutan. Kapal B memiliki perbedaan yang paling besar diantara ketiganya.

### Pemodelan dan Analisis Struktur

Pemodelan yang dimaksud pada bab ini adalah pemodelan Finite Elemen menggunakan software ANSYS APDL versi 18.2. Finite Elemen ini mewakili semua karakter dan spesifikasi yang dimiliki oleh struktur, meliputi hal-hal sebagai berikut:

Jenis Material	= Orthotropic
Berat jenis, $\gamma$	= 520 kg/m <sup>3</sup>
Modulus Elongation- sumbu X	= 70,1.10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup>
Modulus Elongation- sumbu Y	= 68,7.10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup>
Modulus Elongation- sumbu Z	= 66,4.10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup>
Shear Force-sumbu X	= 97 kg/cm <sup>2</sup>
Shear Force-sumbu Y	= 111 kg/cm <sup>2</sup>
Shear Force-sumbu Z	= 97 kg/cm <sup>2</sup>
Poisson rasion	= 0.2

Proses pemodelan finite element dilakukan menjadi beberapa tahapan, yaitu:

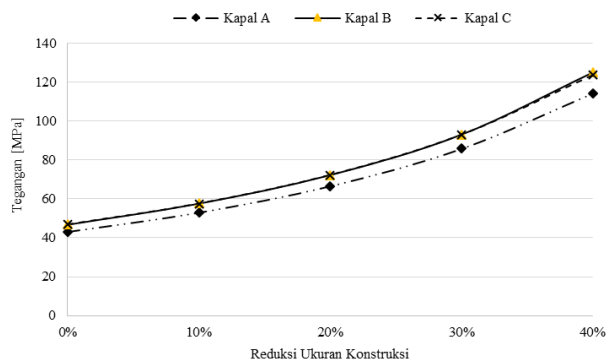
1. Buat pemodelan untuk struktur utama dan lambung.
2. Masukkan konstrain pada model finite elemennya. Tinjauan konstrain yang dipergunakan dalam analisis ini adalah sebagai berikut:
  - a. Side hull dikonstrains seperti tumpuan sederhana, di mana side hull dikonstrains untuk tidak bergerak ke arah translasi sumbu Z dan rotasi sumbu Z.
  - b. Bottom dalam kondisi bebas.
  - c. Kulit sisi atas dikonstrains tidak bergerak semua arah.
3. Beban/gaya luar yang bekerja pada struktur ditentukan oleh besarnya tekanan air yang bekerja pada lambung kapal kayu dan beban dari geladak kapal sebagai Eksternal Load.
4. Lakukan running dengan ANSYS APDL

### Hasil Running Analisis Struktur (Teknis)

Dari hasil rekapitulasi perhitungannya didapatkan bahwa Kapal Kota Baru II memiliki tegangan eksisting sebesar 22.25 MPa, sedangkan tegangan berdasarkan BKI sebesar 8.6 MPa. Berbeda dengan Kapal King Anugerah, yaitu dengan tegangan eksisting sebesar 16.63 MPa dan tegangan menurut BKI sebesar 20.14 MPa. Kapal ketiga yaitu Kapal Titipan Ilahi, memiliki tegangan eksisting 89.68 MPa dan berdasarkan BKI sebesar 46.69 MPa. Secara keseluruhan, semua tegangan kapal tersebut masih dibawah batas maksimal yang disyaratkan oleh DIN 68364 yaitu 115 MPa.

### Analisis Hasil dan Rekomendasi Dimensi Konstruksi Kapal Kayu berdasarkan Analisis Struktur

Dari hasil analisis tegangan pada ketiga kapal, kemudian pada tahapan berikutnya dilakukan asumsi dengan pengurangan ukuran material untuk mengetahui optimum kekuatan kapal yang masih dalam tegangan yang diijinkan, dengan ukuran material yang ringan/tidak terlalu besar. Berikut adalah hasil dari variasi pengurangan ukuran terhadap tegangan yang dihasilkan.



Gambar 4. Tegangan Aktual pada variasi reduksi ukuran

Dari hasil tersebut diatas dapat dilihat bahwa semakin besar reduksi ukuran konstruksi yang dilakukan, maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan. Tegangan akan berbanding terbalik dengan ukuran konstruksi yang ada. Hal itu berlaku untuk semua jenis kapal yang diteliti.

#### Analisis Perbandingan Biaya Material Kayu berdasarkan Volume Kayu Terpasang antara Kapal Sesuai Analisis Rules BKI 1996 dan Hasil Pemodelan

Berdasarkan hasil reduksi dimensi konstruksi pada kapal sesuai analisis Rule BKI 1996 yang telah dilakukan maka akan dilakukan perhitungan nilai volume kayu terpasang pada tiap bagian konstruksi.

Tabel 4. Biaya Material Reduksi Ukuran

Reduksi [%]	Biaya Material [rupiah dalam ribuan]		
	Kapal A	Kapal B	Kapal C
0	322.800	263.040	233.500
10	290.520	236.736	210.150
20	258.240	210.432	186.800
30	225.960	184.128	163.450
40	193.680	157.824	140.100

Penurunan biaya material kayu yang digunakan terjadi karena penurunan volume kayu yang terpasang pada bagian kapal, sehingga penurunan biaya material berbanding lurus dengan penurunan volume material kayu terpasang pada kapal yang dianalisis. Hasil tersebut didapatkan dari penyesuaian hasil analisis rules BKI 1996 dan hasil pemodelan yang telah dilakukan.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perbandingan dimensi konstruksi kapal kayu Existing hasil survey dan kapal menurut analisis rules BKI, ada dua kapal yaitu kapal A (Kota Baru II) dan kapal C (Titipan Ilahi) yang memiliki dimensi konstruksi lebih berat menurut perhitungan Rule BKI. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor dalam perhitungan BKI antara lain perbedaan jarak gading, jarak balok geladak, tebal pelat kulit luar serta tebal geladak. Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan bahwa besarnya tegangan pada lambung dan geladak kapal ketiga kapal secara Rule BKI masih jauh di bawah batas yang diizinkan DIN 68364 yaitu sebesar 115 N/mm<sup>2</sup>. Setelah

dilakukan pemodelan struktur berdasarkan karakteristik pembebanan dengan software ANSYS APDL versi 18.2, pada kapal kayu A (Kota baru II) didapatkan tegangan sebesar 8,6 N/mm<sup>2</sup>, pada kapal kayu B (King Anugerah) didapatkan tegangan sebesar 20,14 N/mm<sup>2</sup>, pada kapal kayu C (Titipan Ilahi) didapatkan tegangan sebesar 46,69 N/mm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil analisis pemodelan struktur dengan ANSYS APDL versi 18.2 diketahui bahwa dimensi konstruksi bisa direduksi sampai dengan 30% sehingga secara ekonomis mampu mengurangi biaya material kasko badan kapal hingga 30% dari nilai awal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Biro Klasifikasi Indonesia. (1996). *Buku Peraturan Klasifikasi dan Konstruksi Kapal Laut, Peraturan Tentang Kapal Kayu*. Jakarta.
- Dumanauw, J. F. (1990). *Mengenal Kayu*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fengel, D. (1995). *Kimia Kayu Ultrastruktur dan Reaksi-reaksi*. Yogyakarta: UGM Press.
- Fyson, J. F., & FAO. (1985). *Design of Small Fishing Vessels*. England: Farnham.
- Haygreen, J. G., & Bowyer, J. L. (1996). *Hasil Hutan dan Ilmu Kayu*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Islahuzzaman. (2012). *Istilah-istilah Akuntansi dan Auditing*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Kitarovic, S., & Zanic, V. (2014). Approximate approach to progressive collapse analysis of the monotonous thin-walled structures in vertical bending. *ResearchGate*, 255–286.
- Nugroho, N. Y., & Widodo, A. B. (1998). *Kapal Non Ferro*. Surabaya: Teknik Perkapalan Universitas Hang Tuah.
- Purnomo, A., & Supomo, H. (2014). Analisis Kekuatan Kapal Bambu Laminasi dan Pengaruhnya Terhadap Ukuran Konstruksi dan Biaya Produksi. *Jurnal Teknik POMITS Vol. 2, No.1*.
- Rachman, A., Misbah, N. M., & Wartono, M. (2012). Kesesuaian Konstruksi Kapal Kayu Nelayan di Pelabuhan Nelayan (PN) Gresik Menggunakan Aturan Biro Klasifikasi Indonesia. *Jurnal Teknik POMITS Vol. 1. No.1*.
- Sebayang, R. P., Hutauruk, R. M., & Bustari. (2016). Analisis Ukuran Konstruksi Kapal di Galangan Kapal Kota Bagan Siapi-api Menggunakan Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia Kapal Kayu. *Jurnal Online Mahasiswa Vol. 3, No.2*.
- Suman Kar, D. G., Sarangdhar, & Chopra, G. S. (2008). Analysis of Ship Structures Using ANSYS. *SeaTech Solutions International (S) Pte Ltd*.
- Suryono, & Bakoh. (2009). Penentuan Biaya Pembangunan Kapal Kayu dengan Fungsi Produksi Cobb Douglas. *Tesis Teknologi Produksi dan Material Kelautan ITS*.
- Van-Vu, H. (2005). Prediction The Ultimate Strength of Intact Ship by Finite Element Method. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications (IJMEA).X*