TUGAS AKHIR (MN 141581)

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS LAMINASI HYBRID BAMBU BETUNG DENGAN VARIASI TEBAL BILAH KAYU SENGON UNTUK PEMBUATAN LAMBUNG KAPAL IKAN

Febrian Ade Pramana
NRP 04111040000044

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Heri Supomo , M.Sc

Dosen Pembimbing II
Imam Baihaqi, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2018

TUGAS AKHIR – MN 141581

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS LAMINASI *HYBRID* BAMBU BETUNG DENGAN VARIASI TEBAL BILAH KAYU SENGON UNTUK PEMBUATAN LAMBUNG KAPAL IKAN

Febrian Ade Pramana
NRP 04111040000044

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc

Dosen Pembimbing II
Imam Baihaqi, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

FINAL PROJECT – MN 141581

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF BAMBOO HYBRID LAMINATED WITH SENGON THICKNESS VARIABLE FOR FISHING SHIP'S SIDE SHELL

Febrian Ade Pramana
NRP 04111040000044

Supervisor I
Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc

Supervisor II
Imam Baihaqi, S.T., M.T

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS LAMINASI HYBRID BAMBU BETUNG DENGAN VARIASI TEBAL BILAH KAYU SENGON UNTUK PEMBUATAN LAMBUNG KAPAL IKAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Industri Perkapalan
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FEBRIAN ADE PRAMANA
NRP 04111040000044

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I Tugas Akhir	Dosen Pembimbing II Tugas Akhir
Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc.	Imam Baihaqi, S.T., M.T.
NIP 19640416 198903 1 003	NIP 19890128 201504 1 003

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, Juli 2018

LEMBAR REVISI

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS LAMINASI *HYBRID* BAMBU BETUNG DENGAN VARIASI TEBAL BILAH KAYU SENGON UNTUK PEMBUATAN LAMBUNG KAPAL IKAN

TUGAS AKHIR
Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 06 Juli 2018

Bidang Keahlian Industri Perkapalan
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FEBRIAN ADE PRAMANA
NRP 04111040000044

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Septia Hardy Sujiatanti S.T., M.T. .....
2. Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc .....
3. Sri Rejeki Wahyu Pribadi P, S.T., M.T .....
4. M. Sholikhan Arif, S.T., M.T .....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc. .....
2. Imam Baihaqi, S.T., M.T. .....

SURABAYA, July 2018

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

1. Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu: Bapak Ir. Heri Supomo, M.Sc. dan Bapak Imam Baihaqi, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing, atas ilmu dan kesabarannya dalam mengarahkan dan memberi nasehat kepada Penulis selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc. selaku kepala laboratorium produksi Perkapalan, terima kasih atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan selama ini.
3. Ibu Sri Rejeki Wahyu Pribadi P, S.T., M.T , bapak M. Sholikan Arif, S.T., M.T., Sufian Imam, S.T., M.T selaku dosen penguji prodi Industri Perkapalan, terima kasih atas bimbingan dan arahan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Kedua orang tua dan Bobby Adi selaku kakak kandung yang tiada henti-hentinya mendoakan Penulis dan memberikan dukungan baik moril maupun materiil.
5. Bapak Fairil, Mas Agil, dan Bapak Didik yang telah membantu Penulis dalam pelaksanaan pengujian di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan.
6. Mikael, Doel, Aryo, Pak Pardi, mas Joko, Tino,Izza, Juki serta teman-teman seperjuangan Arek LabProd yang senantiasa menemani dan saling memberikan dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Dita Wahyuningsih, terima kasih atas waktu, perhatian, dan dukungan yang tiada henti-hentinya diberikan kepada Penulis hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman angkatan 2010 (CAPTAIN-P50) yang telah menemani dan memberikan dukungan sejak menjadi mahasiswa baru sampai penulis lulus.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Juli 2018

Febrian Ade Pramana

ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS LAMINASI *HYBRID* BAMBU BETUNG DENGAN VARIASI TEBAL BILAH SENGON UNTUK PEMBUATAN LAMBUNG KAPAL IKAN

Nama Mahasiswa	: Febrian Ade Pramana
NRP	: 04111040000044
Departemen / Fakultas	: Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing	: 1. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc.
	2. Imam Baihaqi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Ketersediaan kayu Jati di Indonesia sebagai bahan baku pembuatan kapal ikan sulit diperoleh. Masalah keterbatasan kayu dapat diatasi dengan penggunaan bambu laminasi sebagai material konstruksi kapal ikan. Kayu Sengon tergolong Kelas Kuat III dan Kelas Awet IV, namun tidak tercantum didaftar kayu untuk konstruksi kapal kayu oleh BKI. Potensi pertumbuhan kayu Sengon dan segi kekuatan laminasi bambu Betung, maka penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisa teknis dan ekonomis laminasi hybrid bambu Betung dengan kayu Sengon untuk konstruksi kulit kapal ikan. Material laminasi hybrid yang digunakan sebagai bahan pembangunan kapal harus memenuhi beberapa persyaratan sifat fisis dan sifat mekanisnya. Pengujian fisis dan mekanis pada laminasi hybrid dilakukan dengan variasi tebal kayu Sengon 1x, 2x, 3x tebal bilah bambu Betung. Uji Tarik sesuai ASTM D3500 dan uji tekuk sesuai ASTM3043 dilakukan pada spesimen laminasi hybrid. Nilai hasil uji digunakan sebagai input untuk menghitung ketebalan kulit lambung kapal yang sesuai BKI 2013. Volume kebutuhan material hybrid dan biaya produksi dihitung serta dibandingkan dengan kayu Jati Kelas Kuat II. Berdasarkan hasil uji didapatkan berat jenis laminasi hybrid sebesar 0,589 gr/cm^3. Sedangkan kuat tarik dan kuat tekuk ketiga variasi tebal spesimen bilah bambu masing-masing sebesar 91,45 MPa, 101,58 MPa, 67,67 MPa, dan 83,95 MPa, 80,47 MPa, 91,72 Mpa. Tebal kulit hasil perhitungan ketiga variasi masing-masing sebesar 34 mm, 36 mm, 33mm. Dan volumetrik kebutuhan material untuk kulit kapal sebesar 3,75 m^3, 3,97 m^3, 3,64 m^3. Biaya pembangunan kulit lambung kapal laminasi hybrid 18,06 %, 17,02 %, 18,23 % jika dibandingkan dengan kayu Jati solid.

Kata Kunci: Laminasi hybrid, Bambu Ori, Kayu Sengon, volumetrik

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF BAMBOO HYBRID LAMINATED WITH SENGON THICKNESS VARIABLE FOR FISHING SHIP HULL

Author : Febrian Ade Pramana
ID No : 04111040000044
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisors : 1. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc.
2. Imam Baihaqi, S.T., M.T.

ABSTRACT

The availability of of timber as a main component to manufacture fish boats is getting limited. However, this problem can be solved by using laminated bamboo and Sengon wood. Sengon wood is chosen because easily to be grown as a result the availability is abundant and also this wood can be categorized as "Kuat Kelas" and "Kuat Awet IV" but BKI does not enlisted Sengon wood in their fishing ship construction material. Judging from the growth potential of Sengon Wood and the strength of Bamboo Betung lamination, this research is intended for technical analysis and economical hybrid lamination of both materials for ships. The hybrid laminate material used as the building material of the ship must meet several requirements of its physical properties and mechanical properties. The calculation of construction adjusted by BKI 2013 Vol VII and the total cost value will be compared with using Class II Strong Teak Material. Physical and mechanical tests on hybrid laminates were carried out with a variation of thick Sengon 1x wood, 2x, 3x thick Betung bamboo blades. The ASTM D3500 compliant tensile test and ASTM3043 bending test were performed on hybrid laminated specimens. The value of the test results is used as input to calculate the bilge skin thickness according to BKI 2013. The volume of hybrid material needs and the production cost is calculated and compared with the strong grade teak wood II. Based on the test results obtained by weight of hybrid lamination type of 0,589 gr/cm^3. While the tensile strength and bending strength of the three thick variations of bamboo blade specimens were 91.45 MPa, 101.58 MPa, 67.67 MPa, and 83.95 MPa, 80.47 MPa, 91.72 MPa respectively. Thick skin calculations of the three variations each of 34 mm, 36 mm, 33 mm. And volumetric requirement of material for ships skin of 3.75 m^3, 3.97 m^3, 3.64 m^3. The cost of hybrid laminated hull skin construction costs 18.06 %, 17.02 %, 18.23 % when compared to solid teak wood.

Keywords: laminated hybrid, Bamboo Betung, Wood Sengon

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR vii
ABSTRAK viii
ABSTRACT ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL xv
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan 3
1.5 Manfaat 4
1.6 Hipotesis 4
BAB 2 STUDI LITERATUR 5
2.1 Gambaran Umum kapal 5
2.1.1 Kapal Ikan 5
2.1.2 Konstruksi dan Ruangan pada Kapal Ikan 6
2.2 Bambu 7
2.3 Bambu Betung 8
2.3.1 Sifat Mekanik Bambu Betung 9
2.3.2 Potensi Bambu Sebagai Material Konstruksi Utama di Indonesia 11
2.4 Kayu Sengon 11
2.5 Material *Hybrid* 14
2.5.1 Susunan Bambu Laminasi *Hybrid* 14
2.6 Susunan Bambu Laminasi 15
2.7 Teknologi Bambu Laminasi 15
2.7.1 Perekatan Laminasi 16
2.7.2 Keunggulan Bambu laminasi 17
2.7.3 Standar Uji Tarik dan Tekuk Bambu Laminasi 18
2.8 Bambu Laminasi Sebagai Material Komposit 20
2.8.1 Karakteristik Material Komposit 20
2.8.2 Perilaku Viskoelastis pada Polimer 21
2.9 Peraturan BKI 2013 Vol VII 22
2.10 Analisa Ekonomis 29
BAB 3 METODOLOGI 31
3.1 Metode 31
3.2 Langkah Pembuatan Spesimen Uji 31
3.2.1 Persiapan Bahan 31
3.2.2 Persiapan Alat 33
3.2.3 Pembuatan Bilah Bambu 35
3.2.4 Pembuatan Bilah Sengon 36
3.2.5 Proses Laminasi 36
3.2.6 Pemotongan dan Pembentukan Spesimen Uji 37
3.3 Langkah Pengujian 38
3.3.1 Pengujian Tarik dan Tekuk 38

3.3.2 Tahapan Pengujian Tarik 39
3.3.3 Tahapan Pengujian Tekuk 40
3.4 Analisa Teknis 40
3.4.1 Tahap Pengolahan Data dan Analisis Hasil Pengujian 41
3.4.2 Perhitungan ukuran konstruksi 41
3.5 Analisa Ekonomis 42
BAB 4 HASIL PENGUJIAN DAN DATA SURVEI 45
4.1 Pendahuluan 45
4.2 Massa Jenis Material Laminasi *Hybrid* 45
4.3 Pengujian Tarik 47
4.3.1 Hasil Pengujian Tarik 47
4.3.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian 50
4.4 Pengujian Tekuk 51
4.4.1 Hasil Pengujian Tekuk 51
4.4.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian 54
4.5 Data Survei Kapal Ikan 55
4.5.1 Lokasi Survei 55
4.5.2 Waktu Survei 55
4.5.3 Hasil Survei 55
4.5.4 Data dan Desain Kapal ikan 30 GT 56
4.5.5 Pembuatan *Linesplan* 57
BAB 5 ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS 59
5.1 Analisa Teknis 59
5.1.1 Nilai Mekanik Bedasarkan hasil Pengujian 60
5.1.2 Tegangan Izin Laminasi *Hybrid* 65
5.1.3 Perhitungan Ukuran Konstruksi Kulit 66
5.2 Analisa Ekonomis 68
5.2.1 Biaya Material Laminasi *Hybrid.* 69
5.2.2 Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Ikan 30GT Berbahan Dasar Laminasi *Hybrid* dengan Ketiga Variasi 72
5.2.3 Kebutuhan Material Laminasi *Hybrid* dan Kayu Jati Solid untuk Kulit Pembangunan Lambung kapal Ikan 30GT 74
5.2.4 Kebutuhan material pembangunan Kapal Ikan 30GT Berbahan Dasar Kayu Jati Solid 76
5.2.5 Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Ikan 30GT Berbahan Dasar kayu Jati Solid 77
5.2.6 Perbandingan Biaya Pembangunan Kapal Ikan 30GT Berbahan Dasar Laminasi *hybrid* dengan Kayu Jati Solid 78
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN 79
6.1 Kesimpulan 79
6.2 Saran 80
DAFTAR PUSTAKA 81
LAMPIRAN 1 STANDAR ASTM D3500
LAMPIRAN 2 STANDAR ASTM D3043
LAMPIRAN 3 TABEL UKURAN KONSTRUKSI (BKI)
LAMPIRAN 5 ANALISIS HASIL UJI TARIK
LAMPIRAN 6 REKAPITULASI HASIL UJI TARIK
LAMPIRAN 7 REKAPITULASI HASIL UJI TEKUK
LAMPIRAN 8 GRAFIK LOAD HASIL UJI TARIK

LAMPIRAN 9 GRAFIK LOAD HASIL UJI TEKUK
LAMPIRAN 10 PERHITUNGAN UKURAN KONSTRUKSI KULIT LAMINASI *HYBRID*
LAMPIRAN 11 PERHITUNGAN EKONOMIS
LAMPIRAN 12 DIAGRAM PERBANDINGAN MOE, MOR, *STRESS* STRENGTH
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kapal Ikan 30 GT 6
Gambar 2.2 Bambu Ori 8
Gambar 2.3 Bambu Betung 9
Gambar 2.4 Moisture Meter Dapat Dikalibrasi Sesuai Jenis Kayu yang Akan Diukur 10
Gambar 2.5 Jembatan Tradisional dari Anyaman Bilah Bambu 11
Gambar 2.6 Kayu Sengon 12
Gambar 2.7 Laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon 15
Gambar 2.8 Potongan Melintang Susunan Papan Laminasi dengan Metode Tumpuk Bata 15
Gambar 2.9 Potongan Melintang Batang Bambu yang Diproses Menjadi Bilah 16
Gambar 2.10 Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D3500 (satuan dalam milimeter) 18
Gambar 2.11 Dimensi Spesimen Uji Tekuk ASTM D3043 (satuan dalam millimeter) 19
Gambar 2.12 Grafik Nilai Pemuluran (ε) terhadap Waktu (t) 21
Gambar 2.13 Grafik *Stress-strain* Tiap Wujud Viskoelastis 22
Gambar 3.1 Rumpun Bambu Betung Siap Panen 32
Gambar 3.2 Batang Bambu yang Telah Dipecah Menjadi Bilah Sepanjang 4 meter 32
Gambar 3.3 Mesin Planer. 34
Gambar 3.4 Alat Press Laminasi untuk pembuatan papan laminasi 34
Gambar 3.5 Mesin UTM *(Universal Testing Machine)* 35
Gambar 3.6 Potongan Bilah Sepanjang 50 dan 70 cm 36
Gambar 3.7 Pemerataan Menggunakan *Handplaner* 36
Gambar 3.8 Penamaan Spesimen 38
Gambar 3.9 Proses Pengujian Tarik 39
Gambar 3.10 Proses Pengujian Tekuk 40
Gambar 3.11 Diagram Alir Penelitian 43
Gambar 4.1 Pengukuran berat laminasi *hybrid* bambu 46
Gambar 4.2 a) Grafik *Load* b) Grafik *stress-strain,*Variasi Tebal Bilah Kayu Sengon 1x Tebal Bilah Bambu 48
Gambar 4.3 a) Grafik *Load* b) grafik *stress-strain,*Variasi Tebal Bilah Kayu Sengon 2x Tebal Bilah Bambu 49
Gambar 4.4 a) Grafik *Load* b) grafik *stress-strain,*Variasi Tebal Bilah Kayu Sengon 3x Tebal Bilah Bambu 50
Gambar 4.5 a) Grafik *Load* b) grafik *stress-strain* dengan Variasi Tebal Bilah Kayu Sengon 1x Tebal Bilah Bambu 52
Gambar 4.6 a) Grafik *Load* b) grafik *stress-strain* Dengan Variasi Tebal Bilah Kayu Sengon 2x Tebal Bilah Bambu 53
Gambar 4.7 a) Grafik Load b) grafik stress-strain Dengan Variasi Tebal Bilah Kayu Sengon 2x Tebal Bilah Bambu 54
Gambar 4.8 Pengukuran Panjang Kapal Ikan 30GT 56
Gambar 4.9 Pengukuran Jarak Gading Kapal 57
Gambar 4.10 *Linesplan* Kapal Ikan 30GT Jember 57
Gambar 5.1 Grafik Rata-Rata Nilai Tegangan Hasil Pengujian Tarik Laminasi *Hybrid* 61
Gambar 5.2 Grafik Rata-Rata Nilai Moe Dari Hasil Pengujian Tarik Laminasi *Hybrid* 62
Gambar 5.3 Grafik Rata-Rata Nilai Regangan Dari Hasil Pengujian Tarik Laminasi *Hybrid* 62

Gambar 5.4 Grafik Rata-Rata Nilai *Defleksi* Hasil Pengujian Tekuk Laminasi *Hybrid* 63
Gambar 5.5 Grafik Rata-Rata Nilai Kuat Tekuk Laminasi *Hybrid* 64
Gambar 5.6 Grafik Rata-Rata Nilai Modulus Elastisitas Hasil Uji Tekuk Laminasi *Hybrid* .. 65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kuat Tekuk Minimum Material Kayu Berdasarkan Kategori Kelas Kuat 13
Tabel 2.2 Tegangan Izin Bambu Sebagai Material Konstruksi 13
Tabel 2.3 Perhitungan Ukuran Galar 23
Tabel 2.4 Perhitungan Ketebalan Kulit 25
Tabel 2.5 Perhitungan Lunas Dan Linggi Haluan 26
Tabel 2.6 Perhitungan Ukuran Wrang 27
Tabel 4.1 Pembagian massa jenis minimal ukuran konstruksi menurut BKI. 46
Tabel 4.2 Pengujian Kuat Tarik Variasi Susunan Tebal Kayu Sengon 1x Tebal Bilah Bambu 47
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 2x Tebal Bilah Bambu 48
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 3x Tebal Bilah Bambu 49
Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tarik Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 3x Tebal Bilah Bambu 50
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kuat Tekuk Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 1x Tebal Bilah Bambu 51
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kuat Tekuk Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 1x Tebal Bilah Bambu 52
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kuat Tekuk Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 1x Tebal Bilah Bambu 53
Tabel 4.9 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tarik Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 3x Tebal Bilah Bambu 54
Tabel 5.1 Hasil Perhitungan *Mechanical Properties* Dari Pengujian Tarik 60
Tabel 5.2 Perhitungan *Mechanical Properties* Dari Hasil Pengujian Tekuk 64
Tabel 5.3 Perhitungan Ukuran Perbandingan Konstruksi Kulit Lambung Ketiga Variasi Laminasi Dan Kayu Jati Solid Kapal Ikan 30GT 67
Tabel 5.4 Selisih Volumetrik Ketiga Variasi Laminasi *Hybrid* Dengan Kayu Solid Untuk Kulit Lambung Kapal 67
Tabel 5.5 Tabel Harga Sengon 69
Tabel 5.6 Biaya Material Dasar Tiap Bilah 69
Tabel 5.7 Biaya kebutuhan perekat 70
Tabel 5.8 Total biaya Overhead 70
Tabel 5.9 Rincian Waktu Tenaga Kerja Laminasi *Hybrid* 71
Tabel 5.10 Jam Orang Material Laminasi *Hybrid* untuk Pembangunan Kulit Lambung Kapal 71
Tabel 5.11 Biaya Tenaga Kerja Laminasi *Hybrid* 72
Tabel 5.12 Total Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Laminasi *Hybrid* Variasi 1 72
Tabel 5.13 Total Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Laminasi *Hybrid* Variasi 2 73
Tabel 5.14 Total Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Laminasi *Hybrid* Variasi 3 73
Tabel 5.15 Total Biaya *Overhead* Kayu Jati Solid 74
Tabel 5.16 Rincian Waktu Tenaga Kerja Kayu Jati Solid 75
Tabel 5.17 Jam Orang Material Kayu Jati Pembangunan Kulit Lambung Kapal Ikan 75

Tabel 5.18 Biaya Tenaga Kerja Kayu Jati Solid 75
Tabel 5.19 Rekapitulasi Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Ikan 30GT Kayu Jati Solid 76
Tabel 5.20 Rekapitulasi Kebutuhan Material Pembangunan Kapal Ikan Berbahan Dasar Kayu Jati Solid..... 76
Tabel 5.21 Total Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Ikan 30GT Berbahan Dasar Kayu Jati Solid..... 77
Tabel 5.22 Perbandingan total biaya Kayu Jati Solid dengan Ketiga Variasi Laminasi *hybrid* 78

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kayu Jati adalah bahan utama untuk pembuatan kapal ikan tradisional di Indonesia. Kelangkaan kayu jati dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain masa tanam dan panen kayu jati yang sangat lama, *illegal logging*, dan pemanfaatan kayu jati yang tidak terkendali. Kelangkaan ini diakibatkan oleh penebangan liar yang tidak terkendali, kerusakan hutan di Indonesia pada periode 2009-2013 mencapai lebih dari 1,13 juta hektar per tahun (FWI,2014). Akibat kelangkaan ini harga Kayu Jati semakin mahal. Kemudian dipilih material Kayu Sengon (*paraserianthes*) sebagai material pengganti Kayu Jati sebagai bahan baku pembuatan kapal ikan. Kayu Sengon merupakan kayu yang memiliki pertumbuhan yang cukup cepat dibandingkan dengan Kayu Jati.

Dengan ditemukannya material alternatif komposit bambu, diharapkan dapat mengatasi masalah tersebut di atas. Material komposit bambu ini memiliki sifat dan karakter yang sama sehingga mampu menggantikan material kayu yang selama ini digunakan. Sifat dan karakter tersebut meliputi sifat terhadap beban diam (*static loading*) dan beban bergerak (*dinamic loading*). Beban ini adalah gaya yang bekerja pada kapal terutama pada struktur utamanya adalah beban dinamis. Dengan diketahui karakter kapal kayu dan sifat mekanis dari komposit bambu, maka akan didapat standar kekuatan dan standar ukuran material komposit untuk struktur kapal kayu.

Namun dari material komposit bambu ini memiliki beberapa kekurangan diantaranya adalah apabila terdapat ruas pada laminasi bambu ini maka nilai maksimal beban tarik (*tensile stress*) memiliki kuat tarik (*tensile strength*) rata-rata sebesar 160MPa. Sedangkan pada spesimen uji tarik yang rata-rata kuat tarik (*tensile strength*) sebesar 84 MPa (Supomo, 2016). Hingga saat ini, penelitian dan pengembangan material komposit bambu yang dibuat dari bilah bambu yang dilaminasi masih terus dilakukan demi mendapatkan karakteristik material yang sesuai untuk pembuatan kapal. Oleh karena itu terpikirkan untuk melakukan laminasi *hybrid*

antara Bambu Betung dengan Kayu Sengon yang akan digunakan sebagai material pembuatan kapal ikan

Rosyid, dkk (2004) mengungkapkan bahwa komposit bambu dan kayu mempunyai sifat fisis dan mekanis yang lebih baik dibandingkan kayu solid maupun laminasi. Jenis komposit tersebut dapat disebut sebagai laminasi *hybrid* karena menggunakan dua material serat dalam satu komposit yaitu bambu dan kayu. Salah satu jenis kayu yang menjadi alternatif sebagai bahan komposit laminasi *hybrid* adalah kayu Sengon. Kayu Sengon ini memiliki harga yang relatif murah, mudah untuk diproduksi dan ketersediaannya yang banyak. Kayu Sengon biasa ditanam orang untuk berbagai keperluan. Pohon ini mudah diperbanyak dengan biji maupun dengan stek cabang dan dapat dipanen dalam waktu yang relatif lebih cepat dibanding kayu jati.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian yang menganalisa secara teknis maupun ekonomis material laminasi *hybrid* bambu dengan kayu Sengon sebagai material pembuat lambung kapal ikan. Dalam penelitian ini susunan material komposit bambu terdiri dari bilah bambu, bilah kayu Sengon, dan perekat (resin) dengan beberapa variasi ketebalan bilah Sengon. Pada umumnya material laminasi disusun dengan serat yang searah. Berdasarkan pengujian material yang pernah dilakukan sebelumnya didapatkan bahwa kuat tarik material laminasi searah serat memiliki nilai kuat tarik yang lebih besar daripada kuat tarik material laminasi yang di uji tarik melintang serat.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana *mechanical properties* laminasi hybrid Bambu Betung dan kayu Sengon dengan berbagai variasi tebal bilah Sengon?
2. Apakah nilai *mechanical properties* laminasi hybrid Bambu Betung dengan kayu Sengon memenuhi tegangan izin sesuai regulasi Biro Klasifikasi Indonesia?
3. Bagaimanakah cara melaminasi Bambu Betung dengan Kayu Sengon secara *hybrid?*
4. Bagaimana analisis ekonomis penggunaan material laminasi *hybrid* Bambu Betung dan kayu Sengon untuk pembuatan kulit lambung kapal ikan?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Tugas Akhir ini hanya membahas proses laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon pada konstruksi kulit lambung Kapal 30GT, tidak untuk keseluruhan konstruksi bangunan Kapal.
2. Lem yang digunakan adalah lem *"Epoxy Polymade Marine Use"*.
3. Ada pun variasi tebal bilah laminasi *hybrid* Bambu Betung dan kayu Sengon yang digunakan adalah sebagai berikut:
   - 1x tebal bilah (4mm bilah bambu, 4mm bilah Sengon, 4mm bilah bambu)
   - 2x tebal bilah (4mm bilah bambu, 8mm bilah Sengon, 4mm bilah bambu)
   - 3x tebal bilah (4mm bilah bambu, 12mm bilah Sengon, 4mm bilah bambu)
4. Ketebalan material uji antara 12-20 mm.
5. Pengujian ini menggunakan standart BKI Volume VII tahun 2013 tentang regulasi kapal kayu, ASTM D-3500 untuk uji tarik, dan ASTM D-3043 untuk uji tekuk.
6. Analisis ekonomi yang dilakukan akan dibandingkan dengan Kayu Jati solid dan penggunaan laminasi bambu sebagai bahan pembuat kapal penangkap ikan 30 GT.

1.4 Tujuan

Tujuan utama dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan *mechanical properties* laminasi *hybrid* Bambu Betung dan kayu Sengon dengan berbagai variasi tebal bilah Sengon.
2. Menganalisa *mechanical properties* laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan variasi tebal bilah kayu Sengon yang memenuhi tegangan izin sesuai regulasi Biro Klasifikasi Indonesia.
3. Menganalisa teknik proses laminasi Bambu Betung dan Kayu Sengon secara *hybrid*.
4. Melaksanakan analisa ekonomis penggunaan material laminasi *hybrid* Bambu Betung dan kayu Sengon untuk pembuatan kulit lambung kapal ikan.

1.5 Manfaat

Dari penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

1. Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan khazanah pendidikan di Indonesia.
2. Secara praktek, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi desain struktur lambung pada kapal ikan guna menciptakan kapal yang kompetitif dan lebih efisien.

1.6 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian tugas akhir ini adalah *mechanical properties* material komposit laminasi *hybrid* Bambu Betung dan kayu Sengon memenuhi tegangan izin sesuai regulasi Biro Klasifikasi Indonesia dan biaya pembuatan kapal ikan menggunakan material ini lebih murah dari pada menggunakan material kayu jati.

BAB 2
STUDI LITERATUR

2.1 Gambaran Umum kapal

Kapal ikan didefinisikan sebagai kapal atau perahu lainnya yang digunakan untuk melakukan kegiatan penangkapan ikan termasuk melakukan survei atau eksplorasi perikanan. Kapal penangkap ikan adalah kapal yang secara khusus dipergunakan untuk menangkap ikan termasuk menampung, menyimpan, mendinginkan atau mengawetkan. Berdasarkan defenisi-definisi tersebut di atas, maka dapat diketahui bahwa kapal ikan sangat beragam dari kekhususan penggunaannya hingga ukurannya. Kapal-kapal ikan tersebut terdiri dari kapal atau perahu berukuran kecil berupa perahu sampan (perahu tanpa motor) yang digerakkan dengan tenaga dayung atau layar, perahu motor tempel yang terbuat dari kayu hingga pada kapal ikan berukuran besar yang terbuat dari kayu, *fiberglass* maupun besi baja dengan tenaga penggerak mesin diesel. Jenis dan bentuk kapal ikan ini berbeda sesuai dengan tujuan usaha, keadaan perairan, daerah penangkapan ikan (*fishing ground*) dan lain-lain, sehingga menyebabkan ukuran kapal yang berbeda pula (Purbayanto et al, 2004).

Laminasi *(glue limited timber : glulam)* merupakan produk yang dibuat dengan merekatkan dua atau lebih lapisan bahan menjadi satu yang dibedakan menjadi laminasi menyilang *(cross)* dan laminasi sejajar *(parallel).* Laminasi menyilang satu dengan yang lain, sedangkan laminasi sejajar adalah lapisan yang disusun sejajar antara satu dengan yang lain (Forsmith, 1952).

2.1.1 Kapal Ikan

Kapal adalah kendaraan air dengan bentuk dan jenis apapun yang digerakkan dengan tenaga mekanik, angin atau ditunda, termasuk kendaraan yang berdaya dukung dinamis, kendaraan di bawah permukaan air serta alat apung dan bangunan terapung yang tidak berpindah-pindah (PP No.51 tahun 2002 tentang perkapalan). Selanjutnya dalam Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor PER 05/MEN/2008 menyebutkan kapal perikanan adalah kapal, perahu atau alat apung lain yang dipergunakan untuk melakukan penangkapan

ikan, mendukung operasi penangkapan ikan, pembudidaya ikan, pengangkutan ikan, pengolahan ikan, pelatihan perikanan dan penelitian atau eksplorasi pikanan. Kapal penangkap ikan adalah kapal yang secara khusus dipergunakan untuk menangkap ikan, termasuk menampung, menyimpan, mendinginkan dan mengawetkan. Contoh kapal ikan dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Gambar 2.1 Kapal Ikan 30 GT
(http//www.antaranews.com/berita, 2016)

2.1.2 Konstruksi dan Ruangan pada Kapal Ikan

Kapal ikan yang diteliti dalam Tugas Akhir ini menggunakan material jenis kayu sebagai konstruksi utamanya. Peraturan konstruksi kapal ikan di Indonesia berada dalam wewenang Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) melalui regulasi tahun 2013 tentang Kapal Kecil ≤ 24 meter, dimana dalam regulasi ini disebutkan empat jenis material yang diperbolehkan untuk konstruksi kapal ikan, antara lain: *Glass Fiber Reinforced Plastic* (GFRP), material komposit maju, kayu/kayu lapis, dan logam, dimana bambu laminasi termasuk dalam kategori kayu lapis berbahan dasar bilah/papan yang direkatkan dengan lem dan bersifat tahan air (BKI Survei, 2013).

Sebagaimana kapal pada umumnya, kapal ikan terdiri dari beberapa ruangan dengan fungsinya masing-masing, antara lain: Ruang Akomodasi, Ruang Kemudi, Ruang Muat Ikan, Ruang Peralatan, Ruang *Steering Gear*, Kamar Mesin, dan Ceruk, dimana pada kamar mesin diketahui memiliki suhu ruang yang relatif tinggi dibandingkan dengan ruangan lainnya. Secara umum, di dalam kamar mesin terdapat mesin induk, pompa-pompa, tangki bahan bakar, sistem pendingin, serta dilengkapi ventilasi udara, dimana kondisi khusus yang disyaratkan untuk tangki bahan bakar harus dapat diisi dari geladak melalui pipa yang dipasang permanen, termasuk perlengkapan dan instalasi pipa pada tangki bahan bakar harus dilindungi oleh papan pelindung untuk antisipasi apabila terjadi tumpahan atau kebocoran (BKI Survei, 2013).

2.2 Bambu

Bambu merupakan nama untuk sekumpulan rumput-rumputan berbentuk pohon kayu atau perdu yang lurus, dengan batang yang biasanya tegak kadang memanjat, mengayu dan bercabang, dapat mencapai umur panjang dan lazimnya mati tanpa mengalami masa berbunga (Heyne, 1987). Batang bambu terdiri dari ruas-ruas yang berongga dengan panjang dan jumlah bervariasi dan dipisahkan oleh buku-buku. Waktu munculnya batang muda (atau disebut juga rebung) berbeda untuk setiap jenis bambu, ada yang muncul pada awal musim penghujan, sedangkan pada jenis yang lain muncul pada pertengahan atau akhir musim penghujan (Heyne, 1987). Berdasarkan sistem percabangan rimpangnya, secara garis besar bambu dapat dibagi 2 tipe yaitu yang tumbuh secara simpodial sehingga menghasilkan rumpun yang rapat seperti pada marga *Bambusa, Dendrocalamus, Gigantochloa,* dan *Schizostachyum* yang merupakan marga bambu yang banyak dijumpai di daerah tropis; yang lainnya yang tumbuh secara monopodial atau horizontal dan bercabang secara lateral dan menghasilkan rumpun dengan letak 9 batang tersebar sehingga mudah ditebang. Marga yang termasuk golongan ini adalah *Arundinaria* dan *Phyllostachys* banyak dijumpai di daerah beriklim sedang seperti China.

Bambu adalah tumbuhan yang batangnya berbentuk buluh, beruas, berbuku-buku, berongga, mempunyai cabang, berimpang dan mempunyai buluh yang menonjol, dan bambu termasuk suku *graminae*. Menurut Liese dalam Alvin dan Murphy (1988) struktur anatomi dan kandungan kimia dinding sel berbeda-beda tergantung pada jenis, umur dan ketinggian batang bambu. Seluruh jaringannya terbentuk oleh aktivitas meristem pucuk dan terkadang meristem buku *intercalary*. (Hsiung et al., 1980 dalam Alvin dan Murphy, 1988). Menurut Liese (1986) pada ruas mengandung serat sekitar 40%, dan jaringan parenkim dasar sekitar 50%, sementara sisanya diisi jaringan perantara, korteks tipis dan epidermis. Serat dan jaringan dasar yang mempunyai kandungan lignin mestinya dapat menunjang sifat mekanis bambu. Dalam pengelolaan bambu umumnya dipanen pada umur 3-4 tahun, kekuatannya seringkali meningkat seiring kenaikan umur, dan mencapai maksimum pada umur 3 tahun; kekuatan fisiknya dapat dipredikisi berdasarkan struktur anatomi (Liese, 1985). Beberapa jenis bambu yang ada di Indonesia antara lain adalah : Bambu Betung, bambu hitam, bambu ori, bambu mayan, bambu andong dan bambu tali. Contoh jenis bambu ori dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Gambar 2.2 Bambu Ori

(Sumber: www.bamboeindonesia.wordpress.com, 2011)

2.3 Bambu Betung

Bambu Betung merumpun rebungnya hitam keunguan, tertutup oleh bulu-bulu (*miang*) seperti beledu cokelat hingga kehitaman. Buluh berukuran besar, panjang ruas 40-50 cm dan garis tengahnya 12-18(-20) cm, secara keseluruhan buluh mencapai tinggi 20 m dengan ujung yang melengkung; warnanya bervariasi dari hijau, hijau tua, hijau keunguan, hijau keputihan, atau bertotol-totol putih karena liken. Buku-bukunya dikelilingi oleh akar udara. Tebal dinding buluhnya antara 11 sampai 36 mm.

Pelepah buluh berukuran besar, ukuran. 50 × 25 cm, tertutup oleh miang berwarna hitam hingga cokelat tua; kupingnya membulat dan terkadang mengeriting hingga dasar daun pelepah buluh, tinggi 7 mm dengan bulu kejur hingga 5 mm; ligula (lidah-lidah) menggerigi tidak teratur, tinggi 7-10 mm dengan bulu kejur pendek hingga 3 mm; daun pelepah buluh menyegitiga dengan dasar menyempit, terkeluk balik. Daun pada ranting dengan pelepah yang lokos atau bermiang pucat jarang-jarang, tanpa kuping, ligula ukuran. 2 mm, helaian berukuran 15- 30 - 45 × 1 - 2,5 - 8,5 cm, sisi bawahnya agak berbulu; tangkai daun amat pendek.

Perbungaan berupa malai pada ranting tak berdaun, dengan kelompok-kelompok spikelet pada masing masing bukunya. Spikelet bentuk elipsoid, 6-9 × 4-5 mm, sedikit memipih ke samping, berisi 1-2 gluma dan 4-5 flores.

Pada saat ini betung didapati ditanam di seluruh Asia tropis, dan diintroduksi ke berbagai negara lain termasuk Ghana, Benin, Kongo, Kenya, dan Madagaskar. Tumbuhan ini

menyebar hingga ketinggian 1.500 m dpl, namun di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango betung tercatat hingga ketinggian 1.910 m dpl.

Betung tumbuh baik pada tanah-tanah aluvial yang lembab dan subur, meskipun bambu ini juga mampu tumbuh di tempat-tempat kering di dataran tinggi maupun rendah. Bambu Betung tumbuh subur terbaik pada ketinggian 400–500 m dpl di daerah dengan curah hujan tahunan rata-rata sekitar 2.400 mm. Tanaman ini tumbuh dengan baik pada berbagai jenis tanah, tetapi tumbuh dengan lebih baik pada tanah-tanah berat berdrainase baik. Menyukai sinar matahari penuh, suhu minimum supaya dapat tumbuh dengan baik 25^{o} F.

Gambar 2.3 Bambu Betung

(Sumber: https://konservasidasciliwung.wordpress.com/flora-ciliwung/bambu/ , 2011)

2.3.1 Sifat Mekanik Bambu Betung

Sebagai bahan alami, bambu mempunyai bermacam-macam sifat yang tergantung dari jenis, habitat, dan lingkungan pertumbuhan. Spesies yang berbeda memiliki sifat yang berlainan, namun dalam satu spesies yang sama dengan lokasi pertumbuhan yang berbeda juga mampu menghasilkan sifat yang berlainan. Faktor-faktor itulah yang mempengaruhi sifat fisis bambu secara umum.

Sifat fisis adalah sifat yang berhubungan dengan faktor-faktor internal yang bekerja pada suatu benda. Secara anatomi dan kimiawi, bambu dan kayu memiliki kesamaan, oleh karena itu faktor-faktor yang berpengaruh pada kayu juga akan berpengaruh pada sifat-sifat bambu. Sifat-sifat tersebut antara lain kandungan air dan berat jenis.

a. Kadar air (*moisture content*)

Kadar air dinyatakan sebagai kandungan air yang berada dalam bambu. Namun, bambu selalu berusaha mencapai keseimbangan yang disebut EMC (*Equilibrium Moisture Content*). Kadar air dihitung sebagai persentase perbandingan berat air dalam bambu dengan berat kering bambu. Nilai kadar air berbanding terbalik terhadap semua nilai sifat-sifat kekuatan bambu.

Bambu termasuk zat higroskopis, artinya bambu mampu menyerap air yang ada di lingkungannya, baik dalam bentuk uap maupun cairan. Bambu mempunyai kemampuan mengabsorpsi atau desorpsi yang tergantung dari suhu dan kelembaban udara disekitarnya. Kandungan air dalam batang bambu bervariasi baik arah memanjang maupun arah melintang. Hal itu tergantung dari umur, waktu penebangan, dan jenis bambu. Pada umur satu tahun, batang bambu mempunyai kandungan air yang relatif tinggi, yaitu kurang lebih 120 hingga 130%, baik pada pangkal maupun ujungnya. Secara keseluruhan, bagian pangkal batang bambu memiliki kadar air tertinggi dibandingkan bagian lainnya (Handayani, 2007).

Pengukuran kadar air dapat dilakukan langsung dengan bantuan alat yang disebut moisture meter seperti pada Gambar 2.4. Alat ini dirancang khusus untuk mengetahui kadar air segala jenis kayu, termasuk bambu.

Gambar 2.4 Moisture Meter Dapat Dikalibrasi Sesuai Jenis Kayu yang Akan Diukur
(Sumber: http://www.nachi.org/, 2014)

b. Berat jenis (*specific gravity*)

Salah satu faktor yang juga berpengaruh terhadap kekuatan bambu adalah berat jenis bambu. Berat jenis bambu dihitung sebagai nilai perbandingan berat bambu terhadap volume bambu tersebut.

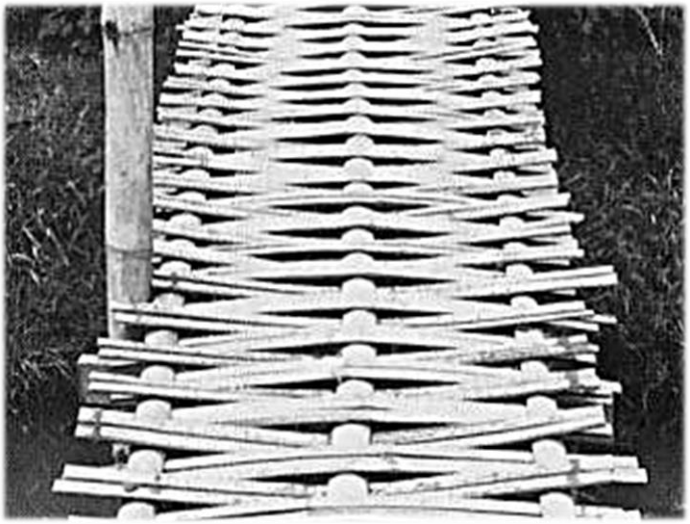
Berat jenis dan kerapatan merupakan faktor-faktor yang menentukan sifat-sifat fisis dan mekanis suatu bambu. Berat jenis bambu berkisar antara 0,5 sampai 0,9 gr per centimeter kubik. Variasi berat jenis bambu terjadi baik pada arah vertikal maupun horisontal. Batang bambu bagian luar mempunyai berat jenis lebih tinggi daripada bagian dalam. Sedangkan dalam arah

memanjang, berat jenis meningkat dari pangkal ke ujung. Berat jenis berbanding terbalik terhadap kadar air. Semakin tinggi berat jenis bambu, semakin kecil kadar airnya, sehingga sifat-sifat kekuatan bambu juga semakin tinggi (Handayani, 2007).

2.3.2 Potensi Bambu Sebagai Material Konstruksi Utama di Indonesia

Bambu merupakan salah satu material konstruksi tertua, dimana bangunan dengan bambu sebagai material utama merupakan salah satu simbol dari suatu kebudayaan kuno dimana bambu tersebut banyak ditanam, seperti di Amerika Latin, Afrika, dan Asia, terutama Asia Tenggara.

Di Indonesia, bambu telah dikenal oleh masyarakat sejak jaman dahulu dan telah digunakan sebagai bahan untuk keperluan sehari-hari mulai dari makanan, peralatan rumah tangga, alat musik, upacara keagamaan, pembuatan jembatan penyebrangan, hingga bangunan rumah yang ditempati, sehingga di pedesaan sebagian besar masyarakatnya mempunyai rumpun bambu di pekarangannya. Salah Satu contoh pada Gambar 2.5 seiring dijumpai di pedesaan sarana penyebrangan disungai-sungai kecil menggunakan jembatan tradisional berbahan bambu.



Gambar 2.5 Jembatan Tradisional dari Anyaman Bilah Bambu
(Sumber: Dunkelberg, 1992)

2.4 Kayu Sengon

Pohon yang menggugurkan daun; berukuran sedang hingga tinggi, 30–45 m, dan gemang batangnya 70(–140) cm. Pepagan agak halus, di luarnya abu-abu gelap, dengan gigir-gigir melintang, berlentisel, tipis; pepagan bagian dalam setebal 5 mm, merah jambon. Ranting-ranting muda bersegi dan berambut.

Daun-daun majemuk menyirip berganda, dengan 4–14 pasang sirip; tulang daun utama 10–25 cm, berambut, dengan kelenjar dekat pangkal tangkai daun dan pada pertemuan tulang sirip. Daun penumpu besar, bundar telur miring dengan pangkal yang setengah berbentuk jantung, seperti membran, dengan ekor di ujungnya; lekas rontok. Sirip-sirip 4–14 cm panjangnya, dengan 10–45 anak daun per sirip, duduk, berhadapan. Anak daun memanjang sampai bentuk garis, dengan ujung runcing, miring, sisi bawah hijau biru, 6–13 × 1,5–4 mm, tulang daun tengah sangat dekat dengan tepi atas.

Bunga majemuk berbentuk bongkol yang bertangkai, yang terkumpul lagi menjadi malai yang panjangnya 15–30 cm. Bongkol berisi 10–20 kuntum bunga. Bunga berbilangan-5; dengan kelopak bergigi, tinggi ukuran 4 mm, berambut; tabung mahkota bentuk corong, kuning hijau, tinggi lk 7 mm, berambut. Benang sari 10 atau lebih, panjang lk 3 cm, putih, di atas hijau, pangkalnya menyatu membentuk tabung, yang kurang lebih setinggi mahkota. Buah polong panjang 10–18 cm × 2–3,5 cm, tidak membuka, patah-patah tidak teratur. Biji pipih, jorong, 7 × 4–5 mm.

Gambar 2.6 Kayu Sengon

(Sumber: https://www.mangyono.com/2013/05/kayu-Sengon-dan-pembibitan-Sengon.html, 2013)

Ciri-ciri kayu Sengon adalah sebagai berikut :

Kayu teras berwarna hampir putih atau coklat muda pucat (seperti daging) warna kayu gubal umumnya tidak berbeda dengan kayu teras. Teksturnya agak kasar dan merata dengan arah serat lurus, bergelombang lebar atau berpadu. Permukaan kayu agak licin atau licin dan agak mengkilap. Kayu yang masih segar berbau petai, tetapi bau tersebut lambat laun hilang jika kayunya menjadi kering. Sifat kayu: Kayu Sengon termasuk kelas awet IV/V dan kelas IV-V dengan berat jenis 0,33 (0,24-0,49). Kayunya lunak dan mempunyai nilai penyusutan dalam

arah radial dan tangensial berturut-turut 2,5 persen dan 5,2 persen (basah sampai kering tanur). Kayunya mudah digergaji, tetapi tidak semudah kayu meranti merah dan dapat dikering kan dengan cepat tanpa cacat yang berarti. Cacat pengeringan yang lazim adalah kayunya melengkung atau memilin.

Tabel 2.1 Kuat Tekuk Minimum Material Kayu Berdasarkan Kategori Kelas Kuat

Kelas Kuat	**Berat Jenis Kering**	**Kuat Tekuk [MPa]**
I	≥ 0,9	≥ 107,873
II	0,9 - 0,6	107,873 - 71,098
III	0,6 - 0,4	71,098 - 49,033
IV	0,4 - 0,3	49,033 - 35,304
V	≤ 0,3	≤ 35,304

(Sumber BKI, 2013)

Berdasarkan regulasi BKI tahun 2013 tentang Kapal Kecil ≤ 24 meter perihal material laminasi yang digunakan sebagai konstruksi kapal disyaratkan bahwa, untuk bagian konstruksi yang penting harus digunakan kayu dengan mutu minimum Kelas Kuat III. Persyaratan ini salah satunya meliputi konstruksi di daerah kamar mesin termasuk geladak di atasnya, dengan tegangan izin tiap Kelas Kuat kayu yang ditunjukkan pada Tabel 2.2, dimana nilai kuat tekuk minimum kayu Kelas Kuat III adalah sebesar **71,098 MPa**. Selain itu, kayu lapis/laminasi yang digunakan sebagai konstruksi kapal secara keseluruhan harus memiliki nilai kuat tarik minimum sebesar **42,169 MPa**.

Tabel 2.2 Tegangan Izin Bambu Sebagai Material Konstruksi

Jenis Tegangan	**Tegangan Izin [MPa]**
Tarik	28,851
Tekuk	9,617
Tekan	7,693
E Tarik	$19{,}231 \times 10^3$

(sumber : Handayani, 2007)

Perancangan struktur dan konstruksi yang terbuat dari bambu haruslah mumpuni secara teknis, termasuk faktor aman yang disyaratkan wajib diperhitungkan. Atas dasar itu, Departemen Pekerjaan Umum melalui Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman telah melakukan penelitian tentang bambu, khususnya pedoman bagi masyarakat untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis bambu. Adapun hasil dari penelitian tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.2 yang menyatakan parameter tegangan izin bambu sebagai material konstruksi, dimana tegangan izin tertinggi adalah ketika bambu menerima tegangan tarik.

2.5 Material *Hybrid*

Komposit adalah kombinasi dari dua bahan atau lebih yang tersusun dengan fasa matrik dan penguat yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat mekanik dan fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusun. Dengan adanya perbedaan sifat material penyusun dimana antar material harus terjadi ikatan yang kuat maka *wetting agent* perlu ditambahan. Penyusun komposit terdiri dari matrik (penyusun dengan fraksi volume terbesar), fiber sebagai penguat (penahan beban utama), interfasa (pelekat antar dua penyusun) dan *interface* (permukaan fasa yang berbatasan dengan fasa lain).

Pada material komposit matrik memberikan pengaruh yang lebih besar dalam pengikatan material penyusun selain bertugas untuk mendistribusikan beban dan memberikan perlindungan dari pengaruh lingkungan. Poliester dan *vinyl ester resin* umumnya yang paling banyak digunakan sebagai bahan matrik dan biasanya digunakan untuk pembuatan produk-produk komersial, industri dan transportasi. Namun bila produk yang dibutuhkan diharapkan untuk memiliki kekuatan yang lebih tinggi maka bahan epoksi menjadi pilihan sebagai matrik.

Meskipun epoksi sensitif terhadap kelembaban, namun tetap masih lebih baik dibanding dengan polyester serta tahan terhadap penyusutan. Dalam aplikasinya epoksi terbatas terhadap termperatur hingga 120°C untuk pemakaian jangka panjang, bahkan pada kondisi tertentu temperatur tertinggi hanya pada sekitar 80°C sampai 105°C. Untuk pemakaian pada temperatur lebih tinggi sekitar 177°C sampai 230°C dapat menggunakan *bismaleimide resins (BMI)* sebagai matrik.

2.5.1 Susunan Bambu Laminasi *Hybrid*

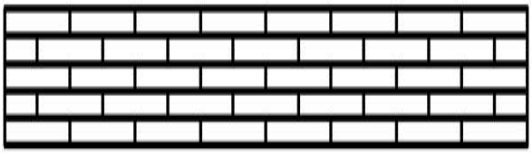
Dalam proses susunan laminasi *hybrid* hal pertama yang dilakukan adalah memilih bahan baku material yaitu Bambu Betung dan Kayu Sengon kemudian dipilih tiap bilah yang permukaannya lurus dan rata. Selanjutnya dari pemilihan material tersebut disusun menjadi 3 lapis, yaitu lapisan pertama Bambu Betung, lapisan kedua Kayu Sengon dan lapisan ketiga Bambu Betung yang dapat terlihat pada Gambar 2.7. Kemudian dari lapisan tersebut di bentuk papan yang susunannya dengan metode tumpuk bata yang dimana tumpuk bata akan lebih kuat dibandingkan yang segaris dan menjadikanya bersifat kedap oleh karena itu susunan antar bilah tidak dapat tertembus fluida.

Gambar 2.7 Laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon

2.6 Susunan Bambu Laminasi

Bahan kayu untuk perkapalan harus mempunyai sifat tertentu yang lebih baik bila dibandingkan dengan kayu untuk penggunaan secara umum. Hal tersebut dikarenakan kondisi kapal yang berada dalam air, dimana terdapat gaya hidrostatik yang bekerja pada kapal (Tarkono, 2006). Oleh karena itu, bahan kayu yang digunakan dalam bidang perkapalan haruslah awet, kuat, serta kedap air.

Keawetan bambu laminasi sebagai material konstruksi telah disokong dengan metode pengawetan menggunakan boraks, sedangkan kekuatan dan kekedapan bambu laminasi diperoleh dari susunan laminasi yang diterapkan. Penempatan sambungan bambu laminasi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.8 dibuat tidak segaris atau disebut dengan metode tumpuk bata (Prabowo & Supomo, 2013).



Gambar 2.8 Potongan Melintang Susunan Papan Laminasi dengan Metode Tumpuk Bata

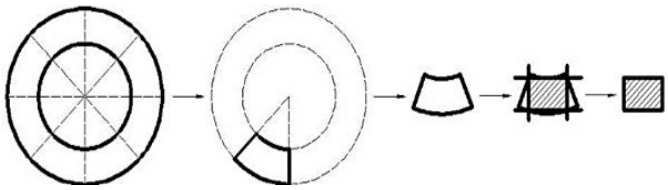
Standar produksi yang ditetapkan dalam teknologi laminasi salah satunya adalah mengenai ukuran tebal tiap lapisan. Teknologi laminasi yang digunakan sebagai konstruksi kapal harus memiliki tebal tiap lapisan pada kisaran 5-20 milimeter (BKI Survei, 2013). Adapun lebar lapisan tidak diberi batasan, namun untuk mencapai standar maka ditetapkan ukuran lebar bilah harus seragam. Khusus pada bambu Ori, tebal bilah laminasi yang telah diratakan berkisar antara 5 – 7 mm.

2.7 Teknologi Bambu Laminasi

Bambu memiliki batang silinder asimetris dengan ukuran diameter yang mengecil dimulai dari bagian pangkal hingga ke ujung batang. Namun demikian, teknik perekatan

memungkinkan penggabungan antara beberapa elemen yang tidak seragam menjadi satu kesatuan. Dalam hal ini, terlebih dahulu bambu diproses menjadi bilah berbentuk batang prismatis dengan potongan melintang berupa persegi. Setelah itu, elemen-elemen ini diolesi perekat dan dikempa menjadi papan atau balok. Mengingat gabungan elemen-elemen ini terbentuk dari beberapa lapis, papan dan balok yang dihasilkan disebut dengan papan/balok lapis atau papan/balok laminasi (Budi, 2007).

Tahapan pembentukan elemen bambu laminasi diilustrasikan pada Gambar 2.9, dimana bambu utuh dipecah secara memanjang dan kemudian semua sisi diratakan, sehingga dihasilkan bilah bambu yang seragam.



Gambar 2.9 Potongan Melintang Batang Bambu yang Diproses Menjadi Bilah
(sumber: Suprijanto & Kusmawan, 2009)

Bambu laminasi pada awalnya didasari oleh pemikiran dari balok *glulam (glue laminated beam).* Balok *glulam* dibuat dari lapisan-lapisan kayu yang relatif tipis, kemudian digabungkan dan direkatkan sedemikian rupa sehingga menghasilkan balok kayu dalam berbagai ukuran dan panjang (Suprijanto & Kusmawan, 2009).

2.7.1 Perekatan Laminasi

Proses penyambungan laminasi sangat terkait dengan proses perekatan. Dalam proses perekatan bambu laminasi ada tiga aspek utama yang mempengaruhi kualitas hasil produksi, yaitu aspek bahan yang direkat (bambu), aspek bahan perekat (matriks), dan aspek teknologi perekatan. Aspek bahan yang direkat (bambu) meliputi struktur dan anatomi bambu (arah serat) dan sifat fisis (kadar air, berat jenis, dan porositas). Aspek bahan perekat meliputi jenis, sifat, dan kegunaan perekat. Aspek teknologi perekatan meliputi komposisi perekat, berat laburan, pengempaan, dan kondisi kerja (durasi, suhu, cara pelaksanaan) (Budi, 2007).

Pemeriksaan yang paling utama pada bambu sebelum dilakukan perekatan adalah faktor kadar air. Mengacu pada regulasi BKI tahun 2013 tentang Kapal Kecil $\leq$ 24 meter, disyaratkan nilai kadar air untuk kayu lapis/laminasi sebelum proses perekatan adalah kurang dari 20%. Bilah bambu yang basah (kadar air $\geq$ 20%) menghasilkan perekatan laminasi yang tidak maksimal akibat kandungan air berlebih yang mempengaruhi proses *curing* dari perekat.

Aspek bahan perekat (matriks) merupakan material pengikat serat laminasi. Bahan yang umumnya dipakai sebagai perekat adalah *resin* atau *polimer*, sedangkan *resin* dalam bidang perkapalan dikategorikan sebagai perekat *marine use*, sehingga jenis perekat yang sesuai untuk kondisi tersebut adalah *resin epoxy*, dengan keunggulan mampu menahan resapan air dan memiliki kekuatan mekanis paling tinggi dibandingkan *resin* jenis lainnya. Adapun spesifikasi teknis *resin epoxy* adalah sebagai berikut: massa jenis 1,20 gr/cm^3; *modulus young* 3,2 GPa; dan angka poisson 0,37 (Manuputty & Berhitu, 2010).

Aspek terakhir yang berpengaruh terhadap hasil perekatan adalah pengempaan. Pengempaan adalah teknik pengerjaan dengan memberikan beban luar kepada benda kerja (papan laminasi). Pengempaan dilakukan dari atas ke bawah atau dengan kata lain tegak lurus terhadap susunan laminasi, hal ini bertujuan untuk memastikan perekat merata dan meresap ke rongga-rongga antar sambungan dengan ketebalan setipis mungkin dan mengeliminasi timbulnya porositas sehingga standar kuat, awet, dan kedap suatu laminasi dapat terpenuhi. Metode pengempaan/pengepresan dibagi menjadi dua macam: *cold pressing* dan *hot pressing* (Oka, 2008). Pada dasarnya, kedua metode pengempaan ini hanya dibedakan dari segi kapasitas produksi, dimana *hot pressing* menggunakan bantuan suhu dan tekanan tertentu, sehingga durasi pembentukan produk laminasi menjadi lebih singkat, namun membutuhkan biaya yang relatif mahal.

2.7.2 Keunggulan Bambu laminasi

Bambu laminasi memiliki kekuatan yang tinggi terhadap abrasi dan momen lentur. Berdasarkan hasil penelitian tentang ketahanan lantai bambu laminasi terhadap abrasi diperoleh kesimpulan bahwa, ketahanan lantai bambu laminasi adalah sekitar 130 persen dari ketahanan lantai kayu Kempas *(Koompasia malaccensis)*, atau sekitar lima kali ketahanan kayu karet. Bambu laminasi yang dihasilkan jika dibandingkan dengan papan partikel secara acak, mempunyai MoR 4-7 kali dan MoE 4-6 kali lebih besar. Mengingat kekuatan tersebut, bambu laminasi cocok digunakan sebagai lantai bangunan gedung, lantai truk, bekisting beton, dan material konstruksi lainnya. Secara garis besar, keuntungan yang dapat diperoleh dari teknologi laminasi antara lain (Suprijanto & Kusmawan, 2009):

1. Teknologi laminasi secara tidak langsung dapat mengatasi masalah retak, pecah, ataupun cacat akibat pengeringan karena terdiri atas lembaran-lembaran tipis, sehingga pengeringan lebih cepat dan mudah.

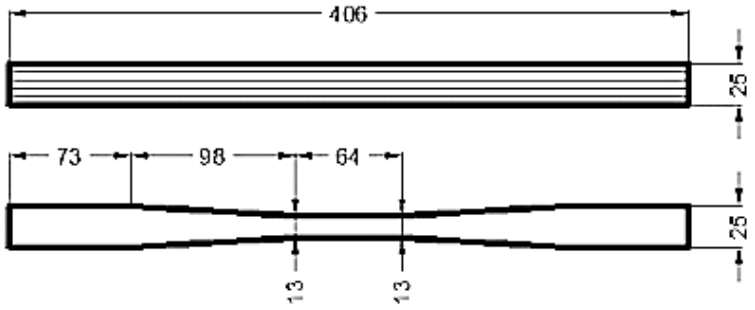
2. Produk laminasi yang berlapis-lapis memungkinkan untuk memanfaatkan lapisan berkualitas lebih rendah untuk disisipkan di antara lapisan luar dan lapisan dalam seperti halnya produk kayu lapis.
3. Teknologi laminasi memungkinkan pembuatan struktur berukuran bentang besar yang lebih stabil karena seluruh komponen yang digunakan telah dikeringkan sebelum dibentuk menjadi produk laminasi.

Arah serat laminasi dapat dipasang bersilangan, sehingga susunan ini akan menjadikan kembang susut produk tidak terlalu besar.

2.7.3 Standar Uji Tarik dan Tekuk Bambu Laminasi

Bambu laminasi termasuk dalam standar ASTM mengenai Kayu dan Komposit yang meliputi material *plywood*, papan laminasi, papan komposit, dan papan lapis lainnya yang berbahan dasar kayu dengan kode D3500 untuk Standar Metode Pengujian Tarik dan kode D3043 untuk Standar Metode Pengujian Tekuk.

Metode pengujian tarik dibagi menjadi dua kategori: A untuk spesimen kecil dan B untuk spesimen besar. Bambu laminasi termasuk dalam kategori A, sedangkan dimensi spesimen untuk kategori A dibagi dalam tiga tipe: A untuk tebal bilah lebih dari ¼ inci atau 6 mm, B untuk tebal bilah kurang dari ¼ inci atau 6 mm, dan C untuk *plywood* dengan sudut susunan serat selain 0° atau 90°. Jadi, spesimen uji tarik bambu Ori termasuk kategori A tipe B dengan dimensi yang disyaratkan mengacu pada Gambar 2.10, dimana panjang spesimen uji secara keseluruhan sebesar 406 mm dan panjang esensialnya (L_0) terletak di tengah sepanjang 64 mm.



Gambar 2.10 Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D3500 (satuan dalam milimeter)

Nilai kuat tarik *(stress)* dan regangan *(strain)* spesimen bambu laminasi dihitung dengan menggunakan formulasi berikut (ASTM D3500, 2004):

$$\sigma = \frac{P_{maks}}{A0} \quad \text{..... (2.1)}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L0} \quad \text{…..…….....} \quad (2.2)$$

Dimana:

σ = Kuat Tarik [N/mm^2]

P_{maks}= Beban Maksimum [N]

A0 = Luas Penampang Spesimen [mm^2]

ε = Regangan

ΔL = L1 – L0

L0 = Panjang Awal [mm]

Modulus elastisitas tarik spesimen bambu laminasi dihitung dengan menggunakan formulasi berikut (ASTM D3500, 2004):

$$\text{MoE} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{….....} \quad (2.3)$$

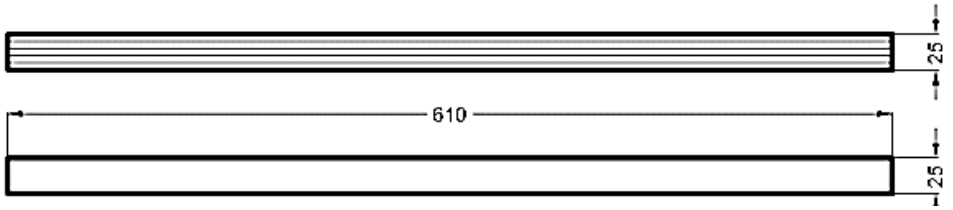
Dimana:

MoE= Modulus Elastisitas Tarik [N/mm^2],

σ = Kuat Tarik [N/mm^2]

ε = Regangan

Metode pengujian tekuk dibagi menjadi empat kategori: A untuk pengujian tekuk di titik tengah *(center-point test)*, B untuk pengujian tekuk di dua titik *(two-point test)*, C untuk pengujian momen alami *(pure moment test)*, dan D untuk pengujian tekuk sebagai persyaratan jaminan mutu. Bambu laminasi termasuk dalam kategori A dengan hasil pengujian yang terbaca meliputi total defleksi dan modulus elastisitas. Penampang melintang spesimen uji tekuk bambu laminasi disyaratkan harus berbentuk bujur sangkar dengan ukuran tebal = lebar, sedangkan panjang minimum spesimen adalah 24 kali tebal bilah. Bila tebal bilah lebih dari ¼ inci atau 6 mm, maka tebal dan lebar penampang melintang spesimen uji harus 2 inci atau 50 mm, sedangkan bila tebal bilah kurang dari ¼ inci atau 6 mm, maka tebal dan lebar penampang melintang spesimen uji harus 1 inci atau 25 mm. Jadi, spesimen uji tekuk bambu Ori termasuk kategori A dengan dimensi yang disyaratkan mengacu pada Gambar 2.11, dimana panjang spesimen uji secara keseluruhan sebesar 610 mm dengan tebal dan lebar sebesar 25 mm.



Gambar 2.11 Dimensi Spesimen Uji Tekuk ASTM D3043 (satuan dalam millimeter)

Nilai kuat tekuk spesimen bambu laminasi dihitung dengan menggunakan formulasi berikut (ASTM D3043, 2004):

$$\mathrm{MoR} = \frac{\mathrm{PLc}}{4\mathrm{I}} \quad \text{…..……..... (2.4)}$$

Dimana:

MoR= Modulus Patah [N/mm^2],

P = Beban [N],

L = Panjang [mm],

c = Jarak Netral Axis ke Lapisan Serat Terdalam [mm],

I = Momen Inersia [mm^4].

Modulus elastisitas spesimen bambu laminasi dihitung dengan menggunakan formulasi berikut (ASTM D3043, 2004):

$$\mathrm{EI} = \left(\frac{\mathrm{L}^3}{48}\right)\left(\frac{\mathrm{P}}{\Delta}\right) \text{…..……..... (2.5)}$$

Dimana:

EI = Modulus Elastisitas [MPa] x Momen Inersia [mm^4],

P/Δ = Beban/Defleksi [N/mm],

I = Momen Inersia [mm^4],

B = Panjang [mm].

2.8 Bambu Laminasi Sebagai Material Komposit

Komposit adalah gabungan/campuran dari dua atau lebih komponen yang berlainan dengan tujuan untuk mendapatkan suatu bahan yang mempunyai sifat dan ciri tertentu yang berbeda dari konstituen asalnya (Carli & Widyanto, 2012). Singkatnya, komposit merupakan sistem multi fasa sifat material gabungan (Oroh, 2103).

2.8.1 Karakteristik Material Komposit

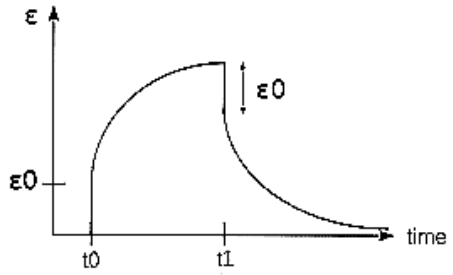
Unsur-unsur utama penyusun komposit adalah serat (penguat) dan matriks (pengikat). Fungsi utama dari penguat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari penguat yang digunakan, karena tegangan yang bekerja pada komposit mulanya diterima oleh matriks akan diteruskan kepada penguat, sehingga penguat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu, penguat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matriksnya

(Porwanto, 2007). Matriks berfungsi untuk melindungi serat dari efek lingkungan dan kerusakan akibat benturan yang umumnya bersifat lebih ulet, tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah, sehingga gabungan serat dan matriks dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dari bahan konvensional (Carli & Widyanto, 2012).

Bambu laminasi termasuk material komposit yang terdiri dari penguat berupa serat alami bambu dan matriks berupa polimer *resin epoxy*. Sebagaimana karakteristik suatu material komposit, bambu dan *resin epoxy* memiliki perbedaan sifat mekanis yang signifikan, hal ini dibuktikan dari hasil penelitian mengenai kekuatan mekanis bambu Ori yang diawetkan dengan boraks memiliki rata-rata nilai kuat tarik sebesar 311,031 MPa dan kuat tekuk sebesar 258,170 MPa, serta dari hasil penelitian mengenai kekuatan mekanis *resin epoxy* yang menggunakan 100% *hardener* memiliki rata-rata nilai kuat tarik sebesar 41,836 MPa dan kuat tekuk sebesar 44,037 MPa (Firmansyah, 2013). Berdasarkan hasil penelitian ini disimpulkan bahwa, material komposit dengan komponen bambu Ori sebagai penguat memiliki kuat tarik dan tekuk yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *resin epoxy* sebagai matriks pengikatnya.

2.8.2 Perilaku Viskoelastis pada Polimer

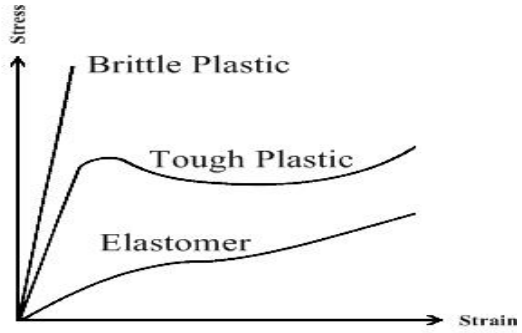
Viskoelastis adalah perilaku material yang menunjukkan sifat kental *(viscous)* dan elastis pada waktu bersamaan ketika terjadi pembebanan. Selama pembebanan, terjadi perubahan energi pada material viskoelastis, dimana kemampuan ini sangat cocok diterapkan sebagai peredam getaran dan goncangan. Perbedaan mendasar antara viskoelastis dengan elastis adalah adanya faktor viskositas, selain itu material viskoelastis memiliki laju pemuluran/peregangan yang dipengaruhi oleh lamanya pembebanan (Sorbothane, 1986). Pada Gambar 2.12, ditunjukkan pemuluran maksimum tercapai pada waktu t1, dimana titik ini merupakan batas perilaku viskoelastis suatu material.



Gambar 2.12 Grafik Nilai Pemuluran (ε) terhadap Waktu (t)

(Sumber: https://www.teachengineering.org/, 2015)

Perilaku viskoelastis merupakan salah satu satu sifat dari polimer yang memiliki sensitivitas terhadap pembebanan dalam jangka waktu yang relatif lama (Knauss, 1973). Berdasarkan sifat tersebut, polimer terbagi dalam tiga wujud, yaitu berupa *brittle plastic*, *tough plastic*, dan *elastomer* (Hess, 2007). Selain itu, ketiga wujud tersebut memiliki karakteristik yang berbeda selama pembebanan, dimana hal ini diilustrasikan pada Gambar 2.13 yang menunjukkan *brittle plastic* memiliki tegangan tertinggi, kemudian diikuti dengan *tough plastic*, dan *elastomer* yang memiliki tegangan terendah.



Gambar 2.13 Grafik *Stress-strain* Tiap Wujud Viskoelastis
(Sumber: Hess, 2007)

Di samping faktor wujud yang berbeda-beda dalam reaksi pembebanan, suhu juga merupakan salah satu variabel terpenting yang dapat mempengaruhi sifat polimer, dimana pengaruhnya berdampak pada kemampuan material menahan beban pada suhu tinggi *(creep)* (Knauss, 1973). Sifat ini sangat penting untuk diketahui, terutama aplikasi polimer pada bidang industri yang memiliki suhu operasional di atas suhu ruang.

2.9 Peraturan BKI 2013 Vol VII

Pada aturan BKI 2013 tentang "*Rules for Small Vessel Up to 24m"* terdapat aturan yang mengkhususkan penggunaan kayu laminasi (*cold mould)* sebagai material utama dalam pembangunan kapal ikan. Berkaitan dengan penggunaan kayu laminasi sebagai bahan pembuatan kapal ikan, workshop yang digunakan untuk membangun kapal kayu harus tertutup dengan suhu yang tepat dan memiliki ventilasi yang memadahi. Apabila menggunakan kayu laminasi dalam pembangunan kapal, maka beberapa persyaratan harus di lakukan :

1. Aturan dari produsen lem tentang penyimpanan dan penggunaan lem serta pengeras harus diamati. Perekat dan pengeras harus disimpan dalam wadah aslinya yang disegel dengan baik kemudian ditempatkan pada tempat yang sejuk dan kering serta harus memperhatikan masa kadaluarsanya.

2. Kelembapan komponen yang akan direkatkan harus memenuhi persyaratan, yaitu berkisar antara 8%-14%. Kelembapan dari komponen yang akan direkatkan sebaiknya memiliki kelembapan yang hampir sama atau perbedaanya tidak lebih dari 4%.
3. Suhu dari permukaan yang akan direkatkan tidak boleh kurang dari 15°C.
4. Permukaan yang akan direkatkan harus bebas dari segala jenis zat asing atau kontaminasi yaitu : pelumas, minyak cat, dan lain-lain. Selain itu harus terbebas juga dari bahan pengawet. Apabila komponen yang akan direkatkan terkontaminasi zat pengawet, maka kesesuaian pengawet dengan perekat yang akan diuji harus terlebih dahulu ditunjukan sesuai prosedur oleh BKI.
5. Perusahaan yang memproduksi labung kayu dan kayu laminasi harus memenuhi persyaratan terkait tentang pekerjaan, peralatan bengkel, pengendalian kualitas, proses manufaktur serta pelatihan dan kualifikasi pegawai yang melaksanakan dan mengawasi pekerjaan.
6. Slama proses perekatan suhu udara tidak boleh berada dibawah 15°C dan kelembapan udara harus berada diatas 4-5%.
7. Komposisi antara perekat dan pengeras harus sesuai dengan petunjuk manufaktur.
8. Lem yang sudah siap digunakan dioleskan secara merata dengan mengunakan *roller* atau kuas cat untuk menyatukan lapisan satu dengan lapisan yang lainya. Perekat diaplikasikan sedikit demi sedikit agar mengisi sambungan. Sambungan yang tebalnya lebih dari 1mm tidak diizinkan. Dilanjutkan proses pengepresan, selama proses ini tekanan yang diberikan harus diperhatikan untuk memastikan bahwa tekanan pada veneer memadai.

Tabel 2.3 Perhitungan Ukuran Galar

L (B/3 + H)	**Penampang (cm^3)**	**Galar balok**		**Galar**		**Galar kim**	
		tinggi (mm)	**tebal (mm)**	**tinggi (mm)**	**tebal(mm)**	**tinggi (mm)**	**tebal (mm)**
20	55	155	36	0	0	190	47
25	83	180	46	0	0	195	49
30	111	200	55	0	0	205	50
35	138	220	62	0	0	210	52
40	165	240	68	0	0	220	53
45	192	265	73	0	0	225	54
50	219	280	79	0	0	235	55
60	273	295	61	96	96	245	57
60	273	275	65	0	0	245	57

L (B/3 + H)	Penampang (cm^3)	Galar balok		Galar		Galar kim	
		tinggi (mm)	tebal (mm)	tinggi (mm)	tebal(mm)	tinggi (mm)	tebal (mm)
70	327	325	67	105	105	255	58
70	327	305	72	0	0	255	58
80	380	350	72	113	113	270	59
80	380	320	77	0	0	270	59
90	423	370	76	119	119	270	60
90	423	345	81	0	0	270	60
100	471	390	84	125	125	275	61
100	471	365	86	0	0	275	61
110	520	410	84	132	132	280	62
110	520	385	90	0	0	280	62
120	556	430	88	136	136	285	63
120	556	395	93	0	0	285	63
130	592	490	91	140	140	285	64
130	592	410	97	0	0	285	64
140	630	450	93	145	145	290	65
140	630	425	100	0	0	290	65
160	710	255	80	134	134	290	66
180	785	270	83	141	141	300	66
200	846	290	86	146	146	305	67
220	930	300	88	152	152	310	67
240	980	315	90	157	157	310	68
260	1040	325	92	162	162	315	68

Sumber : tabel 5 BKI Vol VII, 2013

Selain itu, pada aturan BKI tahun 2013 ini juga mengatur tentang perhitungan ukuran konstruksi. Langkah awal dalam menggunakan peraturan klasifikasi BKI 2013 adalah persyaratan ukuran utama kapal ikan yang meliputi : panjang kapal (L), lebar kapal (B), tinggi kapal (H), dan sarat kapal (T). Variabel ukuran utama ini akan digunakan sebagai dasar perancangan ukuran member konstruksi kapal ikan. Dalam menghitung ukuran komponen konstruksi kapal ikan berbahan kayu solid dan laminasi *hybrid* ada beberapa hal yang berlainan. Beberapa ukuran konstruksi dihitung dengan menggunakan angka petunjuk, sedangkan beberapa ukuran member konstruksi yang lainya dihitung dengan menggunakan formula empiris yang telah ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia.

Tabel 2.4 Perhitungan Ketebalan Kulit

L (B/3 + H)	Gading		Kulit
	tunggal	berganda	Tebal
	Jarak gading		
m²	Mm	Mm	Mm
1	2	3	4
35	315	350	39
40	330	365	41
45	340	380	43
50	355	395	45
60	380	425	49
70	405	450	52
80	425	475	56
90	440	490	60
100	455	505	63
120	485	540	67
140	515	570	72
160	530	590	76
180	545	605	80
200	560	620	83
220	570	630	87
240	575	640	90
260	585	650	94

Sumber: Tabel 6a BKI Vol VII, 2013

Angka petunjuk yang digunakan dalam menentukan dan menghitung ukuran utama member konstruksi ada dua macam, yaitu : L (B/3 + H1) dan (B/3+H1). Nilai angka petunjuk, L (B/3 + H1) digunakan untuk menentukan ukuran konstruksi lunas, linggi, galar kim, galar dan galar balok. Setelah itu ditentukan nilai angka petunjuk, selanjutnya akan dicocokan dengan daftar ukuran konstruksi pada Tabel 2.3. Nilai (B/3+H1) merupakan penunjuk untuk mencari ukuran konstruksi wrang. Melalui bantuan tabel dan angka penunjuk diperoleh ukuran member konstruksi yang dimaksud dengan melihat pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6 . Jika dalam tabel tidak tercantum, maka perlu interpolasi, sehingga dapat diperoleh nilai yang rasional. Dari hasil beberapa perhitungan tersebut, selanjutnya ditabulasikan untuk seluruh bagian konstruksi kapal ikan berbahan kayu solid.

Tabel 2.5 Perhitungan Lunas Dan Linggi Haluan

L (B/3 + H)	Lunas							Linggi Haluan	
	Penampang	Hanya luas luar		Lunas luar		Lunas Dalam		Lebar	Tinggi
M	cm^2	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Mm	
20	320	150	215	125	140	130	115	125	180
25	375	160	235	130	160	135	125	135	195
30	430	170	255	140	170	140	140	145	210
35	485	180	275	145	185	150	145	150	225
40	540	190	295	150	200	155	155	160	240
50	650	210	310	165	220	175	165	175	260
60	750	220	340	175	235	190	175	190	280
70	855	235	365	190	240	205	195	200	300
80	955	250	380	205	255	215	200	215	315
90	1060	265	400	215	275	225	210	225	335
100	1160	275	420	225	280	235	225	235	355
120	1370	305	450	250	300	260	240	255	385
140	1570	0	0	270	320	280	255	275	415
160	1775	0	0	280	350	295	270	295	440
180	1985	0	0	290	370	310	290	310	460
200	2190	0	0	310	390	325	300	325	480
220	2400	0	0	330	400	340	320	340	510
240	2600	0	0	340	415	360	330	355	530
260	2800	0	0	350	435	375	340	370	550

Sumber : tabel 1a BKI Vol VII, 2013

Sedangkan untuk kapal ikan berbahan laminasi *hybrid* menggunakan prosedur yang sedikit berbeda. Untuk ukuran dan kapasitas kapal ikan yang sama, nilai ukuran hasil perhitungan berdasarkan tabel (seperti pada perhitungan ukuran konstruksi kayu solid) akan tetapi dilakukan perhitungan dengan menggunakan formula persamaan momen (BKI,2013). Momen yang terjadi pada elemen konstruksi kapal kayu dan kapal bambu laminasi dianggap sama besar.

$$\mathcal{M}1 = \mathcal{M}2 \quad \text{..... (2.6)}$$

$$\sigma 1 W1 = \sigma 2 W2 \quad \text{..... (2.7)}$$

Dimana:

$\mathcal{M}x$: momen yang terjadi pada member konstruksi (Nm)

i) $\sigma 1$: *tensile strength* material (Mpa)

$\mathcal{W}x$: modulus member konstruksi (m^3)

Perhitungan pada permodelan matematis diatas digunakan untuk menghitung modulus dari member konstruksi lunas, linggi, gading, galar kim, dan galar balok. Perhitungan ukuran konstruksi kapal dengan bahan laminasi *hybrid* ini dihitung dengan menggunakan rumus perbandingan kekuatan tarik kayu Jati Solid KK dengan laminasi *hybrid.*

Tabel 2.6 Perhitungan Ukuran Wrang

B/3 + H	**Tinggi Wrang**	
	Hanya lunas luar	**lunas luar dan lunas dalam**
m	mm	mm
2,40	170	140
2,60	180	150
2,80	190	160
3,00	200	170
3,40	220	190
3,80	240	210
4,20	260	225
4,60	280	250
5,00	-	270
5,40	-	285
5,80	-	305
6,20	-	325
6,60	-	345

Sumber: tabel 4 BKI Vol VII, 2013

Dengan menggunakan konsep dasar momen bending yang terjadi pada sebuah member konstruksi adalah sama besar (BKI,2013), maka ukuran modulus dari member konstruksi kapal dengan material laminasi *hybrid* dapat dihitung menggunakan konsep ini.

M_1 yang merupakan momen yang terjadi pada kapal kayu solid, yang mana nilainya sama dengan M_2, yaitu momen yang terjadi pada kapal laminasi *hybrid* dan besar tegangan (σ_1) kayu solid dikalikan dengan modulus ukuran bagian konstruksi kapal kayu solid sehingga modulus (W_2) pada kapal laminasi *hybrid* dapat dihitung. Kuat tarik Kayu Jati KK II adalah **78 Mpa** sedangkan kuat tarik laminasi *hybrid* didapatkan melalui pengujian laboratorium. Dari modulus minimum yang didapatkan kemudian dirancang ukuran *web* dan *face* dari masing-masing bagian konstruksi sehingga didapatkan modulus desain yang sama atau mendekati modulus minimum hasil perhitungan.

BKI mensyaratkan kayu yang digunakan sebagai bantalan beban harus memiliki kualitas yang bagus, melalui proses pengeringan yang baik, bebas dari getah dan kelemahan

lain yang didapat merugikan. Kayu yang baik digunakan adalah kayu yang tergolong dalam kelas kuat 1, 2, 3, sedangkan kayu dengan kelas kuat 4 dan 5 dapat digunakan setelah mendapatkan persetujuan dari BKI sendiri. Untuk komponen yang tidak terlalu mendapatkan beban terus menerus seperti bagian interior tidak ada jenis kayu tertentu yang ditentukan.

Selanjutnya setelah didapatkan ukuran member konstruksi pada kapal kayu maka dilakukan perhitungan ukuran konstruksi yang ada pada kapal ikan yang berbahan dasar laminasi *hybrid*. Dimana ukuran lunas, linggi, gading, galar kim, galar dam galar blok dihitung menggunakan formula 2.7 dari perhitungan yang dilakukan akan mendapatkan nilai modulus dari member konstruksi yang dimaksud. Kemudian setelah mendapatkan nilai modulus masing-masing akan dilihat ukuran konstruksinya pada Tabel 2.3 ,Tabel 2.4,dan Tabel 2.5. sedangkan untuk kenghitung ketebalan kulit, geladak, dinding bangunan atas, dan geladak bangunan atas dihitung menggunakan persamaan.

$$t = 0{,}0452.f_k.b.\sqrt{\frac{P_d}{\sigma_{Rm}}} \quad \text{.....(2.8)}$$

Keterangan :

t = tebal minimum (mm)

f_k = faktor kelengkungan panel kulit

b = jarak gading (m)

P_d = beban pada konstruksi (kN)

σ_{Rm} = *ultimate bending strength* [N/mm^2]

Berdasarkan persamaan 2.9, dibuat sebuah rumus perbandingan, dimana beban pada konstruksi kapal berbahan Kayu Jati Solid diasumsikan sama dengan beban pada konstruksi kapal berbahan laminasi *hybrid*, sehingga didapatkan rumus sebagai berikut:

$$P_d = \left[\frac{t}{0{,}0452.f_k.b}\right]^2.\sigma_{Rm} \text{.....(2.9)}$$

Karena beban (P_d), faktor kelengkungan (f_k) dan jarak gading (b) pada kedua kapal sama, maka :

$$\left[\frac{t_1}{0{,}0452.f_{k1}.b_1}\right]^2.\sigma_{Rm1} = \left[\frac{t_2}{0{,}0452.f_{k2}.b_2}\right]^2.\sigma_{Rm2} \text{.....(2.10)}$$

$$t_1^2.\sigma_{Rm1} = t_2^2.\sigma_{Rm2} \text{.....(2.11)}$$

$$t_1 = t_2 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{Rm2}}{\sigma_{Rm1}}} \quad \text{.....(2.12)}$$

2.10 Analisa Ekonomis

Setiap produsen sebuah produk harus dapat menghitung biaya produksi agar dapat menentukan harga jual barang yang dihasilkan, namun untuk dapat menghitung biaya produksi, terlebih dahulu harus memahami konsep dan pengertiannya.

Biaya produksi adalah sejumlah pengorbanan ekonomis yang harus dikorbankan untuk memproduksi suatu barang. Menetapkan biaya produksi berdasarkan pengertian tersebut memerlukan kecermatan karena ada yang mudah diidentifikasi, tetapi juga ada yang sulit untuk diidentifikasi (Render, 2001).

Teori biaya produksi berhubungan erat dengan teori fungsi pengeluaran. Keduanya dipengaruhi oleh hokum produksi marjinal yang semakin berkurang. Keduanya juga membedakan analisisnya terhadap jangka pendek dan jangka panjang. (Render, 2001)

1. Jangka pendek: jangka waktu dimana sebagian faktor produksi tidak dapat ditambah jumlahnya.
2. Jangka panjang: jangka waktu dimana sebagian faktor produksi dapat mengalami perubahan.

Konsep dari biaya jangka pendek adalah sebagai berikut :

1. Biaya *overhead* merupakan biaya yang besarnya berubah-ubah tergantung dari banyak sedikitnya *output* yang dihasilkan. Semakin besar jumlah *output* semakin besar pula biaya variabel yang harus dikeluarkan. Yang termasuk dalam biaya variabel ini adalah biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, bahan bakar, listrik dsb.
2. Biaya Variabel Total (TVC) adalah biaya yang besar kecilnya mengikuti banyak sedikitnya *output*. Dengan kata lain, semakin banyak *output* yang dihasilkan makan biaya variable yang dibutuhkan akan semakin tinggi.
3. Selain biaya variable juga ada biaya tetap. Biaya tetap (TFC) adalah pengeluaran bisnis yang tidak bergantung pada tingkat barang atau jasa yang dihasilkan oleh bisnis tersebut. Pengeluaran ini berkaitan dengan waktu, seperti gaji atau beban sewa yang dibayar setiap bulan, dan sering disebut sebagai pengeluaran tambahan. Ini berbeda dengan biaya variabel yang berkaitan dengan volume (dan dibayar per barang/jasa yang diproduksi).

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB 3
METODOLOGI

3.1 Metode

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini digunakan metode eksperimen statistik. Metode eksperimen adalah suatu penelitian yang dilakukan untuk mengetahui suatu akibat yang ditimbulkan dari suatu perlakuan yang diberikan secara sengaja. Dalam Tugas akhir ini melakukan penelitian terhadap laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan Kayu Sengon dengan variasi tebal bilah. Penulis melakukan pengujian laboratorium berupa uji tarik dan uji tekuk pada spesimen yang tekah dibuat yang pada akhirnya akan mendapatkan data-data hasil pengujian. Data yang sudah di uji didapat dari pengujian yang akan dianalisa apakah nilai yang didapat memenuhi standar minimum dari Biro Klasifikasi Indonesia.

Setelah didapat sifat mekanis material laminasi *hybrid* selanjutnya akan dilakukan perhitungan ukuran konstruksi sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan ekonomis laminasi *hybrid* sebagai material konstruksi Kapal Ikan 30GT yang akan dibandingkan dengan penggunaan Kayu Jati.

3.2 Langkah Pembuatan Spesimen Uji

3.2.1 Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan dalam eksperimen ini adalah bambu, Sengon, perekat yang selanjutnya akan dibuat menjadi spesimen bambu laminasi *hybrid.* Penggunaan bahan harus sesuai dengan keperluan dan meminimalkan material sisa sehingga menekan biaya produksi yang disebabkan oleh *raw* material. Berikut adalah penjelasan dari bambu, kayu Sengon, lem perekat yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini :

1. **Bambu**

Material dasar yang digunakan dalam Tugas akhir ini adalah Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper)*. Bambu tersebut didapat dari hasil tanam penduduk disekitar wilayah Taman Hutan Raya Raden Soerjo, Kota Pacet, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur. Bambu yang digunakan berusia tanam di atas empat tahun dan dibutuhkan sejumlah lima puluh batang

potongan tiga sampai empat centimeter dengan panjang masing-masing tiga meter. Gambar 3.1 di bawah ini merupakan salah satu perkebunan Bambu Betung di daerah Pacet, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur.

Gambar 3.1 Rumpun Bambu Betung Siap Panen

Bambu yang terpilih kemudian dipecah secara memanjang berbentuk bilahan dengan ukuran lebar kurang lebih tiga setengah sentimeter. Dari proses ini didapatkan kurang lebih dua ratus bilah bambu, dimana hasilnya dapat dilihat pada pada Gambar 3.2. Selain itu, ruas dan kuku yang terdapat pada bambu dibersihkan untuk memudahkan proses *machining.*

Gambar 3.2 Batang Bambu yang Telah Dipecah Menjadi Bilah Sepanjang 4 meter

2. Sengon

Sengon yang digunakan Tugas akhir ini berjenis Sengon laut, Sengon tersebut berumur sekitar 4-6 tahun dengan diameter pohon 20-22 centimeter. Sengon laut tersebut dipotong berbentuk papan yang berukuran 200x20x2,5 centimeter.

Langkah selanjutnya kayu Sengon laut dipotong menjadi 3 macam ukuran bilah dengan ukuran 70x2,5x0,4 centimeter, 70x2,5x0,8 centimeter, 70x2,5x1,2 centimeter.

3. Perekat

Lem yang digunakan Tugas akhir ini adalah *epoxy Resin* dengan merek propan beserta hardenernya. Lem ini memiliki massa jenis 1,21 ton/m3 jika sudah dicampur dengan *hardener* dengan perbandingan 1:1. lem jenis *epoxy resin* memiliki ketahanan terhadap air yang sangat baik sehingga dianggap sangat cocok digunakan pada material yang tercelup air. Cara kerja lem jenis ini adalah dengan masuk ke dalam pori-pori kayu dan mengikatnya dengan kayu lain. Dengan cara kerja seperti itu menyebabkan lem ini tidak begitu lekat jika untuk besi atau logam lain. Pencampuran lem dengan *hardener* harus diperhatikan karena jika terlalu banyak resin yang digunakan menyebabkan lem akan sangat lama untuk kering. Sedangkan jika terlalu banyak *hardener* yang dicampurkan, maka lem akan bersifat getas dan terlalu kental yang menyebabkan lem tidak bisa mengisi bagian yang renggang dari laminasi kayu

3.2.2 Persiapan Alat

Dalam pembuatan spesimen, diperlukan alat yang dapat membantu pekerjaan. Alat yang digunakan dapat berupa alat alat manual maupun otomatis dengan bantuan mesin. Penggunaan alat harus diperhatikan cara kerja dan keahlian dari penggunanya sehingga tetap memperhatikan faktor keamanan. Berikut adalah alat yang digunakan dalam pengerjaan spesimen Tugas Akhir ini :

1. Mesin planer

Mesin planer yang digunakan merupakan mesin milik Departemen Produksi Teknik Perkapalan ITS. Pada Gambar 3.3 dapat dilihat bentuk dari mesin planer dan tempat untuk cara kerjanya. Cara kerja mesin planer adalah dengan memasukkan bilahnya kedalam mesin dan membiarkanya melewati pisau putar hingga bilah bambu keluar. Mesin planer yang ditunjukan pada Gambar 3.3 adalah mesin planer untuk menghaluskan 1 sisi permukaan bilah bambu sehingga permukaan bilah harus dihaluskan terlebih dahulu pada sisi sebaliknya untuk

mempercepat kinerja mesin planer. Jika permukaan sisi dibalik permukaan yang dihaluskan mesin planer belum rata maka bilah bambu akan sulit untuk dikeluarkan dari mesin planer.

Gambar 3.3 Mesin Planer.

2. Alat Press Laminasi

Alat press laminasi seperti pada Gambar 3.4 digunakan untuk melakukan penekanan selama pengeringan lem pada pembuatan spesimen. Hal ini dilakukan agar spesimen berbentuk rata dan rapi. Pada gambar dibawah ini dapat terlihat alat press yag digunakan untuk bambu laminasi dalam Tugas Akhir ini. Alat press ini terdiri dari pelat alas yang dilas pada kanal U. Kanal U berfungsi sebagai tiang juga dilas ke kanal U yang nantinya akan dilubangi dan diisi ulir untuk menekan pelat yang menekan bambu laminasi. Pelat alas dan pelat press memiliki ketebalan 10 mm.

Gambar 3.4 Alat Press Laminasi untuk pembuatan papan laminasi

3. Mesin uji tartik dan uji tekan

Mesin uji tarik dan tekan yang digunakan merupakan mesin uji tarik dan tekan milik Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Teknik perkapalan ITS. Pada Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa mesin uji tarik dan uji tekan terdapat dalam satu unit mesin. Pada bagian dibawah digunakan sebagai mesin uji tarik dan pada bagian atas digunakan sebagai mesin uji tekan. Pada mesin uji tarik terdapat bagian untuk menjepit ujung spesimen dan diberikan beban tarik dengan kecepatan pembebanan yang dapat diatur. Sedangkan pada mesin uji tekan terdapat tempat peletakan spesimen yang nantinya akan diberi beban tekan/kompresi.

Gambar 3.5 Mesin UTM *(Universal Testing Machine)*

Dalam proses pembuatan spesiem uji hal pertama dilakukan adalah memilih bahan baku yaitu Bambu Betung dan Kayu Sengon kemudian diolah menjadi papan laminasi. Dibawah ini adalah tahap-tahap yang dilakukan pembuatan papan laminasi.

3.2.3 Pembuatan Bilah Bambu

Tiap bilah bambu ditipiskan dengan menggunakan mesin *planer* dengan ketebalan rata-rata lima milimeter. Bilah bambu selanjutnya dipotong secara melintang menggunakan *jigsaw* yang menghasilkan ukuran panjang tujuh puluh centimeter, dimana hasil pemotongan ditunjukkan pada Gambar 3.6.

Gambar 3.6 Potongan Bilah Sepanjang 50 dan 70 cm

Dilihat dari potongan melintang, bagian samping bilah (lebar) bambu masih belum seragam dan tidak rata. Oleh karena itu, kedua sisi lebar bilah diratakan menggunakan mesin serut *(handplaner)* yang menghasilkan ukuran lebar tiga centimeter seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7, sehingga diperoleh dimensi akhir bilah dengan ukuran 700 x 25 x 5 mm.

Gambar 3.7 Pemerataan Menggunakan *Handplaner*

3.2.4 Pembuatan Bilah Sengon

Tiap papan Sengon yang sudah dipotong berbentuk papan dibelah sesuai dengan ukuran70 x 2,5 x 0,5 centimeter, 70 x 2,5 x 1 centimeter, 70 x 2,5 x 1,5 centimeter yang akan dijelaskan proses laminasi pada sub bab selanjutnya.

3.2.5 Proses Laminasi

Spesimen uji dibentuk dari papan laminasi utuh, dimana bahan bakunya berupa bilah-bilah bambu yang telah diproses. Adapun urutan langkah-langkah pembuatan papan laminasi dijelaskan sebagai berikut:

1. Bilah-bilah kemudian disusun 3 lapis bilah kayu Sengon tersebut terletak dilapisan ke 2 dalam penyusunan laminasi, dan diberi nomor sebagai perencanaan awal setiap papan laminasi yang akan dibentuk.

2. Sesuai aturan susunan metode tumpuk bata, bilah disusun satu per satu dengan ukuran 700 x 250 x 15 mm ; 700 x 250 x 20 mm ; 700 x 250 x 25 mm untuk spesimen uji tarik dan spesimen uji tekuk.
3. Perekat *epoxy* dipersiapkan dengan rasio *resin-hardener* adalah 1:1 dan berat total kedua senyawa tersebut sebesar 1000 gram untuk satu papan laminasi spesimen uji tarik dan spesimen uji tekuk.
4. Susunan bilah yang telah diberi nomor diletakkan sesuai urutannya di atas mesin *press* yang diberi alas kertas, kemudian tiap lapisan dioleskan perekat menggunakan kapi secara merata hingga lapisan terakhir/teratas.
5. Setelah proses pengeleman selesai, lapisan terakhir ditutupi kertas diikuti dengan peletakkan pelat bagian atas dan kemudian tiap penumpu diposisikan segaris agar proses pengempaan merata.
6. Proses pengeringan perekat membutuhkan waktu kurang lebih selama 12 jam.
7. Papan laminasi yang telah kering dibersihkan dari sisa kertas yang menempel dan perekat yang berlebih menggunakan mesin *planar* dan amplas.
8. Proses terakhir, papan laminasi yang telah dibersihkan selanjutnya dibentuk menjadi dua jenis spesimen uji dengan dimensi yang disyaratkan.

3.2.6 Pemotongan dan Pembentukan Spesimen Uji

Berikut adalah proses pemotongan papan menjadi spesimen yang akan digunakan untuk pengujian tarik:

a. Papan dibagi menjadi 2 secara memanjang sehingga didapatkan ukuran 700 x 125 x 15 mm, 700 x 125 x 20 mm, 700 x 125 x 25 mm.
b. Papan dipotong menggunakan *bench-saw* secara melintang sepanjang 460 mm.
c. Potongan contoh material berdimensi 460 x 125 x 15 mm, 460 x 125 x 20 mm, 460 x 125 x 25 mm. Kemudian setiap papan dipotong memanjang menjadi 5 spesimen dengan ukuran 460 x 25 x 15 mm, 460 x 25 x 20 mm, 460 x 25 x 25mm.
d. Kemudian spesimen dibentuk sesuai dengan aturan ASTM D 3500.

Berikut adalah pemotongan papan menjadi spesimen yang akan digunakan untuk pengujian tekuk :

a. Papan yang sudah dibagi menjadi 2 secara memanjang sehingga didapatkan ukuran 700 x 125 x 15 mm, 700 x 125 x 20 mm, 700 x 125 x 25 mm.
b. Papan dipotong menggunakan bench-saw secara melintang sepanjang 610 mm.
c. Potongan contoh material berdimensi 610 x 125 x 15 mm, 610 x 125 x 20 mm, 610 x 125 x 25 mm. Kemudian setiap papan dipotong memanjang menjadi 5 spesimen dengan ukuran 610 x 25 x 15 mm, 610 x 25 x 20 mm, 610 x 25 x 25mm.
d. Kemudian spesimen dibentuk sesuai dengan aturan ASTM D 3043.

3.3 Langkah Pengujian

Pada tahap ini dilaksanakan pengujian tarik dan tekuk pasca perlakuan spesimen bambu laminasi menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Dari pengujian tarik dihasilkan grafik beban-regangan, sedangkan pada pengujian tekuk dihasilkan grafik beban-defleksi. Pengujian seluruhnya dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan, Departemen Teknik Perkapalan, ITS.

3.3.1 Pengujian Tarik dan Tekuk

Berikut ini langkah-langkah pengujian tarik dari spesimen yang telah dipersiapkan :

Tahap pertama pemerikaan material sebelum diuji dengan memberikan nomor pada benda uji. Pada gambar dibawah ini menunjukan proses pemberian nomor sebelum dilakukan pengujian. Hal ini dilakukan agar setelah material diuji tidak terjadi kesalahan *input* data ketika analisis hasil pengujian. Pada Gambar 3.8 Penamaan spesimen didasarkan pada variasi ketebalan bilah yang digunakan. Misalkan untuk variasi ketebalan bilah 0,5 mm spesimen 1 maka spesimen uji tarik ini dinamai spesimen T1V1 sedangkan untuk uji tekuk t1V1.

Gambar 3.8 Penamaan Spesimen

Tahap kedua memeriksa ukuran dan mencatat pada lembar pengujian. Tahap selanjutnya mempersiapkan mesin uji dan menghidupkan mesin uji. Selanjutnya melakukan kalibrasi mesin uji dan mengatur jarum penunjuk skala beban sehingga menunjukan angka 0 (nol). Memasang benda uji pada mesin uji. Memasang kertas grafik dan alat pemindai pada alat uji. Pemberian beban secara terus menerus selama pengujian laju *crosshead* konstan yang akan menyebabkan kegagalan benda uji. Selama proses, besarnya beban dan regangan akan tercatat dalam bentuk grafik. Pembebanan dilakukan sampai benda uji patah. Pengujian berlaku untuk semua benda uji tarik.

Dari pengujian tarik akan didapan beban maksimum yang didapat ditahan oleh spesimen uji. Tahap selanjutnya akan diberi nilai *elongation*, σ_{maks} dan modulus elastisitasnya.

3.3.2 Tahapan Pengujian Tarik

Sebelum dilakukan proses pengujian tarik, yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah mempersiapkan benda uji. Masing-masing benda uji diberi nomor sesuai dengan variasi agar memudahkan dalam proses pencatatan hasil pengujian. Dalam pengujian tarik skala beban yang digunakan pada *Universal Testing Machine (UTM)* sebesar 40. Hal ini bertujuan *load* mudah untuk dibaca.

Gambar 3.9 Proses Pengujian Tarik

Setelah itu dilakukan kalibrasi pada mesin tersebut agar jarum menunjukan angka nol (0). Selama proses pengujian spesimen uji harus tetap dijaga atau dikontrol agar tidak terjadi selip dapat dilihat Gambar 3.9, sehingga besarnya nilai uji tarik dapat ditampilkan dalam bentuk grafik pada kertas *milimeter block* dapat terbaca dengan baik.

3.3.3 Tahapan Pengujian Tekuk

Dalam pelaksanaan pengujian tekuk hal pertama yang harus dilakukan kurang lebih sama dengan proses pengujian tarik, yaitu persiapan benda uji, penomoran spesimen uji, pengaturan skala beban dan kalibrasi *Universal testing machine (UTM).* Selain beberapa langkah tersebut dalam uji tekuk perlu juga diatur diameter *mandle* yang akan digunakan dan pemisisian tumpuan agar sesuai dengan L *span* dari tiap-tiap spesimen uju. *Mandle* yang digunakan dalam pengujian ini memiliki diameter sebesar 10mm, sedangkan L *span*-nya adalah 24 x t (tebal bilah) mm. Selanjutnya material diposisikan sedemikian rupa seperti tampak pada Gambar 3.10.

Gambar 3.10 Proses Pengujian Tekuk

Bunyi patahan pertama kali dari material uji tekuk merupakan titik dimana material tersebut sudah mengalami defleksi. Oleh karena itu, selama proses pengujian, material harus diamati dengan seksama.

3.4 Analisa Teknis

Analisa teknis yang dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah apabila sudah dilakukan pengujian terhadap spesimen, baik pengujian tarik maupun pengujian tekuk. Selanjutnya didapat data nilai hasil pengujian, kemudian akan dilakukan perhitungan *stress*, *strain*, dan MoE pada pengujian tarik, sedangkan pada pengujian tekuk akan didapatkan *strength, defleksi,* dan MoE.

Modulus Elasticity (MoE) adalah nilai ketahanan benda yang mengalami deformasi elastisitas ketika gaya diterapkan pada benda tersebut. MoE benda didefinisikan sebagai kemiringan dari kurva tegangan-regangan pada wilayah deformasi elastisitas. Bahan yang kaku akan memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi dan begitupun sebaliknya

Sedangkan *Modulus of Rupture* (MoR) adalah ukuran kekuatan spesimen sebelum mengalami patah. Hal ini digunakan untuk menentukan kekuatan keseluruhan dari bahan. MoR merupakan Tegangan tertinggi dari material yang dialami pada proses pengujian tekuk. Hal ini berarti apabila suatu material mengalami tekanan, maka dibagian terdekat dari pusat tekanan akan memiliki nilai tarik maksimal.

Selain dua nilai kekuatan diatas (MoE dan MoR), terdapat nilai regangan dan defleksi dari masing-masing spesimen uji. Regangan adalah perubahan relatif ukuran atau bentuk benda mengalami tegangan. Dimana panjang mula-mula adalah L0 dan setelah mendapatkan gaya tarik F maka batang tersebut akan berubah panjangnya menjadi L. Dengan demikian batang tersebut mendapatkan penambahan panjang yang bisa dihitung berdasarkan selisih antara perubahan panjang batang setelah mendapatkan gaya sebesar F dengan panjang batang mula-mula. Sedangkan defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah saumbu Y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang tersebut.

3.4.1 Tahap Pengolahan Data dan Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan grafik beban-pemuluran pada pengujian tarik, diperoleh nilai beban maksimum dan total pemuluran tiap spesimen uji. Nilai beban dan pemuluran selanjutnya diolah secara matematis dengan menggunakan formulasi 2.1, 2.2, dan 2.3, dimana secara berurutan dihasilkan nilai kuat tarik, regangan, dan modulus elastisitas tarik, sedangkan berdasarkan grafik beban-defleksi pada pengujian tekuk, diperoleh nilai beban maksimum dan total defleksi tiap spesimen uji. Nilai beban dan defleksi selanjutnya diolah secara matematis dengan menggunakan formulasi 2.4 dan 2.5, dimana secara berurutan dihasilkan nilai kuat tekuk dan modulus elastisitas tekuk spesimen uji. Hasil akhir nilai regangan/defleksi, kuat tarik/kuat tekuk, dan modulus elastisitas tiap spesimen uji diperoleh dari nilai rata-rata pada empat kali pengujian per variasi. Proses pengolahan data berlaku untuk semua spesimen uji tarik dan tekuk.

Pembahasan dilakukan berdasarkan tren yang terdapat pada semua grafik nilai kekuatan mekanis. Selain itu, nilai kuat tarik dan kuat tekuk terendah dari seluruh hasil pengujian dibandingkan dengan batas tegangan izin BKI tahun 2013 tentang Kapal Kecil $\leq$ 24 meter sebagai persyaratan material konstruksi kapal ikan.

3.4.2 Perhitungan ukuran konstruksi

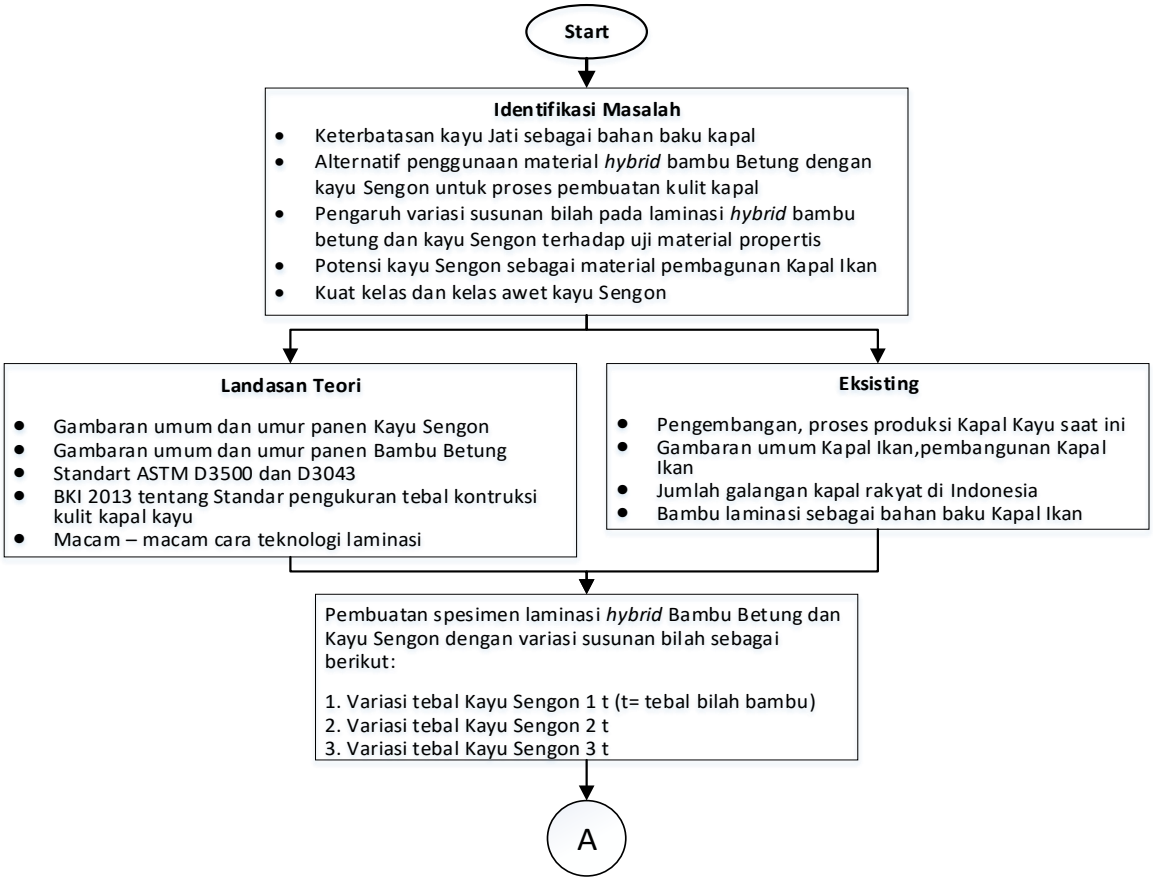
Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, perhitungan ukuran konstruksi menggunakan standar BKI 2013 Vol VII. Dalam perhitungan ukuran konstruksi kapal ikan 20

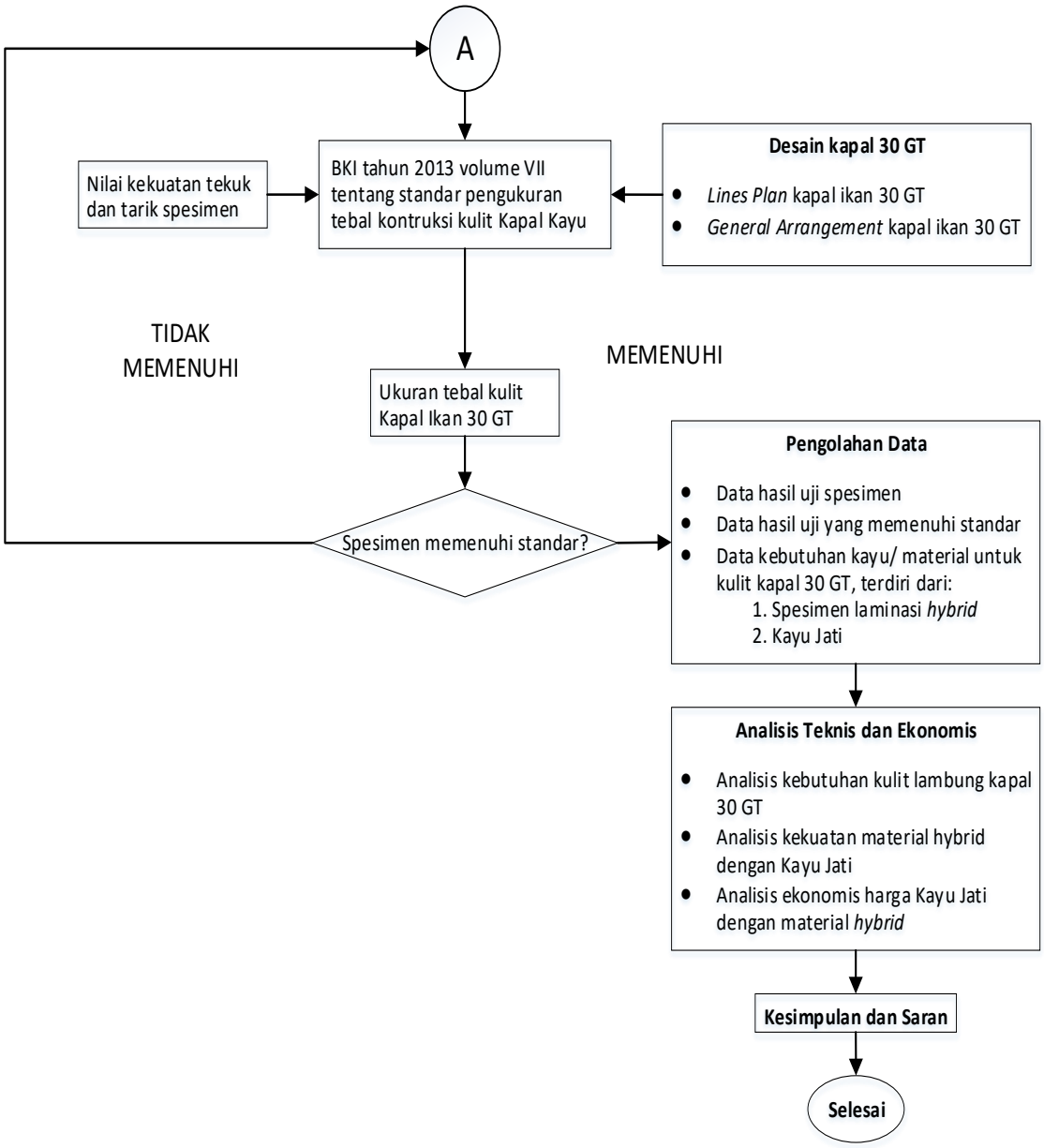
GT berbahan laminasi *hybrid* digunakan fungsi ukuran utama kapal yaitu panjang kapal (L), lebar kapal (B), tinggi kapal (H), dan sarat kapal (T). Melalui fungsi ukuran utama kapal, dapat diperoleh ukuran konstruksi seperti tertera pada Tabel 2.3 ,Tabel 2.4,dan Tabel 2.5. untuk memperoleh ukuran galar, galar kim, galar blok, lunas, linggi haluan, gading, dan wrang. Metode ini digunakan untuk mendapatkan ukuran konstruksi dari kapal ikan yang berbahan kayu solid.

3.5 Analisa Ekonomis

Dalam Tugas Akhir ini analisa ekonomis pembangunan kapal ikan berbahan laminasi *hybrid* akan dibandingkan dengan pembangunan kapal ikan berbahan kayu jati solid. Komponen-komponen biaya yang dihitung antara lain adalah: biaya material, biaya *overhead* dan biaya tenaga kerja.

Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.11 Diagram Alir Penelitian

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB 4
HASIL PENGUJIAN DAN DATA SURVEI

4.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan data hasil pengujian laminasi *hybrid* antara Bambu Betung dengan Kayu Sengon untuk mendapatkan karakteristik material laminasi sebagai bahan pembuatan lambung Kapal Ikan 30GT. Beberapa pengujian yang terkait dengan sifat mekanik yang penting dalam penentuan kekuatan Kapal Ikan perlu dilakukan. Pengujian yang akan dilakukan seperti yang dijelaskan pada Bab III akan dilakukan secara bertahap dan kemudian akan menghasilkan data karakteristik mekanik material laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon.

Bab ini akan menjelaskan tentang hasil pengujian yang akan digunakan sebagai besaran dalam menghitung kekuatan kulit lambung Kapal Ikan berbahan laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan Kayu Sengon. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data valid yang nantinya akan digunakan sebagai bahan pembahasan yang lebih lanjut.

Selain itu dalam bab ini akan menjelaskan tentang data hasil survey Kapal Ikan 30GT berbahan dasar kayu yang terdapat pada daerah jember, yang tepatnya terletak di pantai parahiyangan Kabupaten Jember.

4.2 Massa Jenis Material Laminasi *Hybrid*

Pada bab ini menjelaskan tentang sifat fisik yang berupa pengujian massa jenis material laminasi *hybrid*. Pengujian sifat fisik berupa pengujian berat jenis material yang diuji. Sedangkan untuk pengujian kuat tarik dan kuat tekuk menggunakan variasi 1x, 2x, 3x tebal bilah Sengon dengan arah serat searah. Perhitungan massa jenis dilakukan dengan cara menimbang berat laminasi tersebut kemudian dibagi volume dari laminasi *hybrid.* Proses pengukuran massa laminasi *hybrid* dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Gambar 4.1 Pengukuran berat laminasi *hybrid* bambu

Volume kayu laminasi *hybrid* yang akan di uji memiliki dimensi panjang 61 cm , lebar 2,5 cm , tebal 1,87 cm sehingga memiliki volume 285,175 cm^3 maka diperoleh berat jenis rata-rata material laminasi *hybrid* adalah sebesar 0,589 g/cm^3. Berdasarkan Tabel 4.1 ketentuan utama yang disyaratkan oleh BKI massa jenis untuk kayu dengan kelembaban 12 %. Karena massa jenis kayu berhubungan erat dengan kekuatan kayu, maka pemilihan kayu dapat juga didasarkan pada kuat tarik kayu tersebut.

Tabel 4.1 Pembagian massa jenis minimal ukuran konstruksi menurut BKI.

Komponen struktur	**Berat jenis [g/cm^3]**
Lunas *Stem* Wrang Gading-gading Linggi buritan	0,70
Kulit sisi Papan *Sheer* Penguat balok geladak Galar *Carlines* Dudukan mesin *Deadwood*	0,56
Geladak Balok geladak Papan	0,45

4.3 Pengujian Tarik

Berdasarkan grafik beban-pemuluran yang tercatat selama uji tarik didapatkan nilai beban maksimum dan total pemuluran tiap spesimen uji yang selanjutnya diolah menggunakan formulasi ASTM D3500 untuk menghitung nilai regangan, kuat tarik, dan modulus elastisitas tarik dari bambu laminasi.

4.3.1 Hasil Pengujian Tarik

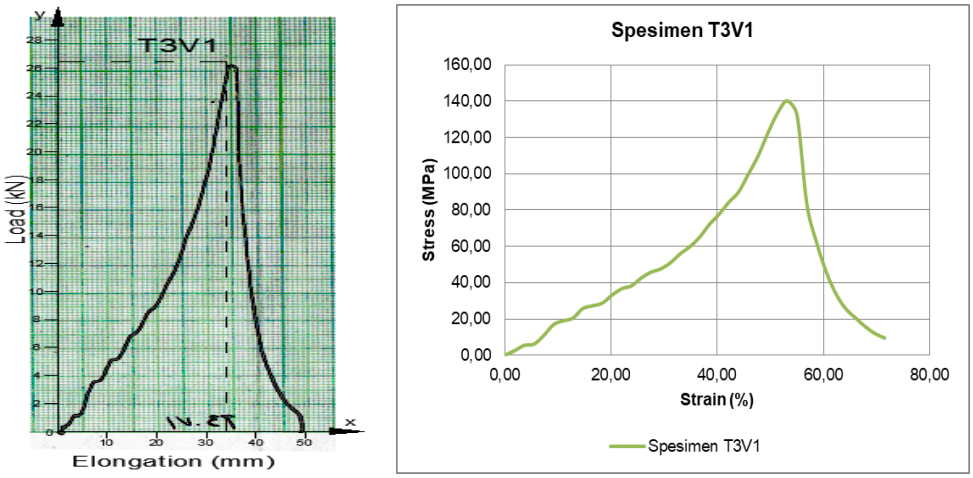
1. Variasi Susunan tebal bilah kayu Sengon 1x tebal bilah bambu

Pengujian tarik variasi susunan tebal bilah kayu Sengon 1x tebal bilah bambu menghasilkan data berupa beban maksimum sebelum spesimen patah seperti terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian Kuat Tarik Variasi Susunan Tebal Kayu Sengon 1x Tebal Bilah Bambu

No	**Code**	**Schedule Laminasi**	**W (mm)**	**T (mm)**	**L0 (mm)**	**CSA (mm^2)**	**Elongation (mm)**	**$F_{ultimate}$ (KN)**
1	**T1V1**	1x tebal bilah Sengon	12,9	13,9	64	179,31	30,4	13,4
2	**T2V1**		12,4	14	64	173,6	33,1	14,6
3	**T3V1**		13,14	14,34	64	188,428	34,4	26,4
4	**T4V1**		13,33	14,36	64	191,419	33,3	12,8
Rata-rata :							**32,8**	**16,8**

Hasil pengujian dari material laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan tebal bilah Kayu Sengon 1x tebal bilah Bambu diperoleh nilai tarik maksimum hingga spesimen uji mengalami patah. Spesimen 1 (T1V1) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 13,4 kN dengan nilai pemuluran 30,4 mm. Spesimen 2 (T2V1) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 14,6 kN dengan nilai pemuluran 33,1 mm. Spesimen 3 (T3V1) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 26,4 kN dengan nilai pemuluran 34,4 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.2. Spesimen 4 (T4V1) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 12,8 kN dengan pemuluran 33,3 mm.



Gambar 4.2 a) Grafik *Load* b) Grafik *stress-strain*,Variasi Tebal Bilah Kayu Sengon 1x Tebal Bilah Bambu

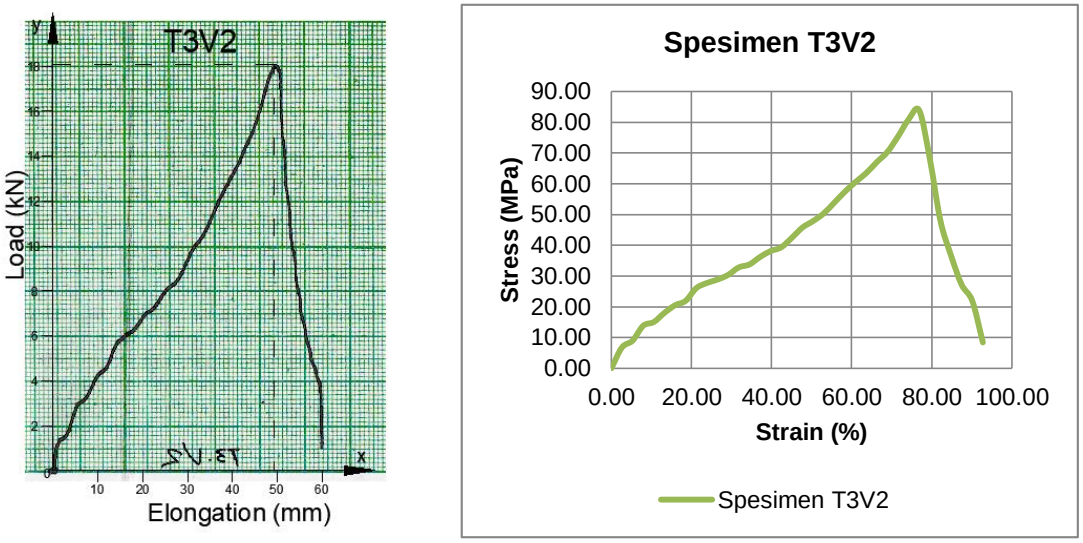
2. Variasi Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 2x Tebal Bilah Bambu

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan variasi susunan tebal bilah kayu Sengon 2x tebal bilah Bambu diperoleh hasil pengujian tarik laminasi yang terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 2x Tebal Bilah Bambu

No	Code	Schedule Laminasi	W (mm)	T (mm)	L0 (mm)	CSA (mm^2)	Elongation (mm)	$F_{ultimate}$ (KN)
1	**TIV2**	2x tebal bilah Sengon	11,7	18,36	64	214,812	48,2	23,5
2	**T2V2**		10,68	18,35	64	195,978	35,2	16,7
3	**T3V2**		11,97	18	64	215,46	50,4	18
4	**T4V2**		10,6	18,08	64	191,648	39,6	19,1
5	**T5V2**		10,32	18,25	64	188,34	37,8	24,5
Rata-rata :						**201,248**	**42,240**	**20,360**

Hasil pengujian dari material laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan variasi tebal bilah Kayu Sengon diperoleh nilai tarik maksimum hingga spesimen uji mengalami patah. Spesimen 1 (T1V2) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 23,5 kN dengan nilai pemuluran 48,2 mm. Spesimen 2 (T2V2) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 16,7 kN dengan nilai pemuluran 35,2 mm. Spesimen 3 (T3V2) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 18 kN dengan nilai pemuluran 50,4 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.3. Spesimen 4 (T4V2) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 19,1 kN dengan pemuluran 39,6 mm. Spesimen 5 (T5V2) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 24,5 kN dengan pemuluran 37,8 mm.



Gambar 4.3 a) Grafik *Load* b) grafik *stress-strain,*Variasi Tebal Bilah Kayu Sengon 2x Tebal Bilah Bambu

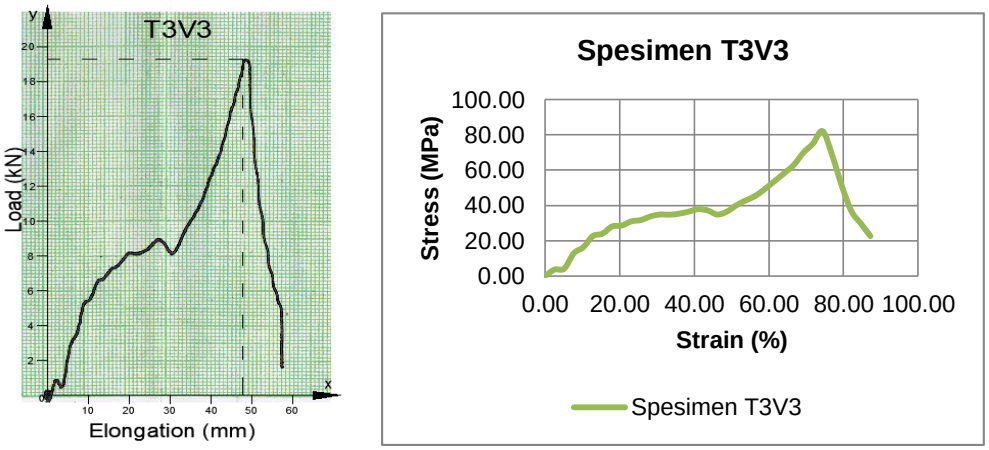
3. Variasi Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 3x Tebal Bilah Bambu

Pengujian tarik variasi susunan tebal bilah Kayu Sengon 3x tebal bilah Bambu menghasilkan data berupa beban maksimum sebelum spesimen patah seperti terlihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 3x Tebal Bilah Bambu

No	Code	Schedule Laminasi	W (mm)	T (mm)	L0 (mm)	CSA (mm^2)	Elongation (mm)	$F_{ultimate}$ (KN)
1	**T1V3**	3x tebal bilah Sengon	10,87	21,8	64	236,966	52,3	16,4
2	**T2V3**		10,93	21,33	64	233,137	51,7	15,4
3	**T3V3**		11,08	21,17	64	234,564	46,5	19,2
4	**T4V3**		11,81	21,9	64	258,639	47,2	14,4
5	**T5V3**		11,44	21,86	64	250,078	32	16,4
Rata-rata :						**242,677**	**45,940**	**16,360**

Hasil pengujian dari material laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan variasi tebal bilah Kayu Sengon diperoleh nilai tarik maksimum hingga spesimen uji mengalami patah. Spesimen 1 (T1V2) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 16,4kN dengan nilai pemuluran 52,3 mm. Spesimen 2 (T2V2) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 15,4 kN dengan nilai pemuluran 51,7 mm. Spesimen 3 (T3V2) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 19,2 kN dengan nilai pemuluran 46,5 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.4. Spesimen 4 (T4V2) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 14,4 kN dengan pemuluran 47,2 mm. Spesimen 5 (T5V2) mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 16,4 kN dengan pemuluran 32 mm.



Gambar 4.4 a) Grafik *Load* b) grafik *stress-strain,*Variasi Tebal Bilah Kayu Sengon 3x Tebal Bilah Bambu

4.3.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian tarik yang telah dilakukan terhadap 3 variasi tebal bilah kayu Sengon laminasi *hybrid* selanjutnya akan di rata-rata nilai elongation dan $F_{ultimate}$ –nya, seperti terlihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tarik Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 3x Tebal Bilah Bambu

Jenis Laminasi	Spesimen No	Hasil Pengujian			
		F ult (kN)	Elongation (mm)	Rata-rata F (kN)	Rata-rata Elongation (mm)
Laminasi Sengon 1x tebal Bambu	1	13,40	30,40	16,80	32,80
	2	14,60	33,10		
	3	26,40	34,40		
	4	12,80	33,30		
Laminasi Sengon 2x tebal Bambu	1	23,50	48,20	20,36	42,24
	2	16,70	35,20		
	3	18,00	50,40		
	4	19,10	39,60		
	5	24,50	37,80		
Laminasi Sengon 3x tebal Bambu	1	16,40	52,30	16,36	45,94
	2	15,40	51,70		
	3	19,20	46,50		
	4	14,40	47,20		
	5	16,40	32,00		

Berdasarkan Tabel 4.5 spesimen laminasi *hibryd* Bambu Betung sususan searah serat dengan variasi tebal bilah Sengon memiliki nilai rata-rata *elongation* dan $F_{ultimate}$ tertinggi, yaitu 42,24 mm untuk nilai *elongation* rata-rata dan 20,36 kN untuk nilai $F_{ultimate}$ rata-rata. Sedangkan pada spesimen laminasi tebal kayu Sengon 3x tebal bilah bambu memiliki nilai *elongation* rata-rata 45,94 mm dan nilai $F_{ultimate}$ yaitu 16,36 kN

4.4 Pengujian Tekuk

Berdasarkan grafik beban-defleksi yang tercatat selama uji tekuk didapatkan nilai beban maksimum dan total defleksi tiap spesimen uji yang selanjutnya diolah menggunakan formulasi ASTM D3043 untuk menghitung nilai kuat tekuk dan modulus elastisitas tekuk dari bambu laminasi.

4.4.1 Hasil Pengujian Tekuk

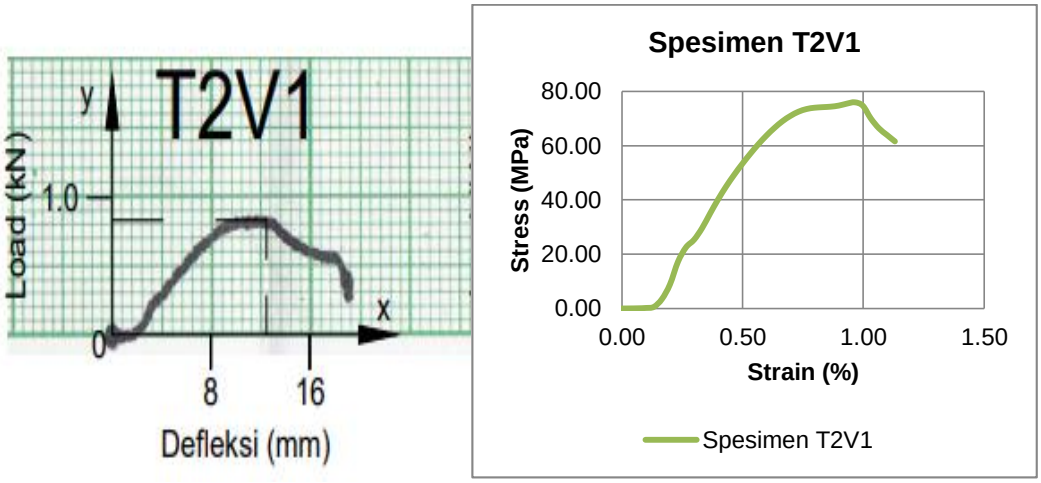
1. Variasi Susunan tebal bilah kayu Sengon 1x tebal bilah bambu

Pengujian tekuk variasi susunan tebal bilah kayu Sengon 1x tebal bilah bambu menghasilkan data berupa beban maksimum sebelum spesimen patah seperti terlihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kuat Tekuk Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 1x Tebal Bilah Bambu

No	**Code**	**Schedule Laminasi**	**W (mm)**	**T (mm)**	**CSA (mm^2)**	**L (mm)**	**L span (mm)**	**$F_{ultimate}$ (KN)**	**Defleksi (mm)**
1	**t1V1**	Tebal Sengon 1x	26,13	13,86	362,16	610	336	0,7	10
2	**t2V1**		26,35	14,51	382,33	610	336	0,85	12
3	**t3V1**		26,28	14,08	370,02	610	336	0,9	12
4	**t4V1**		26,15	14,5	379,17	610	336	0,8	10
5	**t5V1**		25,58	13,92	356,07	610	336	1,1	12
Rata-rata								**0,87**	**11,2**

Hasil pengujian dari material laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan variasi tebal bilah Kayu Sengon diperoleh nilai tekuk maksimum hingga spesimen uji mengalami patah. Spesimen 1 (t1V1) pada Tabel 4.6dapat dilihat bahwa mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 0.7kN dengan nilai defleksi pada 10 mm. Spesimen 2 (t2V1) mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 0,85 kN dengan nilai pemuluran 12 mm. Spesimen 3 (t3V1) mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 0,9 kN dengan nilai pemuluran 12 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.5. Spesimen 4 (t4V1) mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 0,8 kN dengan pemuluran 10 mm. Spesimen 5 (t5V1) mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 1,1 kN dengan pemuluran 12 mm.



Gambar 4.5 a) Grafik *Load* b) grafik *stress-strain* dengan Variasi Tebal Bilah Kayu Sengon 1x Tebal Bilah Bambu

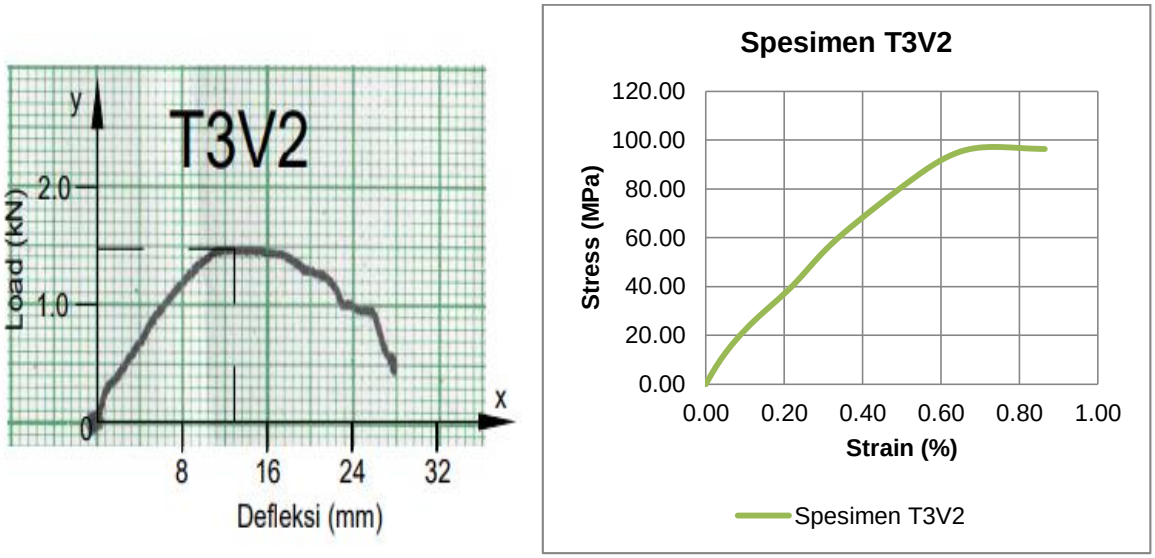
2. Variasi Susunan tebal bilah kayu Sengon 1x tebal bilah bambu

Pengujian tekuk variasi susunan tebal bilah kayu Sengon 1x tebal bilah bambu menghasilkan data berupa beban maksimum seperti terlihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kuat Tekuk Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 1x Tebal Bilah Bambu

No	Code	Schedule Laminasi	W (mm)	T (mm)	CSA (mm^2)	L (mm)	L span (mm)	$F_{ultimate}$ (KN)	Defleksi (mm)
1	**t1V2**	Tebal Sengon 2x	25,04	18,6	465,744	610	444	1,3	18,6
2	**t2V2**		25,18	18,47	465,0746	610	444	1	13,4
3	**t3V2**		25,2	18,47	465,444	610	444	0,4	15,4
4	**t4V2**		25,09	18,42	462,1578	610	444	0,9	12,4

Hasil pengujian dari material laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan variasi tebal bilah Kayu Sengon diperoleh nilai tekuk maksimum hingga spesimen uji mengalami patah. Spesimen 1 (t1V2) pada Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 1,3 kN dengan nilai defleksi pada 18 mm. Spesimen 2 (t2V2) mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 1 kN dengan nilai pemuluran 13,4 mm. Spesimen 3 (t3V2) mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 0,4 kN dengan nilai pemuluran 15,4 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.6. Spesimen 4 (t4V2) mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 0,9 kN dengan pemuluran 12,4 mm.



Gambar 4.6 a) Grafik *Load* b) grafik *stress-strain* Dengan Variasi Tebal Bilah Kayu Sengon 2x Tebal Bilah Bambu

3. Variasi Susunan tebal bilah kayu Sengon 3x tebal bilah bambu

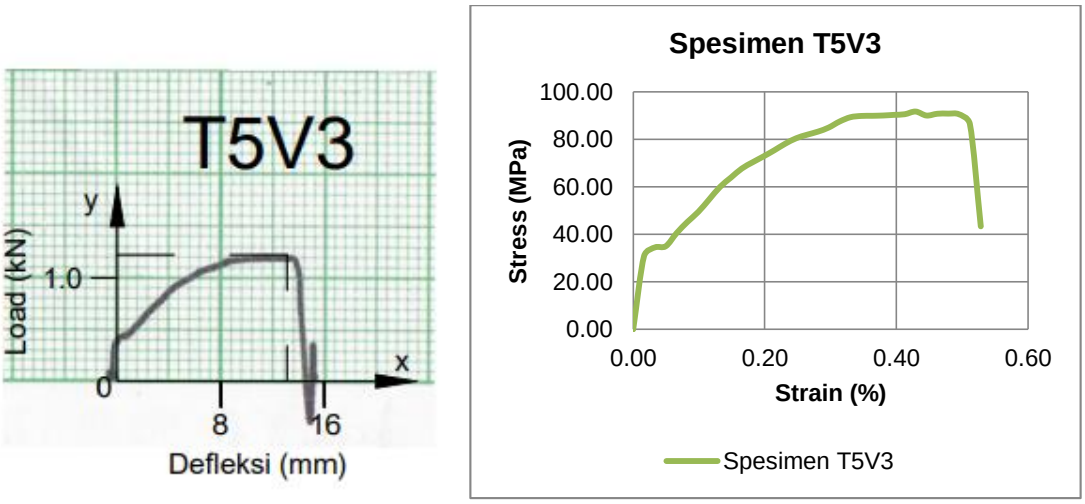
Pengujian tekuk variasi susunan tebal bilah kayu Sengon 1x tebal bilah bambu menghasilkan data berupa beban maksimum sebelum spesimen patah seperti terlihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kuat Tekuk Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 1x Tebal Bilah Bambu

No	Code	Schedule Laminasi	W (mm)	T (mm)	CSA (mm^2)	L (mm)	L span (mm)	$F_{ultimate}$ (KN)	Defleksi (mm)
1	**t1V2**	Tebal Sengon 3x	24,9	21,47	534,60	610	600	1,1	12
2	**t2V2**		25	22,25	556,25	610	600	1,2	9
3	**t3V2**		25	21,99	549,75	610	600	1,1	15
4	**t4V2**		25,18	21,68	545,90	610	600	1,6	18
5	**t5V2**		25,29	21,91	554,10	610	600	1,2	12

Hasil pengujian dari material laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan variasi tebal bilah Kayu Sengon diperoleh nilai tekuk maksimum hingga spesimen uji mengalami patah. Spesimen 1 (t1V1) pada Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 1,1kN dengan nilai defleksi pada 12 mm. Spesimen 2 (t2V1) mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 1,2 kN dengan nilai pemuluran 9 mm. Spesimen 3 (t3V1) mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 1,1 kN dengan nilai pemuluran 15 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.7. Spesimen 4 (t4V1) mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 1,6 kN

dengan pemuluran 18 mm. Spesimen 5 (t5V1) mampu menahan beban tekuk maksimum sebesar 1,2 kN dengan pemuluran 12 mm.



Gambar 4.7 a) Grafik Load b) grafik stress-strain Dengan Variasi Tebal Bilah Kayu Sengon 2x Tebal Bilah Bambu

4.4.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian tekuk yang telah dilakukan terhadap 3 variasi tebal bilah kayu Sengon laminasi *hybrid* selanjutnya akan di rata-rata nilai elongation dan $F_{ultimate}$ –nya, seperti terlihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tarik Susunan Tebal Bilah Kayu Sengon 3x Tebal Bilah Bambu

Jenis Laminasi	Spesimen No		Hasil Pengujian				
		F Ult (kN)	Defleksi (mm)	MOR (Mpa)	MOE (Gpa)	Rata-rata F (kN)	Rata-rata defleksi (mm)
Laminasi Sengon 1x tebal Bambu	1	0,7	10,000	70,285	9,542	0,9	11
	2	0,9	12,000	77,221	8,345		
	3	0,9	12,000	87,065	9,696		
	4	0,8	10,000	73,335	9,516		
	5	1,1	12,000	83,95	12,599		
Laminasi Sengon 2x tebal Bambu	1	1,5	16,000	98,789	10,907	1,2	14
	2	1,0	11,000	67,616	10,964		
	3	1,5	13,000	80,48	13,317		
	4	0,9	14,000	56,593	6,994		
Laminasi Sengon 3x tebal Bambu	1	1,1	12,000	86,253	20,087	1,2	13
	2	1,2	9,000	87,262	26,146		
	3	1,0	15,000	74,448	13,542		
	4	1,6	18,000	91,72	18,707		
	5	1,2	12,000	88,959	20,301		

Bedasarkan Tabel 4.9 spesimen laminasi *hybrid* Bambu Betung sususan searah serat dengan variasi tebal bilah Sengon memiliki nilai rata-rata *elongation* dan $F_{ultimate}$ tertinggi, yaitu 14 mm untuk nilai *elongation* rata-rata dan 1,2 kN untuk nilai $F_{ultimate}$ rata-rata. Sedangkan pada spesimen laminasi tebal kayu Sengon 3x tebal bilah bambu memiliki nilai *elongation* rata-rata 11mm dan nilai $F_{ultimate}$ yaitu 0,9 kN.

4.5 Data Survei Kapal Ikan

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis melakukan survei lapangan terhadap Kapal Ikan 30GT. Survei ini bertujuan untuk mendapatkan data Kapal Ikan 30GT yang sudah dibangun dan sudah beroperasi, penulis juga melakukan wawancara terhadap pemilik kapal sehingga penulis mendapatkan data ukuran utama kapal dari kapal ikan 30GT.

4.5.1 Lokasi Survei

Survei lapangan terhadap Kapal Ikan 30 GT ini dilakukan di Pantai Papuma Desa Sumberrejo, Ambulu Kabupaten Jember Jawa Timur

4.5.2 Waktu Survei

Penulis melakukan survei Kapal Ikan 30GT dilakukan pada hari Minggu 04 Maret 2018 mulai pukul 09.00-18.00 WIB.

4.5.3 Hasil Survei

Dari hasil survei yang telah dilakukan terhadap kapal ikan berukuran 30GT , yaitu kapal Ikan Merpati. Didapat koordinat koordinat yang diukur dari setiap gading. Kemudian dari koordinat-koordinat tersebut kemudian akan di *redraw* dengan cara memasukan koordinat-koordinat tersebut ke dalam *AutoCAD* yang pada akhirnya akan diperoleh bentuk *linesplan* dari kapal Ikan 30 GT.

Koordinat yang digunakan dalam penggambaran ulang *linesplan* Kapal Ikan 30 GT bisa dilihat pada lampiran J. Koordinat yang telah didapatkan adalah berupa koordinat dari tiap gading yang ada pada Kapal Merpati.

Selain pengukuran langsung koordinat-koordinat tiap gading tersebut, penulis juga melakukan wawancara secara langsung dengan *owner* kapal. Dari hasil wawancara dengan narasumber didapatkan data ukuran utama kapal Ikan 30 GT sebagai berikut:

Panjang Kapal (loa) : 17 meter
Panjang Garis Air (Lwl) : 15,5
Lebar Kapal (B) : 4,9 meter

Tinggi Kapal (H) : 2 meter

Sarat Kapal (T) : 1,5 meter

Kecepatan : 10 knot

Berdasarkan data ukuran utama koordinat-koordinat yang telah didapatkan, kemudian akan dilakukan perencanaan *linesplan*. Berikut Gambar 4.8 pengukuran panjang kapal ikan 30GT.

Gambar 4.8 Pengukuran Panjang Kapal Ikan 30GT

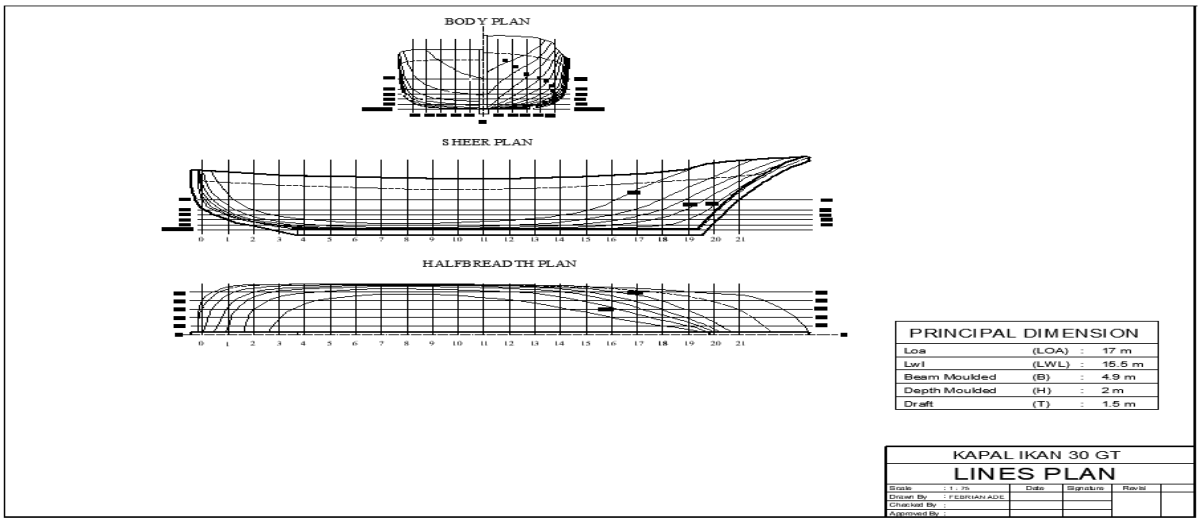
4.5.4 Data dan Desain Kapal ikan 30 GT

Dalam melakukan pembangunan Kapal Ikan 30GT di daerah Jember dengan menggunakan berbahan dasar material kayu masih menggunakan cara yang tradisional. Dari hasil wawancara dengan salah satu pemilik kapal Ikan di Kecamatan Papuma Kabupaten Jember, bahwa dalam pembangunan Kapal Ikan 30GT dengan berbahan dasar kayu umumnya menggunakan dasar kapal yang sebelumnya sudah dibangun, yaitu menggunakan desain kapal yang sama dan mempunyai ciri khas daerah Jember Jawa Timur. Desain Kapal Ikan didaerah Jember memiliki bentuk lambung yang melengkung, dengan perbandingan tinggi buritan kapal lebih tinggi dari pada tinggi haluan kapal tersebut, dan memiliki lebar kapal (B) hingga 5 meter. Hal ini diketahui bahwa ketika penulis melakukan survei langsung ke lapangan, terdapat perbedaan jarak gading antara satu dengan yang lainya yang dapat dilihat pada Gambar 4.9.

Gambar 4.9 Pengukuran Jarak Gading Kapal

4.5.5 Pembuatan *Linesplan*

Setelah penulis melakukan pengukuran pada beberapa titik yang terdapat pada badan kapal tersebut yang akan mengetahui bentuk *body plan* dari kapal ikan yang ada di daerah Jember tersebut. Selanjutnya total keseluruhan panjang kapal tersebut penulis membagi 20 titik kearah memanjang kapal. Dengan jarak antar titik 85 cm yang bertujuan untuk mendapatkan data yang akurat dengan tingkatan eror yang kecil. Gambar 4.10 menunjukan proses pengukuran jarak gading kapal.



Gambar 4.10 *Linesplan* Kapal Ikan 30GT Jember

Berdasarkan data ukuran pada beberapa titik yang terdapat pada kapal Ikan yang disurvei, selanjutnya dilakukan proses *redrawing* dengan memasukkan nilai yang sudah

didapatkan dari hasil pengukuran saat penulis survei lapangan langsung ke dalam *software AutoCad* yang kemudian disempurnakan menggunakan *software Maxsurf Modeler.* Hasil dari beberapa proses desain,didapat bentuk *lines plans* pada Gambar 4.10.

BAB 5
ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS

5.1 Analisa Teknis

Dalam bab ini akan dibahas mengenai analisa teknis, yaitu analisa yang didasarkan pada hasil pengujian material laminasi *hybrid.* Setelah dilakukan uji terhadap sifat mekanik laminasi *hybrid* , maka diperlukan adanya analisa kekuatan dari laminasi tersebut. Hal ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah laminasi *hybrid* sesuai dengan pembebanan yang terjadi, sehingga dapat memenuhi unsur kualitas dan juga untuk mengetahui laminasi *hybrid* ini dapat memenuhi standar minimum terhadap kuat tarik dan kuat tekuk yang telah disyaratkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia.

Selain analisa teknis dalam bab ini menjelaskan juga tentang perhitungan ukuran konstruksi. Untuk mengetahui keuntungan secara teknis maupun ekonomis sangat dibutuhkan data berupa ukuran konstruksi Kapal Ikan 30GT terlebih dahulu. Kapal yang digunakan sebagai acuan ukuran utama adalah Kapal Ikan Jember yang tepatnya di Pantai parahiyangan Kabupaten Jember.

Bab ini juga menjelaskan mengenai analisa ekonomis yang digunakan untuk mengetahui biaya produksi yang akan dihitung pada Kapal kayu penangkap ikan, hal ini harus diperhitungkan mengingat laminasi *hybrid* antara Bambu Betung dengan Kayu Sengon merupakan material baru sebagai bahan dasar dalam pembangunan Kapal Ikan. Perhitungan ekonomis sangat dibutuhkan untuk mendapatkan hasil riil bahwa material substitusi ini mampu bersaing dengan material kayu jati solid yang pada umumnya digunakan sebagai bahan dasar pembuatan kapal ikan dalam segi ekonomis.

Hasil pengujian yang telah dijelaskan bab sebelumnya, maka perlu dihitung kekuatan laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan Kayu Sengon. Dalam bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa pengujian yang telah dilakukan terhadap spesimen uji meliputi uji tarik dan uji tekuk. Sehingga nilai yang akan dihitung adalah nilai dari *Modulus of Elasticity* (MoE) dan *Modulus of Rupture* (MoR).

5.1.1 Nilai Mekanik Bedasarkan hasil Pengujian

Bedasarkan pengujian yang telah dilakukan yang berupa pengujian tarik dan tekuk spesimen didapat nilai *ultimate force* dan *elongation* (regangan) untuk pengujian tarik, sedangkan pengujian tekuk terdapat nilai *ultimate force* dan defleksi. Selanjutnya dari data tersebut akan dihitung nilai MoE dan MoR nya menggunakan rumus yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Hasil dari perhitungan MoE dan MoR akan dibandingkan dengan standar minimum yang telah ditentukan oleh BKI, sehingga dapat diketahui apakah material laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan kayu Sengon layak untuk dijadikan bahan material dalam pembangunan kulit lambung kapal ikan atau tidak.

1. Kekuatan tarik

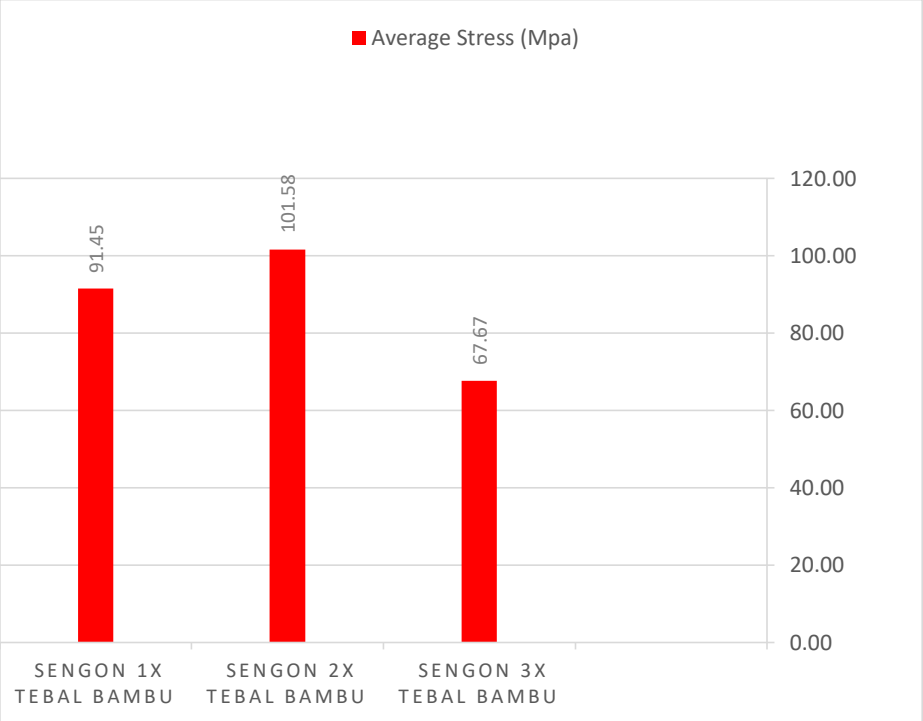
Pada Tabel 5.1 hasil perhitungan nilai *stress*, MoE dan Strain dari hasil pengujian tarik yang telah dilakukan terhadap spesimen laminasi *hybrid* antara Bambu Betung dengan Kayu Sengon, didapatkan nilai *stress* rata-rata laminasi *hybrid* bilah Sengon 1x tebal bilah bambu sebesar 91,45 Mpa, laminasi *hybrid* bilah Sengon 2x tebal bilah bambu yaitu 101,58 Mpa, rata-rata *stress* laminasi *hybrid* bilah Sengon 3x tebal bilah bambu yaitu 67,67 Mpa. Untuk rata-rata nilai MoE pada laminasi *hybrid* bilah Sengon 3x tebal bilah bambu sebesar 11,35 Gpa, rata-rata nilai MoE pada laminasi *hybrid* bilah Sengon 3x tebal bilah bambu sebesar 10,08 Gpa, rata-rata nilai MoE pada laminasi *hybrid* bilah Sengon 3x tebal bilah bambu sebesar 6,22 Gpa.

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan *Mechanical Properties* Dari Pengujian Tarik

Jenis Laminasi	**Spesimen No**	**Hasil Pengujian**					
		***Stress* (Mpa)**	**MOE (Gpa)**	**Strain (%)**	**Rata-rata *Stress* (Mpa)**	**Rata-rata MOE (Gpa)**	**Rata-rata Strain (%)**
Laminasi Sengon 1x tebal Bambu	1	74,731	10,069	47,500	91,45	9,35	51,25
	2	84,101	10,407	51,719			
	3	101,58	16,682	53,750			
	4	66,869	8,225	52,031			
Laminasi Sengon 2x tebal Bambu	1	109,398	9,297	75,313	101,58	10,08	66,00
	2	85,214	9,916	55,000			
	3	83,542	6,789	78,750			
	4	99,662	10,308	61,875			
	5	130,084	14,096	59,063			
Laminasi Sengon 3x tebal Bambu	1	69,208	5,420	81,719	67,67	6,22	71,78
	2	66,056	5,233	80,781			
	3	81,854	7,210	72,656			
	4	67,67	4,832	73,750			
	5	65,579	8,394	50,000			

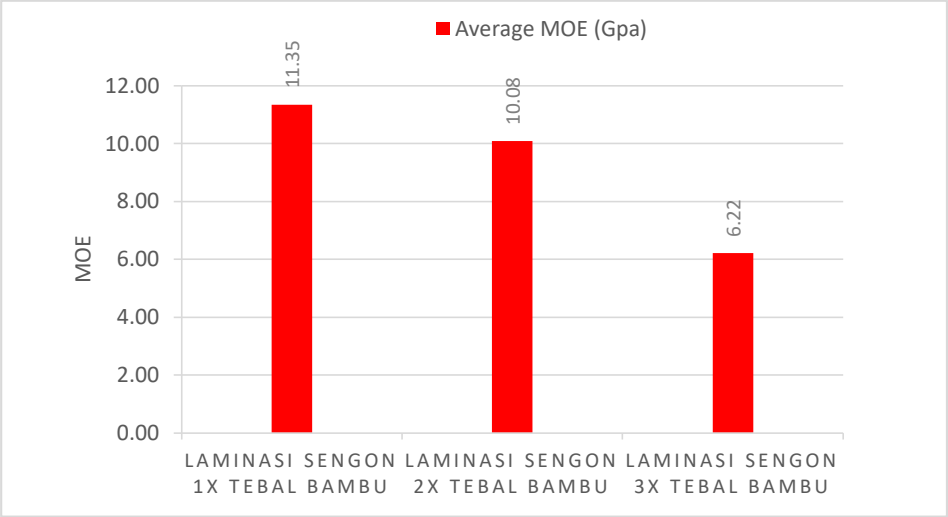
Dari Tabel 5.1 dilihat bahwa rata-rata nilai strain laminasi *hybrid* Bambu Betung dan kayu Sengon, dengan variasi kayu Sengon 1x tebal bilah bambu yaitu 51,25%, rata-rata nilai strain laminasi *hybrid* dengan variasi kayu Sengon 2x tebal bilah bambu sebesar 66%, rata-rata nilai strain laminasi *hybrid* dengan variasi kayu Sengon 3x tebal bilah bambu sebesar 71,78%.

Selanjutnya dari nilai tersebut dapat disimpulkan, bahwa hasil uji tarik dari laminasi *hybrid* dengan variasi kayu Sengon 2x tebal bilah bambu memiliki nilai *stress* , MoE dan strain yang paling tinggi dibandingkan dengan variasi tebal bilah yang lainnya. Sedangkan nilai *stress* laminasi *hybrid* dengan variasi kayu Sengon 3x tebal bilah bambu memiliki nilai *stress* , MoE dan strain yang paling rendah dibanding yang lainnya. Grafik rata-rata nilai *stress*, MoE dan Strain dilihat pada Gambar 5.1, Gambar 5.2, dan Gambar 5.3.



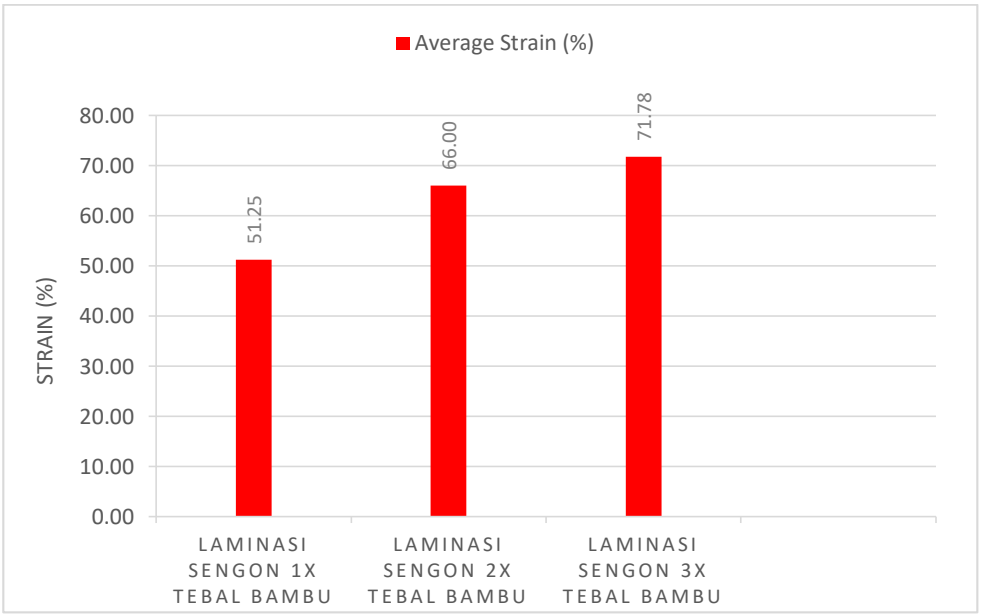
Gambar 5.1 Grafik Rata-Rata Nilai Tegangan Hasil Pengujian Tarik Laminasi *Hybrid*

Pada Gambar 5.1 didapat kesimpulan laminasi *hybrid* dengan tebal Kayu Sengon 2x tebal bilah Bambu Betung memiliki nilai rata-rata *stress* paling tinggi. Selain itu nilai *stress* terendah didapat pada laminasi *hybrid* dengan tebal Kayu Sengon 3x tebal bilah Bambu Betung.



Gambar 5.2 Grafik Rata-Rata Nilai Moe Dari Hasil Pengujian Tarik Laminasi *Hybrid*

Pada Gambar 5.2 didapat kesimpulan laminasi *hybrid* dengan tebal Kayu Sengon 1x tebal bilah Bambu Betung memiliki nilai rata-rata MoE paling tinggi. Selain itu nilai rata-rata MoE terendah didapat pada laminasi *hybrid* dengan tebal Kayu Sengon 3x tebal bilah Bambu Betung. Dari grafik pada Gambar 5.2 diketahui nilai rata-rata kayu Sengon dengan tebal 1x dan 2x tebal bilah Bambu Betung memiliki nilai yang tidak terlalu signifikan.



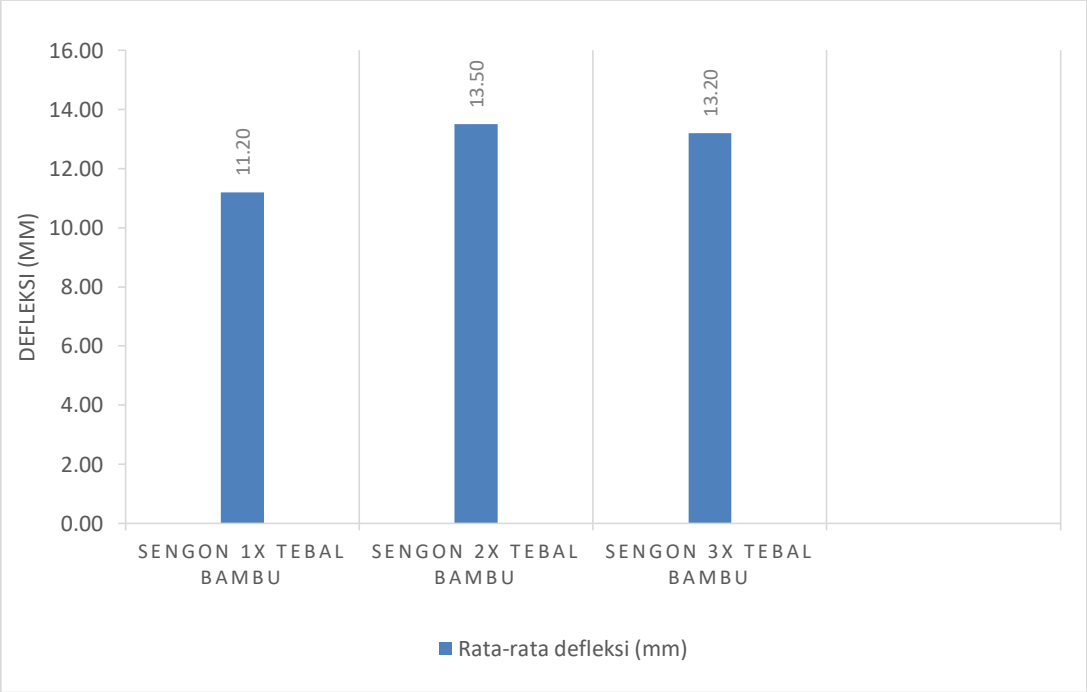
Gambar 5.3 Grafik Rata-Rata Nilai Regangan Dari Hasil Pengujian Tarik Laminasi *Hybrid*

Pada Gambar 5.3 didapat kesimpulan laminasi *hybrid* dengan tebal Kayu Sengon 3x tebal bilah Bambu Betung memiliki nilai rata-rata *strain* paling tinggi. Selain itu nilai rata-rata MoE terendah didapat pada laminasi *strain* dengan tebal Kayu Sengon 1x tebal bilah Bambu

Betung. Dari grafik tersebut disimpulkan bahwa semakin tebal Kayu Sengon nilai regangan pada spesimen tersebut semakin besar.

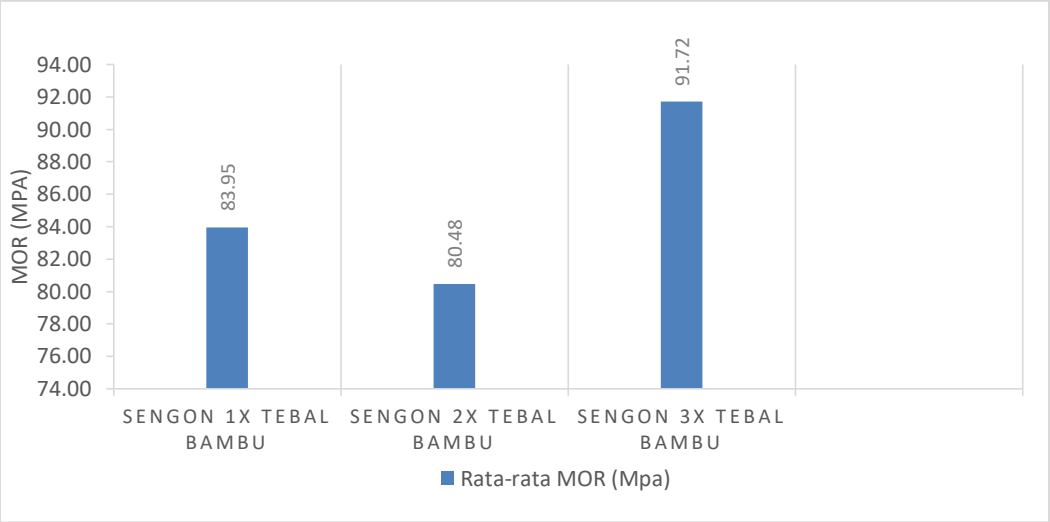
2. Kekuatan tekuk

Hasil perhitungan nilai *bending strength, deflection,* dan MoE dari pengujian Tekuk spesimen laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan Kayu Sengon dapat melihat pada Gambar 5.4, Gambar 5.5, dan Gambar 5.6. Berdasarkan gambar tersebut didapatkan nilai rata-rata defleksi yang terjadi di dalam spesimen uji tekuk laminasi *hybrid* antara Bambu Betung dengan Kayu Sengon, didapatkan nilai defleksi rata-rata laminasi *hybrid* bilah Sengon 1x tebal bilah bambu sebesar 11 mm, nilai rata-rata MoR 83,95 Mpa, dan nilai rata-rata MoE sebesar 9,94 Gpa. Pada nilai defleksi rata-rata laminasi *hybrid* bilah Sengon 2x tebal bilah bambu sebesar 13,5 mm, nilai rata-rata MoR 83,95 Mpa, dan nilai rata-rata MoE sebesar 10,55 Gpa. Sedangkan nilai defleksi rata-rata laminasi *hybrid* bilah Sengon 3x tebal bilah bambu sebesar 13,20 mm, nilai rata-rata MoR 91,72 Mpa, dan nilai rata-rata MoE sebesar 19,76 Gpa.



Gambar 5.4 Grafik Rata-Rata Nilai *Defleksi* Hasil Pengujian Tekuk Laminasi *Hybrid*

Dari data pada Gambar 5.4 laminasi *hybrid* dengan tebal bilah Kayu Sengon 2x dan 3x tebal bilah Bambu Betung memiliki nilai yang hampir sama besarnya. Sedangkan laminasi *hybrid* dengan tebal bilah Kayu Sengon 1x tebal bilah Bambu Betung memiliki nilai rata-rata defleksi yang paling rendah.



Gambar 5.5 Grafik Rata-Rata Nilai Kuat Tekuk Laminasi *Hybrid*

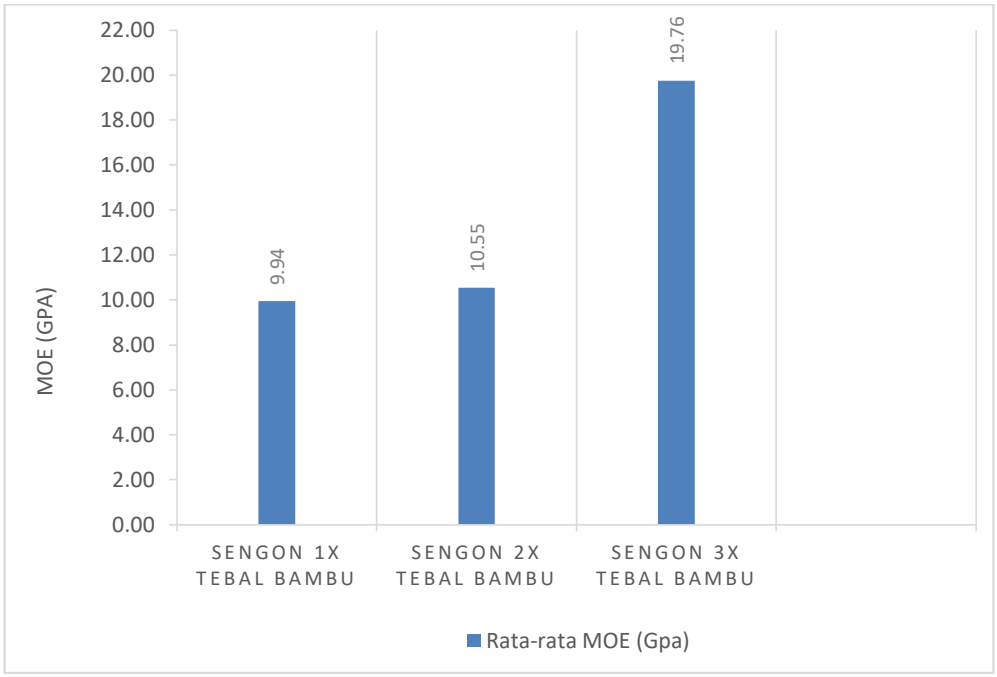
Dari data pada Gambar 5.5 laminasi *hybrid* dengan tebal bilah Kayu Sengon 3x tebal bilah Bambu Betung memiliki nilai *bending strenght* terbesar. Sedangkan laminasi *hybrid* dengan tebal bilah Kayu Sengon 2x tebal bilah Bambu Betung memiliki nilai rata-rata *bending strenght* yang paling rendah.

Tabel 5.2 Perhitungan *Mechanical Properties* Dari Hasil Pengujian Tekuk

Jenis Laminasi	**Spesimen No**	**Hasil Pengujian**						
		Defleksi (mm)	**MOR (Mpa)**	**MOE (Gpa)**	**Rata-rata F (kN)**	**Rata-rata defleksi (mm)**	**Rata-rata MOR (Mpa)**	**Rata-rata MOE (Gpa)**
Laminasi Sengon 1x tebal Bambu	1	10,000	70,285	9,542	0,87	11,20	83,95	9,94
	2	12,000	77,221	8,345				
	3	12,000	87,065	9,696				
	4	10,000	73,335	9,516				
	5	12,000	83,95	12,599				
Laminasi Sengon 2x tebal Bambu	1	16,000	98,789	10,907	1,23	13,50	80,47	10,55
	2	11,000	67,616	10,964				
	3	13,000	80,48	13,317				
	4	14,000	56,593	6,994				
Laminasi Sengon 3x tebal Bambu	1	12,000	86,253	20,087	1,22	13,20	91,72	19,76
	2	9,000	87,262	26,146				
	3	15,000	74,448	13,542				
	4	18,000	91,72	18,707				
	5	12,000	88,959	20,301				

Dari Tabel 5.2 dilihat bahwa rata-rata nilai defleksi, *bending strenght*, dan MoE ditiap tiap laminasi *hybrid* Bambu Betung dan kayu Sengon, dengan variasi tebal bilah Kayu Sengon yang sudah dilakukan proses pengujian tekuk. Hasil dari Tabel 5.2 tersebut telah disimpulkan pada Gambar 5.4, Gambar 5.5, dan Gambar 5.6.

Berdasarkan Gambar 5.6 terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara nilai MoE (*Modulus of Elasticity)* yang dilakukan pada laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan tebal bilah Kayu Sengon 3x dengan tebal bilah bambu lainnya. Yang dimana perbedaan tersebut lebih dari 9 Gpa dengan nilai rata-rata MoE variasi susunan tebal bilah Kayu Sengon lainnya.



Gambar 5.6 Grafik Rata-Rata Nilai Modulus Elastisitas Hasil Uji Tekuk Laminasi *Hybrid*

5.1.2 Tegangan Izin Laminasi *Hybrid*

Menurut peraturan BKI tahun 2013 yang berisikan tentang " *Rules for Small Vessels up to 24m"* dimana mengatur mengenai tegangan izin dari material kayu lapis atau kayu laminasi, disebutkan bahwa laminasi yang digunakan sebagai material konstruksi harus memiliki nilai kuat tarik minimum **42,169 Mpa.** Sedangkan dari hasil pengujian seluruh spesimen laminasi *hybrid* dengan 3 variasi susunan tebal bilah Kayu Sengon memiliki kuat tarik diatas sarat yang di tentukan oleh BKI. Nilai kuat tarik terkecil dari laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan 3x tebal bilah Kayu Sengon yaitu sebesar 67,67 Mpa, dan nilai kuat tarik tertinggi pada laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan 2x tebal bilah Kayu Sengon yaitu nilai kuat tarik sebesar 101,58 Mpa.

Menurut BKI untuk nilai *bending strenght* minimum yang disyaratkan adalah sebesar **71,098Mpa**. Hasil yang telah dilakukan pengujian tekuk spesimen laminasi *hybrid* dengan 3 variasi susunan tebal bilah Kayu Sengon memiliki kuat tekuk diatas sarat yang ditentukan oleh BKI yaitu nilai kuat tekuk laminasi *hybrid* terendah sebesar 83,95 Mpa, sedangkan nilai tertinggi dari laminasi *hybrid* adalah sebesar 91,72 Mpa.

5.1.3 Perhitungan Ukuran Konstruksi Kulit

Setelah mengetahui ukuran modulus, kuat lentur, massa jenis kayu maka dilakukan perbandungan ukuran konstruksi yang menggunakan kayu jati dan laminasi *hybrid* bambu betung dengan kayu Sengon. Perbandingan ini didasarkan pada perbandingan momen bending , yang dimana momen *bending* tersebut adalah hasil kali modulus dengan tegangan suatu bahan yang di tunjukan pada rumus persamaan dibawah iniKapal Ikan berbahan dasar kayu 30GT memiliki beberapa konstruksi yang harus diperhatikan dalam pembangunan pembangunan yaitu lunas, linggi, galar, sekat, wrang, gading, kulit, dan geladak.

$$t = 0{,}0452.\, f_k.\, b.\, \sqrt{\frac{P_d}{\sigma_{Rm}}} \quad \text{.....(5.1)}$$

Keterangan :

t = tebal minimum (mm)

f_k = faktor kelengkungan panel kulit

b = jarak gading (m)

P_d = beban pada konstruksi (kN)

σ_{Rm} = *ultimate bending strength* [N/mm^2]

Untuk bagian konstruksi yang tidak memiliki modulus penampang seperti tebal kulit, maka perbandingannya dilakukan antara momen bendingnya yaitu hasil kali tegangan dengan tebal kulit tersebut. Seperti ditunjukkan pada rumus dibawah ini:

$$\left[\frac{t_1}{0{,}0452.f_{k1}.b_1}\right]^2 . \sigma_{Rm1} = \left[\frac{t_2}{0{,}0452.f_{k2}.b_2}\right]^2 . \sigma_{Rm2} \text{.....(5.2)}$$

$$t_1^2 . \sigma_{Rm1} = t_2^2 . \sigma_{Rm2} \text{.....(5.3)}$$

$$t_1 = t_2 . \sqrt{\frac{\sigma_{Rm2}}{\sigma_{Rm1}}} \text{.....(5.4)}$$

Perhitungan ukuran member konstruksi yang mengacu pada persamaan 5.1, 5.2, 5.3, dan 5.4 akan dijelaskan meliputi kulit dan geladak, dijelaskan ukuran konstruksi berupa *face* dan *web*. Namun untuk bagian konstruksi yang lainya antara lain wrang, dinding sisi bangunan atas, sekat, pondasi mesin,dan geladak bangunan atas yang akan diperoleh ukuran pada perhitungan konstruksi bagian kulit lambung kapal yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, dimana ukuran konstruksi yang didapat hanya ukuran berupa ketebalan pada suatu bagian konstruksi. Dari perhitungan tersebut dapat dilihat ukuran bagian-bagian konstruksi yang ada pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Perhitungan Ukuran Perbandingan Konstruksi Kulit Lambung Ketiga Variasi Laminasi Dan Kayu Jati Solid Kapal Ikan 30GT

Bagian Konstruksi	**Laminasi Hybrid Variasi 1**	**Laminasi Hybrid Variasi 2**	**Laminasi Hybrid Variasi 3**	**Kayu Jati Solid**
	tebal (mm)	**tebal (mm)**	**tebal (mm)**	**tebal (mm)**
Kulit	34	36	33	51

Berdasarkan Tabel 5.3 penulis menghitung perbandingan ukuran kulit laminasi *hybrid* dengan kayu jati solid. Pada ketiga variasi kulit laminasi *hybrid* memiliki masing-masing ketebalan 34 mm, 36 mm, 33mm sedangkan Kayu Jati solid untuk kulit lambung Kapal Ikan 30GT sebesar 51 mm. Hal ini dikarenakan nilai kuat tarik laminasi *hybrid* lebih besar dibandingkan kayu jati KK II. Adapun ukuran konstruksi *hybrid* pada Tabel 5.4 hanya diaplikasikan untuk konstruksi kulit, hal ini disebabkan masa jenis material laminasi *hybrid* sebesar 0.58g/cm^3.

Tabel 5.4 Selisih Volumetrik Ketiga Variasi Laminasi *Hybrid* Dengan Kayu Solid Untuk Kulit Lambung Kapal

Bagian Konstruksi	**Volume (m^3)**		**Selisih Volume (m^3)**
	Jati	**Hybrid variasi 1, 2, dan 3**	
Kulit	5,51	3,75	1,76
		3,97	1,54
		3,64	1,87

Pada Tabel 5.4 dapat diketahui perhitungan volumetrik konstruksi kulit lambung Kapal Ikan 30GT dengan bahan dasar Kayu Jati KK II lebih besar daripada perhitungan volumetrik kulit lambung Kapal Ikan 30GT menggunakan bahan dasar laminasi *hybrid*. Nilai Selisih perhitungan volumetrik pada konstruksi kulit lambung Kapal Ikan 30GT berbahan dasar Kayu

Jati KK II sebesar 5,51 m^3, sedangkan perhitungan volumetrik berbahan dasar laminasi *hybrid* dengan ketiga variasi masing-masing sebesar 1,76 m^3, 1,54 m^3, 1,87 m^3.

5.2 Analisa Ekonomis

Tahap selanjutnya dari proses pengujian *mechanical properties* laminasi *hybrid*, perancangan kapal dan perhitungan ukuran konstruksinya, perlu dilakukan analisa secara ekonomis. Hal tersebut mengingat laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan Kayu Sengon merupakan material berbahan dasar baru untuk pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT. Perhitungan ekonomis ini sangat dibutuhkan untuk mengetahui selisih harga pembangunan kulit lambung kapal berbahan laminasi *hybrid* dengan Kayu Jati. Dalam hal ini bahan dasar material laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon mampu bersaing dengan material Kayu Jati solid yang pada umumnya sebagai bahan dasar pembangunan kapal ikan dari segi ekonomis.

Analisa ekonomis Tugas akhir ini memiliki beberapa kriteria, kriteria pertama adalah perhitungan biaya produksi yang akan dihitung pada Kapal Ikan 30GT hanya terletak pada bagian kulit lambung kapal saja, kriteria kedua adalah kesesuaian ukuran ketebalan yang diregulasikan menurut BKI 2013 *"Rulesfor Small Vessels up to 24m".* Pada analisa ekonomis ini menggunakan Kapal Ikan 30GT untuk dijadikan sampel perhitungan biaya ekonomis pembangunan kulit lambung kapal. Perhitungan ekonomis ini dilakukan untuk menghitung perbandingan biaya pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT berbahan dasar laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan 1x tebal bilah kayu Sengon dan Kayu Jati solid. Hal ini dikarenakan variasi susunan 1x tebal bilah Kayu Sengon memiliki tegangan izin paling tinggi dan memenuhi dari persyaratan BKI.

Dalam Tugas Akhir ini analisa ekonomis pembangunan kapal ikan berbahan laminasi *hybrid* akan dibandingkan dengan pembangunan kapal ikan berbahan kayu jati solid. Komponen-komponen biaya yang dihitung antara lain adalah : biaya material, biaya *overhead*, dan biaya tenaga kerja. Pada hasil perhitungan bambu laminasi, dilakukan perhitungan dengan asumsi volume laminasi bambu sebesar 1 m^3. Perhitungan ini meliputi kebutuhan bambu laminasi serta biaya tenaga kerja untuk menghasilkan bambu laminasi per m^3.

Kebutuhan bambu laminasi berupa bilah bambu serta lem yang menutupi permukaan bambu laminasi jenis tumpuk bata *(carvel).* Perhitungan yang dilakukan berupa banyaknya bilah, jumlah bambu, serta jumlah lem yang digunakan. Biaya tenaga kerja yang diperhitungkan yaitu berupa proses pemotongan bambu, pembersihan bambu, perataan bagian sisi bilah,

pembentukan bilah, hingga terbentuknya bambu laminasi. Biaya tenaga kerja diasumsikan sebesar Rp. 75.000,-. Sehingga didapatkan total biaya laminasi per m^3 untuk bambu ori sebesar Rp. 9.946.862,65 (Supomo, 2014).

Sedangkan untuk harga per m^3 dari kayu Sengon mutu pertama untuk kayu yang memiliki diameter sebesar 0.16 m dan panjang 1,35 m adalah Rp.480.000,- yang selebihnya dijelaskan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Tabel Harga Sengon

Panjang (cm)	**Diameter (cm)**	**Harga / m^3 (Rp)**
130	16-28	560.000,00
	19-24	780.000,00
	25-UP	850.000,00
260	25-29	1.200.000,00
	30-39	1.500.000,00
	40-49	1.850.000,00
	50-UP	2.100.000,00

Sumber: Toko Distributor Kayu Mangga Dua Surabaya

5.2.1 Biaya Material Laminasi *Hybrid.*

Pada langkah awal dari perhitungan ekonomis ini penulis menentukan harga material pokok pembuatan kulit lambung Kapal Ikan 30GT dengan berbahan dasar laminasi *hybrid*. Perhitungan ini dihitung berdasarkan volume per satu meter kubik Bambu Betung dan Kayu Sengon untuk pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT.

Tabel 5.6 Biaya Material Dasar Tiap Bilah

Material	**Ukuran (mm)**			**Harga (Rp)**
	P	**L**	**T**	
Bambu Betung	4000	30		4.000,00
Kayu Sengon	2000	30	5	1.300,00

Pada Tabel 5.6 menjelaskan harga Bambu Betung dan Kayu Sengon dengan ukuran masing-masing. Dalam pengerjaan Tugas Akhir Ini penulis membeli membeli material Bambu Betung dan Kayu Sengon yang berbentuk bilah dan sesuai sesuai dengan ukuran yang terdapat pada Tabel 5.6. Berdasarkan Tabel 5.6 tidak disebutkan ukuran tebal material Bambu Betung, hal ini dikarenakan ketebalan bambu yang didapat dari penjual berbeda-beda tergantung bagian bambu mana yang akan diambil. Dari ketebalan yang berbeda-beda tersebut kemudian akan

diplaner hingga ketebalan 5cm. Harga material Bambu betung /m^3sebesar Rp. 5.000.000,00 serta harga material kayu Sengon /m^3sebesar Rp. 4.330.000,00.

1. Biaya Perekat Laminasi *Hybrid*

Dalam pembuatan kulit lambung Kapal Ikan 30GT dengan berbahan dasar laminasi *hybrid* ini antara kedua material dasar digunakan lem *Epoxy Polymade Marine Use* yang menggunakan produk propan. Pembelian lem tersebut harus satu set yaitu terdiri dari *resin* dan *hardener*. Harga lem propan ini adalah Rp. 95.000,-/set ukuran 1 kg. Faktanya satu set lem *Epoxy Polymade Marine Use* hanya cukup untuk pembuatan 4 papan laminasi yang berukuran 70x30x1,5 cm.

Tabel 5.7 Biaya kebutuhan perekat

Harga 0,5 kg resin dan 0,5kg *hardener* lem	95.000	Rp
1 kg lem bisa digunakan untuk	4	Papan
Ukuran papan (p x l)	0,7	0,3
Jumlah lapisan tiap papan	3	Lapis
Jumlah luasan / kg set lem	2,52	m^2
Biaya Perekat per m^2	37.698	Rp

Berdasarkan Tabel 5.7 dapat dilihat dalam penggunaan satu set perekat dengan berat netto 1kg dapat digunakan untuk pembuatan 4 papan laminasi dengan luasan tiap laminasinya adalah 0,21 m^2. Sehingga untuk dapat mennyelesaikan papan laminasi dengan luasan 1 m^2 harga lem yang diperoleh dari perhitungan Tabel 5.7 adalah Rp. 37.698,-.

2. Biaya *Overhead* laminasi *hybrid*

Biaya *overhead* adalah biaya yang selalu berubah sesuai dengan perubahan volume produksi. Dalam biaya *overhead* untuk pengerjaan pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT terdapat biaya yang dibutuhkan yaitu, pembelian barang habis pakai, dan biaya sewa. Barang habis pakai dalam pembanguan ini adalah kuas dan kapi yang digunakan untuk proses perekatan material laminasi. Selanjutnya biaya sewa yang dibutuhkan adalah biaya listrik, sewa mesin *planer*, sewa mesin *press.* Berikut adalah rincian total biaya overhead pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Total biaya Overhead

Jenis Biaya	**Item**	**Jumlah**	**Harga (Rp)**	**Satuan**	**Kebutuhan**	**Total (Rp)**
Barang Habis Pakai	Kuas 3”	30	10.000,00	buah	-	300.000,00
	Kapi	10	5.000,00	buah	-	50.000,00

Jenis Biaya	Item	Jumlah	Harga (Rp)	Satuan	Kebutuhan	Total (Rp)
Biaya Sewa	Listrik	149	1.500,00	per kWH	3	670.500,00
	Sewa mesin planer	149	20.000,00	per jam	-	2.980.000,00
	Sewa mesin press	70	20.000,00	per jam	-	1.400.000,00
TOTAL BIAYA YANG DIBUTUHKAN						5.400.500,00

3. Biaya Tenaga Kerja Laminasi *hybrid*

Biaya tenaga kerja adalah biaya pokok yang harus dikeluarkan dalam pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT, biaya tersebut terdiri dari membayar para pekerja dan pegawai yang bekerja. Biaya tenaga kerja ini dibebankan oleh perusahaan yang harus dibayarkan secara langsung. Berikut adalah perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk pembuatan material laminasi *hybrid* dalam pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT. Pada Tabel adalah rincian waktu dan JO (Jam Orang) dari perhitungan laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon :

Tabel 5.9 Rincian Waktu Tenaga Kerja Laminasi *Hybrid*

Jumlah bilah bambu yang dibutuhkan	993	bilah		
Jumlah bilah kayu yang dibutuhkan	1984	bilah		
Waktu untuk proses planer/bilah	3	menit		
Waktu yang dibutuhkan untuk proses planer	8929	menit	149	jam
Waktu untuk proses pemotongan/bilah	3	menit		
Waktu yang dibutuhkan untuk proses pemotongan	8929	menit	149	jam
Waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeleman	4200	menit	70	jam
Waktu yang dibutuhkan untuk proses finishing	3780	menit	63	jam

Tabel 5.10 Jam Orang Material Laminasi *Hybrid* untuk Pembangunan Kulit Lambung Kapal

Jenis Pekerjaan	Prepare Bilah Laminasi		Fitting Kulit Lambung Kapal		Pengeleman Dan Pengepressan		Finishing	
Orang	Tukang (0)	Helper (2)	Tukang (1)	Helper (1)	Tukang (2)	Helper (2)	Tukang (1)	Helper (1)
Waktu Pengerjaan (Jam)	0	149	149	149	70	70	63	63
Jam Orang (Jo)	0	298	149	149	140	140	63	63
Total JO	1002							

Tabel 5.11 Biaya Tenaga Kerja Laminasi *Hybrid*

Item	Nilai	Unit
Biaya tenaga kerja per hari	150000	Rp.
Jam kerja per hari	6	jam
Biaya jam orang	25000	Rp.
Total Biaya tenaga kerja per m^3	9.200.000	Rp.
Jumlah tenaga kerja	4	orang
Biaya tiap tenaga kerja per m^3	2.300.000	Rp.

Total biaya kerja untuk pembuatan laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon untuk pembuatan kulit lambung Kapal Ikan 30GT per m^3 sebesar Rp. 9.200.000,- dengan rincian seperti pada Tabel 5.11.

5.2.2 Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Ikan 30GT Berbahan Dasar Laminasi *Hybrid* dengan Ketiga Variasi

Dari hasil perhitungan subbab sebelumnya dihasilkan beberapa komponen biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30 GT berbahan dasar laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon meliputi biaya perekat, biaya pokok, biaya *overhead*, dan biaya material pada ketiga variasi laminasi *hybrid*.

Tabel 5.12 Total Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Laminasi *Hybrid* Variasi 1

Item	Total Sub Biaya (Rp)
Biaya Material dan Perekat	50.955.345,00
Biaya Tenaga Kerja	34.478.252,00
Biaya *Overhead*	20.239.109,00
Biaya Pokok	4.800.000,00
Total Biaya Pembangunan	110.472.705,00

Total biaya pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30 GT pada Tabel 5.12 berbahan laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon sebesar Rp 110.472.705,- dengan rincian sebagai berikut:

- Biaya material dan perekat sebesar Rp 50.955.345,- (material dan perekat)
- Biaya Tenaga Kerja Rp 34.478.252,- (upah pekerja)

– Biaya *Overhead* Rp 20.239.109,- (sewa barang dan jasa)
– Biaya Pokok Rp 4.800.000,- (pembelian peralatan pokok)

Tabel 5.13 Total Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Laminasi *Hybrid* Variasi 2

Item	**Total Sub Biaya (Rp)**
Biaya Material dan Perekat	57.498.737,00
Biaya Tenaga Kerja	36.506.384,00
Biaya *Overhead*	21.429.644,00
Biaya Pokok	4.800.000,00
Total Biaya Pembangunan	120.234.765,00

Total biaya pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30 GT pada Tabel 5.13 berbahan laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon sebesar Rp 120.234.765,- dengan rincian sebagai berikut:

– Biaya material dan perekat sebesar Rp 57.498.737,- (material dan perekat)
– Biaya Tenaga Kerja Rp 36.506.384,- (upah pekerja)
– Biaya *Overhead* Rp 21.429.644,- (sewa barang dan jasa)
– Biaya Pokok Rp 4.800.000,- (pembelian peralatan pokok)

Tabel 5.14 Total Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Laminasi *Hybrid* Variasi 3

Item	**Total Sub Biaya (Rp)**
Biaya Material dan Perekat	50.955.345,00
Biaya Tenaga Kerja	33.464.186,00
Biaya *Overhead*	19.643.841,00
Biaya Pokok	4.800.000,00
Total Biaya Pembangunan	108.863.371,00

Total biaya pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30 GT pada Tabel 5.14 berbahan laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon sebesar Rp 108.863.371,- dengan rincian sebagai berikut:

– Biaya material dan perekat sebesar Rp 50.955.345,- (material dan perekat)

- Biaya Tenaga Kerja Rp 34.478.252,- (upah pekerja)
- Biaya *Overhead* Rp 19.643.841,- (sewa barang dan jasa)
- Biaya Pokok Rp 4.800.000,- (pembelian peralatan pokok)

5.2.3 Kebutuhan Material Laminasi *Hybrid* dan Kayu Jati Solid untuk Kulit Pembangunan Lambung kapal Ikan 30GT

Berdasarkan perincian sub bab sebelumnya didapatkan beberapa total biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT berbahan dasar laminasi *hybrid*, didasarkan dari perhitungan konstruksi kulit lambung kapal yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut rekapitulasi total biaya konstruksi berbahan dasar laminas *hybrid* untuk pembangunan Kulit Lambung Kapal Ikan 30GT.

1. Biaya *Overhead* kayu Jati Solid

Biaya overhead yang sudah dijelaskan pada sub bab sebelumnya untuk pengerjaan pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT terdapat biaya yang dibutuhkan yaitu, pembelian barang habis pakai, dan biaya sewa. Barang habis pakai dalam pembanguan ini adalah kuas dan kapi yang digunakan untuk proses perekatan material laminasi. Selanjutnya biaya sewa yang dibutuhkan adalah biaya listrik, sewa mesin *planner,* sewa mesin *press.* Berikut adalah rincian total biaya *overhead* pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Total Biaya *Overhead* Kayu Jati Solid

Jenis Biaya	**Item**	**Harga**	**Jumlah**	**Satuan**	**Kebutuhan**	**Total (Rp)**
Barang Habis Pakai	Kuas 3”	10000	30	Buah	-	300.000,00
	Kapi	5000	10	Buah	-	50.000,00
Biaya Sewa	Listrik	1500	221	per kWH	3	994.500,00
	Sewa mesin planer	20000	221	per jam	-	4.420.000,00
	Sewa mesin press	20000	70	per jam	-	1.400.000,00
TOTAL BIAYA YANG DIBUTUHKAN						7.164.500,00

2. Biaya Tenaga Kerja Jati Solid

Biaya tenaga kerja yang sudah dijelaskan pada sub bab sebelumnya dalam pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT, biaya tersebut terdiri dari membayar para

pekerja dan pegawai yang bekerja. Biaya tenaga kerja ini dibebankan oleh perusahaan yang harus dibayarkan secara langsung. Berikut adalah perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk pembuatan material kayu jati solid dalam pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT. Berikut adalah rincian waktu dan JO (Jam Orang) dari perhitungan kayu jati solid:

Tabel 5.16 Rincian Waktu Tenaga Kerja Kayu Jati Solid

Jumlah kayu Jati yang dibutuhkan	4405	bilah		
Waktu untuk proses planer/bilah	3	menit		
Waktu yang dibutuhkan untuk proses planer	13216	menit	221	jam
Waktu untuk proses pemotongan/bilah	3	menit		
Waktu yang dibutuhkan untuk proses pemotongan	13216	menit	221	jam
Waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeleman	4200	menit	70	jam
Waktu yang dibutuhkan untuk proses finishing	3780	menit	63	jam

Tabel 5.17 Jam Orang Material Kayu Jati Pembangunan Kulit Lambung Kapal Ikan

Jenis Pekerjaan	**Prepare Kayu Jati**		**Fitting Kulit Lambung Kapal**		**Pemasangan Kayu Jati Untuk Kulit Kapal**		**Finishing**	
Orang	**Tukang (0)**	**Helper (2)**	**Tukang (1)**	**Helper (1)**	**Tukang (2)**	**Helper (2)**	**Tukang (1)**	**Helper (1)**
Waktu Pengerjaan (Jam)	0	221	221	221	80	80	63	63
Jam Orang (Jo)	0	442	221	221	160	160	63	63
Total Jo	1330							

Tabel 5.18 Biaya Tenaga Kerja Kayu Jati Solid

Item	**Nilai**	**Unit**
Biaya tenaga kerja per hari	150000	Rp.
Jam kerja per hari	6	Jam
Biaya jam orang	25000	Rp.
Biaya tenaga kerja per m^3	12.775.000	Rp.
Jumlah tenaga kerja	4	orang
Biaya tiap tenaga kerja per m3	3.193.750	Rp.

Total biaya kerja untuk pembuatan laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon untuk pembuatan kulit lambung Kapal Ikan 30GT per m^3 sebesar Rp. 12.775.000,- dengan rincian pada Tabel 5.18.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Ikan 30GT Kayu Jati Solid

Bagian Konstruksi	**Sub Biaya material (Rp)**
Lunas	37.468.068,00
Linggi	9.331.938,00
Gading	158.172.000,00
Galar Balok	17.423.658,00
Galar	8.923.392,00
Galar Kim	13.521.611,00
Kulit laminasi *hybrid*	50.955.345,00
Geladak	106.406.845,00
Dinding Bangunan Atas	20.808.000,00
Geladak Bangunan Atas	23.625.000,00
Total	446.675.858,00

Total biaya perhitungan ekonomis dapat dilihat dari Tabel 5.19 yang dibutuhkan untuk pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT berbahan dasar laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon Sebesar Rp. 446.675.858,-. Berdasarkan total tersebut belom termasuk biaya tenaga kerja dan biaya peralatan dalam pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT.

5.2.4 Kebutuhan material pembangunan Kapal Ikan 30GT Berbahan Dasar Kayu Jati Solid

Total biaya pembangunan kapal ikan berdasarkan ukuran komponen konstruksinya kemudian dikalikan dengan dimensi yang telah diperoleh dari desain kapal yang telah dirancang. Ukuran konstruksi Kayu Jati Solid Kapal Ikan 30GT dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Berikut pada Tabel 5.20 rekapitulasi total biaya pembangunan Kapal Ikan 30GT berbahan Kayu Jati Solid.

Tabel 5.20 Rekapitulasi Kebutuhan Material Pembangunan Kapal Ikan Berbahan Dasar Kayu Jati Solid

Bagian Konstruksi	**Sub Biaya Material (Rp)**
Lunas	37.468.068,00
Linggi	9.331.938,00
Gading	158.172.000,00
Galar Balok	17.423.658,00
Galar	8.923.392,00
Galar Kim	13.521.611,00
Kulit	165.336.885,00

Bagian Konstruksi	Sub Biaya Material (Rp)
Geladak	106.406.845,00
Dinding Bangunan Atas	20.808.000,00
Geladak Bangunan Atas	23.625.000,00
Total	561.017.398,00

Total biaya perhitungan bahan material Kayu Jati Solid dapat dilihat dari Tabel 5.20 yang dibutuhkan untuk pembangunan Kapal Ikan 30GT berbahan dasar Kayu Jati Solid KKII Sebesar Rp. 561.017.398,-. Biaya material tersebut didapat dari harga rata-rata Kayu Jati gelondongan dengan kelas kuat dan kelas awet II permeter kubik sebesar Rp. 30.000.000,-. Berdasarkan total tersebut belom termasuk biaya tenaga kerja dan biaya peralatan dalam pembangunan Kapal Ikan 30GT.

5.2.5 Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Ikan 30GT Berbahan Dasar kayu Jati Solid

Dalam Tugas Akhir ini tidak hanya membahas biaya pembangunan Kapal Ikan 30GT berbahan dasar laminasi *hybrid* tetapi juga menghitung total biaya pembangunan Kapal Ikan 30GT berbahan dasar Kayu Jati Solid KKII. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai perbandingan total biaya antara pembangunan Kapal Ikan berbahan laminasi *hybrid* dengan pembangunan Kapal Ikan berbahan dasar Kayu Jati Solid.

Tabel 5.21 Total Biaya Pembangunan Kulit Lambung Kapal Ikan 30GT Berbahan Dasar Kayu Jati Solid

Item	Total Sub Biaya (Rp)
Biaya Material dan Perekat	165.336.885,00
Biaya Tenaga Kerja	70.405.956,00
Biaya Overhead	39.485.203,00
Biaya Pokok	4.800.000,00
Total Biaya Pembangunan	280.028.045,00

Berdasarkan Tabel 5.21 didapatkan total biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT berbahan dasar Kayu Jati solid sebesar Rp 280.028.045,-, dengan rincian sebagai berikut :

- Biaya material dan perekat sebesar Rp 165.336.885,- (material dan perekat)
- Biaya Tenaga Kerja Rp 70.405.956,- (upah pekerja)
- Biaya Variabel Rp 39.485.203,- (sewa barang dan jasa)
- Biaya Pokok Rp 4.800.000,- (pembelian peralatan pokok).

5.2.6 Perbandingan Biaya Pembangunan Kapal Ikan 30GT Berbahan Dasar Laminasi *hybrid* dengan Kayu Jati Solid

Berdasarkan dari data-data perhitungan biaya pembangunan Kapal Ikan 30GT dengan material berbahan dasar laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon dibandingkan dengan biaya pembangunan Kapal Ikan 30GT dengan material berbahan dasar Kayu Jati Solid. Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai ekonomis dari pembangunan Kapal Ikan 30GT yang menggunakan material berbeda.

Tabel 5.22 Perbandingan total biaya Kayu Jati Solid dengan Ketiga Variasi Laminasi *hybrid*

Material	Harga (Rp)	Selisih dengan Kayu Jati Solid (Rp)	Presentase (%)
kulit Laminasi *Hybrid* Variasi 1	769.142.272,00	169.555.340,00	18,06
Kayu Jati Solid	938.697.612,00		
kulit Laminasi *Hybrid* Variasi 2	778.904.332,00	159.793.280,00	17,02
Kayu Jati Solid	938.697.612,00		
kulit Laminasi *Hybrid* Variasi 3	767.532.937,00	171.164.674,00	18,23
Kayu Jati Solid	938.697.612,00		

Dari Tabel 5.22, disimpulkan bahwa total biaya pembangunan Kapal Ikan 30GT dengan menggunakan material ketiga variasi laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon jauh lebih murah dibandingkan dengan pembangunan Kapal Ikan 30GT berbahan dasar Kayu Jati Solid. Total biaya pembangunan Kapal Ikan 30GT menggunakan material Kayu Jati Solid sebesar Rp. 938.697.612,- namun pada biaya pembanguan Kapal 30GT menggunakan material laminasi *hybrid* paling murah sebesar Rp. 767.532.937,-. Selisih total biaya pembangunan Kapal Ikan 30GT dengan bahan material laminasi *hybrid* dan Kayu Jati solid sebesar Rp. 171.164.674,-. Persentase selisih total tersebut adalah sebesar 18,23%.

BAB 6
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil pengujian laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan tebal bilah Kayu Sengon 1x tebal bilah Bambu nilai kuat tarik sebesar 91,45 MPa dan nilai kuat tekuk 83,95 Mpa. Hasil pengujian laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan tebal bilah Kayu Sengon 2x tebal bilah Bambu nilai kuat tarik sebesar 101,58 MPa dan nilai kuat tekuk 80,48 Mpa. Hasil pengujian laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan tebal bilah Kayu Sengon 3x tebal bilah Bambu nilai kuat tarik sebesar 67,67 MPa dan nilai kuat tekuk 91,72 Mpa.
2. Berdasarkan hasil pengujian laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan Kayu Sengon, seluruh spesimen laminasi *hybrid* dengan 3 variasi susunan tebal bilah Kayu Sengon memiliki kuat tarik diatas sarat yang di tentukan oleh BKI. Nilai kuat tarik terkecil dari laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan 3x tebal bilah Kayu Sengon yaitu sebesar 67,67 Mpa, dan nilai kuat tarik tertinggi pada laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan 1x tebal bilah Kayu Sengon yaitu nilai kuat tarik sebesar 101,58 Mpa.
3. Dalam hasil pengujian teknik proses laminasi Bambu Betung dengan Kayu Sengon dilakukan secara tumpuk bata yang akan lebih kuat dibandingkan dengan segaris dan menjadikanya kedap, oleh kerena susunan antar bilah tidak mudah di tembus fluida dan penempatan sambungan metode tumpuk bata menjadikan kembang susut produk yang relatif kecil.
4. Dari hasil perhitungan ukuran konstruksi kulit lambung Kapal Ikan 30GT ketebalan dan volumetrik laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon sebesar 36 mm dan 3,31 m^3, sedangkan ketebalan dan volumetrik Kayu Jati solid sebesar 50 mm dan 5,51m^3, dengan selisih Volumetriknya sebesar 3,97 m^3 atau 40%, segi total biaya pembangunan kulit lambung kapal Ikan 30 GT menggunakan laminasi *hybrid* Bambu Betung dan Kayu Sengon sebesar Rp. 120.234.765,-. Kemudian pada pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT dengan menggunakan bahan dasar Kayu Jati solid sebesar Rp. 280.028.045,-. Selisih total

biaya pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT menggunakan bahan dasar laminasi *hybrid* dan Kayu Jati sebesar Rp 159.793.280,00,- atau 70,19%

6.2 Saran

1. Dari hasil penelitian ini laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan variasi tebal bilah Kayu Sengon tersebut menggunakan lem *marine use* merek propan dalam pembangunan kulit lambung Kapal Ikan 30GT disarankan pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan menggunakan lem *marine use* merek lainya dan juga lem *non marine use*.
2. Berdasarkan hasil penelitian yang menunjukan bahwa masa jenis laminasi *hybrid* Bambu Betung dengan Kayu Sengon bernilai 0.58 gr/cm^3 sehingga hanya dapat digunakan untuk konstruksi kulit dan geladak kapal maka penulis menyarankan diperlukannya penelitian lebih lanjut menggunakan laminasi *hybrid* antara bambu dengan jenis kayu yang lain agar dapat diaplikasikan pada semua konstruksi kapal yang disyaratkan oleh BKI.

DAFTAR PUSTAKA

Alvin, K.L. & Murphy, R.J. (1988). Variation in Fiber and Parenchyma Wall Thicknes in Culums of the Bamboo Sinobamboosathoothstik. *IAWA Bull Ns, 9* (4), 353-361.

Anton William. (2011, Mei 18). *Pelajar SMA menciptakan bambu komposit bebas rayap* . Diambil kembali dari Bambu Indonesia: https://bamboeindonesia.wordpress.com/bambu-komposit/berita/

ASTM D3043. (2004). *Standard Test Method for Structural Panel in Flexure*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).

ASTM D3500. (2004). *Standard Test Method for Structural Panel in Tension*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).

Biro Klasifikiasi Indonesia. (2013). *Rules for Small Vessels up to 24 m Vol VII.* Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.

Budi, A. S. (2007). Pengaruh Dimensi Bilah terhadap Keruntuhan Lentur Balok Laminasi Bambu Petung. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Negeri Sebelas Maret*, 85-92.

Carli, & Widyanto, S. A. (2012). Analisis Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Serat Gelas Jenis Woven dengan Matriks Epoxy dan Polyester Berlapis Simetri dengan Metoda Manufaktur. *Jurnal Teknis Politeknik Negeri Semarang, 6 (2)*, 22-26.

Dunkelberg, K. (1992). Bamboo as a Building Material., (hal. 1-15). Aachen, Jerman.

Firmansyah, A. (2013). Sintesis dan Karakterisasi Sifat Mekanik Bahan Nanokomposit Epoxy-Titanium Dioksida. *Jurnal Fisika Universitas Andalas, 2 (2)*, 72-80.

Forest Watch Indonesia. (2014). *Potret Keadaan Hutan Indonesia 2009-2013.* Bogor: Forest Watch Indonesia.

Forsmith, C. C., & Panshin, A. J. (1952). *Textbook of Wood Technology. Vol 1 Structure, Identification, Uses, and Properties of The Convensial Wood in The United States and Canada.* New York: Graw-Hill Book Camp.

Handayani, S. (2007). Pengujian Sifat Mekanis Bambu (Metode Pengawetan dengan Boraks). *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan Universitas Negeri Semaran, 9 (1)*, 43-53.

Hess, M. (2007). *Dynamic-Mechanical Properties of Polymers.* Denton, Texas, USA: University of North Texas, Department of Materials Science.

Heyne. (1987). *Tumbuhan Berguna Indonesia.* Jakarta: Badan Penelitian Pengembangan Kehutanan Departemen Kehutanan.

Hsiung, N., Warrick, H., & DeRiel, J. (1980). Cotransfer of Circular and Linear Prokaryotic and eukaryotic DNA sequences into mouse Cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 4852-4856.

Knauss, W. G. (1973). The Mechanics of Polymer: Viscosity. *The Mechanics of Polymer Fracture*, 2.

Liese, W. (1986). *Characterization and utilization of bamboo.* Kyoto University, Kyoto, Japan.

Manuputty, M., & Berhitu, P. (2010). Pemanfaatan Material Bambu Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pembuatan Kulit Kapal Pengganti Material Kayu Untuk Armada Kapal Rakyat Yang Beroperasi Di Daerah Maluku. *Jurnal TEKNOLOGI, 7 (2)*, 788-794.

Oka, G. M. (2008). Analisis Arah Laminasi Vertikal dan Horisontal terhadap Perilaku Lentur Balok Bambu Laminasi. *Jurnal SMARTEK, 6 (2)*, 94-103.

Oroh, J. (2013). *Analisis SIfat Mekanik Material Komposit dari Serat Sabut Kelapa.* Manado: Universitas Sam Ratulangi, Teknik Mesin.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (2002). *Indonesia Paten No. Nomor 51 Tahun 2002.*

Porwanto, D. A. (2007). *Karakterisasi Komposit Berpenguat Serat Bambu dan Serat Gelas Sebagai Alternatif Bahan Baku Industri.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik FIsika.

Prabowo, A., & Supomo, H. (2013). Analisis Teknis dan Ekonomis Ketebalan Bilah Laminasi Bambu Sebagai Material Lambung Kapal. *Jurnal Teknik POMITS, 2 (1)*, 1-4.

Purbayanto, A., Iskandar, Wisudo, & Novita. (2004). Kajian Teknis Kemungkinan Pengalihan Pengaturan Perijinan dari GT menjadi Volume Palkah pada Kapal Ikan. *Direktorat Jendral Perikanan Tangkap - DKP dengan Departemen pemanfaatan Sumber Daya Perikanan FPIK-IPB*, 15 Halaman.

Render, B. (2011). *Prinsip-prinsip Manajemen Operasi.* Jakarta: Salemba Empat.

Rosyid, D. M. (2004). Pengembangan Komposit Kayu dan Bambu Sebagai Material Alternatif Untuk Pembangunan Kapal Kayu.

Sorbothane. (1986). *The Difference between Elastic Materials and Viscoelastic Materials*. Diambil kembali dari Sorbothane: www.sorbothane.com

Supomo, H. (2016). *Studi Penggunaan Bambu Sebagai Material Alternatif Untuk Bahan Pembuatan Kapal Ikan Dengan Metode Cold Press Planking System.* Surabaya: ITS Program Pasca Sarjana Fakultas Teknologi Kelautan.

Suprijanto, I., & Kusmawan, D. (2009). Standarisasi Bambu Laminasi Sebagai Alternatif Pengganti Kayu Konstruksi. *Prosiding PPI Standarisasi 2009*, 1-21.

Tarkono. (2005). *Penggunaan Laminasi Kayu dan Bambu Untuk Komponen Balok Pada Kapal Kayu.* Surabaya: ITS.

LAMPIRAN 1 STANDAR ASTM D3500

Designation: D 3500 – 90 (Reapproved 2003)

Standard Test Methods for Structural Panels in Tension[1]

This standard is issued under the fixed designation D 3500; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of the tensile properties of structural panels.

1.2 Structural panels in use include plywood, waferboard, oriented strand board and composites of veneer, and other wood-based layers.

1.3 *Test Method A, Tensile Test for Small Specimens*:

1.3.1 This test method employs small specimens that should have a reduced cross section at the center of their length to avoid failure in the grip area. The transition from full width of specimen to reduced section at the center should be gradual to minimize stress concentration.

1.3.2 When the measurements of elastic properties are to be made, the length of the reduced cross section at the center should be of sufficient length to accommodate an extensometer.

1.4 *Test Method B, Tensile Test for Large Specimens*:

1.4.1 This test method employs large specimens and responds well to manufacturing variables, plywood growth characteristics, and other defects influencing the tensile properties of structural panels.

1.4.2 The test specimens are large enough to contain the maximum sized defects found in plywood panels. The test specimens have a constant cross section since the size and location of defects control the location of failures and the effect of stress concentration at the grips is overshadowed.

1.4.3 This test method is recommended for the following:

1.4.3.1 Comparative tests of structural panels,

1.4.3.2 Determining the influence of any specific strength reducing defects on the tensile properties of structural panels,

1.4.3.3 Determination of tensile properties of plywood and composites containing veneer with growth and manufacturing characteristics.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

D 2395 Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Base Materials[2]

D 4442 Test Method for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials[2]

3. Significance and Use

3.1 These test methods determine the tensile properties of structural panels in response to stresses acting in the plane of the panel.

3.2 *Test Method A*—This test method is suited to material that is uniform with respect to tensile properties. It is normally applied to structural panels and plywood of clear, straight-grained veneers. It may also be used to evaluate the strength of scarf and finger joints and other manufacturing process variables that can be expected to influence the tensile properties of structural panels in a uniform manner across the width of the sheet.

3.3 *Test Method B*—This test method employs large test specimens and responds well to all manufacturing variables and growth characteristics that affect the tensile properties of structural panels.

3.4 It is recommended that where comparisons are to be made that the same test method and specimen size be used throughout. This is because the volume of material included in a test specimen can influence the tensile strength regardless of whether the material properties are uniform throughout the sheet or vary widely due to the presence of growth or manufacturing features.

4. Control of Moisture Content

4.1 Structural panel specimens to be tested at specific moisture contents or after reaching equilibrium moisture content at specific temperature and relative humidity conditions shall be conditioned to approximate constant weight in controlled atmospheric conditions. For approximating moisture conditions of structural panels used under dry conditions, a relative humidity of 65 ± 2 % at a temperature of (68 ± 6°F) (20 ± 3°C) is recommended.

---

[1] These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D07 on Wood and are the direct responsibility of Subcommittee D07.03 on Panel Products.

Current edition approved Oct. 26, 1990. Published December 1990. Originally published as D 3500 – 76. Last previous edition D 3500 – 76 (1986).

[2] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.10.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

5. Variables Influencing Tensile Properties of Structural Panels

5.1 *Moisture Content*—Moisture content shall be determined in accordance with Test Method D 4442.

5.2 *Specific Gravity*—Determine specific gravity in accordance with Test Methods D 2395. The specimen may be the same as that for moisture content determination but must have volume of at least 1 in.^{3} (16 cm^3) if from small specimens (Test Method A), and at least 3 in.^{3} (49 cm^3) if from large specimens (Test Method B). Specimens containing veneer shall be free of visible knots or voids in any ply.

TEST METHOD A—TENSILE PROPERTIES OF SMALL SPECIMENS

6. Test Specimens

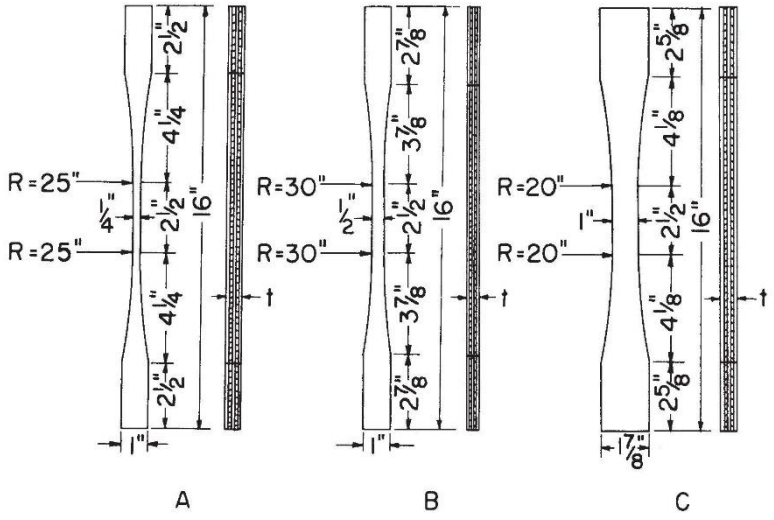
6.1 Specimens may be of Types A, B, or C in Fig. 1.

6.1.1 When the evaluation of elastic properties as well as ultimate tensile strength is required, the size and shape of the test specimen shall be selected on the basis of the construction and thickness of the material. For other structural panels, and plywood or composites with the grain of the individual veneer plies or laminations making grain angles of individual veneer lamina of 0 or 90°, Type A shall be used for material over ¼ in. (6 mm) in thickness and Type B for material ¼ in. (6 mm) or less in thickness. For plywood with an angle other than 0 or 90° between the length of the specimens and the grain orientation, Type C shall be used regardless of the thickness of the material. The specimens shall have a thickness equal to that of the material. The thickness and the width of each specimen at the critical section shall be measured to an accuracy of not less than ±0.3 % or 0.001 in. (0.02 mm) whichever is larger.

6.1.2 The test specimens shall be properly shaped, using a template in conjunction with a vertical-spindle wood-work-ing shaper or any other method that will give equally satisfactory results.

7. Loading Procedure

7.1 Hold the specimen in wedge-type self-tightening and self-aligning grips. Rate of crosshead motion shall be constant throughout the test such that the specimen breaks within 3 to 10 min after initiation of loading. A crosshead motion rate of



U.S. Customary Units, in.	Metric Equivalents mm	U.S. Customary Units, in.	Metric Equivalents mm
¼	6	3⅞	98
½	13	4⅛	105
1	25	4¼	108
1⅛	48	16	406
2½	64	20	503
2⅝	67	25	635
2⅛	73	30	762

NOTE 1—A generous radius of curvature at the minimum section as provided in this specimen is highly desirable.

FIG. 1 Dimensions and Details of Tension Test Specimens

0.035 in./min (0.9 mm/min) is usually satisfactory. If failure does not occur within the desired 3 to 10-min time span, adjust the loading rate.

7.2 Measure the elapsed time from initiation of loading to maximum load and record to the nearest ½ min.

8. Load-Deformation Curves

8.1 Take data for load-deformation curves to determine the modulus of elasticity and the proportional limit. Choose increments of load so that not less than 12 and preferably 15 or more readings of load and deformation are taken to the proportional limit. Attach the deformation apparatus at the center of the specimen's length and width. Take deformation readings to the nearest 0.0001 in. (0.002 mm). Fig. 2 and Fig. 3 show 2-in. (51-mm) gage length Tripolitis extensometers that have been found satisfactory for this test.

TEST METHOD B—TENSILE STRENGTH OF LARGE SPECIMENS

9. Apparatus

9.1 Hold the structural panel specimen in grips that apply the required forces to the specimen without influencing load at, or location of, failure. Such devices shall not apply a bending moment to the test section, allow slippage under load, or inflict damage or stress concentrations to the test section. Figs. 4 and 5 illustrate the test set-up and grips.

9.2 *Grip Alignment*—For ideal test conditions, the grips should be self-aligning, that is, they should be attached to the force mechanism of the machine in such a manner that they will move freely into axial alignment as soon as the load is applied and thus apply uniformly distributed forces along and across the test cross section. When self-aligning grips are not available, the specimen may be clamped in the heads of a universal-type testing machine with wedge-type jaws.

9.3 *Contact Surface*—The contact surface between grips and test specimen shall be such that slippage does not occur. It is recommended that 11-in. (279-mm) long gripping area be used (measured parallel to direction of force). Large projections that damage the contact surface of the wood should be avoided. Grips that have been used successfully include: diamond floor plate, grips surfaced with coarse emery paper, and urethane friction padding.

10. Test Specimens

10.1 Specimens shall be precisely cut with all adjacent edges at right angles. The dimension of the specimen shall be at least 6 in. (152 mm) wide by 48 in. (1219 mm) long. The thickness and width shall be measured to an accuracy of not less than ±0.3 % or 0.001 in. (0.02 mm), whichever is larger.

11. Loading Procedure

11.1 Apply the load continuously throughout the test at a uniform rate of moveable crosshead motion that will produce failure of the specimen within a 3 to 10-min time period after initiation of loading. A strain rate of 0.001 in./in.·min (0.001 mm/mm·min)± 25 % has been found to give satisfactory results. This rate corresponds to a crosshead motion of approximately 0.025 in./min (0.625 mm/min) for a net specimen length of 26 in. (600 mm). Widely varying material properties or deformation of loading equipment may cause failure times to fall outside this range, requiring an adjustment of loading rate.

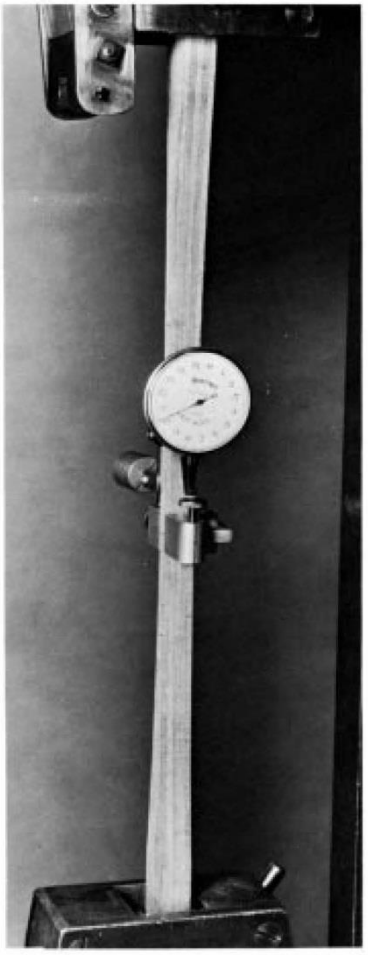


FIG. 2 Tension Test of Thick Plywood Showing Nonaveraging Type of Extensometer (2-in. Gage Length)

11.2 Measure the elapsed time from initiation of loading to maximum load and record to the nearest ½ min.

12. Load-Deformation Curves

12.1 When deformation measurements are needed for determining elastic properties mount a pair of transducers on the opposite faces of the specimen to minimize the effect of bending. Attach the transducers at the mid length and width of the specimen. It is recommended that the deflection be measured over a gage length of at least 5 in. (127 mm) and

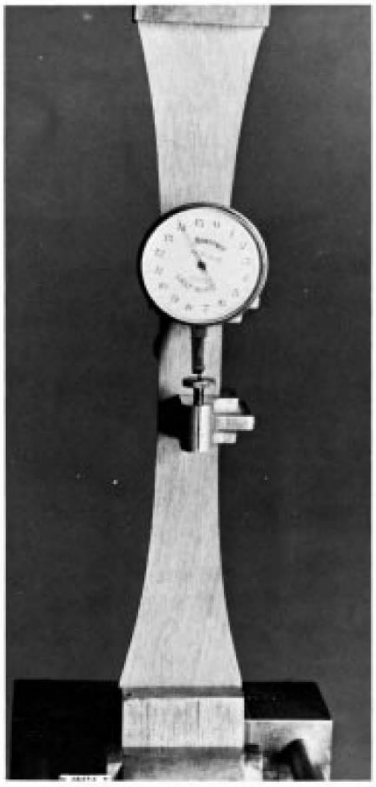


FIG. 3 Tension Test of Plywood with Extensometer Attachment Showing Specimen Used When Load is Applied at an Angle Other than 0 or 90 Deg to the Direction of the Grain of the Plies

deformations measured to the nearest 0.0001 in. (0.002 mm). It is recommended that an *X-Y* recorder be used to obtain a continuous load-deformation curve. Otherwise choose the increments of load so that not less than 12 and preferably 15 or more readings of load and deformation are taken to the proportional limit.

REPORT

13. Report

13.1 The structural panel specimen shall be described as to size, species, construction, and adhesive type used in its manufacture, and (where applicable) direction of the face grain or orientation with respect to load direction. The test method shall be identified.

13.2 Data for individual specimens and, where applicable, specimen averages shall include:

13.2.1 Thickness,

13.2.2 Width,

13.2.3 Specific gravity,

13.2.4 Moisture content,

13.2.5 Elapsed time to failure,

13.2.6 Tensile stiffness (cross-sectional area × modulus of elasticity),

13.2.7 Maximum load,

13.2.8 Maximum tensile strength,

13.2.9 Load-deflection diagrams, and

13.2.10 Description of failure.

13.3 It may also be desirable to include additional data that may influence results such as, for plywood, cross-sectional area of parallel and perpendicular plies, thickness of individual plies, and natural and manufacturing features present relating to panel grade or thought to influence test results.

13.4 A description of the test method shall include equipment used to apply loads to the specimen, deformation measuring equipment, and geometry of deformation measured.

14. Precision

14.1 The precision of these test methods has not yet been determined, but when data are available a precision statement will be included.

15. Keywords

15.1 panels; structural panels; tensile properties; wood-based

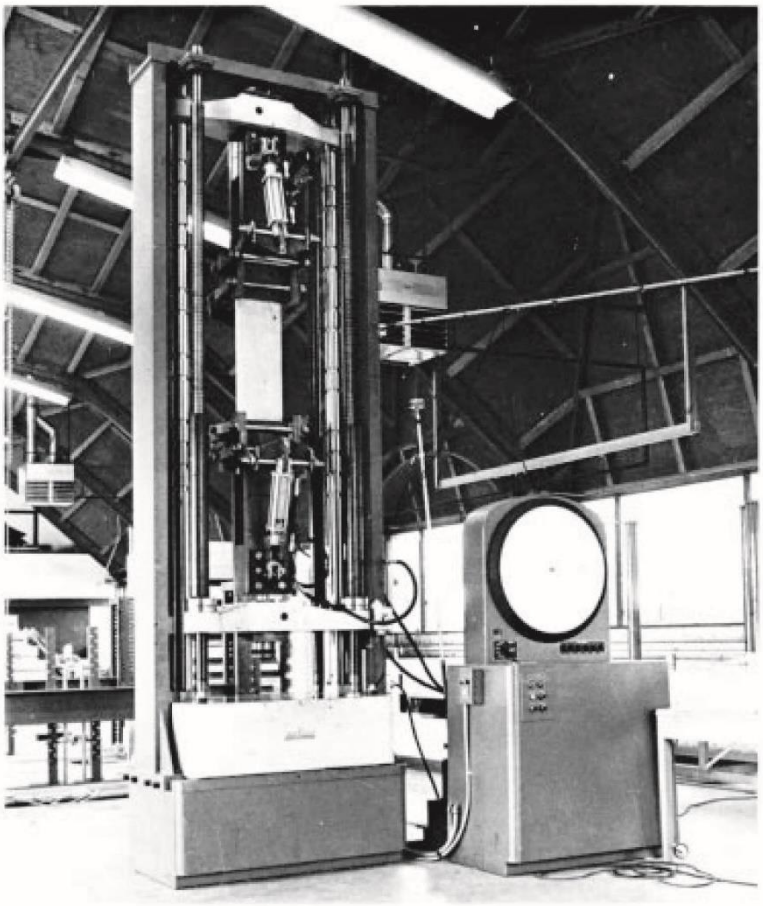


FIG. 4 Test Method B Tension Test Set-Up

FIG. 5 Grips Suitable for Test Method B Tension Tests

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

LAMPIRAN 2 STANDAR ASTM D3043

Designation: D 3043 – 00$^{\epsilon 1}$

Standard Test Methods for Structural Panels in Flexure[1]

This standard is issued under the fixed designation D 3043; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

ϵ^1 NOTE—The values in Note 8 for 7/16 in. panel were corrected editorially in March 2002.

1. Scope

1.1 These test methods determine the flexural properties of strips cut from structural panels or panels up to 4 by 8 ft in size. Structural panels in use include plywood, waferboard, oriented strand board, and composites of veneer and of wood-based layers. Four methods of tests are included:

	Sections
Method A—Center-Point Flexure Test	5
Method B—Two-Point Flexure Test	6
Method C—Pure Moment Test	7
Method D—Flexure Test for Quality Assurance	8

The choice of method will be dictated by the purpose of the test, type of material, and equipment availability. All methods are applicable to material that is relative uniform in strength and stiffness properties. Only Method C should be used to test material suspected of having strength or stiffness variations within a panel caused by density variations, knots, knot-holes, areas of distorted grain, fungal attack, or wide growth variations. However, Method B may be used to evaluate certain features such as core gaps and veneer joints in plywood panels where effects are readily projected to full panels. Method C generally is preferred where size of test material permits. Moments applied to fail specimens tested by Method A, B or D in which large deflections occur can be considerably larger than nominal. An approximate correction can be made.

1.2 *Method A, Center-Point Flexure Test*—This method is applicable to material that is uniform with respect to elastic and strength properties. Total deflection, and modulus of elasticity computed from it, include a relatively constant component attributable to shear deformation. It is well suited to investigations of many variables that influence properties uniformly throughout the panel in controlled studies and to test small, defect-free control specimens cut from large panels containing defects tested by the large-specimen method.

1.3 *Method B, Two-Point Flexure Test*—This method, like Method A, is suited to the investigation of factors that influence strength and elastic properties uniformly throughout the panel, in controlled studies, and to testing small, defect free control specimens cut from large specimens tested by Method C. However, it may be used to determine the effects of finger joints, veneer joints and gaps, and other features which can be placed entirely between the load points and whose effects can be projected readily to full panel width. Deflection and modulus of elasticity obtained from this method are related to flexural stress only and do not contain a shear component. Significant errors in modulus of rupture can occur when nominal moment is used (see Appendix X1).

1.4 *Method C, Pure Moment Test*—This method is ideally suited for evaluating effects of knots, knot-holes, areas of sloping grain, and patches for their effect on standard full-size panels. It is equally well suited for testing uniform or clear material whenever specimen size is adequate. Measured deformation and elastic constants are free of shear deformation effects; and panels can be bent to large deflections without incurring errors from horizontal force components occurring in other methods. Specimen size and span above certain minimums are quite flexible. It is preferred when equipment is available.

1.5 *Method D, Flexure Test for Quality Assurance*—This method, like Method A, is well suited to the investigation of factors that influence bending strength and stiffness properties. Also like Method A, this method uses small specimens in a center-point simple span test configuration. This method uses a span to depth ratio, specimen width, test fixture and test speed that make the method well suited for quality assurance. The method is frequently used for quality assurance testing of oriented strand board.

1.6 All methods can be used to determine modulus of elasticity with sufficient accuracy. Modulus of rupture determined by Methods A, B or D is subject to errors up to and sometimes exceeding 20 % depending upon span, loading, and deflection at failure unless moment is computed in the rigorous manner outlined in Appendix X1 or corrections are made in other ways. These errors are not present in Method C.

[1] These methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D07 on Wood and are the direct responsibility of Subcommittee D07.03 on Panel Products.

Current edition approved Apr. 10, 2000. Published July 2000. Originally published as D 3043 – 72. Last previous edition D 3043 – 95.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

1.7 When comparisons are desired between results of specimen groups, it is good practice to use the same method of test for all specimens, thus eliminating possible differences relatable to test method.

1.8 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

D 2395 Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Base Materials[2]

D 4442 Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials[2]

D 4761 Test Method for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material[2]

3. Significance and Use

3.1 These methods give the flexural properties, principally strength and stiffness, of structural panels. These properties are of primary importance in most structural uses of panels whether in construction for floors, wall sheathing, roof decking, concrete form, or various space plane structures; packaging and materials handling for containers, crates, or pallets; or structural components such as stress-skin panels.

3.2 To control or define other variables influencing flexure properties, moisture content and time to failure must be determined. Conditioning of test material at controlled atmospheres to control test moisture content and determination of specific gravity are recommended. Comparisons of results of plywood, veneer composites, and laminates with solid wood or other plywood constructions will be greatly assisted if the thickness of the individual plies is measured to permit computation of section properties.

4. Control of Moisture Content

4.1 Structural panel samples to be tested at a specific moisture content or relative humidity shall be conditioned to approximate constant mass in controlled atmospheric conditions before testing. For structural panels used under dry conditions, a relative humidity of 65 ± 5 % at a temperature of 68 ± 6°F (20 ± 3°C) is recommended.

5. Method A—Center-Point Flexure Test

5.1 *Summary*—A conventional compression testing machine is used to apply and measure a load at mid-span of a small flexure specimen; and the resulting deflection at mid span is measured or recorded. The test proceeds at a constant rate of head motion until either sufficient deflection data in the elastic range have been gathered or until specimen failure occurs. The specimen is supported on reaction bearings which permit the specimen and bearing plate to roll freely over the reactions as the specimen deflects.

5.2 *Test Specimen*—The test specimen shall be rectangular in cross section. The depth of the specimen shall be equal to the thickness of material, and the width shall be 1 in. (25 mm) for depths less than ¼ in. (6 mm) and 2 in. (50 mm) for greater depths (Note 1). When the principal direction of the face plies, laminations, strands, or wafers is parallel to the span, the length of the specimen (Note 2) shall be not less than 48 times the depth plus 2 in.; when the principal direction of the face plies, laminations, strands, or wafers is perpendicular to the span, the specimen length shall be not less than 24 times the depth plus 2 in. (Note 3).

NOTE 1—In certain specific instances, it may be necessary or desirable to test specimens having a width greater than 1 or 2 in. (25 or 50 mm). To eliminate plate action when wider specimens are tested, the specimen width shall not exceed one third of the span length and precaution shall be taken to ensure uniform bearing across the entire width of the specimen at the load and reaction points.

NOTE 2—In cutting specimens to meet the length requirement, it is not intended that the length be changed for small variations in thickness. Rather, it is intended that the nominal thickness of the material under test should be used for determining the specimen length.

5.2.1 *Measurements*—Measure specimen thickness at mid-span at two points near each edge and record the average. Measure to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) or 0.3 %. Measure width at mid-span to the nearest 0.3 %.

5.2.1.1 When needed for interpretation of test results for plywood, veneer composites, and laminates measure thickness of each layer to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) at mid-span at each edge and record the average.

5.3 *Span*—The span shall be at least 48 times the nominal depth when the principal direction of the face plies, laminations, strands, or wafers of the test specimen is parallel to the span and at least 24 times the nominal depth when the principal direction of the face plies, laminations, strands, or wafers is perpendicular to the span (Note 3).

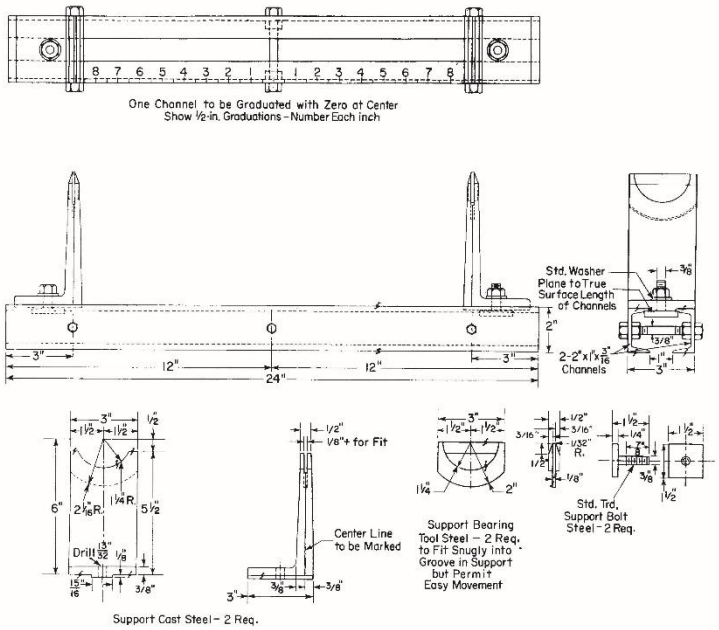
NOTE 3—Establishment of a span-depth ratio is required to allow an accurate comparison of test values for materials of different thicknesses. It should be noted that the span is based on the nominal thickness of the material and it is not intended that the spans be changed for small variations in thickness.

5.4 *End Supports*—Reaction points shall be capable of freely compensating for warp of the test specimen by turning laterally in a plane perpendicular to the specimen length so as to apply load uniformly across its width. Design of end supports shall place the center of rotation near the neutral axis of the specimen of average thickness. Construction is shown in detail in Fig. 1. Bearing points shall be rounded where they contact the specimen.

5.4.1 Use of bearing plates is generally recommended and is required wherever significant local deformation may occur.

5.4.2 Use of roller bearings or plates and rollers to preclude friction forces between end support and specimen is recommended in addition to the requirement of lateral compensation. Construction of a suitable end support using small roller bearings in conjunction with a plate which clips to the end of the specimen is illustrated in Fig. 2 and Fig. 3. The use of a large ball bearing to provide lateral compensation for warp is also illustrated. This method is particularly recommended for thin specimens and small loads.

[2] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.10.



Inch-Pound (in.)	Metric Equivalents, (mm)	Inch-Pound (in.)	Metric Equivalents, (mm)
1/16	1.5	1¼	32
⅛	3	1½	38
3/16	5	2	50
¼	6	2 1/16	52
⅜	10	3	76
13/32	10.3	5½	140
½	12	6	152
⅞	23	12	305
15/16	24	24	610
1	25		

FIG. 1 Apparatus for Static Bending Test Showing Details of Laterally Adjustable Supports

5.4.3 As the specimen deflects during test, loads no longer act in the direction assumed in formulas for calculating properties. For a discussion of these errors, their effects, and methods for reducing them, refer to Appendix X1.

5.5 *Loading Block*—A loading block having a radius of curvature of approximately one and one-half times the depth of the test specimen for a chord length of not less than twice the depth of the specimen shall be used. In cases where excessive local deformation may occur, suitable bearing plates shall be used. Radius of curvature of bearing plate or block shall not be so large as to cause bridging as the specimen bends.

5.6 *Loading Procedure*—Apply the load with a continuous motion of the movable head throughout the test. The rate of load application shall be such that the maximum fiber strain rate is equal to 0.0015 in./in. (mm/mm) per min within a permissible variation of ± 25 %. Load shall be measured to an accuracy of ±1 % of indicated value or 0.4 percent of full scale, whichever is larger. Calculate the rate of motion of the movable head as follows:

$$N = zL^2/6d \quad (1)$$

where:

N = rate of motion of moving head, in./min (mm/min),
L = span, in. (mm),
d = depth of beam, in. (mm), and
z = unit rate of fiber strain, in./in.·min (mm/mm·min) of outer fiber length = 0.0015.

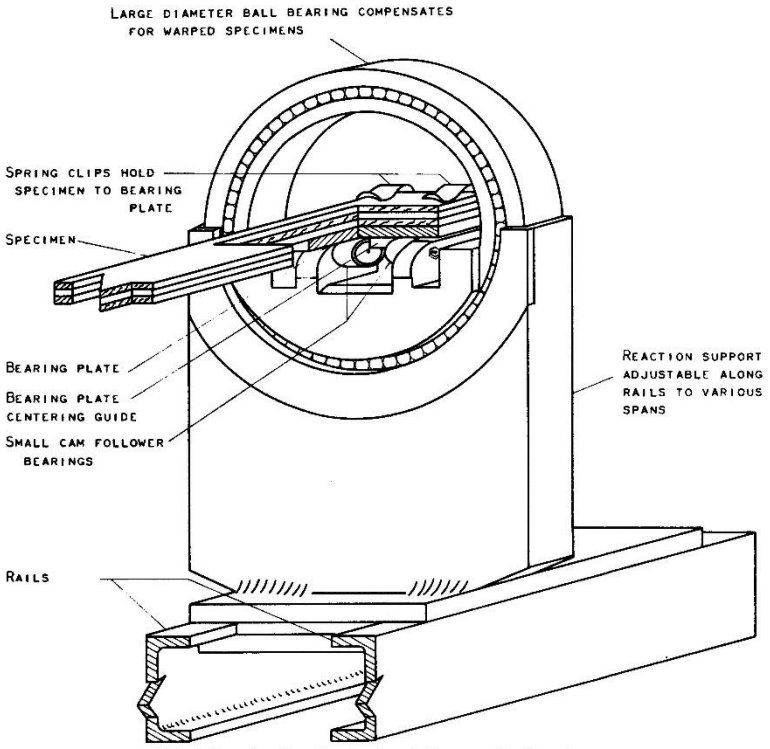


FIG. 2 Reaction Bearing for Small Flexure Test Specimens

5.6.1 Measure the elapsed time from initiation of loading to maximum load and record to the nearest ½ min.

5.7 *Measurement of Deflection*—Take data for load-deflection curves to determine the modulus of elasticity, proportional limit, work to proportional limit, work to maximum load, and total work. Take deflections by the methods indicated in Fig. 4 or Fig. 5, and take readings to the nearest 0.001 in. (0.02 mm). Choose increments of load so that not less than 12 and preferably 15 or more readings of load and deflection are taken to the proportional limit.

5.7.1 Deflections also may be measured with transducer-type gages and plotted simultaneously against load. In this case, record deflection to an accuracy of at least 1½ % of deformation at proportional limit and the recorded trace below the proportional limit shall be at least 2½ in. (64 mm) long or ¼ of full scale measured on the deformation axis, whichever is larger. Similar requirements apply to the load axis.

5.8 *Calculations*:

5.8.1 Calculate specimen bending stiffness as follows:

$$EI = (L^3/48)(P/\Delta) \quad (2)$$

where:

EI = modulus of elasticity, psi (MPa) × moment of inertia, in.^{4} (or mm^4),
P/Δ = slope of load—deflection curve, lbf/in. (N/mm),
I = moment of inertia, in.^{4} (mm^4), and
L = span, in. (mm).

5.8.1.1 Moment of inertia used in the computations in 5.8.1 may be calculated in several different ways depending upon the requirements of the investigation. It may be based on the entire cross section, may include only the moment of inertia of layers parallel to span, or may include all layers weighted in accordance with modulus of elasticity in the direction of bending stress. State clearly the method employed in the report.

5.8.2 Calculate maximum moment (S_b I/c) by the following equation:

$$S_b I/c = PL/4 \quad (3)$$

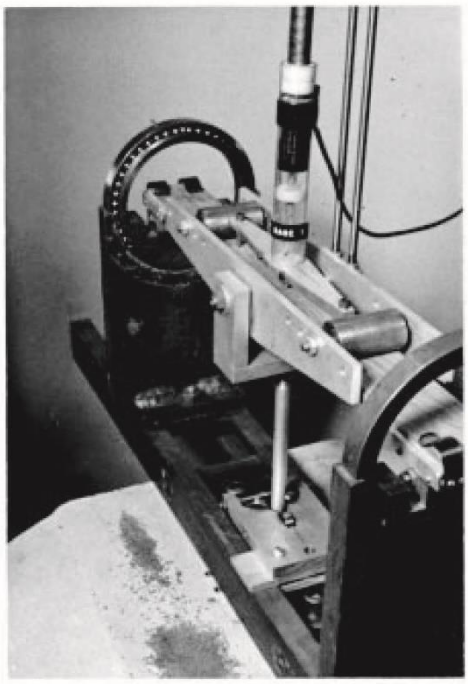


FIG. 3 Apparatus for Two-Point Loading and Measurement of Deflection (Method B)

where:

$S_b I/c$ = maximum moment, lbf·in. (N·mm),
S_b = modules of rupture, psi (MPa),
P = maximum load, lbf (N), and
c = distance from neutral axis to extreme fiber, in. (mm).

6. Method B—Two-Point Flexure Test

6.1 *Summary*—The ends of a two-point flexure specimen are supported on special reaction bearings which in turn rest on the table of a conventional testing machine. A pivoted loading device applies equal loads at points ⅓ of span from the reactions resulting from downward motion of the testing machine crosshead, and subjects the middle half of the specimen to conditions of nearly pure moment. Deflection of mid span relative to two points just inside the load points is measured with a dial gage or transducer thus giving deformation due to pure bending and unaffected by shear deformation.

6.2 *Test Specimen*—The test specimen shall be rectangular in cross section and its length shall exceed by 2 in. (50 mm) the span on which it is to be tested as determined in 6.3. Thickness shall be the thickness of the material. Width shall be 1 in. (25 mm) for material less than ¼ in. (6 mm) thick and 2 in. for material ¼ in. and over in thickness. The alternate width is 12 in. (300 mm).

6.2.1 *Measurements*—Measure specimen thickness at mid-span at two points near each edge and record the average. Measurements shall be to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) or 0.3 %. Measure width at mid-span to the nearest 0.3 %.

6.2.1.1 When needed for interpretation of test results for plywood, veneer composites, and laminates, measure thickness of each layer to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) at mid-span at each edge and record the average.

6.3 *Span*—Span-depth ratio has relatively little influence on the results of tests using two-point loading and the method of measuring deformation described for it in this standard. However, it is important that the distance between load point and adjacent support be sufficient to prevent rolling shear failures. The alternate 12-in. (300-mm) width will have a midlength (constant moment section) at least 12 in. in length.

6.3.1 Specimens tested for stiffness only shall have a span at least 48 times nominal thickness if the principal direction is parallel to span and 24 times nominal thickness if the principal direction is perpendicular to span.

6.3.2 It is recommended that two-point loading tests to failure be made on a span at least equal to the spacing between load points plus 48 times specimen thickness or 24 times specimen thickness for the principal direction parallel or perpendicular respectively. Material having high rolling shear strength or having all its plies, laminations, strands, or wafers parallel to span may use closer spacing between loads and supports.

6.4 *Supports*—Reaction supports shall meet the requirements of 5.4 and 5.4.1. Other comments as well as those of 5.4.2 and 5.4.3 apply.

6.5 *Loading*—Apply two equal loads to the specimen equidistant from the supports by cylindrical surfaces having a radius of curvature of at least 1 ½ times specimen thickness wherever it may contact the specimen. The axes of these surfaces shall remain parallel and at least one of them shall be free to turn about its axis or be loaded through rollers to prevent the application of friction forces to the surface of the specimen. Construction of a satisfactory loading head is illustrated in Fig. 6 and Fig. 3. Locate the pivot point that equalizes the two loads near the original neutral axis of the specimen.

6.5.1 Space load points sufficiently to provide a deflection which can be adequately measured. A spacing of at least 24 and 12 times specimen thickness is recommended for specimens with the principal direction parallel and perpendicular to span respectively.

6.5.2 Measure the sum of the two loads to an accuracy of at least 1 % of indicated value or 0.4 % of full scale, whichever is larger.

6.6 *Speed of Test*—Apply load at a continuous rate of motion of the load points with respect to the supports within a permissible range of 25 % of the rate determined as follows:

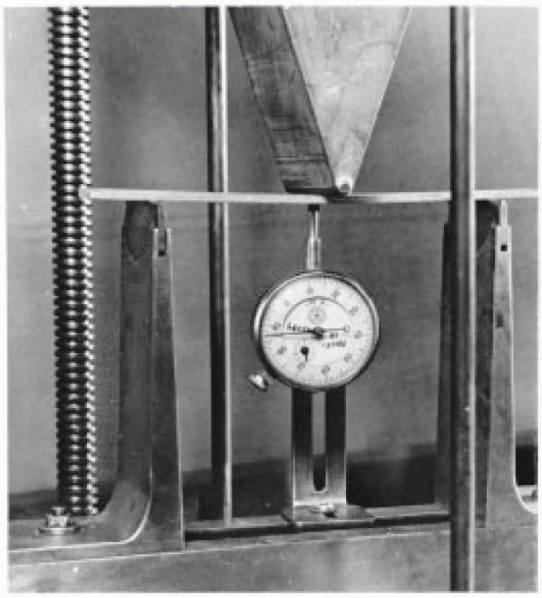


FIG. 4 Static Bending Test Showing Adjustable Supports and One Method of Attaching Dial Gage for Observing Deflection of Thin Material

$$N = (za/3d)(3L - 4a) \quad (4)$$

where:

N = rate of motion, in./min (mm/min),
z = unit rate of fiber strain, in./in.·min (mm/mm·min) = 0.0015,
a = distance from support to adjacent load, in. (mm),
d = depth of beam, in. (mm), and
L = span, in. (mm).

6.6.1 Measure the elapsed time from initiation of loading to maximum load and record to the nearest ½ min.

6.7 *Measurement of Deflection*—Measure deflection of mid-span with respect to a line between two points equidistant from mid-span and just inside the two load points to an accuracy of at least 1½ % of total deflection if tested for stiffness only, or 1½ % of deflection at approximate proportional limit. All three points shall lie on the longitudinal axis of the specimen. Suitable equipment of the transducer type is illustrated in Fig. 6 and shown in Fig. 3. A dial gage could replace the transducer for manual reading. If individual gage readings are taken, at least 12 and preferably 15 or more load and deflection readings shall be taken below approximate proportional limit or for determining specimen stiffness.

6.8 *Calculations*:

6.8.1 Calculate the specimen bending stiffness as follows:

$$EI = [(L - L_1)L_2^{\,2}/32](P'/\Delta) \quad (5)$$

where:

L_1 = span between load points, in. (mm)
L_2 = span between deflection measurement points, in. (mm),
P'/Δ = slope of load deflection curve where deflection is mid-span relative to ends of span L_2, in. (mm), and other notation is as given in 5.8.1. Remarks of 5.8.2 apply.

6.8.2 Calculate maximum moment of the specimen as follows:

$$S_b I/c = P(L - L_1)/4 \quad (6)$$

where:

P = maximum load, lbf (N),

7. Method C—Pure Moment Test

7.1 *Summary*—A specially designed testing machine applies pure moments to opposite ends of the test panel through loading frames. Frames are free to move toward or away from each other during the test to preclude application of other than pure moments to the center span of the panel. Between loading frames deflection of the neutral axis follows a circular arc. Rotational deformation between points near the ends of the arc is measured during the test by special sensing gages resting on pins projecting from the face of the panel at these points. The

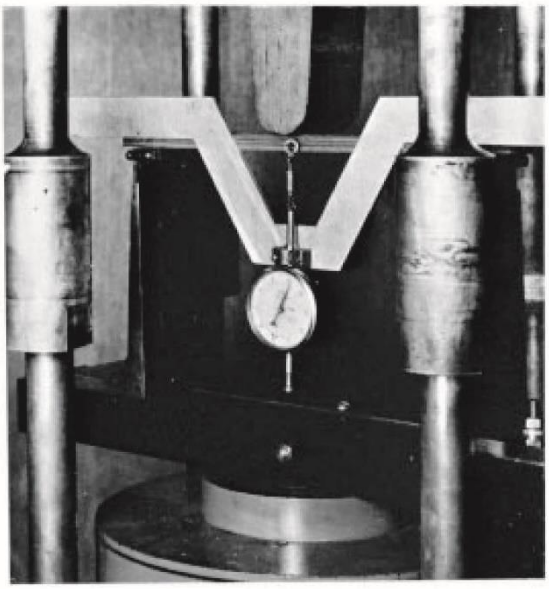


FIG. 5 Static Bending Test Showing Roller Bearing at Supports and Special Yoke with Dial Gage for Measuring Deflection at the Neutral Axis

test is simple and flexible, and results are directly relatable to basic properties at large deformations.

7.2 *Test Specimen*—Specimens shall be of a size comparable to that of the material in use, frequently consisting of the entire panel. Limitation on size may be imposed by equipment size or moment capacity or size of available material. Except for effects of nonuniformity of properties within a panel, specimen dimensions do not tend to influence test results. When nonuniform material containing density variation, knots, knot-holes, sloping grain or other sources of large variability is tested for general construction and industrial use, a minimum specimen width of 24 in. (610 mm) is recommended and in no case shall width be less than 12 in. (300 mm).

7.2.1 *Measurements*—Measure panel thickness at four points, two on each edge one fourth of panel length from each end, to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) and record the average. Measure width to the nearest 0.3 % at two points one fourth of panel length from each end and record the average.

7.2.1.1 When needed for interpretation of test results for plywood, veneer composites, and laminates measure thickness of each layer to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) at the same points at which total panel thickness is measured.

7.3 *Application and Measurement of Moments*—Fig. 7 illustrates application of pure moments to a specimen, by means of loading frames, and measurement of deformation. Apply equal and opposite pure moments to each end of the panel by frames. The frames shall be free to move toward or away from each other while under load to preclude application of direct tension or compression loads at large panel deformations. Support axes of the loading frames to remain in a parallel relationship throughout the test (Note 4). Space bars of the loading frames sufficiently to prevent shear failures between points of load application. A bar spacing of 20 times panel thickness is suggested to preclude most, if not all, shear failures in the plane of the panel. In some cases closer spacing may be entirely satisfactory.

NOTE 4—These requirements dictate use of specialized equipment which may not be readily available. The principle of a commercially available flexure testing machine complying with these requirements is diagrammed in the figure below. Until further innovations are made in pure bending test equipment, use of cable and pulley equipment of this type, either purchased or constructed at the laboratory, offers the only practical means of implementing this method. This equipment is the subject of U.S. Patent No. 3,286,516.

7.3.1 Measure or record moment applied to either or both loading frames, either directly or in terms of a value related to moment, to an accuracy of ±2 % of indicated value or 0.8 % of full-scale reading below 40 % of full-scale value (Note 5). Friction forces that tend to resist motion of the axes of the loading frames during a test may also cause significant errors. Therefore, when panels 4 ft in width are to be tested, the horizontal force applied to one loading frame that is required to produce motion of both frames without a panel in the machine should not exceed 5 lb (2.3 kg). Where a cable and pulley system is employed, the use of cables of the smallest possible size consistent with loads, and relatively large pulleys will help minimize friction forces.

NOTE 5—These limits are liberal in relation to conventional equipment

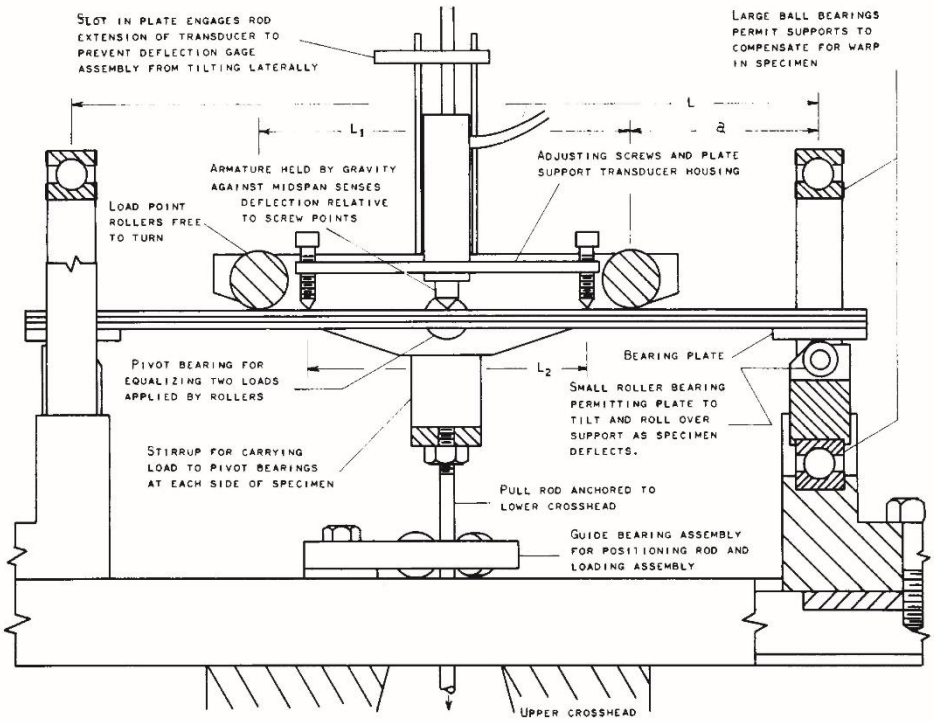


FIG. 6 Two-Point Load Test (Method B)

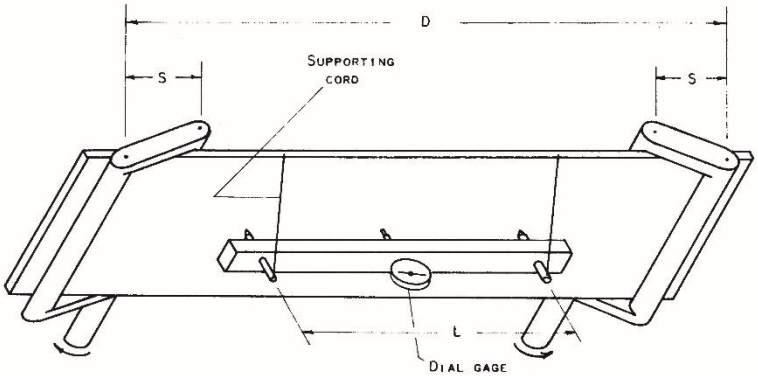


FIG. 7 Use of a Dial Gage to Measure Midordinate Deflection in a Pure Moment Bending Test (Method C)

in order to allow for laboratory fabrication and inexperience in the design of precision pure moment machines. Carefully controlled investigations may require specification or construction of more precise equipment.

7.4 *Speed of Testing*—Rotation of load frames with respect to each other shall take place at a constant rate throughout the test within ±25 % of the rotation rate calculated as follows:

$$R = (2z/3d)\,(3D - 4S) \tag{7}$$

where:

R = rotation speed between loading frames, rad/min,
S = load frame bar spacing between points of contact with panel, in. (mm),

D = span between outer loading frame bars, in. (mm),
d = panel thickness, in. (mm), and
z = strain rate for outer fiber, in./in.·min (mm/mm·min),

For structural panels the rate of outer fiber strain, z, shall be taken as 0.0015 in./in.·min (mm/mm·min).

7.4.1 Measure the elapsed time from initiation of loading to maximum load and record to the nearest ½ min.

7.5 *Measurement of Panel Curvature*—Measure panel curvatures between two points on the longitudinal axis of the panel located between the inner loading bars and spaced as far apart as possible consistent with maintaining adequate clearances between gages and loading bars. Take curvature data to an accuracy of at least 1½ % of proportional limit values. If gages are read, take at least 12 and preferably 15 or more readings below the approximate proportional limit. If data are automatically recorded, magnifications shall be such as to produce pen motions of at least 2½ in. (64 mm) or ¼of full scale, whichever is larger on the axes below the proportional limit.

7.5.1 Where equipment permits changing ranges during test, recording a more highly magnified portion of the curvature data at low moments to produce full scale pen motion on at least one axis provides more accurate data for the computation of bending stiffness. The characteristically violent failures of large panels will normally dictate removal of delicate measuring instruments from the panel when sufficient data in the elastic range has been obtained.

7.5.2 Provision is made for two acceptable methods for obtaining curvature data. The midordinate deflection method employs readily available equipment to measure curvature. The angular rotation method uses special angular rotation measuring instruments to determine rotational deformation of the portion of the panel subjected to pure bending.

7.5.3 *Measurement of Panel Curvature by Midordinate*—Apparatus to determine panel curvature measures panel midordinate or deflection relative to two points as shown in Fig. 7. Reading of the dial gage to the nearest 0.001 in. (0.02 mm) normally will give ample precision. An electronic transducer could be substituted for the dial gage for direct recording if system accuracy is adequate.

7.5.4 *Measurement of Panel Curvature by Angular Rotation*—Fig. 8 illustrates a suitable method of measuring angular rotations in conjunction with electronic indicating and recording equipment. One-eighth-inch (three-millimetre) pins project perpendicularly from the face of the panel held in a vertical position by the loading frames. These pins, threaded at one end and having a small rectangular flange, are attached to the panel either by screwing them into small holes in the face of the panel until the flange is drawn tightly against the face or by inserting the pin through a hole in the panel and drawing the flange tight by means of a nut on the opposite side of the panel. A reference rod approximately the same length as the spacing between pins is fitted at each end with an angular sensing device. Each gage housing is provided with small ball bearings which permit free movement of the angular sensing gage along the rod while holding it in fixed angular relationship to it. The input shaft of each rotation gage is fitted with a flange and small V-blocks which rest on the pins projecting from the panel at each gage point, thus transmitting the angular rotation of the panel to the gage and supporting the rotation gage-reference rod assembly.

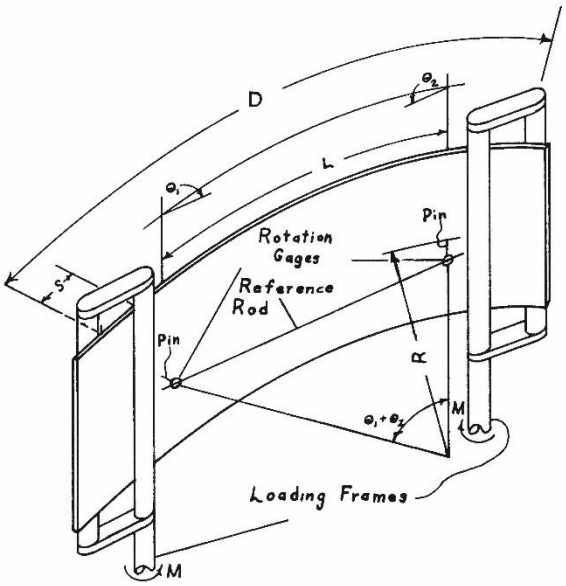


FIG. 8 Pure Bending Test Showing Angular Rotation Gages and Loading Frames

7.5.4.1 The rotation between the two gage points during test is the sum of the two rotations measured at each end of the reference rod. Use of linear differential transformers as transducers permits primaries and secondaries to be wired to produce a single signal proportional to their sum for indication or recording.

7.6 *Calculations*:

7.6.1 Calculate panel stiffness (*EI*), depending upon the method of curvature measurement, from test data in accordance with one of the following equations:

7.6.1.1 *Midordinate Method*—Determine panel bending stiffness, *EI*, from applied bending moment, *M*, and panel curvature, *R*, as follows:

$$EI = MR \tag{8}$$

where:

EI = panel bending stiffness, lb·in.^{2} (N·mm^2),
M = bending moment, lbf·in. (N·mm), and
R = panel radius of curvature, in. (mm).

Calculate the radius of curvature by the method discussed in 7.5.3 as follows:

$$R = (L^2/8\Delta) + (\Delta/2) \tag{9}$$

where:

R = radius of curvature, in. (mm),
L = chord length for measuring midordinate or deflection, in. (mm), and
Δ = midordinate or deflection, in. (mm).

7.6.1.2 *Angular Rotation Method*:

$$EI = ML/(\theta_1 + \theta_2) \tag{10}$$

where:

EI = panel bending stiffness, lbf·in^2 (N·mm^2) (see 5.8.2),
M = maximum moment, lbf·in. (N·mm) (see 5.8.1.1),
L = distance between gage points, in. (mm), and
$\theta_1 + \theta_2$ = total angular rotation between gage points.

7.6.2 Calculate as follows:

$$S_b I/c = \text{maximum moment, lbf·in. (N·mm)} \tag{11}$$

8. Method D—Flexure Test for Quality Assurance

8.1 *Summary*—A conventional compression testing machine is used to apply and measure a load at mid-span of a small flexure specimen. Resulting deflection at mid span is measured. The test proceeds at a constant rate of loading until either sufficient deflection readings are recorded or until failure occurs, depending upon purpose.

8.2 *Test Specimen*—The test specimen shall be rectangular in cross section. The depth of the specimen shall be the thickness of the panel. The width shall be at least 3 in. (76 mm) and not wider than 4.5 in. (114 mm). The length shall be 2 in. (51 mm) plus 24 times the thickness (see Note 6). The length, width and thickness shall be measured within an accuracy of 0.3 %.

NOTE 6—In cutting the specimen to meet the length requirement, it is not intended that the length be changed for small deviations in thickness. Rather it is intended that the nominal thickness be used for determining the specimen length and span.

8.3 *Span and Supports*—The span shall be 24 times the nominal thickness (depth) of the specimen (see Note 6). The supports shall be such that no appreciable crushing of the specimen will occur at these points during the test. The supports shall be rounded or shall be knife edges provided with rollers and plates under the specimen at these points. When rounded supports are used, the radius shall be at least 1.5 times the thickness of the material being tested. If the material under test deviates from a plane, laterally adjustable supports shall be provided (see Figs. 1 and 2).

8.4 *Center Loading Block*—The test shall use a loading block having a radius of not less than 1.5 times the specimen thickness for a chord length of at least twice the specimen thickness. The width of the loading block shall exceed the width of test specimens.

8.5 *Loading Procedure*—Apply the load continuously at a uniform rate. In accordance with Test Method D 4761, the test rate shall be such that the sample target failure load would be achieved in approximately 1 min (Note 7). The failure load should not be reached in less than 10 s nor more than 10 min (Note 8).

NOTE 7—A test rate to achieve the average failure load for the sample in approximately 1 min will differ from that to achieve a lower percentile load for the same sample in approximately 1 min.

NOTE 8—For oriented strand board, the following equation provides loading rates within these guidelines:

$$N = z\,L^2/6d \tag{12}$$

where:

N = rate of motion, in./min (mm/min),
L = span, in. (mm),
d = depth of beam, in. (mm), and
z = unit rate of fiber strain, in./in. (mm/mm) per minute of outer fiber length (0.0075).

Based on Eq 12, the loading rate is:

For 3/8 in. panel	0.27 in./min (6.9 mm/min)
For 7/16 in. panel	0.31 in./min (7.9 mm/min)
For 1/2 in. panel	0.36 in./min (9.1 mm/min)
For 5/8 in. panel	0.45 in./min (11.4 mm/min)
For 3/4 in. panel	0.54 in./min (13.7 mm/min)

8.6 *Measurement of Deflection*—Take load and deflection data to determine the modulus of elasticity. Take deflection readings to the nearest 0.001 in. (0.025 mm). Choose increments of load so that not less than 12 readings and preferably more than 15 readings are taken prior to the proportional limit.

8.7 *Calculations and Report*:

8.7.1 Calculate bending stiffness as follows:

$$EI = (L^3/48)\,(P/\Delta) \tag{13}$$

where:

EI = stiffness (modulus of elasticity, psi (MPa) times moment of inertia, in.^{4} (mm^4)),
L = span, in. (mm), and
P/Δ = slope of load– deflection curve, lbf/in. (N/mm).

8.7.1.1 Moment of inertia may be calculated in several different ways depending upon the purpose of the test. It may be based on the entire cross section, only the layers parallel to the span or may include all layers weighted in proportion to the

modulus of elasticity in the direction parallel to span. State clearly the method employed in the report if modulus of elasticity is included.

8.7.2 Calculate the maximum moment by the following equation:

$$S_b I/c = PL/4 \quad (14)$$

where:

$S_b I/c$ = maximum moment, lbf-in. (N-mm),
S_b = modulus of rupture, psi (Mpa),
P = maximum load, lbf (N), and
c = distance from neutral axis to extreme fiber, in. (mm).

9. Variables Influencing Flexure

9.1 *Moisture Content*—Cut a moisture content sample having minimum area of 2 in.^{2} (13 cm^2) from the clear areas of the panel and weigh immediately after each test. Moisture content samples from large specimens of Method C shall have minimum area of 8 in.^{2} (52 cm^2). If inspection of the edges of panels containing veneer reveals the presence of a knot in any of the inner plies, select a second specimen. Moisture content specimens also serving as specific gravity specimens shall be free of density variations and inner ply voids such as knotholes or edge gaps between veneers. Moisture content determinations shall be made in accordance with Test Methods D 4442.

9.2 *Specific Gravity*—Specific gravity determinations shall be made in accordance with Test Methods D 2395. The specimen may be the same as that for moisture content determination but must have volume of at least 1 in.^{3} (16 cm^3) if from small specimens and at least 3 in.^{3} (49 cm^3) if from large specimens. Specimens with veneer shall be free of visible knots or voids.

10. Report

10.1 Each specimen shall be described as to size, species, construction, and adhesive type used in its manufacture, and principal direction of the plies, laminations, strands, or wafers with respect to specimen length.

10.2 Data for individual specimens and where applicable specimen averages shall include:

10.2.1 Thickness,
10.2.2 Specific gravity,
10.2.3 Moisture content,
10.2.4 Elapsed time to failure,
10.2.5 Bending stiffness,
10.2.6 Maximum moment,
10.2.7 Load-deflection diagrams, and
10.2.8 Description of failure.

10.3 It may also be desirable to include additional data that may influence results such as modulus of elasticity, modulus of rupture, section modulus, moment of inertia, thickness of individual plies or laminations, maximum load or moment, and natural and manufacturing features present relating to panel grade or thought to influence test results.

10.4 The method of calculating moment of inertia and section modulus shall be clearly stated. A description of the test method shall include equipment used to apply loads or moments to the panel, their points of application, deformation measuring equipment, and geometry of deformation measured.

11. Precision

11.1 The precision of these methods has not yet been determined, but when data are available precision statements will be included.

12. Keywords

12.1 flexural properties; panels; structural panels

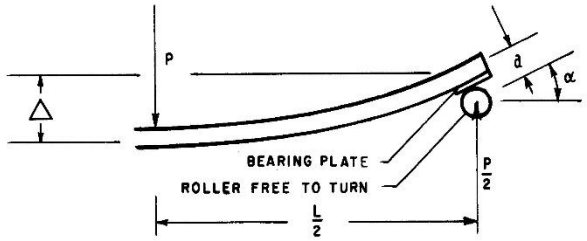
APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. CALCULATION OF TRUE MOMENT IN CENTER-POINT AND TWO-POINT LOAD TESTS

X1.1 The equation for calculation of true bending moment is given in Fig. X1.1 for the center-point test and in Fig. X1.2 for the two-point test. The errors incurred by using nominal moment instead of true moment for the computation of modulus of rupture (equations in this standard use nominal moment) depend upon the geometry of the specimen and loading at failure.

X1.2 In the case of the two-point test, measurement of the additional tangent angles and deflections during the test to permit calculation of true moment multiplies the task of running the test and reducing the data by an order of magnitude. An approach that reduces the errors, possibly to acceptable limits for many purposes, is to develop a correction to be applied to nominal moment which varies with mid-span deflection.



When deflection is measured relative to reactions:

$$M = (PL/4) + [(\Delta - a)(P/2)]\tan\ \alpha$$

where:

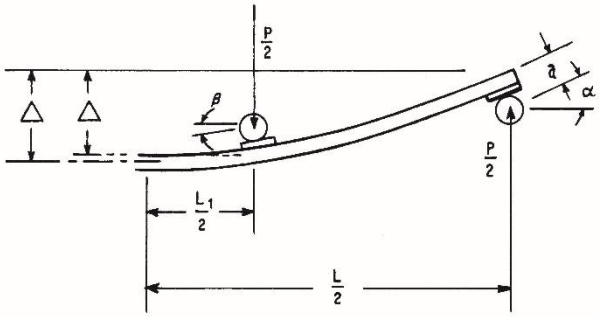
M=moment at mid span, in.·lb,
P=load, lb,
L =span, in.,
a =distance from center of reaction pivot to neutral axis of specimen, in.,
α =slope of specimen at reaction, and
Δ =deflection at mid-span relative to reactions, in.

When deflection is measured relative to two points on the neutral axis of the panel:

$$M = (PL/4) + (P\Delta/2)tan\ \alpha - (Pa/2)\sin\ \alpha$$

where:
Δ = deflection at mid-span relative to points on the neutral axis of the panel at the reactions; other notation is as given above.

FIG. X1.1 True Moment Calculation in Center-Point Load Test



When deflection is measured relative to reactions:

$$M = (PL/4) + [(\Delta - a)(P/2)]\tan\ \alpha - (PL_1/4) - [(\Delta - \Delta_1 + a)(P/2)]\tan\ \beta$$

where:

M = moment between load points, in.·lbf,
P = total load, lbf,
L = reaction span, in.,
L_1 = load point span, in.,
Δ = mid-span deflection relative to reactions, in.,
Δ_1 = load point deflection relative to reactions, in.,
a = distance from center of reaction pivot to neutral axis of specimen, in.,
α = slope at reaction, and
β = slope at load point.

When deflection is measured relative to two points on the neutral axis of the panel:

$$M = [P(L - L_1)/4] + (P\Delta/2)\tan\ \alpha - [(P/2)(\Delta - \Delta_1)]\tan\ \beta - (Pa/2)(\sin\ \alpha + \sin\ \beta)$$

where:

Δ = deflection at mid-span relative to points on the neutral axis of the panel at the reactions, and
Δ_1 = load point deflection relative to points on the neutral axis of the panel at the reactions, and other notation is as given above.

FIG. X1.2 True Moment Calculation in Two-Point Load Test

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

LAMPIRAN 3 TABEL UKURAN KONSTRUKSI (BKI)

Tabel 1a
Kapal Pelayaran Pantai

L(B/3 + H)	Lunas							Linggi Haluan	
	Penampang*	Hanya luas luar		Lunas luar		Lunas dalam		Lebar	*) Tinggi
1	2	3		4		5		6	
m^2	cm^2	mm (lebar)	mm (tinggi)	mm (lebar)	mm (tinggi)	mm (lebar)	mm (tinggi)	mm	
20	320	150	215	125	140	130	115	125	180
25	375	160	235	130	160	135	125	135	195
30	430	170	255	140	170	140	140	145	210
35	485	180	275	145	185	150	145	150	225
40	540	190	295	150	200	155	155	160	240
50	650	210	310	165	220	175	165	175	260
60	750	220	340	175	235	190	175	190	280
70	855	235	365	190	240	205	195	200	300
80	955	250	380	205	255	215	200	215	315
90	1060	265	400	215	275	225	210	225	335
100	1160	275	420	225	280	235	225	235	355
120	1370	305	450	250	300	260	240	255	385
140	1570	0	0	270	320	280	255	275	415
160	1775	0	0	280	350	295	270	295	440
180	1985	0	0	290	370	310	290	310	460
200	2190	0	0	310	390	325	300	325	480
220	2400	0	0	330	400	340	320	340	510
240	2600	0	0	340	415	360	330	355	530
260	2800	0	0	350	435	375	340	370	550

Tabel 1b

Kapal Pelayaran Lokal

L(B/3 + H)	Lunas							Linggi Haluan	
	Penampang*	Hanya luas luar		Lunas luar		Lunas dalam		Lebar	*) Tinggi
m^2	cm^2	mm (lebar)	mm (tinggi)	mm (lebar)	mm (tinggi)	mm (lebar)	mm (tinggi)	mm	
1	2	3		4		5		6	
20	290	140	200	115	135	120	110	115	180
25	340	150	230	125	150	130	120	125	190
30	390	160	245	135	160	140	125	140	200
35	440	170	260	140	175	145	140	145	210
40	490	180	270	145	185	150	145	155	220
50	585	200	295	160	205	165	160	170	245
60	675	210	320	175	220	175	175	180	265
70	765	225	340	180	230	190	185	190	285
80	860	235	365	190	235	200	195	205	300
90	955	250	380	205	260	210	205	220	315
100	1045	260	400	215	265	220	215	225	335
120	1235	285	435	235	290	245	230	240	370
140	1410	0	0	255	305	270	240	260	390
160	1600	0	0	270	325	285	255	280	415
180	1785	0	0	280	350	295	270	295	440
200	1970	0	0	295	365	305	290	305	465
220	2160	0	0	315	375	325	300	325	485
240	2340	0	0	330	385	340	310	335	510
260	2520	0	0	345	400	360	320	350	530

Table 2a

Tongkat kemudi dengan tiga bantalan

L1	V	F. r (m^3)													
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
m	kn	d = diameter batang kemudi (mm)													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
9,0	8	39	49	56	62	67									
11,5	9	41	52	59	65	70	75	79	83	87					
14,5	10	43	54	62	68	74	79	83	87	91	94	100	106		
17,5	11	45	57	65	72	77	83	87	91	94	98	105	110	115	120
20,5	12	47	59	68	75	81	86	91	95	98	102	109	114	120	125
24,0	13	49	62	71	78	84	89	95	98	102	106	113	119	125	130
28,0	14	51	64	74	81	87	93	98	102	106	111	117	123	129	135
32,0	15	53	67	77	84	91	97	102	106	110	115	122	129	135	140
36,5	16	55	70	80	87	95	101	106	111	115	119	127	133	139	145

Tabel 2b

Kemudi gantung

a ; r	Koefisien c									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1	1,01	1,02	1,07	1,11	1,15	1,2	1,24	1,28	1,32
1	1,36	1,4	1,44	1,47	1,5	1,53	1,56	1,59	1,62	3,97
2	1,68	1,71	1,74	1,77	1,8	1,82	1,84	1,86	1,88	1,9
3	1,92	1,94	1,96	1,98	2	2,02	2,04	2,06	2,08	2,09
4	2,1	2,14	2,14	2,16	2,18	2,2	3,97	2,23	2,24	2,25
5	2,26	2,27	2,29	2,3	2,32	2,33	2,35	2,36	2,37	2,39
6	2,4	2,42	2,42	2,44	2,45	2,46	2,47	2,48	2,5	2,51

Gading - gading kapal pelayaran pantai

B/3 + H	Modulus penampang untuk jarak gading sama dengan 100 mm			
	Yang dilengkung		Berlapis	Dari baja
	Tunggal	Berganda		
	W 100	W 100	W 100	W 100
m	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3
1	2	3	4	5
2,4	24,5	20,5	12,25	1,53
2,6	29	24	14,5	1,81
2,8	35	29	17,5	2,19
3,2	49	41	24,5	3,06
3,6	68	57	34	4,25
4,0	90	75	45	5,63
4,4	117	97	58	7,3
4,8	146	122	73	9,1
5,2	182	152	91	11,4
5,6	223	186	111,5	13,9
6,0	266	222	133	16,6
6,4	312	260	156	19,5
6,8	353	294	176,5	22
7,2	400	334	200	25
7,6	455	378	227,5	28,4
8,0	505	520	252,5	31,6

Gading - gading kapal pelayaran local

B/3 + H	Modulus penampang untuk jarak gading sama dengan 100 mm			
	Yang dilengkung		Berlapis	Dari baja
	Tunggal	Berganda		
	W 100	W 100	W 100	W 100
m	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3
1	2	3	4	5
2,4	21,5	18,5	10,75	1,34
2,6	25,5	21,5	15,515	1,59
2,8	31	26	15,5	1,94
3,2	43,5	36,5	21,75	5,512
3,6	61	50	30,5	3,81
4,0	80	66	40	5,00
4,4	104	86	52	6,50
4,8	130	108	64	8,10
5,2	162	135	81	10,10
5,6	198	165	99	12,40
6,0	236	197	118	14,75
6,4	278	231	139	17,40
6,8	314	261	157	19,60
7,2	356	296	178	22,30
7,6	405	336	203	25,40
8,0	450	373	250	28,12

Penampang gading-gading
Gading-gading tunggal yang dilengkung

W	Tebal	Tinggi	
cm^3	mm	mm	mm
1	2	3	4
59	53	82	62
72	56	88	66
87	60	93	70
110	65	101	76
136	70	108	81
168	75	116	87
202	80	123	97
243	85	131	99
294	90	140	105
342	95	147	110
400	100	155	116
442	105	163	122
530	110	170	128
604	115	178	136
685	120	185	139
782	125	194	145
860	130	200	150
990	135	210	157
1095	140	217	163
1220	145	225	169
1350	150	233	175
1485	155	240	180
1640	160	248	186
1790	165	255	191
1980	170	265	198
2130	175	270	203
2355	180	280	210
2530	185	287	215
2760	190	295	221
2920	195	300	225
3200	200	310	232
3690	210	325	240
4240	220	340	255
4840	230	355	266
5450	240	370	277
6170	250	385	289

Gading-gading berganda yang dilengkung

W	Tebal	Tinggi	
cm^3	mm	mm	mm
1	2	3	4
61	45	90	68
82	50	100	75
111	55	110	83
144	60	120	90
183	65	130	98
229	70	140	105
281	75	150	113
340	80	160	120
410	85	170	128
486	90	180	135
572	95	190	143
666	100	200	150
770	105	210	157
890	110	220	165
1015	115	230	173
1150	120	240	180
1300	125	250	188
1465	130	260	195
1640	135	270	203
1830	140	280	210
2030	145	290	218
2250	150	300	225
2480	155	310	233
2720	160	320	240
3000	165	330	248
3280	170	340	255
3570	175	350	263
3880	180	360	270
4220	185	370	278
4570	190	380	285
4940	195	390	293
5340	200	400	300

Gading-gading Berlapis

W	Tebal dan Tinggi
cm^3	mm
1	2
21	50
28	55
36	60
45	65
57	70
68	75
85	80
102	85
121	90
141	95
166	100
222	110
287	120
367	130
456	140
560	150
682	160
815	170
987	180
1130	190
1330	200
1530	210
1720	220
2030	230
2300	240

tinggi wrang kapal pelayaran pantai

B/3 + H	tinggi wrang	
	Hanya lunas luar	lunas luar dan lunas dalam
m	mm	mm
1	2	3
2,40	170	140
2,60	180	150
2,80	190	160
3,00	200	170
3,40	220	190
3,80	240	210
4,20	260	225
4,60	280	250
5,00	-	270
5,40	-	285
5,80	-	305
6,20	-	325
6,60	-	345

kapal pelayaran Lokal

B/3 + H	tinggi wrang	
	Hanya lunas luar	lunas luar dan lunas dalam
m	mm	mm
1	2	3
2,40	150	140
2,60	160	145
2,80	170	150
3,00	180	160
3,40	200	175
3,80	220	195
4,20	240	210
4,60	260	230
5,00	-	250
5,40	-	265
5,80	-	285
6,20	-	305
6,60	-	325

tabel 5 a

galar balok dan galar balok kim

kapal pelayaran pantai

L (B/3 + H)	penampang balok galar	galar balok		galar balok samping		galar balok bawah			galar balok kim	
		tinggi	tebal	tinggi	tebal	jumlah	tinggi	tebal	tinggi	tebal
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	55	155	36	0	0	0	0	0	190	47
25	83	180	46	0	0	0	0	0	195	49
30	111	200	55	0	0	0	0	0	205	50
35	138	220	62	0	0	0	0	0	210	52
40	165	240	68	0	0	0	0	0	220	53
45	192	265	73	0	0	0	0	0	225	54
50	219	280	79	0	0	0	0	0	235	55
60	273	295	61	96	96	0	0	0	245	57
60	273	275	65	0	0	1	174	53	245	57
70	327	325	67	105	105	1	0	0	255	58
70	327	305	72	0	0	1	185	59	255	58
80	380	350	72	113	113	1	0	0	270	59
80	380	320	77	0	0	1	200	63	270	59
90	423	370	76	119	119	1	0	0	270	60
90	423	345	81	0	0	1	215	66	270	60
100	471	390	81	125	125	1	0	0	275	61
100	471	365	86	0	0	1	225	70	275	61
110	520	410	84	132	132	1	0	0	280	62
110	520	385	90	0	0	1	240	73	280	62
120	556	430	88	136	136	1	0	0	285	63
120	556	395	93	0	0	1	245	76	285	63
130	592	490	91	140	140	1	0	0	285	64
130	592	410	97	0	0	1	250	79	285	64
140	630	450	93	145	145	1	0	0	290	65
140	630	425	100	0	0	1	255	82	290	65
160	710	255	80	134	134	2	230	70	290	66
180	785	270	83	141	141	2	245	73	300	66
200	846	290	86	146	146	2	255	77	305	67
220	930	300	88	152	152	2	265	80	310	67
240	980	315	90	157	157	2	275	83	310	68
260	1040	325	92	162	162	2	280	86	315	68

tabel 5b
galar balok dan galar balok kim
kapal pelayaran lokal

L (B/3 + H)	penampang balok galar	galar balok		galar balok samping		galar balok bawah			galar balok kim	
		tinggi	tebal	tinggi	tebal	jumlah	tinggi	tebal	tinggi	tebal
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10
20	50	145	35	0	0	0	0	0	185	43
25	75	165	46	0	0	0	0	0	190	46
30	100	190	53	0	0	0	0	0	195	48
35	125	210	59	0	0	0	0	0	200	50
40	150	230	65	0	0	0	0	0	205	51
45	175	250	70	0	0	0	0	0	210	52
50	200	260	75	0	0	0	0	0	220	53
60	248	280	58	91	91	0	0	0	230	55
60	248	265	62	0	0	1	165	50	230	55
70	297	310	64	100	100	1	0	0	245	56
70	297	290	68	0	0	1	175	57	245	56
80	345	335	69	107	107	1	0	0	255	56
80	345	315	74	0	0	1	190	61	255	56
90	385	360	74	113	113	1	0	0	260	57
90	385	330	78	0	0	1	200	64	260	57
100	429	370	77	120	120	1	0	0	265	58
100	429	350	82	0	0	1	215	67	265	58
110	473	390	81	126	126	1	0	0	270	59
110	473	365	86	0	0	1	225	70	270	59
120	506	410	84	130	130	1	0	0	270	60
120	506	380	89	0	0	1	230	74	270	60
130	539	420	86	134	134	1	0	0	270	61
130	539	390	92	0	0	1	240	75	270	61
140	572	430	89	138	138	1	0	0	275	62
140	572	400	95	0	0	1	245	77	275	62
160	645	250	73	127	127	2	220	67	275	63
180	715	270	77	134	134	2	235	71	280	63
200	770	280	80	139	139	2	245	74	290	64
220	835	290	83	145	145	2	255	77	295	64
240	891	300	86	150	150	2	260	79	295	65
260	945	310	88	154	154	2	270	81	300	65

tabel 6a2

JARAK GADING-GADING DAN KULIT LUAR

KAPAL PELAYARAN PANTAI

L(B/3+H)	GADING		TEBAL SISI ALAS	KULIT LUAR*	
	TUNGGAL	BERGANDA		PAPAN LAJUR SISI ATAS DAN LUNAS	
	JARAK GADING-GADING			LEBAR	TEBAL
m2	mm	mm	Mm	mm	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

JARAK GADING-GADING DAN KULIT LUAR

KAPAL PELAYARAN LOKAL

L(B/3+H)	GADING		TEBAL KULIT LUAR*
	TUNGGAL	BERGANDA	
	JARAK GADING-GADING		
m2	mm	Mm	mm
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

JARAK GADING-GADING DAN KULIT LUAR

KAPAL PELAYARAN LOKAL

L(B/3+H)	GADING		TEBAL SISI ALAS	KULIT LUAR*	
	TUNGGAL	BERGANDA		PAPAN LAJUR SISI ATAS DAN LUNAS	
	JARAK GADING-GADING			LEBAR	TEBAL
m2	mm	mm	mm	mm	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

JARAK GADING-GADING DAN KULIT LUAR
KAPAL PELAYARAN LOKAL

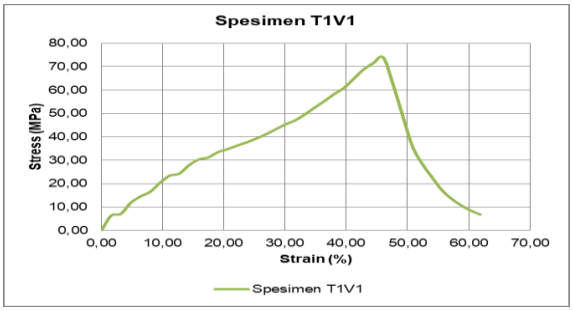
L(B/3+H)	GADING		TEBAL SISI ALAS	KULIT LUAR*	
	TUNGGAL	BERGANDA		PAPAN LAJUR SISI ATAS DAN LUNAS	
	JARAK GADING-GADING			LEBAR	TEBAL
m2	mm	mm	mm	mm	mm
1	2	3	4	5	6
35	280	310	28	380	35
40	300	330	30	400	37
45	315	350	32	420	40
50	330	365	34	430	42
60	340	380	38	450	45
70	370	410	41	490	48
80	390	435	44	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

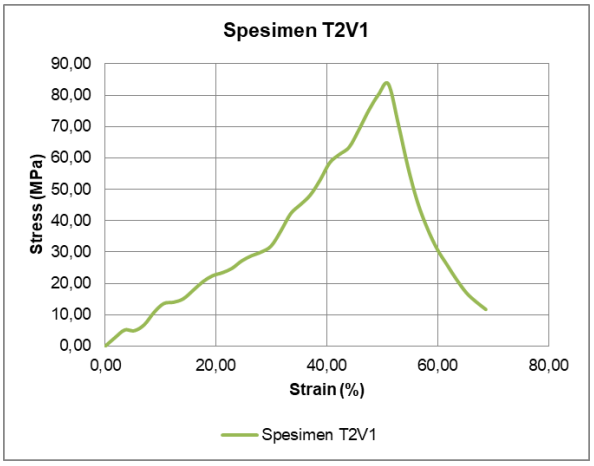
LAMPIRAN 4 DOKUMENTASI SURVEI

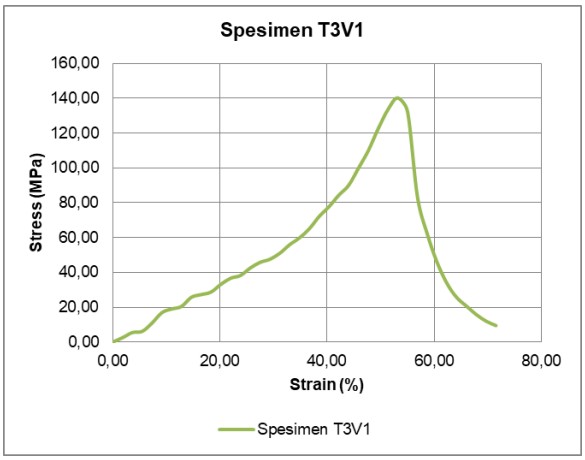
5

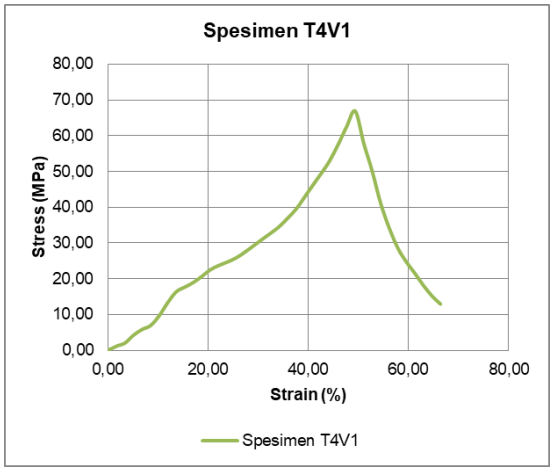
LAMPIRAN 5 ANALISIS HASIL UJI TARIK

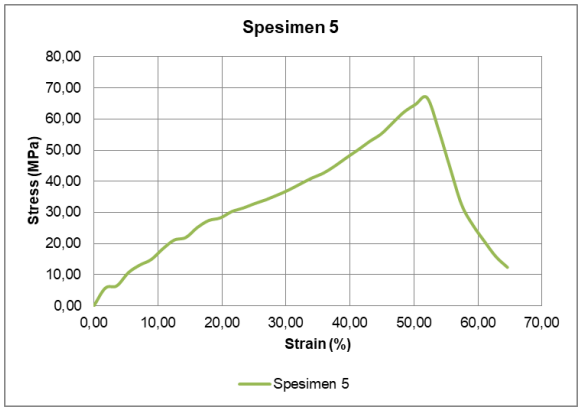
No	Code	Schedule Laminasi	W (mm)	T (mm)	L0 (mm)	CSA (mm^2)	Elongation (mm)	$F_{ultimate}$ (KN)	Stress (Mpa)	MOE (Gpa)	Strain (%)
1	**T1V3**	Laminasi searah serat	10,87	21,8	64	236,966	52,3	16,4	69,208	5,420	81,719
2	**T2V3**		10,93	21,33	64	233,137	51,7	15,4	66,056	5,233	80,781
3	**T3V3**		11,08	21,17	64	234,564	46,5	19,2	81,854	7,210	72,656
4	**T4V3**		11,81	21,9	64	258,639	47,2	14,4	55,676	4,832	73,750
5	**T5V3**		11,44	21,86	64	250,078	32	16,4	65,579	8,394	50,000
Rata-rata :						**242,677**	**45,940**	**16,360**	**67,675**	**6,21789**	**71,781**





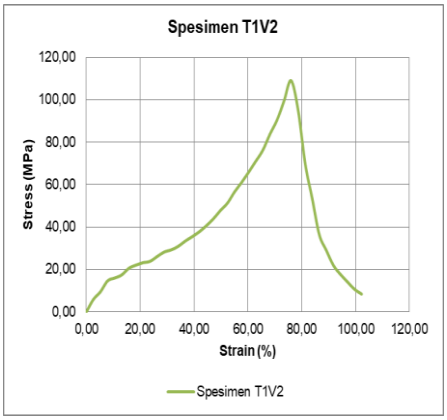


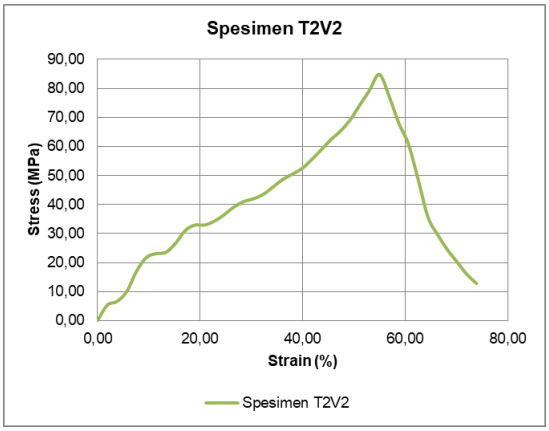

Spesimen T4V1
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Stress (MPa)
0,00
20,00
40,00
60,00
80,00
Strain (%)
Spesimen T4V1

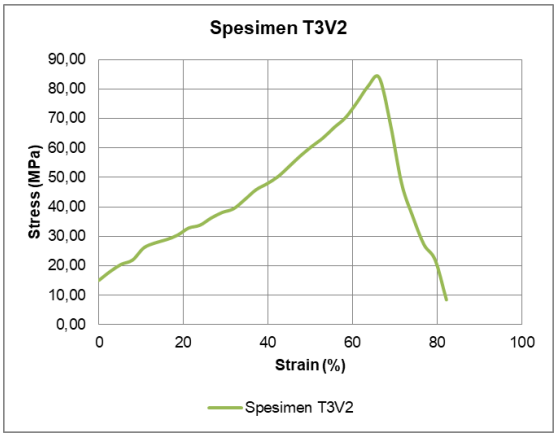

Spesimen 5
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Stress (MPa)
0,00
10,00
20,00
30,00
40,00
50,00
60,00
70,00
Strain (%)
Spesimen 5

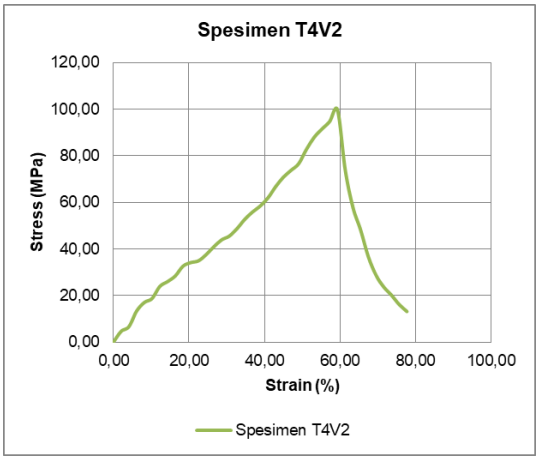
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

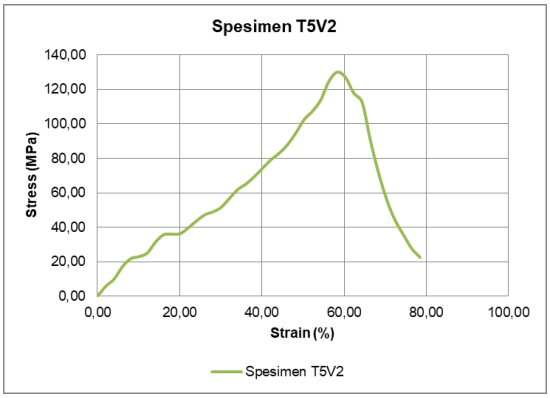
No	Code	Schedule Laminasi	W (mm)	T (mm)	L0 (mm)	CSA (mm^2)	Elongation (mm)	$F_{ultimate}$ (KN)	Stress (Mpa)	MOE (Gpa)	Strain (%)
1	**T1V2**	Laminasi searah serat	11,7	18,36	64	214,812	48,2	23,5	109,398	9,297	75,313
2	**T2V2**		10,68	18,35	64	195,978	35,2	16,7	85,214	9,916	55,000
3	**T3V2**		11,97	18	64	215,46	50,4	18	83,542	6,789	78,750
4	**T4V2**		10,6	18,08	64	191,648	39,6	19,1	99,662	10,308	61,875
5	**T5V2**		10,32	18,25	64	188,34	37,8	24,5	130,084	14,096	59,063
Rata-rata :						**201,248**	**42,240**	**20,360**	**101,580**	**10,0812**	**66,000**





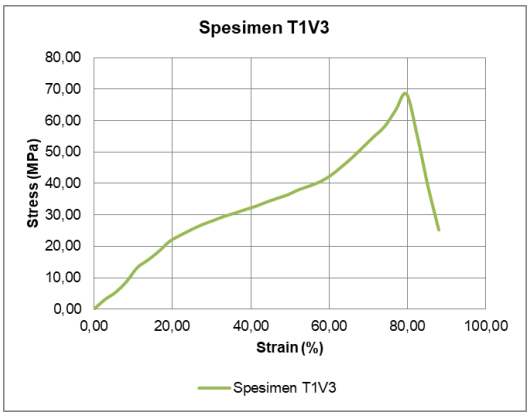

Spesimen T3V2
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Stress (MPa)
0
20
40
60
80
100
Strain (%)
Spesimen T3V2

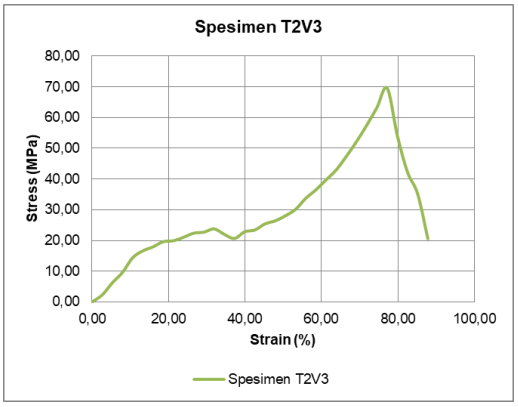

Spesimen T4V2
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
Stress (MPa)
0,00
20,00
40,00
60,00
80,00
100,00
Strain (%)
Spesimen T4V2

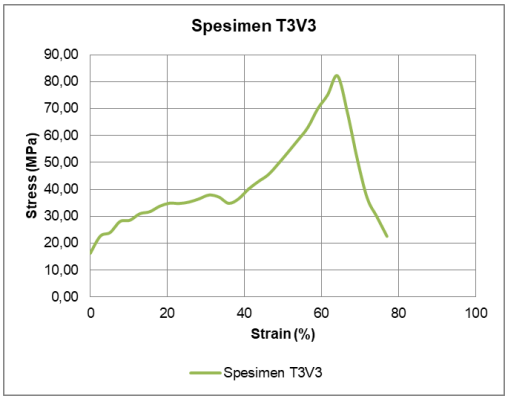

Spesimen T5V2
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
Stress (MPa)
0,00
20,00
40,00
60,00
80,00
100,00
Strain (%)
Spesimen T5V2

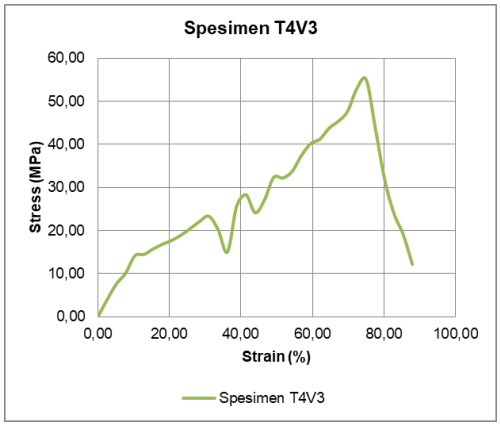
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

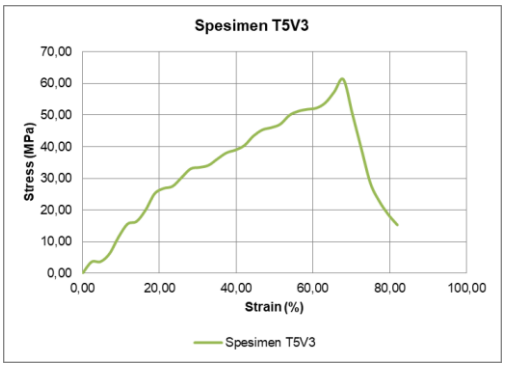
No	Code	Schedule Laminasi	W (mm)	T (mm)	L0 (mm)	CSA (mm^2)	Elongation (mm)	$F_{ultimate}$ (KN)	Stress (Mpa)	MOE (Gpa)	Strain (%)
1	**T1V3**	Laminasi searah serat	10,87	21,8	64	236,966	52,3	16,4	69,208	5,420	81,719
2	**T2V3**		10,93	21,33	64	233,137	51,7	15,4	66,056	5,233	80,781
3	**T3V3**		11,08	21,17	64	234,564	46,5	19,2	81,854	7,210	72,656
4	**T4V3**		11,81	21,9	64	258,639	47,2	14,4	55,676	4,832	73,750
5	**T5V3**		11,44	21,86	64	250,078	32	16,4	65,579	8,394	50,000
Rata-rata :						**242,677**	**45,940**	**16,360**	**67,675**	**6,21789**	**71,781**






Spesimen T3V3
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Stress (MPa)
0
20
40
60
80
100
Strain (%)
Spesimen T3V3


Spesimen T4V3
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Stress (MPa)
0,00
20,00
40,00
60,00
80,00
100,00
Strain (%)
Spesimen T4V3


Spesimen T5V3
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Stress (MPa)
0,00
20,00
40,00
60,00
80,00
100,00
Strain (%)
Spesimen T5V3

LAMPIRAN 6 REKAPITULASI HASIL UJI TARIK

Jenis Laminasi	Spesimen No	Hasil Pengujian				Hasil Pengujian					
		F ult (kN)	Elongation (mm)	Rata-rata F (kN)	Rata-rata Elongation (mm)	Stress (Mpa)	MOE (Gpa)	Strain (%)	Rata-rata Stress (Mpa)	Rata-rata MOE (Gpa)	Rata-rata Strain (%)
Laminasi Sengon 1x tebal Bambu	1	13,40	30,40	16,80	32,80	74,731	10,069	47,500	91,45	11,35	51,25
	2	14,60	33,10			84,101	10,407	51,719			
	3	26,40	34,40			140,107	16,682	53,750			
	4	12,80	33,30			66,869	8,225	52,031			
Laminasi sengon 2x tebal Bambu	1	23,50	48,20	20,36	42,24	109,398	9,297	75,313	101,58	10,08	66,00
	2	16,70	35,20			85,214	9,916	55,000			
	3	18,00	50,40			83,542	6,789	78,750			
	4	19,10	39,60			99,662	10,308	61,875			
	5	24,50	37,80			130,084	14,096	59,063			
Laminasi Sengon 3x tebal Bambu	1	16,40	52,30	16,36	45,94	69,208	5,420	81,719	67,67	6,22	71,78
	2	15,40	51,70			66,056	5,233	80,781			
	3	19,20	46,50			81,854	7,210	72,656			
	4	14,40	47,20			55,676	4,832	73,750			
	5	16,40	32,00			65,579	8,394	50,000			

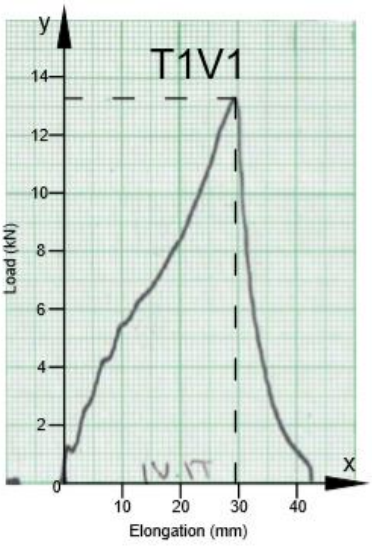
LAMPIRAN 7 REKAPITULASI HASIL UJI TEKUK

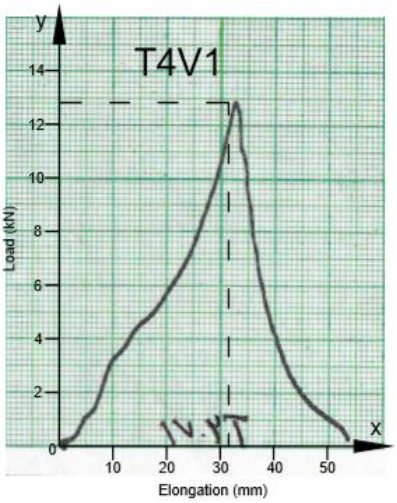
Jenis Laminasi	Spesimen No		Hasil Pengujian						
		F ult (kN)	Defleksi (mm)	MOR (Mpa)	MOE (Gpa)	Rata-rata F (kN)	Rata-rata defleksi (mm)	Rata-rata MOR (Mpa)	Rata-rata MOE (Gpa)
Laminasi Sengon 1x tebal Bambu	1	0,7	10,000	70,285	9,542	0,9	11	84	10
	2	0,9	12,000	77,221	8,345				
	3	0,9	12,000	87,065	9,696				
	4	0,8	10,000	73,335	9,516				
	5	1,1	12,000	111,852	12,599				
Laminasi sengon 2x tebal Bambu	1	1,5	16,000	98,789	10,907	1,2	14	80	11
	2	1,0	11,000	67,616	10,964				
	3	1,5	13,000	98,903	13,317				
	4	0,9	14,000	56,593	6,994				
Laminasi sengon 3x tebal Bambu	1	1,1	12,000	86,253	20,087	1,2	13	92	20
	2	1,2	9,000	87,262	26,146				
	3	1,0	15,000	74,448	13,542				
	4	1,6	18,000	121,671	18,707				
	5	1,2	12,000	88,959	20,301				

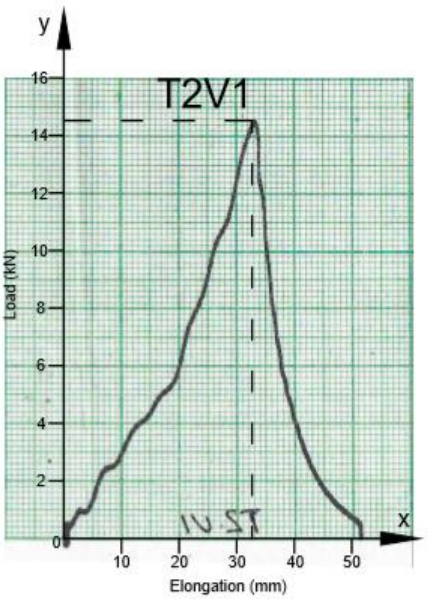
LAMPIRAN 8 GRAFIK LOAD HASIL UJI TARIK

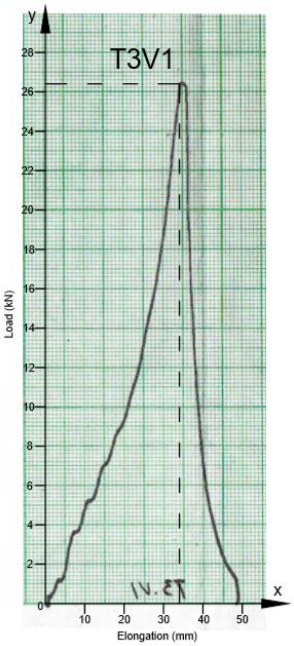
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

No	Code	Schedule Laminasi	W (mm)	T (mm)	L0 (mm)	CSA (mm^2)	Elongation (mm)	$F_{ultimate}$ (KN)	Stress (Mpa)	MOE (Gpa)	Strain (%)
1	**T1V1**	Laminasi searah serat	12,9	13,9	64	179,31	30,4	13,4	74,731	10,069	47,500
2	**T2V1**		12,4	14	64	173,6	33,1	14,6	84,101	10,407	51,719
3	**T3V1**		13,14	14,34	64	188,428	34,4	26,4	140,107	16,682	53,750
4	**T4V1**		13,33	14,36	64	191,419	33,3	12,8	66,869	8,225	52,031
Rata-rata :							**32,8**	**16,8**	**91,452**	**11,346**	**51,250**



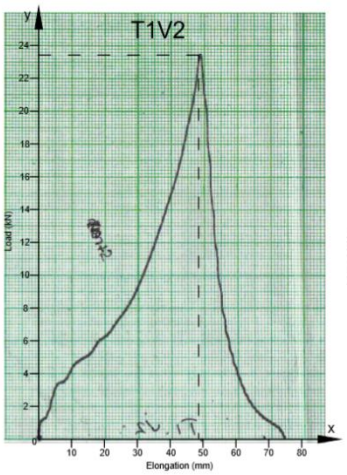


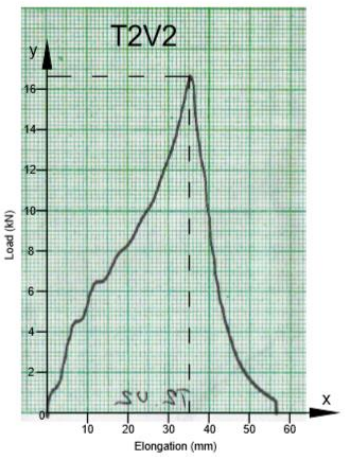


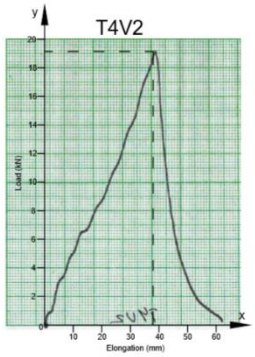


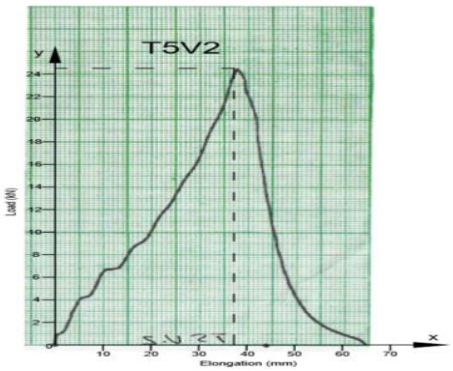
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

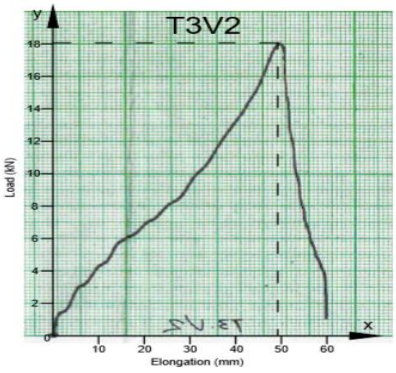
No	Code	Schedule Laminasi	W (mm)	T (mm)	L0 (mm)	CSA (mm^2)	Elongation (mm)	$F_{ultimate}$ (KN)	Stress (Mpa)	MOE (Gpa)	Strain (%)
1	**T1V2**	Laminasi searah serat	11,7	18,36	64	214,812	48,2	23,5	109,398	9,297	75,313
2	**T2V2**		10,68	18,35	64	195,978	35,2	16,7	85,214	9,916	55,000
3	**T3V2**		11,97	18	64	215,46	50,4	18	83,542	6,789	78,750
4	**T4V2**		10,6	18,08	64	191,648	39,6	19,1	99,662	10,308	61,875
5	**T5V2**		10,32	18,25	64	188,34	37,8	24,5	130,084	14,096	59,063
Rata-rata :						**201,248**	**42,240**	**20,360**	**101,580**	**10,0812**	**66,000**





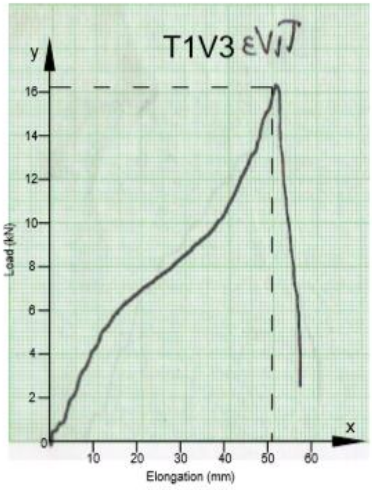


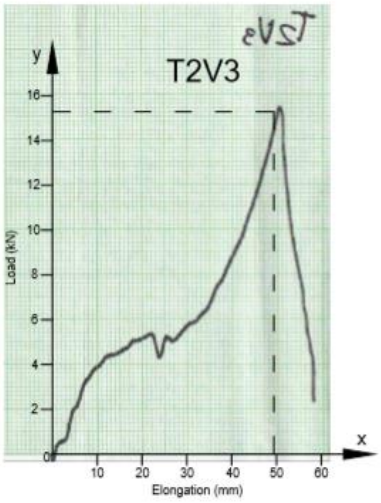


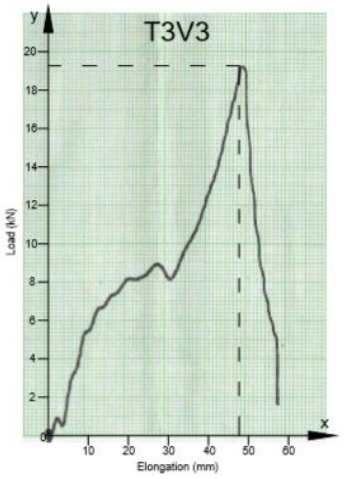


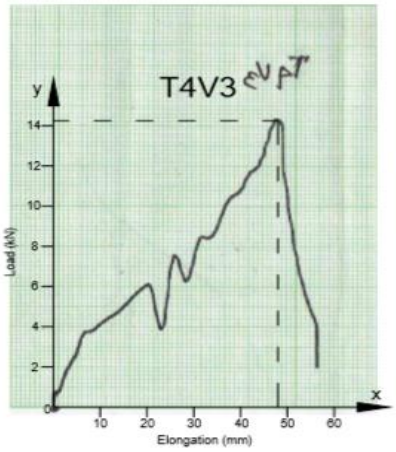
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

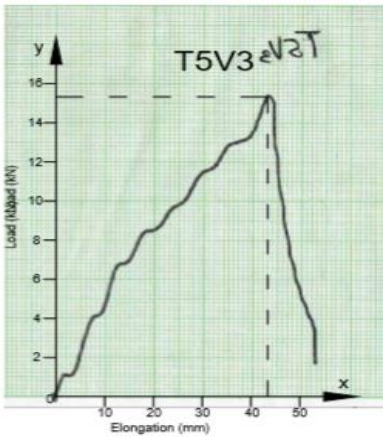
No	Code	Schedule Laminasi	W (mm)	T (mm)	L0 (mm)	CSA (mm^2)	Elongation (mm)	$F_{ultimate}$ (KN)	Stress (Mpa)	MOE (Gpa)	Strain (%)
1	**T1V3**	Laminasi searah serat	10,87	21,8	64	236,966	52,3	16,4	69,208	5,420	81,719
2	**T2V3**		10,93	21,33	64	233,137	51,7	15,4	66,056	5,233	80,781
3	**T3V3**		11,08	21,17	64	234,564	46,5	19,2	81,854	7,210	72,656
4	**T4V3**		11,81	21,9	64	258,639	47,2	14,4	55,676	4,832	73,750
5	**T5V3**		11,44	21,86	64	250,078	32	16,4	65,579	8,394	50,000
Rata-rata :						**242,677**	**45,940**	**16,360**	**67,675**	**6,21789**	**71,781**







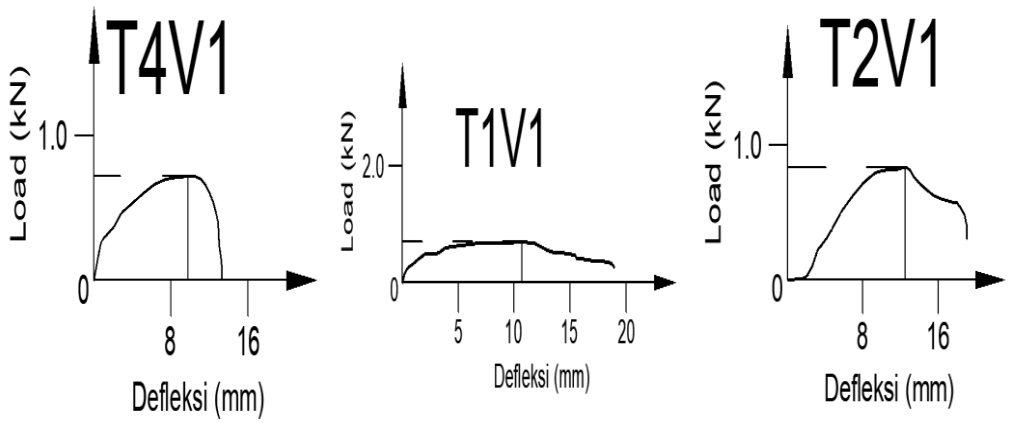


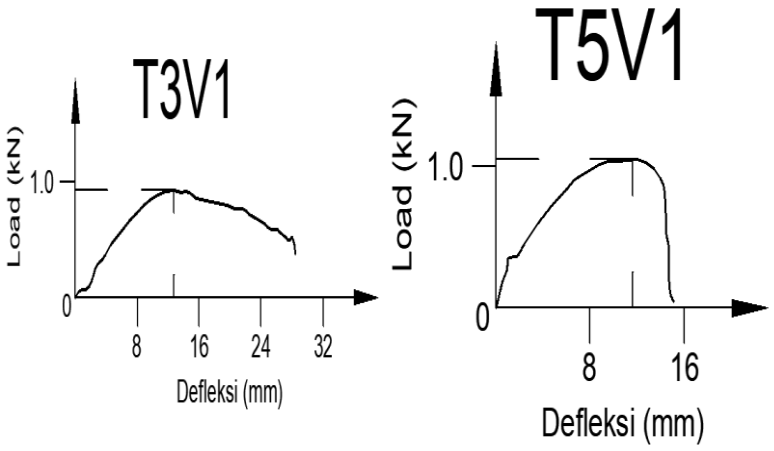


LAMPIRAN 9 GRAFIK LOAD HASIL UJI TEKUK

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

No	Code	Schedule Laminasi	W (mm)	T (mm)	CSA (mm^2)	L (mm)	L span (mm)	$F_{ultimate}$ (KN)	Defleksi (mm)
1	**t1V1**	Laminasi Searah serat	26,13	13,86	362,1618	610	336	0,7	10
2	**t2V1**		26,35	14,51	382,3385	610	336	0,85	12
3	**t3V1**		26,28	14,08	370,0224	610	336	0,9	12
4	**t4V1**		26,15	14,5	379,175	610	336	0,8	10
5	**t5V1**		25,58	13,92	356,0736	610	336	1,1	12
Rata-rata								**0,87**	**11,2**





LAMPIRAN 10 PERHITUNGAN UKURAN KONSTRUKSI KULIT LAMINASI *HYBRID*

Bagian Konstruksi	Volume (m^3)		Selisih Volume (m^3)
	Jati	Hybrid	
Lunas	1,25	0,57	0,68
Linggi	0,31	0,24	0,07
Gading	4,77	3,68	1,09
Galar Balok	0,58	0,21	0,37
Galar	0,30	0,19	0,11
Galar Kim	0,45	0,18	0,27
Kulit	2,76	1,65	1,10
Geladak	3,55	0,91	2,64
Dinding Bangunan Atas	0,69	0,59	0,11
Geladak Bangunan Atas	0,79	0,37	0,42
TOTAL	**15,44**	**8,59**	**6,86**

DATA KAPAL

Panjang Kapal (Loa)	=	17	meter	Material Laminasi			
panjang garis air (Lwl)	=	15,5	meter	Massa jenis	=	0,5887	g/cm^3
panjnag geladak	=	16,4	meter	Bending strength (σ_{BM})	=	111,852	N/mm^2
lebar kapal (B)	=	4,9	meter	Tensile strength (σ_{BM})	=	140,107	N/mm^3
tinggi kapal (H)	=	2	meter	**Material Kayu Solid**			
syarat (T)	=	1,5	meter	Massa jenis	=	0,95	g/cm^3
L/H	=	7,75		Bending strength (σ_{BM})	=	55,4	N/mm^2
ι	=	PANJANG BANGUNAN ATAS DAN ATAU RUMAH GELADAK PADA GARIS TENGAH KAPAL (m)		Tensile strength (σ_{BM})	=	78	N/mm^3
h	=	TINGGI BANGUNAN ATAS DAN ATAU RUMAH GELADAK PADA GARIS TENGAH KAPAL (m)			=	4	meter
					=	1,7	meter

Item

UKURAN LUNAS DAN LINGGI DEPAN

$$\sigma_1 W_1 = \sigma_2 W_2$$

W = 1/6*web*face^2

Bagian Konstruksi = 2%

UNTUK PELAYARAN PANTAI

Modulus kayu solid	=	**2742,67**	cm^3	**Modulus yang didapatkan**	=	**2742,666667**	cm^3
Modulus laminasi	=	**1526,89**	cm^3	**Jadi Modulus hasil dibandingkan modulus seharusny**	=	**MEMENUHI**	

ukuran lunas

			lebar	x	tinggi	
1	**Hanya lunas luar**	=	220	x	340	mm

Modulus kayu solid	=	1684,667	cm^3	**Modulus yang didapatkan**	=	**1600**	cm^3
Modulus laminasi	=	**937,88**	cm^3	**Jadi Modulus hasil dibandingkan modulus seharusny**	=	**MEMENUHI**	

		lebar	x	tinggi	
Linggi haluan =		200	x	240	mm

KULIT SISI DAN ALAS

KAPAL PELAYARAN PANTAI

$$t_1^2 . \sigma_{Rm1} = t_2^2 . \sigma_{Rm2}$$

Tebal kulit kayu solid = 42 mm

Tebal kulit laminasi = 30 mm

GADING

MODULUS GADING

$$\sigma_1 W_1 = \sigma_2 W_2$$

MODULUS GADING

NILAI B/3 +H = 3,633 B/3 +H PADA TABEL = 4

MODULUS PENAMPANG UNTUK JARAK GADING 100 mm (W100)

YANG DILENGKUNG	TUNGGAL (cm3)	BERGANDA (cm3)
	90	75

BERLAPIS	45	cm3
Dari Baja	5,63	cm3

PENAMPANG GADING GADING

MODULUS SESUAI JARAK GADING

	JENIS GADING	GADING DENGAN TEBAL SISI		GADING DENGAN TEBAL SISI TIDAK	
		TUNGGAL	BERGANDA	TUNGGAL	BERGANDA
Kayu Jati Solid	MODULUS YANG DI LENGKUNG	342	318,75	342	318,75
Laminasi Hybrid	MODULUS YANG DI LENGKUNG	190,4	177,5	190,4	177,5

PEMBACAAN TABEL

	MODULUS YANG DI LENGKUNG	**530**	**486**	**530**	**486**

PENAMPANG GADING

UKURAN GADING YANG DILENGKUNG	TEBAL	TINGGI	
		1	2
GADING DENGAN TEBAL SISI SAMA TUNGGAL	110	170	128
GADING DENGAN TEBAL SISI SAMA BERGANDA	90	180	135
GADING DENGAN TEBAL SISI TIDAK SAMA TUNGGAL	110	170	128
GADING DENGAN TEBAL SISI TIDAK SAMA BERGANDA	90	180	135

LAMPIRAN 11 PERHITUNGAN EKONOMIS

Perhitungan Kebutuhan Material Kulit				
Luas kulit		=	55112295	mm^2
Tebal kulit		=	30	mm
Panjang bilah bambu		=	4000	mm
Panjang bilah kayu sengon		=	2000	mm
Tebal bilah bambu dan kayu sengon		=	5	mm
Lebar bilah bambu		=	30	mm
Lebar bilah kayu sengon		=	30	mm
Luas bilah bambu		=	120000	mm^2
Luas bilah kayu sengon		=	60000	mm^2
Jumlah layer pada kulit		=	6	layer
Jumlah bilah bambu tiap layer		=	459	bilah
Jumlah bilah kayu sengon tiap layer		=	919	bilah
Harga bilah bambu		=	4000	Rp
Harga bilah kayu sengon		=	1300	Rp

Layer	Jumlah Bilah	Harga/layer (Rp)	Keterangan
Layer 1	459	1.836.000,00	Bambu
Layer 2	919	1.194.700,00	Kayu Sengon
Layer 3	459	1.836.000,00	Bambu
Layer 4	919	1.194.700,00	Kayu Sengon
Layer 5	459	1.836.000,00	Bambu
Layer 6	919	1.194.700,00	Kayu Sengon
Jumlah Bambu		**1377**	**bilah**
Jumlah Kayu Sengon		**2757**	**bilah**
Jumlah Harga Bambu		**5.508.000,00**	**Rp**
Jumlah Harga Kayu sengon		**3.584.100,00**	**Rp**
Total Harga Material Kulit		**9.092.100,00**	**Rp**

Biaya Pembangunan

Material	Jumlah	Satuan	Harga (Rp)	Satuan	Total (Rp)
Bambu Betung	1377	bilah	4000	bilah	5.508.000,00
Kayu Sengon	2757	bilah	1300	bilah	3.584.100,00
Perekat	330,674	m^2	37.698,41	m^2	12.465.876,25
Total Sub Biaya (Rp)					**21.557.976,25**

Biaya Pembangunan kayu jati solid

Bagian Konstruksi	Material			Biaya Pekerja		Biaya Overhead	
	Volume (m^3)	Harga/m^3	Total Biaya (Rp)	Harga/m^3	Total Biaya (Rp)	Harga/m^3	Total Biaya (Rp)
Lunas	1,25	40.000.000	49.957.424	17.475.000	21.825.150	13.030.875	16.274.724
Linggi	0,31	40.000.000	12.442.584	17.475.000	5.435.854	13.030.875	4.053.444
Gading	4,77	40.000.000	190.896.000	17.475.000	83.397.690	13.030.875	62.188.548
Galar Balok	0,58	40.000.000	23.231.545	17.475.000	10.149.281	13.030.875	7.568.184
Galar	0,30	40.000.000	11.897.856	17.475.000	5.197.876	13.030.875	3.875.987
Galar Kim	0,45	40.000.000	18.028.815	17.475.000	7.876.339	13.030.875	5.873.281
Kulit	2,76	40.000.000	110.224.590	17.475.000	48.154.368	13.030.875	35.908.071
Geladak	3,55	40.000.000	141.875.794	17.475.000	61.981.988	13.030.875	46.219.144
Dinding Bangunan Atas	0,69	40.000.000	27.744.000	17.475.000	12.120.660	13.030.875	9.038.215
Geladak Bangunan Atas	0,79	40.000.000	31.500.000	17.475.000	13.761.563	13.030.875	10.261.814
Total	**15,44**		**617.798.608**		**269.900.767**		**201.261.411**
Biaya Pokok (Rp)							**4.800.000**
Total Biaya Pembangunan (Rp)							**1.093.760.786**

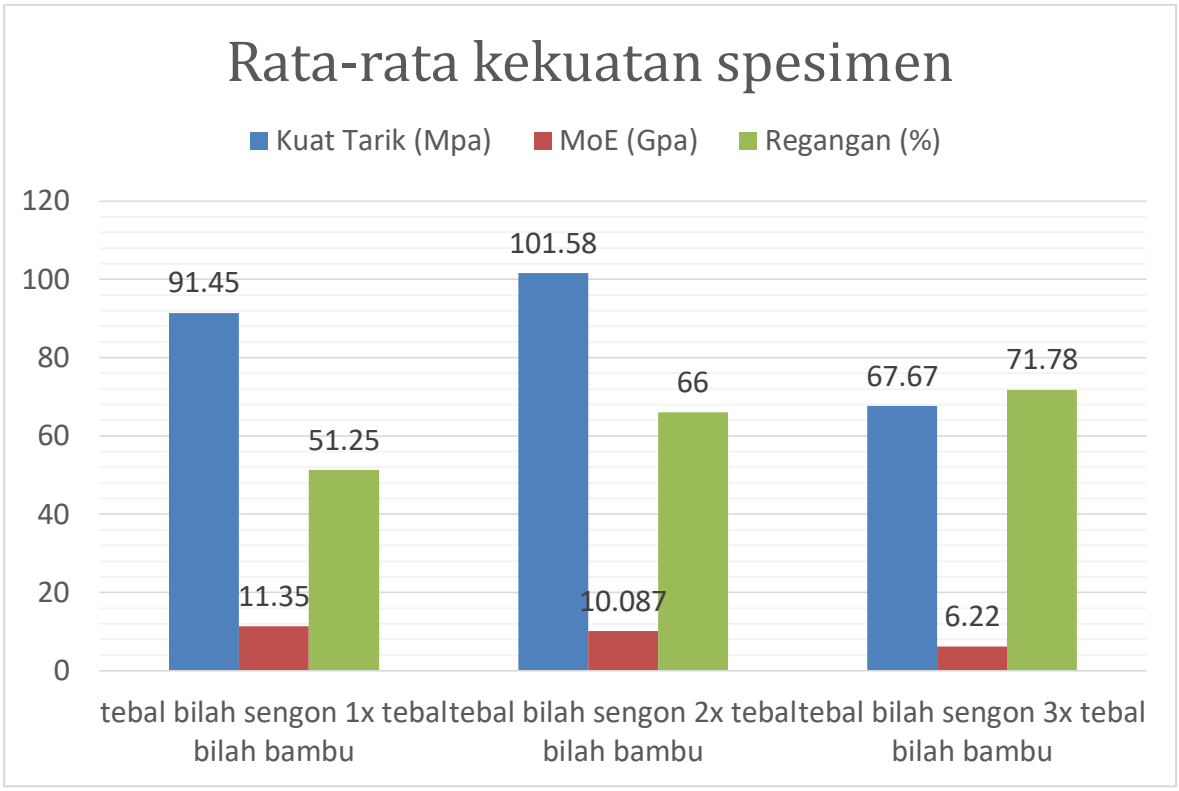
Bagian Konstruksi laminasi *hybrid*	Material			Biaya Pekerja		Biaya Overhead	
	Volume (m^3)	Harga/m^3	Total Biaya	Harga/m^3	Total Biaya	Harga/m^3	Total Biaya
kulit	1,65	13.038.818	Rp 21.514.050	13.125.000	21.656.250	7.336.000	12.104.400
Total	1,65		Rp 21.514.050		Rp 21.656.250		Rp 12.104.400
biaya pokok (Rp)					Rp		4.800.000
total biaya pembangunan (Rp)					Rp		60.074.700

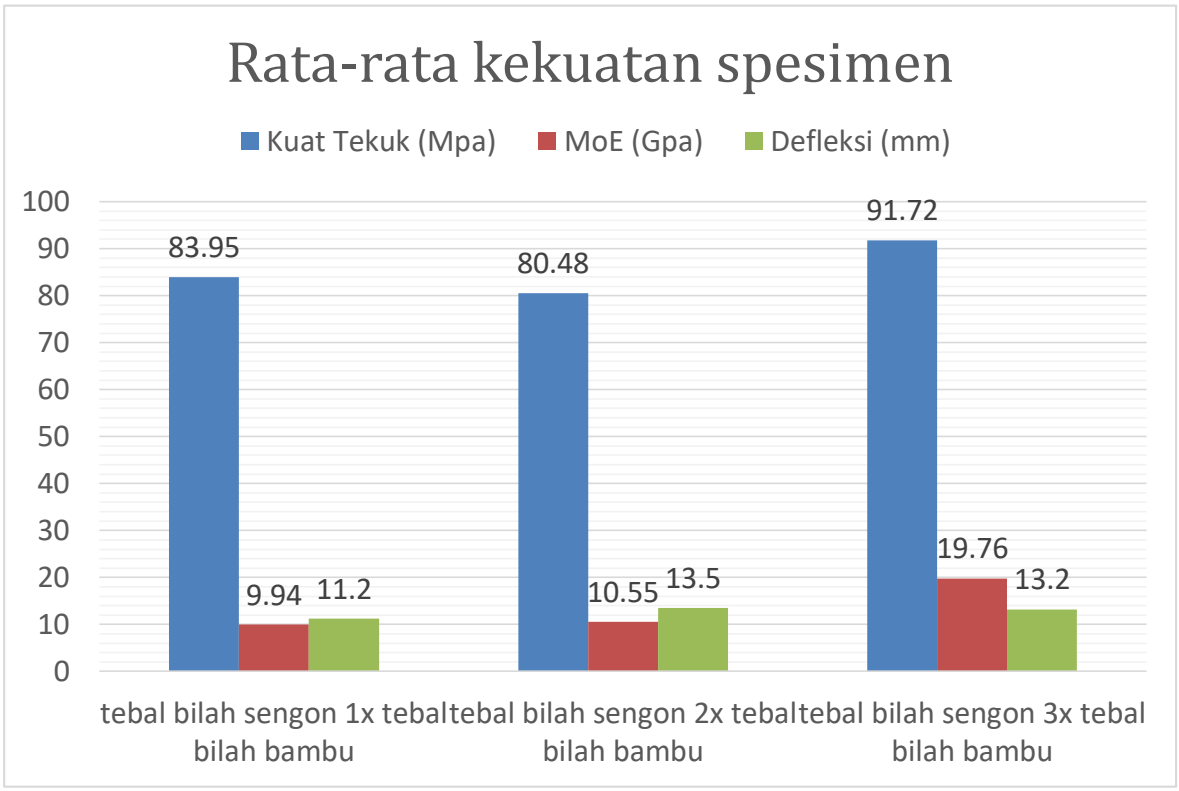
Biaya Pembangunan kayu jati dengan kulit laminasi *hybrid*

Bagian Konstruksi	Material			Biaya Pekerja		Biaya Overhead	
	Volume (m^3)	Harga/m^3	Total Biaya (Rp)	Harga/m^3	Total Biaya (Rp)	Harga/m^3	Total Biaya (Rp)
Lunas	1,25	Rp 40.000.000,00	Rp 49.957.424,00	Rp 17.475.000,00	Rp 21.825.149,61	13.030.875	Rp 16.274.723,69
Linggi	0,31	Rp 40.000.000,00	Rp 12.442.584,00	Rp 17.475.000,00	Rp 5.435.853,89	13.030.875	Rp 4.053.443,92
Gading	4,77	Rp 40.000.000,00	Rp 190.896.000,00	Rp 17.475.000,00	Rp 83.397.690,00	13.030.875	Rp 62.188.547,85
Galar Balok	0,58	Rp 40.000.000,00	Rp 23.231.545,00	Rp 17.475.000,00	Rp 10.149.281,22	13.030.875	Rp 7.568.183,97
Galar	0,30	Rp 40.000.000,00	Rp 11.897.856,00	Rp 17.475.000,00	Rp 5.197.875,84	13.030.875	Rp 3.875.986,86
Galar Kim	0,45	Rp 40.000.000,00	Rp 18.028.815,00	Rp 17.475.000,00	Rp 7.876.338,55	13.030.875	Rp 5.873.280,87
Kulit laminasi *hybrid*	1,65	Rp 13.038.818,44	Rp 21.514.050,43	Rp 13.125.000,00	Rp 21.656.250,00	Rp 7.336.000,00	Rp 12.104.400,00
Geladak	3,55	Rp 40.000.000,00	Rp 141.875.794,32	Rp 17.475.000,00	Rp 61.981.987,64	13.030.875	Rp 46.219.143,53
Dinding Bangunan Atas	0,69	Rp 40.000.000,00	Rp 27.744.000,00	Rp 17.475.000,00	Rp 12.120.660,00	13.030.875	Rp 9.038.214,90
Geladak Bangunan Atas	0,79	Rp 40.000.000,00	Rp 31.500.000,00	Rp 17.475.000,00	Rp 13.761.562,50	13.030.875	Rp 10.261.814,06
Total	**14,34**		**Rp 529.088.068,75**		**Rp 243.402.649,25**		**Rp 177.457.739,65**
Biaya Pokok (Rp)					**Rp**		**4.800.000,00**
Total Biaya Pembangunan (Rp)					**Rp**		**954.748.457,65**

Material	Harga (Rp)	Selisih (Rp)	Presentase (%)
kulit Laminasi *Hybrid* dan kayu jati	Rp 954.748.457,65	Rp 139.012.328,69	12,71
Kayu Jati Solid	Rp 1.093.760.786,33		

LAMPIRAN 12 DIAGRAM PERBANDINGAN MOE, MOR, STRESS STRENGTH


Rata-rata kekuatan spesimen
Kuat Tarik (Mpa)
MoE (Gpa)
Regangan (%)
120
100
80
60
40
20
0
91.45
11.35
51.25
101.58
10.087
66
67.67
6.22
71.78
tebal bilah sengon 1x tebal bilah bambu
tebal bilah sengon 2x tebal bilah bambu
tebal bilah sengon 3x tebal bilah bambu


Rata-rata kekuatan spesimen
Kuat Tekuk (Mpa)
MoE (Gpa)
Defleksi (mm)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
83.95
9.94
11.2
80.48
10.55
13.5
91.72
19.76
13.2
tebal bilah sengon 1x tebal bilah bambu
tebal bilah sengon 2x tebal bilah bambu
tebal bilah sengon 3x tebal bilah bambu

BIODATA PENULIS

Febrian Ade Pramana, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Semarang pada 4 Februari 1993 silam, Penulis merupakan anak kedua dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada SDN Bendungan 01-02, SMPN 10 Semarang dan SMAN 14 Semarang. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2010 melalui jalur mandiri kemitraan.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi industri Perkapalan. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen himpunan FTK ITS 2010/2011.