



**TUGAS AKHIR - MN141581**

**ANALISIS TEKNIS PENGARUH *SPLASH ZONE*  
TERHADAP KEKUATAN BAMBU LAMINASI  
PADA LAMBUNG KAPAL IKAN**

ASMI SATRIA ARANDANA  
NRP 4109 100 029

Pembimbing  
Ir. Heri Supomo, M.Sc.

Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2015



**FINAL PROJECT - MN141581**

**TECHNICAL ANALYSIS OF SPLASH ZONE EFFECT  
ON LAMINATED BAMBOO STRENGTH  
OF FISH SHIP HULL**

ASMI SATRIA ARANDANA  
NRP 4109 100 029

Supervisor  
Ir. Heri Supomo, M.Sc.

Department of Naval Architecture and Shipbuilding Engineering  
Faculty of Marine Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2015

## LEMBAR PENGESAHAN

### **ANALISIS TEKNIS PENGARUH *SPLASH ZONE* TERHADAP KEKUATAN BAMBU LAMINASI PADA LAMBUNG KAPAL IKAN**

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Industri Perkapalan  
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ASMI Satria Arandana**  
NRP. 4109 100 029

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



**SURABAYA, Januari 2015**

## LEMBAR REVISI

# ANALISIS TEKNIS PENGARUH *SPLASH ZONE* TERHADAP KEKUATAN BAMBU LAMINASI PADA LAMBUNG KAPAL IKAN

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 7 Januari 2015

Bidang Keahlian Industri Perkapalan  
Program S-1 Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ASMI SATRIA ARANDANA**  
NRP. 4109 100 029

Disetujui oleh Dosen Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc.
2. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T.
3. Ir. Budie Santosa, M.T.
4. Ir. Soejitno



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

- Ir. Heri Supomo, M.Sc.



SURABAYA, JANUARI 2015

# ANALISIS TEKNIS PENGARUH *SPLASH ZONE* TERHADAP KEKUATAN BAMBU LAMINASI PADA LAMBUNG KAPAL IKAN

Nama Mahasiswa : Asmi Satria Arandana  
NRP : 4109 100 029  
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : Ir. Heri Supomo, M.Sc.

## ABSTRAK

Beberapa tahun terakhir, kayu Jati sebagai bahan utama pembuatan kapal ikan mengalami kelangkaan. Kelangkaan tersebut menyebabkan harga kayu Jati semakin mahal dan tidak terjangkau. Oleh karena itu, bambu laminasi digunakan sebagai material alternatif pengganti kayu Jati dalam pembuatan kapal ikan. Lambung kapal mengalami tiga kondisi, yaitu *free*, *splash zone* dan *sink*. Tiga kondisi ini memiliki karakteristik yang berbeda – beda. Semakin lama terendam air laut, bambu laminasi akan mengalami perubahan sifat mekanik karena media air laut yang mengandung garam. Perubahan sifat mekanik ini berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan *impact*. Untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh *splash zone* terhadap kekuatan bambu laminasi pada lambung kapal ikan.

Penelitian ini dimulai dengan pembuatan spesimen uji dan diberikan perlakuan kondisi *free*, *splash zone* dan *sink*. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri atas pengujian tarik dan *impact*. Pengujian tarik yang dilakukan terdiri atas tiga kondisi, yaitu kondisi *free*, *splash zone* dan *sink*. Sedangkan pengujian *impact* yang dilakukan terdiri atas dua kondisi, yaitu *splash zone* dan *sink*. Hasil dari pengujian ini dibandingkan dengan kayu Jati.

Hasil pengujian tarik menunjukkan bambu laminasi dan kayu Jati pada kondisi *free* memiliki kuat tarik rata-rata sebesar 82,667 MPa dan 71,060 MPa. Sedangkan pada kondisi *splash zone* memiliki kuat tarik rata-rata sebesar 61,444 MPa dan 46,983 MPa. Pada kondisi *sink* nilai kuat tarik rata-rata bambu laminasi dan kayu Jati sebesar 179,893 MPa dan 88,381 MPa. Hasil pengujian *impact* menunjukkan bambu laminasi dan kayu Jati pada kondisi *splash zone* memiliki nilai *impact* rata-rata sebesar  $4,433 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup> dan  $0,589 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan pada kondisi *sink* memiliki nilai *impact* rata-rata sebesar  $5,766 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup> dan  $0,837 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup>. Oleh karena itu, bambu laminasi memiliki kekuatan tarik yang lebih baik daripada kayu Jati saat kondisi *free*, *splash zone* dan *sink*, begitupula nilai *impact*nya saat kondisi *splash zone* dan *sink*.

Kata kunci: air laut, bambu laminasi, lambung kapal, *free*, *splash zone*, *sink*

# **TECHNICAL ANALYSIS OF SPLASH ZONE EFFECT ON LAMINATED BAMBOO STRENGTH OF FISHING SHIP HULL**

Author : Asmi Satria Arandana  
ID No. : 4109 100 029  
Dept / Faculty : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Supervisor : Ir. Heri Supomo, M.Sc.

## **ABSTRACT**

In recent years, teak wood as the main material for fishing ships manufacture experienced scarcity. This caused the price of teak is getting more expensive and unaffordable. Therefore, bamboo used as an alternative for the fishing ships manufacture. The hull has conditions of splash zone, sink and free. Three of these conditions have different characteristics to the hull. The longer immersed in sea water, laminated bamboo will undergo changes in mechanical properties due to sea water medium which is containing salt. These changes affect the mechanical properties of tensile and impact strength. Because of that, we need to do research on the effect of the splash zone to the laminated bamboo strength on hull of fishing ship.

This research began with the making of test specimens and given treatment conditions of splash zone, sink, and free. Tests were conducted in this research consisted of tensile and impact testing. Tensile test consisted of three conditions, namely splash zone, sink and free. While the impact test conducted consisted of two conditions, namely splash zone and sink.

The results of tensile test showed laminated bamboo and teak in splash zone condition each have an average tensile strength of 61,444 MPa and 46,983 MPa. Laminated bamboo and teak in sink condition each have an average tensile strength of 179,893 MPa and 88,381 MPa, bamboo and teak laminate in free condition each have an average tensile strength of 82,667 MPa and 71,060 MPa. Test results show the impact of laminated bamboo and teak in splash zone condition each have impact value of  $4,433 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup> and  $0,5894,433 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup>, laminated bamboo and teak in sink condition each have impact value of  $5,7664,433 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup> and  $0,8374,433 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup>. Therefore, laminated bamboo has better tensile strength than teak in conditions of free, splash zone and sink, following the impact value has the similar effect in conditions of splash and sink.

Keyword: sea water, laminated bamboo, hull, splash zone, sink, free

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT atas hidayah dan petunjuk-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **"Analisis Teknis Pengaruh *Splash Zone* terhadap Kekuatan Bambu Lamninsi pada Lambung Kapal Ikan"** yang merupakan salah satu syarat kelulusan di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan pada Nabi Muhammad SAW, yang telah membimbing kita ke jalan yang di Ridhoi Allah SWT.

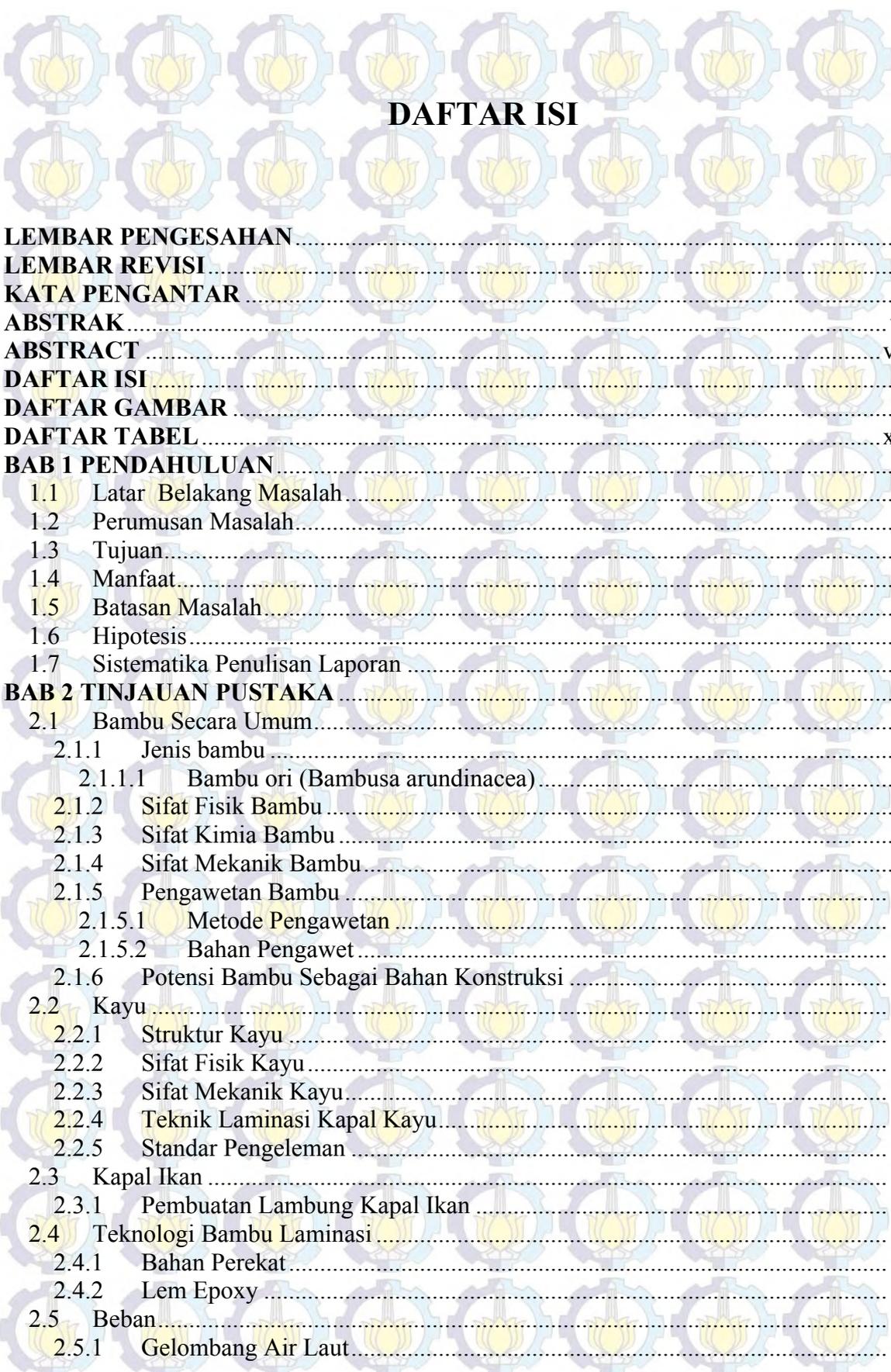
Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik tentunya tidak lepas dari dukungan banyak pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Heri Supomo, M.Sc. selaku dosen pembimbing, atas segala bimbingan, ilmu, waktu, dan kesabaran dalam mengarahkan dan memberi nasehat kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir dan juga studi selama di Jurusan Teknik Perkapalan.
2. Bapak Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc. selaku Koordinator Bidang Studi Industri Perkapalan yang telah memberikan ilmu dan saran selama pengerjaan Tugas Akhir di Jurusan Teknik Perkapalan.
3. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan yang memberikan motivasi selama perkuliahan di Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Bapak Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D selaku dosen wali penulis selama kuliah, terima kasih atas bimbingan dan pelajaran hidup yang telah diberikan selama ini.
5. Bapak Imam Baihaqi, S.T., M.T. atas segala bimbingan dan waktu mengarahkan penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
6. Dosen-dosen Jurusan Teknik Perkapalan khususnya, terima kasih saya haturkan atas bimbingan, ilmu serta tempaan yang telah diberikan selama dibangku perkuliahan.
7. Kedua orang tua tercinta yang tiada henti-hentinya mendoakan penulis dan memberikan dukungan baik moril maupun materiil.
8. Bapak Fairil, Mas Agil, dan Bapak Didik yang telah membantu penulis dalam melakukan pengujian di laboratorium konstruksi dan kekuatan.
9. Teman – teman 1 angkatan 2009 (Laksamana - P49) yang telah menemani dan memberikan dukungan dari awal mahasiswa baru sampai penulis lulus.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan baik dalam pembahasan di dalamnya maupun dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Hal itu semata-mata karena keterbatasan yang ada pada penulis. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar lebih dapat berkembang dimasa yang akan datang.

Surabaya, Januari 2015

Asmi Satria Arandana



## DAFTAR ISI

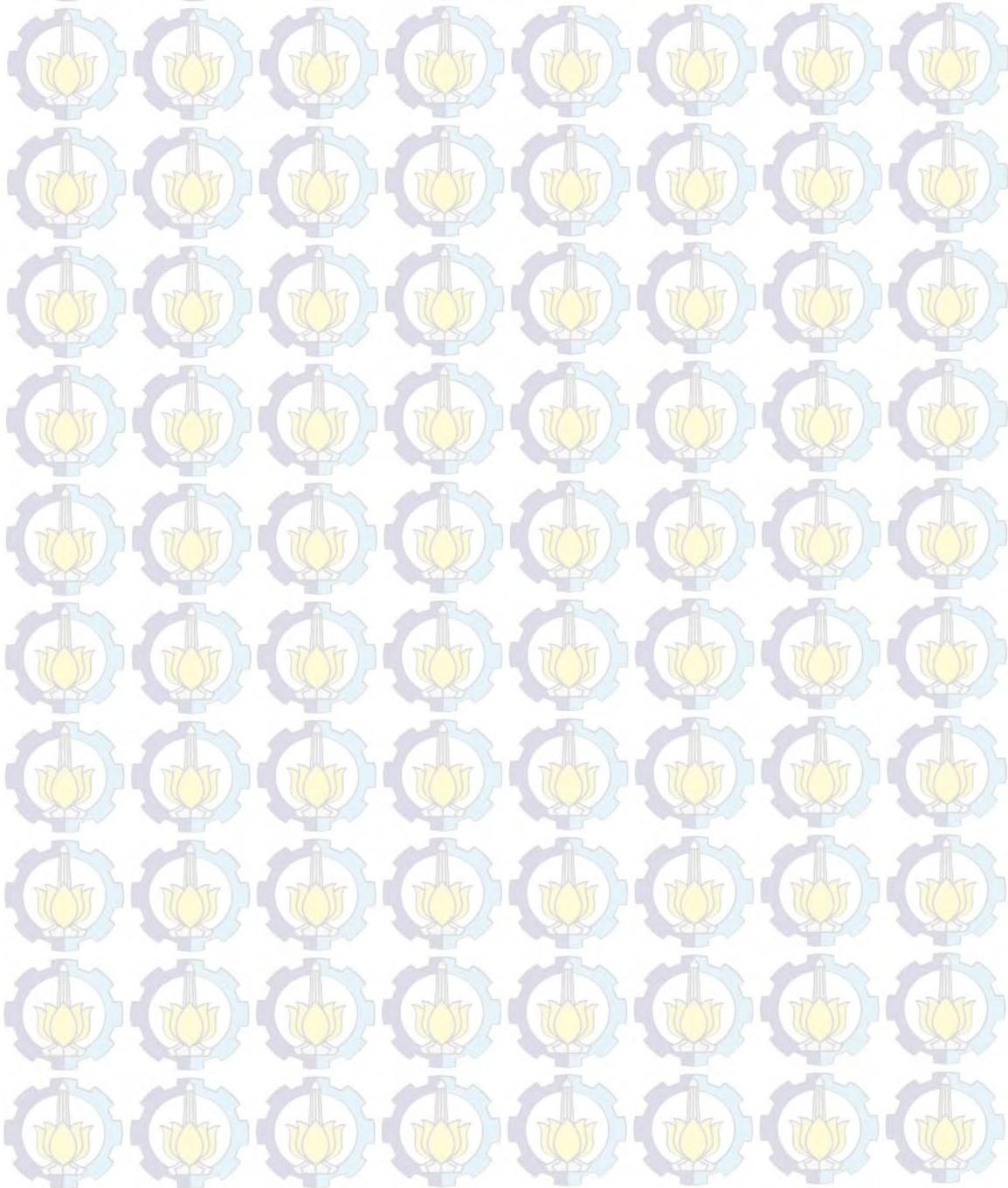
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>LEMBAR REVISI</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Hipotesis.....	3
1.7 Sistematika Penulisan Laporan.....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Bambu Secara Umum.....	5
2.1.1 Jenis bambu.....	7
2.1.1.1 Bambu ori ( <i>Bambusa arundinacea</i> ).....	7
2.1.2 Sifat Fisik Bambu.....	7
2.1.3 Sifat Kimia Bambu.....	8
2.1.4 Sifat Mekanik Bambu.....	9
2.1.5 Pengawetan Bambu.....	11
2.1.5.1 Metode Pengawetan.....	13
2.1.5.2 Bahan Pengawet.....	15
2.1.6 Potensi Bambu Sebagai Bahan Konstruksi.....	16
2.2 Kayu.....	18
2.2.1 Struktur Kayu.....	18
2.2.2 Sifat Fisik Kayu.....	19
2.2.3 Sifat Mekanik Kayu.....	19
2.2.4 Teknik Laminasi Kapal Kayu.....	22
2.2.5 Standar Pengeleman.....	24
2.3 Kapal Ikan.....	26
2.3.1 Pembuatan Lambung Kapal Ikan.....	26
2.4 Teknologi Bambu Laminasi.....	27
2.4.1 Bahan Perekat.....	28
2.4.2 Lem Epoxy.....	28
2.5 Beban.....	29
2.5.1 Gelombang Air Laut.....	29

2.6	Karakteristik <i>Free, Splash Zone</i> dan <i>Sink</i> .....	31
2.7	Pengujian Foto Makro, Tarik dan <i>Impact</i> .....	32
2.7.1	Foto Makro .....	32
2.7.2	Pengujian Tarik .....	33
2.7.3	Pengujian <i>Impact</i> .....	34
2.8	Tegangan Izin Peraturan Kapal Kayu Biro Klasifikasi Indonesia Tahun 1996 ....	36
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		39
3.1	Metodologi Penelitian .....	39
3.1.1	Pembuatan Spesimen .....	39
3.1.1.1	Langkah Pembuatan Spesimen .....	40
3.1	Pembuatan Alat Perendaman .....	50
3.1.1	Desain Alat .....	50
3.2	Perlakuan Spesimen Uji .....	51
3.3	Pengujian Material .....	52
3.3.1	Foto Makro .....	52
3.3.2	Pengujian tarik .....	53
3.3.3	Pengujian <i>impact</i> .....	54
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....		57
4.1	Data Hasil Pengujian .....	57
4.1.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik .....	57
4.1.2	Hasil Pengujian <i>Impact</i> .....	58
4.2	Analisis Kekuatan Tarik dan <i>Impact</i> .....	59
4.2.1	Analisis Foto Makro .....	59
4.2.2	Analisis Kekuatan Tarik .....	60
4.2.3	Analisis Kekuatan <i>Impact</i> .....	63
4.2.4	Tegangan Izin Konstruksi Kapal Kayu Biro Klasifikasi Indonesia Tahun 1996	65
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....		67
5.1	Kesimpulan .....	67
5.2	Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		69
<b>LAMPIRAN</b>		
<b>BIODATA PENULIS</b>		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Anatomi Bambu.....	6
Gambar 2.2 Bambu Simpodial dan Monopodial.....	6
Gambar 2.3 Bambu Ori.....	7
Gambar 2.4 Perendaman Bambu.....	14
Gambar 2.5 Pengasapan Bambu.....	14
Gambar 2.6 Teknik <i>Carvel Planking</i> .....	23
Gambar 2.7 Teknik <i>Lapstrake Planking</i> .....	23
Gambar 2.8 Teknik Strip Planking.....	24
Gambar 2.9 Lem Epoxy.....	29
Gambar 2.10 Bagian Gelombang Air Laut.....	30
Gambar 2.11 Transformasi Gelombang Air Laut pada Free, <i>Splash zone</i> dan <i>Sink</i> .....	31
Gambar 2.11 Struktur Pantai.....	31
Gambar 2.12 Kondisi <i>Free</i> pada Lambung Kapal Ikan.....	32
Gambar 2.13 Kondisi <i>Splash Zone</i> pada Lambung Kapal Ikan.....	32
Gambar 2.14 Kondisi <i>Sink</i> pada Lambung Kapal.....	32
Gambar 2.15 Foto Makro pada Spesimen Uji.....	33
Gambar 2.16 Dimensi Spesimen Tarik.....	33
Gambar 2.17 Pengujian <i>Impact</i> Metode <i>Charpy</i> .....	35
Gambar 2.18 Pengujian <i>Impact</i> Metode <i>Izod</i> .....	35
Gambar 2.19 Dimensi Spesimen <i>Impact</i> .....	35
Gambar 3.1 Pemilihan Bambu dan Pematangan Bambu.....	40
Gambar 3.2 Pengecekan Kadar Air Bambu.....	41
Gambar 3.3 Pematangan Bambu menjadi Bilah.....	41
Gambar 3.4 Kuku pada Bilah Bambu.....	42
Gambar 3.5 Pembersihan Buku pada Bilah Bambu.....	42
Gambar 3.6 Pembersihan Kuku pada Bilahan Bambu.....	42
Gambar 3.7 Bilah Bambu yang Telah Dibersihkan dari Bulu dan Kuku.....	43
Gambar 3.8 Bahan Larutan Pengawetan Bilah Bambu.....	44
Gambar 3.9 Penaburan Borax ke kolam Perendaman dan Perendaman Bilahan Bambu.....	44
Gambar 3.10 Pengeringan Bilah Bambu.....	45
Gambar 3.11 Proses <i>Plannar</i> Bilah Bambu.....	45
Gambar 3.12 Pematangan Bilah Bambu.....	46
Gambar 3.13 Bilahan yang Telah Dipotong.....	46
Gambar 3.14 Proses Perataan dengan Mesin <i>Handplannar</i> .....	47
Gambar 3.16 Penyusunan Bilah Bambu menjadi Balok Laminasi.....	47
Gambar 3.17 Laminasi Tumpuk Bata.....	47
Gambar 3.18 Pengecekan Ketebalan Susunan Balok Laminasi Sebelum Proses Pengeleman.....	48
Gambar 3.19 Proses Pencampuran Lem.....	48
Gambar 3.20 Pengeleman Laminasi Bambu.....	49
Gambar 3.21 Balokan Bambu yang Dipotong.....	49
Gambar 3.22 Pembentukan Spesimen <i>Impact</i> .....	50
Gambar 3.23 Proses Pengamplasan Spesimen Uji.....	50
Gambar 3.24 Perangkaian Alat.....	51

Gambar 3.25 Alat Perendaman Setelah Dirangkai.....	51
Gambar 3.26 Pengukuran Massa Spesimen .....	52
Gambar 3.27 Foto Makro pada Benda Uji .....	52
Gambar 3.28. Pengujian Tarik.....	53
Gambar 3.29 Pengujian <i>Impact</i> Metode <i>Charpy</i> .....	54
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Rata-rata Kuat Tarik Bambu Laminasi dan Kayu Jati ..	60
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Rata-rata MoE Bambu Laminasi dan Kayu Jati.....	62
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Rata-rata Energi <i>Absorb</i> Bambu Laminasi dan Kayu Jati .....	63
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Rata-rata Nilai <i>Impact</i> Bambu Laminasi dan Kayu Jati .....	64



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komponen Kimia Lima Jenis Bambu .....	9
Tabel 2.2 Umur Rata – Rata Bambu .....	11
Tabel 2.3 Kelas Ketahanan Kayu .....	12
Tabel 2.4 Tabel Penggolongan Kekuatan Kayu di Indonesia .....	21
Tabel 2.5 Kelembaban Maksimum.....	24
Tabel 4.1 Hasil Rata-Rata Pengujian Tarik.....	57
Tabel 4.2 Hasil Rata - Rata Pengujian <i>Impact</i> .....	58

## **BIODATA PENULIS**



Dilahirkan di Surabaya pada 5 Juni 1990, Penulis merupakan anak kedua dalam keluarga Bapak Sasmito S, sos dan Ibu Sri Tri Argandini. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar mulai Taman Kanak-Kanak sampai dengan SMA di kota yang sama, yaitu di TK Semambung, SDN 1 Sedati dan SMP Negeri 1 Sedati. Kemudian dilanjutkan di SMA Hangtuh 2 Surabaya. Setelah lulus SMA, penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2009 tanpa melalui tes yaitu melalui jalur Mandiri.

Di Jurusan Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Industri Perkapalan dan terlibat dalam kegiatan-kegiatan Tridharma Perguruan Tinggi yang diselenggarakan oleh Laboratorium Produksi. Selama masa studi di ITS, selain aktif di berbagai Unit Kegiatan Mahasiswa dan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Perkapalan (Himatekpal). Penulis memiliki kegemaran bermain sepak bola, futsal, travelling dan desain grafis.

Email: [asmisatria@gmail.com](mailto:asmisatria@gmail.com)

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Ketersediaan kayu Jati beberapa tahun terakhir ini mengalami kelangkaan. Kelangkaan tersebut menyebabkan harga kayu Jati semakin mahal dan tidak terjangkau. Namun, saat ini kebutuhan kapal-kapal kecil terutama kapal ikan di Indonesia semakin meningkat. Hal ini tidak diimbangi dengan ketersediaan material kayu Jati. Kelangkaan kayu Jati dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain masa tanam dan panen kayu Jati yang lama, *illegal logging* yang mengakibatkan hutan menjadi gundul dan jumlah pertumbuhan penduduk yang tidak terkendali.

Dalam upaya mengatasi masalah tersebut diperlukan adanya penggantian bahan baku kayu Jati dalam pembuatan kapal ikan. Sehingga perlu suatu teknologi untuk mengembangkan alternatif bahan pengganti kayu Jati. Salah satu bahan yang dapat digunakan adalah bambu laminasi. Bambu merupakan produk hasil hutan non kayu yang telah dikenal bahkan sangat dekat dengan kehidupan masyarakat umum karena pertumbuhannya ada di sekeliling kehidupan masyarakat. Bahan bambu dikenal oleh masyarakat memiliki sifat-sifat yang baik untuk dimanfaatkan, antara lain batangnya kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk, mudah dikerjakan serta ringan sehingga mudah diangkut. Selain itu bambu juga relatif murah dibandingkan dengan bahan bangunan lain karena banyak ditemukan di sekitar pemukiman pedesaan. Bambu memiliki keunggulan yakni mudah ditanam, cepat tumbuh dengan usia produksi  $\pm 4 - 5$  tahun, tidak memerlukan pemeliharaan khusus. Budidaya bambu juga dapat dilakukan dengan sederhana tanpa suatu teknologi yang tinggi. Bambu juga memiliki ketahanan yang luar biasa. Tanaman ini dapat tumbuh dalam setiap kondisi cuaca dan keadaan. Ketahanan ini merupakan sesuatu yang menguntungkan terutama jika dibandingkan dengan kayu Jati.

Lambung kapal mengalami kondisi *free, splash zone* dan *sink*. Tiga kondisi ini memiliki karakteristik yang berbeda – beda. Semakin lama terendam air laut, bambu laminasi akan mengalami perubahan sifat mekanik karena media air laut yang mengandung garam. Perubahan sifat mekanik ini berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan *impact*.

Semakin lama tercelup air laut, bambu laminasi akan mengalami perubahan sifat mekanik dikarenakan media air laut yang mengandung garam (Rifai, 2013).

Oleh karena itu dilakukan penelitian “**Analisis Teknis Pengaruh Splash Zone Terhadap Kekuatan Bambu Laminasi Pada Lambung Kapal Ikan**”. Dalam penelitian ini bambu laminasi yang telah dibuat spesimen akan diberikan perlakuan *free*, *splash zone* dan *sink*. Kemudian akan diuji kekuatan tarik dan *impact*. Pengujian tarik terdiri atas tiga kondisi, yaitu kondisi *free*, *splash zone* dan *sink*. Sedangkan pengujian *impact* terdiri atas dua kondisi, yaitu kondisi *splash zone* dan *sink*. Kerusakan yang terjadi juga akan diteliti dengan dilakukan foto makro untuk mengetahui dimana kerusakan yang terjadi.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh kondisi *free*, *splash zone* dan *sink* pada lambung kapal ikan terhadap kekuatan tarik ?
2. Bagaimanakah pengaruh kondisi *splash zone* dan *sink* pada lambung kapal ikan terhadap kekuatan *impact* ?
3. Apakah nilai kuat tarik dan *impact* bambu laminasi memenuhi tegangan izin

Peraturan Kapal Kayu Biro Klasifikasi Indonesia ?

## 1.3 Tujuan

Tujuan utama dari tugas akhir ini adalah :

1. Menentukan pengaruh kondisi *free*, *splash zone* dan *sink* pada lambung kapal ikan terhadap kekuatan tarik.
2. Menentukan pengaruh kondisi *splash zone* dan *sink* pada lambung kapal ikan terhadap kekuatan *impact*.
3. Menentukan nilai kuat tarik dan *impact* bambu laminasi memenuhi apa tidak tegangan izin Peraturan Kapal Kayu Biro Klasifikasi Indonesia.

## 1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Manfaat akademis

Dengan adanya keterbatasan literatur tentang bambu dan metode produksinya untuk dunia perkapalan, diharapkan dari Tugas Akhir ini dapat menambah wawasan

mengenai material laminasi berbahan bambu sebagai bahan baku alternatif dalam pembuatan lambung kapal ikan.

## 2. Manfaat praktis

Manfaat secara praktis hasil dari penelitian ini nantinya dapat memberikan rekomendasi awal bagi pemilik kapal untuk memberikan perlindungan coating kondisi *splash zone*, karena kondisi ini memiliki karakteristik menahan beban tarik dan *impact* yang kurang baik.

### 1.5 Batasan Masalah

Penyusunan Tugas Akhir ini memerlukan batasan – batasan masalah yang berfungsi untuk mengefektifkan perhitungan dan proses penulisan lebih terarah. Batasan – batasan tersebut sebagai berikut :

1. Bambu yang digunakan adalah bambu jenis ori ( *Bambusa arundinacea* ).
2. Tebal ukuran bilah yang digunakan adalah 5 mm dan lebar 2,5 mm.
3. Lem yang digunakan adalah lem *epoxy* “marine use”.
4. Bagian konstruksi kapal yang diteliti adalah lambung kapal.
5. Kapal yang digunakan merupakan kapal ikan 30 GT.
6. Analisa teknis dilakukan berdasarkan pengujian tarik dan *impact* bambu laminasi.
7. Standard pengujian yang digunakan adalah ASTM D 3500-90 untuk pengujian tarik dan ASTM D 6110-92 untuk pengujian *impact*.

### 1.6 Hipotesis

Hipotesis dalam penulisan tugas akhir ini adalah bambu laminasi pada kondisi *splash zone* memiliki kekuatan tarik dan *impact* yang kurang baik, sedangkan pada kondisi *sink* memiliki kekuatan tarik dan *impact* yang lebih baik daripada kondisi *splash zone*.

### 1.7 Sistematika Penulisan Laporan

Laporan resmi Tugas Akhir ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi uraian secara umum dan singkat meliputi latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan dari tugas akhir yang disusun.

## **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi penjelasan tentang berbagai referensi dan teori yang terkait dengan judul penelitian yang meliputi bambu secara umum, jenis bambu, sifat fisik, kimia dan mekanik bambu, pengawetan bambu, potensi bambu sebagai bahan konstruksi, kayu, struktur kayu, sifat fisik, kimia dan mekanik kayu, teknik laminasi kapal kayu, standar pengeleman, kapal ikan, pembangunan kapal ikan, pembuatan lambung kapal ikan, teknologi bambu laminasi, bahan perekat, lem epoxy, beban, gelombang air laut, karakteristik *free*, *splash zone* dan *sink*, pengujian foto makro, tarik dan *impact*, tegangan izin peraturan kapal kayu BKI tahun 1996.

## **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan metode pengerjaan Tugas Akhir yang berisikan tahap - tahap pengerjaan secara sistematis diawali dengan pembuatan spesimen, pembuatan bak perendaman, perlakuan *free*, *splash zone* dan *sink*, proses pengujian foto makro, tarik dan *impact*, analisis dan pembahasan pengujian dan kesimpulan.

## **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi dari data hasil perhitungan rata-rata kuat tarik dan nilai *impact* bambu laminasi dan kayu Jati, hasil analisis rata-rata kuat tarik dan nilai *impact* bambu laminasi dan kayu Jati, analisis foto makro bambu laminasi dan kayu Jati serta grafik perbandingan rata-rata kuat tarik dan nilai *impact* bambu laminasi dan kayu Jati.

## **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan, serta rekomendasi dan saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Bambu Secara Umum

Bambu merupakan bahan lokal yang sudah sangat dikenal di Indonesia dan memegang peranan sangat penting dalam kehidupan masyarakat, ini dapat dilihat dari banyaknya penggunaan bambu pada berbagai keperluan masyarakat kita sejak nenek moyang kita ada. Tumbuhan ini berbentuk silinder dengan batang berbuluh, beruas – ruas, berbuku – buku, mempunyai cabang rimpang, berongga, dan mempunyai daun berbuluh menonjol. Bambu termasuk suku gramineae yang terbagi atas rimpang, pucuk, buluh, percabangan, daun dan perbungaan (Nadeak,2009). Bambu terbagi menjadi empat bagian yaitu :

a. Kulit Luar

Kulit luar adalah bagian yang paling luar, biasanya berwarna hijau atau hitam. Tebal kulit bambu relatif seragam pada sepanjang batang yaitu kurang lebih 1 mm, sifatnya keras dan kaku. Maka dari itu bambu yang tipis akan mempunyai porsi kulit besar, sehingga kekuatan tinggi, sedangkan pada bambu tebal berlaku sebaliknya.

b. Bagian Luar

Bagian ini terletak dibawah kulit atau diantara kulit luar dan bagian tengah. Tebal bagian ini kurang lebih 1 mm, sifatnya keras dan kaku.

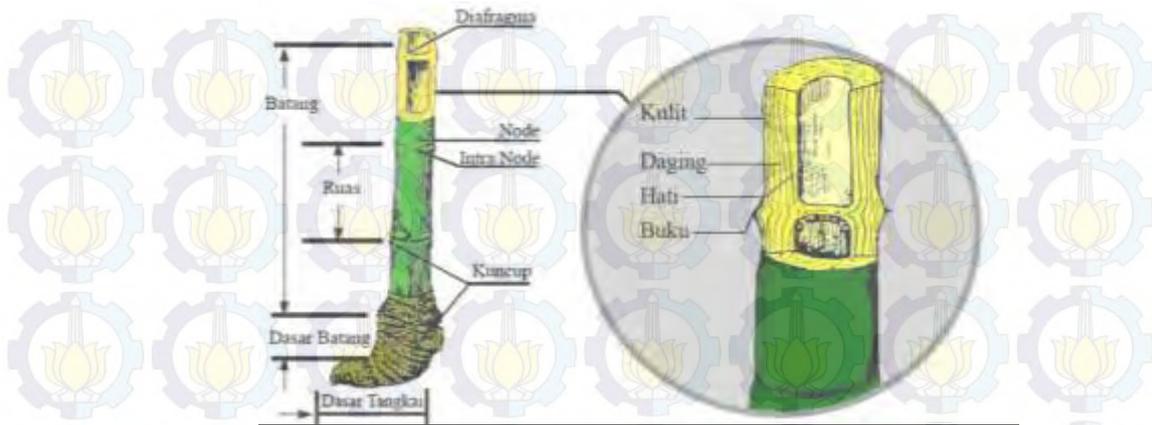
c. Bagian Tengah

Bagian tengah terletak dibawah luar atau antara bagian luar dan bagian dalam, disebut juga daging bambu. Tebalnya kurang lebih 2/3 tebal bambu, seratnya padat dan elastis. Untuk bagian tengah yang paling bawah sifat seratnya agak kasar.

d. Bagian Dalam

Bagian dalam adalah bagian yang paling bawah dari tebal bambu, sering disebut pula hati bambu. Sifat seratnya kaku dan mudah patah.

Bambu secara umum memiliki diameter silinder sekitar 2-30 cm dengan panjang mencapai 3-35 m. Batang bambu berongga dan dibatasi oleh buku (*node*), dan rongga antar dan rongga antar bambu dipisahkan oleh diafragma terlihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Anatomi Bambu

Bambu merupakan jenis tanaman yang mudah ditanam dan memiliki masa pertumbuhan cepat daripada kayu. Rata-rata pertumbuhan bambu untuk mencapai usia dewasa dibutuhkan 3-5 tahun. Dalam setahun bambu akan muncul dengan rebung terlebih dahulu, sedangkan tahun berikutnya bambu akan mengalami proses penuaan dan pada akhirnya bambu dapat ditebang.

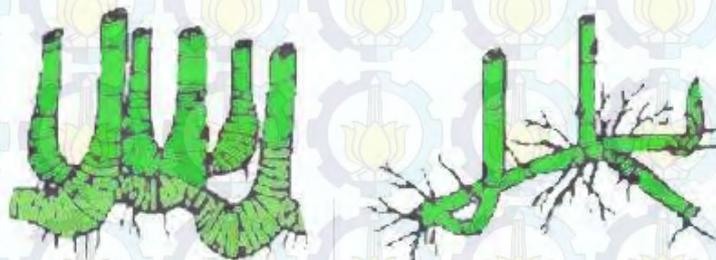
Pembagian kelompok bambu berdasarkan pertumbuhannya dibedakan dalam dua kelompok yaitu :

a. Bambu Simpodial (merumpun)

Bambu simpodial tumbuh dalam bentuk rumpun. Setiap akar hanya akan menghasilkan satu batang bambu, bambu muda tumbuh mengelilingi bambu yang tua. Bambu simpodial tumbuh di daerah tropis dan subtropis, sehingga bambu di Indonesia tergolong ke dalam kelompok simpodial..

b. Bambu Monopodial (menjalar)

Bambu monopodial berkembang dengan akar yang menerobos ke berbagai arah di bawah tanah dan muncul ke permukaan tanah sebagai bambu yang individual. Bambu monopodial tumbuh di daerah subtropis hingga beriklim sedang terlihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Bambu Simpodial dan Monopodial

## 2.1.1 Jenis bambu

### 2.1.1.1 Bambu ori (*Bambusa arundinacea*)

Bambu jenis ini mempunyai ciri khas yang paling mencolok yaitu warnanya hijau, lalu menguning saat kering. Bentuknya relatif kecil, disebut juga bambu tali. Rebung muda berwarna hijau kekuningan dengan bulu hitam tersebar, kadang hijau dengan garis-garis kuning pada pelepahnya. Bentuk akarnya serumpun, mempunyai tinggi batang 6-13 m, jarak ruas 25 – 60 cm, berdiameter 4 -10 cm, tebal dinding sampai 3 cm dan berserat panjang. Pelepah buluh mudah luruh dengan kuping pelepah buluh bercuping, tinggi 2-5 mm, dengan buluh kejur panjangnya 4-25 mm, daun pelepah buluh menyebar (Misdarti,2004). Percabangan muncul di seluruh buku-bukunya, cabang umumnya tumbuh secara horizontal dan ditumbuhi duri tegak atau melengkung, satu cabang lebih besar daripada cabang lainnya terlihat pada Gambar 2.3. Bambu ori biasa digunakan untuk membuat sesek, pagar pembatas, kayu bakar, kertas, sumpit, rebung, mebel dan lain sebagainya. Bambu ori sangat banyak di Indonesia, tersebar di pulau Jawa dan Sumatera.



Gambar 2.3 Bambu Ori  
Sumber : (<http://kamusnyatanaman.com/>)

### 2.1.2 Sifat Fisik Bambu

Sebagai material alami, bambu mempunyai sifat fisik, kimia dan mekanik yang berbeda. Hal tersebut tergantung pada jenis bambu, lingkungan tumbuh, dan asalnya. Adapun sifat fisik bambu antara lain :

- Berat jenis

Berat jenis bambu menunjukkan banyaknya massa bambu dengan sel – sel yang menyusunnya. Berat jenis bambu dapat ditentukan dengan perbandingan massa bambu yang kering dengan volume bambu tersebut.

- Kadar air

Bambu sangat mudah menyerap air dan melepaskannya pada saat mengering. Penyerapan bambu terhadap air mencapai 25% pada 24 jam pertama. Kadar air bambu bervariasi dalam suatu batang dipengaruhi oleh umur, musim panen bambu dan jenis bambu. Dalam keadaan segar perbedaan yang lebih besar terjadi dalam satu batang yang berhubungan dengan umur, musim dan jenis. Buluh yang masih muda, berumur satu tahun memiliki kadar air yang relatif tinggi sekitar 120-130% baik pada bagian pangkal maupun ujung. Bagian ruas menunjukkan nilai kandungan air yang lebih rendah dibandingkan bagian antar ruas. Perbedaannya dapat mencapai kadar air 25% dan lebih tinggi pada bagian pangkal dibandingkan bagian ujung. Pada batang yang berumur 3-4 tahun bagian pangkal memiliki kadar air yang lebih tinggi dibandingkan bagian ujung. Kandungan air bambu lebih tinggi pada bagian dalam dibandingkan bagian luar pada arah melintang batang. Kadar air bambu ditentukan oleh berat air yang terkandung dalam batang. Kadar air batang bambu yang segar berkisar 50-99% dan pada bambu muda 80 - 150% sementara pada bambu kering bervariasi antara 12-18% (Widodo,2004).

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\%$$

Keterangan :

w = kadar air (%)

m<sub>1</sub> = berat benda uji sebelum diuji ( gr )

m<sub>2</sub> = berat benda uji setelah diuji ( gr )

Pengukuran kadar air juga dapat menggunakan alat kadar air (*moisture meter*) untuk mengukur kadar air dari bambu.

### 2.1.3 Sifat Kimia Bambu

Sukardi & Sukanto (1999) menyatakan bahwa bambu sebagai bahan berlignoselalosa mempunyai komponen kimia utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, lignin dan zat – zat ekstraktif serta bahan organik berupa mineral dan silikat. Bahan – bahan tersebut ada yang terikat dalam struktur ikatan kimia penyusun sel dan yang bebas berupa

penimbunan cadangan makanan atau zat pati. Zat pati yang terdapat pada buluh bambu merupakan sumber makanan organisme perusak.

Kandungan pati pada bambu merupakan faktor yang kritis bagi ketahanan alaminya dari serangan bubuk kayu kering. Salah satu cara untuk mengurangi kadar pati tanpa menggunakan bahan kimia adalah dengan merendam batang bambu dalam air tergenang. Dalam waktu tiga bulan kadar pati turun sekitar 0,92 – 1,64 %, menunjukkan bahwa penyebaran komponen kimia dalam batang bambu dari bagian bawah ke atas, khususnya pada ruas pertengahan batang, umumnya mengalami kenaikan kadar air, kadar ekstraktif, kapasitas penyangga, kadar lignin dan kadar abu sedangkan tingkat keasaman (nilai pH) menurun. Lebih lanjut Sukardi & Sukanto (1999) menyatakan bahwa kadar selulosa 10 jenis bambu diteliti. Apabila dibandingkan dengan penggolongan komponen kimia kayu Indonesia, 9 jenis bambu termasuk berkadar selulosa tinggi (45% ke atas) dan satu jenis termasuk sedang (40-44% untuk kayu daun lebar dan 41-44% untuk kayu daun jarum). Kadar lignin bambu berkisar pada 19,8-26,6% menunjukkan bahwa kadar lignin bambu termasuk sedang bila dibandingkan dengan penggolongan komponen kimia kayu Indonesia terlihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Komponen Kimia Lima Jenis Bambu

Jenis Bambu	Lignin	Selulosa	Pentosan	Abu
Apu ( <i>Gigantochloa apus</i> )	25,8	54,7	19,1	2,9
Ulet ( <i>Gigantochloa sp.</i> )	26,8	54,8	-	2,0
Andong ( <i>Gigantochloa pseudoarundinacea</i> )	28,0	53,8	-	3,2
Betung ( <i>Dendrocalamus asper</i> )	25,6	55,4	-	3,8
Ampel ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	28,2	50,8	-	4,3

Sumber : (Sukardi & Sukanto,1999)

Tabel diatas menunjukkan bahwa jenis bambu Ampel memiliki kandungan lignin yang lebih tinggi daripada jenis bambu lainnya. Jenis bambu betung memiliki kandungan selulosa yang lebih tinggi daripada jenis bambu lainnya.

#### 2.1.4 Sifat Mekanik Bambu

Sifat mekanik adalah sifat yang berhubungan dengan kekuatan bahan / kemampuan suatu bahan untuk menahan gaya luar yang bekerja padanya. Sifat mekanik bambu diketahui dari penelitian yang bertujuan untuk memanfaatkan bambu secara maksimal

sebagai struktur dan bahan konstruksi. Beberapa sifat mekanika bambu yang penting untuk perencanaan konstruksi bambu (Sukardi & Sukanto, 1999), antara lain :

- **Kuat Tarik**

Kuat tarik bambu adalah kekuatan bambu untuk menahan gaya tarik tergantung pada bagian batang yang digunakan. Kuat tarik dibedakan menjadi dua macam yaitu kekuatan tarik tegak lurus serat dan kekuatan tarik sejajar serat. Bagian ujung memiliki kekuatan terhadap gaya tarik 12% lebih rendah dibandingkan dengan bagian pangkal.

- **Kuat Tekan**

Kuat tekan bambu adalah kekuatan bambu untuk menahan gaya tekan tergantung pada bagian ruas dan bagian antar ruas batang bambu. Bagian batang tanpa ruas memiliki kuat tekan (8 – 45)% lebih tinggi dari pada batang bambu yang beruas.

- **Kuat Geser**

Kuat geser bambu adalah kemampuan bambu untuk menahan gaya-gaya yang membuat suatu bagian bambu bergeser dari bagian lain di dekatnya. Kuat geser bambu bergantung pada ketebalan dinding batang bambu. Bagian batang tanpa ruas memiliki kekuatan terhadap gaya geser 50% lebih tinggi dari pada batang bambu yang beruas.

- **Kembang Susut**

Pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinkage*) diartikan sebagai perubahan dimensi bahan yang disebabkan adanya perubahan kadar air pada bahan. Bambu dikenal sebagai bahan yang memiliki angka penyusutan yang tinggi oleh karena itu diperlukan pemahaman dalam pengerjaan dan penggunaannya sebagai material struktur.

Sedangkan sifat - sifat mekanik bambu secara teoritis tergantung pada beberapa faktor, yaitu sebagai berikut :

- Jenis bambu yang berkaitan dengan tumbuh-tumbuhan.
- Umur bambu pada waktu penebangan.
- Kelembaban (kadar air kesetimbangan) pada batang bambu.
- Bagian batang bambu yang digunakan (bagian kaki, pertengahan, atau kepala).
- Letak dan jarak ruasnya masing-masing (bagian ruas kurang tahan terhadap gaya tekan dan lentur).

### 2.1.5 Pengawetan Bambu

Keawetan bambu adalah daya tahan alami bambu terhadap berbagai faktor perusak bambu, misalnya ketahanan bambu terhadap serangan rayap, bubuk kayu kering, dan jamur perusak bambu (Suwanto Bogja,2008).

Bambu merupakan jenis hasil hutan yang rentan terhadap serang jamur dan serangga, sehingga bambu sangat mudah lapuk. Dalam kondisi tanpa pengawetan, daya tahan bambu di darat hanya akan bertahan paling lama selama 3 tahun. Hal ini jelas akan merugikan para penggunanya. Umur rata – rata bambu setelah diawetkan secara tradisional yaitu dengan cara merendam dalam air atau lumpur seperti terlihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Umur Rata – Rata Bambu

Umur Rata - rata Bambu (Tahun)		
Tempat Pemakaian	Tanpa Pengawetan	Pengawetan
Di bawah atap, tidak berhubungan dengan tanah	10	35
Di bawah atap, berhubungan dengan tanah	7	10
Di luar, tidak berhubungan dengan tanah	7	8
Di luar, berhubungan dengan tanah	3	5

Sumber : (Suwanto Bogja,2008)

Tabel di atas menunjukkan bahwa bambu yang digunakan di bawah atap dan tidak berhubungan dengan tanah tanpa pengawetan memiliki umur rata-rata lebih panjang,yaitu 10 tahun. Sedangkan penggunaan bambu di luar dan berhubungan dengan tanah tanpa pengawetan memiliki umur rata-rata lebih pendek, yaitu 3 tahun. Daya tahan bambu sangat tergantung dari kadar air dan kandungan patinya. Daya tahan bambu dapat menurun apabila kadar air dan kandungan pati dalam buluh bambu terlalu tinggi. Bambu yang langsung diletakkan di tempat terbuka dan bersentuhan dengan tanah, keawetannya mencapai 1 – 3 tahun. Akan tetapi apabila diawetkan dapat bertahan sampai 7 tahun lebih. Bambu mempunyai keawetan alami yang rendah sehingga umur pakainya relatif singkat.

Keawetan alami bambu tergantung pada beberapa faktor, antara lain :

1. Umur bambu saat ditebang
2. Kandungan pati
3. Cara penyimpanan dan pemakaian
4. Pengaruh iklim dan cuaca
5. Organisme perusak seperti rayap, jamur dan bubuk kering.

Salah satu sifat dasar bambu yang berkaitan dengan pengawetan adalah sifat keterawetan. Keterawetan bambu merupakan salah satu sifat yang menentukan mudah tidaknya suatu jenis bambu dimasuki larutan bahan pengawet. Sifat keterawetan tersebut ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu :

1. Sifat bambu itu sendiri
2. Teknik pengawetan
3. Kondisi bambu saat diawetkan
4. Sifat bahan pengawet yang digunakan

Pengujian secara laboratories terhadap rayap kayu kering dan rayap tanah yang telah dilakukan terlihat pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Kelas Ketahanan Kayu

Kelas	Ketahanan	Penurunan Berat (Mg)	
		<i>Cryptotermes cynocephalus</i>	<i>Coptotermes curvignathus</i>
I	Tahan	0 - 20	0 - 50
II	Kurang tahan	26 - 50	51 - 100
III	Peka	51 - 75	101 - 200
IV	Sangat Peka	> 75	> 200

Sumber : (Sitohang Erdiana,2001)

Tabel diatas menunjukkan bahwa jenis kayu Kelas I memiliki ketahanan yang baik terhadap serangan hama rayap kayu kering dan rayap tanah. Jenis kayu Kelas IV memiliki ketahanan yang sangat peka terhadap serangan hama rayap kayu kering dan rayap tanah. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengawetan bambu agar tahan terhadap serangga dan jamur. Bambu berbeda dengan kayu, bambu sangat mudah diserang serangga dikarenakan struktur batang yang ada pada bambu tidak memiliki unsur-unsur kimia yang mampu menambah tingkat ketahanan. Unsur kimia tersebut umumnya berupa zat toksik atau racun. Selain itu, di dalam batang bambu banyak terdapat unsur zat gula yang mengundang dan sangat disenangi oleh mikroorganismenya. Kondisi seperti ini jelas berdampak tidak baik bagi bambu karena mikroorganismenya tersebut hanya akan merusak struktur bambu. Kerusakan tersebut sangat berdampak terhadap kekuatan dan warna bambu. Dampak yang diakibatkan seperti: pelapukan, pecah, berlubang atau timbulnya noda pada batang bambu. Untuk mengatasi hal tersebut, maka bambu perlu diawetkan. Sampai sekarang banyak cara atau

teknik yang dapat dilakukan untuk mengawetkan bambu. Metode pengawetannya bisa dilakukan dengan cara tradisional ataupun dengan cara menggunakan bahan-bahan kimia.

#### **2.1.5.1 Metode Pengawetan**

Bambu sebelum digunakan sebagai bahan baku terlebih dahulu diawetkan untuk menghindari serangan serangga dan jamur pada bambu. Ada beberapa cara dalam pengawetan bambu adalah sebagai berikut :

##### **1. Pengendalian waktu tebang.**

Pengendalian waktu tebang adalah pengaturan waktu penebangan bambu pada saat-saat tertentu yang menurut kepercayaan atau kebiasaan masyarakat dapat meningkatkan daya tahan bambu dibandingkan dengan penebangan pada sembarang waktu. Pengendalian waktu tebang di Indonesia ada banyak versi, diantaranya : Penebangan pada bulan tertentu (mongso/mangsa) dalam bahasa jawa/sunda, umumnya pada mongso 9 (bulan Maret) dianggap sebagai waktu yang paling tepat untuk memotong bambu. Penebangan pada jam tertentu, misalnya penebangan dilakukan pada waktu menjelang subuh dipercaya dapat meningkatkan ketahanan bambu. Penebangan pada waktu tertentu, misalnya penebangan pada waktu bulan purnama di beberapa daerah dipercaya dapat mengurangi serangan hama pada bambu.

##### **2. Perendaman bambu.**

Perendaman bambu menggunakan metode konvensional relatif lama. Bambu yang telah ditebang direndam selama berbulan-bulan bahkan tahunan agar bambu tersebut tahan terhadap pelapukan dan serangan hama. Perendaman biasanya dilakukan di kolam, sawah, parit, sungai atau di laut. Penebangan waktu pada bulan tertentu (mongso/mangsa) dalam bahasa jawa/sunda, umumnya pada mongso 9 (bulan Maret) dianggap sebagai waktu yang paling tepat untuk memotong bambu. Tetapi perendaman metode ini mempunyai kelemahan disamping waktu perendamannya yang relatif lama, yaitu bambu akan mengeluarkan lumpur dan bau yang tidak sedap dikarenakan perendaman yang lama di sawah atau laut, maka akan butuh waktu yang cukup lama setelah perendaman untuk mengeringkan hingga bau berkurang dan dapat dipakai sebagai bahan bangunan terutama untuk properti rumah karena baunya yang mengganggu terlihat pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Perendaman Bambu  
Sumber : (Rifai,2013)

### 3. Pengasapan bambu.

Metode tradisional dalam pengawetan bambu adalah pengasapan. Hal ini akan meningkatkan daya tahan bambu. Secara tradisional bambu diletakkan di tempat yang berasap (dapur atau tempat pembakaran lainnya), secara bertahap kelembaban bambu berkurang sehingga kerusakan secara biologis dapat dihindari terlihat pada Gambar 2.5. Saat ini sebenarnya cara pengasapan sudah mulai dimodernisasi, beberapa produsen bambu di Jepang dan Amerika Latin telah menggunakan sistem pengasapan yang lebih maju untuk mengawetkan bambu dalam skala besar untuk kebutuhan komersil.



Gambar 2.5 Pengasapan Bambu  
Sumber : (Rifai,2013)

### 4. Pencelupan dengan kapur.

Cara ini lebih maju dibandingkan dengan pencelupan di air. Bambu dalam bentuk belah atau iratan dicelup dalam larutan kapur ( $\text{CaOH}_2$ ) yang kemudian berubah menjadi

kalsium karbonat. Zat ini akan menghalangi penyerapan air hingga bambu terhindar dari serangan jamur. Namun cara ini tidak bisa menghindarkan bambu dari serangan serangga.

#### 5. Pemanggang/pembakaran.

Dengan cara dipanggang dapat mempermudah dalam pelurusan bambu yang bengkok atau sebaliknya. Proses ini dapat merusak struktur gula yang ada dalam bambu membentuk karbon, sehingga tidak disenangi oleh kumbang atau jamur.

#### 6. Pengawetan menggunakan bahan kimia.

Semakin lama orang akan mencari metode baru dalam pengawetan bambu dikarenakan waktu yang terlalu lama kalau menggunakan pengawetan tradisional. Pada akhirnya ditemukan metode baru yaitu menggunakan bahan-bahan kimia yang relatif cepat dalam waktu pengawetannya. Metode ini bertingkat, mulai dari yang paling sederhana hingga memakan biaya dan memerlukan instalasi khusus. Prinsipnya sama, yaitu adanya proses difusi di mana minyak/pengawet yang dicerapkan pada batang bambu akan mendesak keluar cairan alami yang terkandung dalam batang bambu hingga bambu relatif lebih padat/kering. Semakin canggih prosesnya, semakin sedikit kadar air yang tersisa dalam batang bambu. Metode paling sederhana biasa dilakukan para pengrajin bambu. Bambu yang baru ditebang didirikan terbalik. Ujung bambu dimasukkan tabung berisi minyak solar, minyak tanah atau oli bekas sebagai bahan pengawet. Metode berikutnya adalah perendaman bambu dalam larutan kimia. Batang dengan ukuran tertentu, direndam selama beberapa hari dalam air yang dicampur bahan pengawet. Lama perendaman tergantung jenis bahan pengawet dan jenis bambu. Bahan pengawet yang digunakan biasanya mengandung arsenik, boraks, antiboraks, dan sejenisnya.

#### 2.1.5.2 Bahan Pengawet

Berikut ini adalah bahan pengawet kimia yang paling umum digunakan untuk pengawetan bambu :

##### 1. Boraks.

Nama ilmiah dari boraks adalah Sodium tetraborate decahydrate. Ciri dari boraks adalah senyawa yang berbentuk kristal, warna putih, tidak berbau, larut dalam air dan stabil pada suhu dan tekanan normal. Senyawa borat ini dikenal sebagai bahan yang mampu membunuh bakteri pembusuk, walaupun belum ada penelitian yang khusus mengemukakan hal tersebut. Boraks digunakan untuk mengawetkan bambu dengan cara merendam bambu di larutan boraks 2,5% selama 2 – 5 hari (Frick,2004).

2. **inc Chloride/Copper Sulphate.**

Jenis ini memiliki kadar asam sangat tinggi dan dapat menyebabkan korosi pada baja.

3. **Sodium Penta Chloro Phenate (NaPCP).**

Merupakan fungisida yang biasanya dikombinasikan dengan borax dan boric acid untuk melindungi bambu yang masih basah saat dikirim dalam container. Namun bahan ini telah dilarang dibanyak negara karena sifatnya yang beracun.

4. **Copper Chrome Arsenic (CCA) dan Ammoniacal Copper Arsenate (ACA).**

Merupakan pengawet yang bersifat permanen dan terbukti ampuh mengawetkan bambu hingga lebih dari 50 tahun, bahkan untuk aplikasi luar ruangan. Tapi karena sifat toksisitasnya yang sangat tinggi bahan ini banyak dihindari dan dilarang.

5. **CCB (Copper Cromium Boron).**

CCB dikenal efektif melindungi bambu, selain itu bambu yang diawetkan dengan CCB dapat bertahan cukup lama sekalipun diaplikasikan diluar ruangan yang. Namun bahan CCB juga sangat sulit ditemukan, selain itu aplikasinya harus menggunakan sistem tekanan agar bisa efektif.

6. **Karose/ter.**

Merupakan bahan pengawet berbasis minyak, dapat diaplikasikan untuk penggunaan luar ruangan, kelemahannya adalah bambu yang diapikasi dengan bahan ini tidak cocok untuk furniture atau komponen bangunan yang bersentuhan langsung dengan manusia karena ada unsur minyak, berbau dan lengket. Cocok untuk aplikasi luar ruangan seperti pagar.

7. **CCF (Tembaga-Khrom-Flour).**

Bahan pengawet ini mengandung 36,3% tembaga silikon fluorida, 63,7% ammonium dikhromat.

Bahan pengawet yang dapat dipakai mengawetkan kayu perumahan dan gedung, berupa senyawa anorganik yang terdiri dari golongan CCA, CCB, CCF dan BFCA.

### **2.1.6 Potensi Bambu Sebagai Bahan Konstruksi**

Seiring dengan semakin berkurangnya ketersediaan kayu sebagai bahan pembuatan kapal dan berbagai kebutuhan lainnya, yang bertolak belakang dengan peningkatan industri perKayuan sebagai komoditi ekspor, bambu memiliki potensi yang besar dalam

kegunaannya sebagai alternatif bahan dalam pembuatan kapal perikanan di Indonesia. Bambu mempunyai beberapa keunggulan seperti cepat tumbuh (3 tahun bisa dipanen), mudah diolah, sifat mekanik yang lebih baik daripada kayu pada arah sejajar serat.

Sebagai bahan konstruksi bambu memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan material bangunan lainnya. Selain murah, sifat bambu yang ringan dan lentur mempunyai kekuatan tinggi. Seratnya yang liat dan elastis sangat baik dalam menahan beban (tekan, tarik, maupun geser).

Keistimewaan karakteristik bambu sehingga dapat digunakan sebagai bahan material konstruksi antara lain adalah sebagai berikut :

- a. Merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui.
- b. Pertumbuhan bambu yang cepat dengan rentang waktu 4-5 tahun dibandingkan kayu yang membutuhkan waktu pertumbuhan yang lebih lama.
- c. Memiliki kuat tarik dan lentur yang tinggi jika dibandingkan dengan kayu.
- d. Merupakan bahan yang ramah lingkungan, hemat energi, dan hemat biaya sebagai material konstruksi.

Bambu sebagai bahan bangunan dapat berbentuk buluh utuh, buluh belahan, bilah dan partikel. Bahan ini dapat dipergunakan untuk komponen kolom, kuda-kuda, kaso, reng rangka, jendela dan pintu serta balok laminasi. Di Indonesia terdapat beberapa jenis spesies bambu dan yang paling banyak digunakan dibidang konstruksi adalah bambu betung (*Dendrocalamus asper*). Bambu jenis ini mudah dijumpai hampir diseluruh daerah tropis. Menurut (Morisco, 1996), bambu mempunyai kekuatan tarik dua kali lebih besar dibandingkan dengan kayu, sedangkan kuat tekannya 10 % lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan kayu. Apabila dibandingkan dengan baja yang mempunyai berat jenis antara 6.0-8.0 (sementara berat jenis bambu = 0.6-0.8), kuat tarik (*tensile strength*) baja tulangan hanya sebesar 2.3-3.0 lebih besar dibandingkan dengan kekuatan tarik bambu. Dengan demikian bambu mempunyai kekuatan tarik per unit berat jenisnya sebesar 3-4 kali lebih besar dibandingkan dengan baja tulangan.

Bambu memiliki kuat tarik yang lebih baik daripada baja tulangan beton. Pada gambar di bawah ditunjukkan bahwa kekuatan tarik bambu ori hampir mencapai 5000 kg/cm<sup>2</sup> atau dua kali lipat dibandingkan dengan kekuatan tarik baja tulangan beton yang hanya 2400 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan jenis bambu lainnya yaitu bambu betung mempunyai

kekuatan tarik antara 3000 – 3500 kg/cm<sup>2</sup>, dimana kekuatan tersebut masih lebih baik dibandingkan dengan kekuatan beton tulangan baja.

## **2.2 Kayu**

### **2.2.1 Struktur Kayu**

Struktur kayu merupakan suatu struktur yang elemen susunannya adalah kayu. Dalam perkembangannya, struktur kayu banyak digunakan sebagai alternatif dalam perencanaan pekerjaan-pekerjaan sipil, diantaranya adalah : rangka kuda-kuda, rangka dan gelagar jembatan, struktur perancah, kolom, dan balok lantai bangunan. Pada dasarnya kayu merupakan bahan alam yang banyak memiliki kelemahan struktural, sehingga penggunaan kayu sebagai bahan struktur perlu memperhatikan sifat-sifat tersebut. Oleh sebab itu, maka struktur kayu kurang populer dibandingkan dengan beton dan baja. Akibatnya saat ini terdapat kecenderungan beralihnya peran kayu dari bahan struktur menjadi bahan pemerindah (dekoratif). Namun demikian pada kondisi tertentu, misalnya pada daerah tertentu, dimana secara ekonomis kayu lebih menguntungkan dari pada penggunaan bahan yang lain. Peranan kayu sebagai bahan struktur masih banyak digunakan. Kayu memiliki kekurangan dan kelebihan. Kelebihan kayu adalah sebagai berikut :

1. Berkekuatan tinggi dengan berat jenis rendah.
2. Tahan terhadap pengaruh kimia dan listrik.
3. Relatif mudah dikerjakan dan diganti.
4. Pengaruh temperatur terhadap perubahan bentuk dapat diabaikan.
5. Pada kayu kering memiliki daya hantar panas dan listrik yang rendah, sehingga baik untuk partisi.
6. Memiliki sisi keindahan yang khas :

Sedangkan kekurangan kayu adalah sebagai berikut :

1. Adanya sifat-sifat kayu yang kurang homogen (ketidak seragaman), cacat kayu (mata kayu, retak, dll.).
2. Beberapa jenis kayu kurang awet.
3. Kekuatannya sangat dipengaruhi oleh jenis kayu, mutu, kelembaban dan pengaruh waktu pembebanan.
4. Keterbatasan ukuran khususnya untuk memenuhi kebutuhan struktur bangunan yang makin berskala besar dan tinggi.

5. Untuk beberapa jenis kayu tertentu harganya relatif mahal dan ketersediaan terbatas (langka).

### 2.2.2 Sifat Fisik Kayu

Ada beberapa sifat fisik kayu yang perlu untuk diketahui adalah sebagai berikut :

#### a. Struktur Anatomi Kayu

Kayu secara umum mempunyai sifat anisotropik, yaitu sifat kayu yang berbeda pada ketiga arahnya sebagai akibat susunan sel – sel serabut yang membentuk tiga arah yaitu longitudinal, tangensial, dan radial.

#### b. Berat Jenis dan Kerapatan

Kayu disusun oleh zat yang lebih berat daripada air, berat jenis zat kayu sekitar 1.5 yang berlaku untuk semua jenis kayu (Wood Handbook, 1999).

#### c. Kadar Air

Kadar air kayu merupakan berat air dalam kayu yang biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase dari berat kering tanur kayu. Berat, penyusutan, kekuatan, dan sifat – sifat kayu lainnya tergantung pada kadar air kayunya. Keragaman kadar air dapat terjadi antar suatu papan yang berasal dari pohon yang sama (Wood Handbook, 1999).

#### d. Lama Pembebanan

Lamanya waktu pemberian beban pada kayu akan mempengaruhi besarnya tegangan yang terjadi di dalam kayu tersebut.

#### e. Lama Pemakaian

Kekuatan kayu juga dipengaruhi oleh lamanya pemakaian, hal ini terjadi karena pengaruh *seasoning*, *weathering*, ataupun perubahan kimia disamping lama pembebanan.

#### f. Pengaruh Cacat

Pengaruh lingkungan selama masa pertumbuhan pohon dapat menimbulkan berbagai kelainan (cacat) pada kayu. Cacat pada kayu antara lain mata kayu, serat berpilin, kayu reaksi, kayu rapuh, kantung damar dan kulit tersisip.

### 2.2.3 Sifat Mekanik Kayu

Sifat mekanik atau kekuatan kayu merupakan ukuran kemampuan sepotong kayu untuk menahan beban atau gaya luar yang berusaha untuk merubah bentuk atau ukurannya. Gaya luar atau aksi tersebut berupa tekanan, tarikan atau geseran. Beberapa sifat mekanik kayu adalah sebagai berikut :

a. Keteguhan Lentur Statik

Keteguhan lentur statik merupakan sifat yang digunakan untuk menentukan beban yang dapat dipikul suatu gelagar. Dari pengujian keteguhan lentur akan diperoleh nilai keteguhan kayu pada batas proporsi dan keteguhan kayu maksimum. Di bawah batas proporsi terdapat hubungan garis lurus antara besarnya tegangan dengan regangan, dimana nilai perbandingan antara regangan dan tegangan ini disebut modulus elastisitas (MOE). Keteguhan lengkung maksimum (MOR) dihitung dari beban maksimum (beban pada saat patah) dalam uji keteguhan lengkung dengan menggunakan pengujian yang sama untuk menentukan MOE.

b. Keteguhan Tekan

Keteguhan tekan merupakan kemampuan maksimum sampel untuk menahan beban yang diberikan secara perlahan – lahan sampai terjadi kerusakan (tekanan maksimal). Keteguhan tekan dilakukan pada arah sejajar serat dan tegak lurus serat. Pengujian tekan sejajar serat digunakan untuk menentukan beban yang dapat dipikul suatu tiang atau pancang pendek, sedangkan tegak lurus serat penting digunakan untuk rancangan sambungan – sambungan antar kayu dalam suatu bangunan dan pada penyangga gelagar.

c. Keteguhan Geser

Keteguhan geser adalah ukuran kemampuan kayu untuk menahan gaya luar yang bekerja dan berusaha untuk menggeser bagian benda. Tegangan geser tersebut akan timbul akibat adanya gaya geser tersebut. Dalam pengujian geser, tegangan geser cenderung untuk membuat satu bagian bergeser terhadap bagian disebelahnya. Kayu rendah dalam kekuatan geser sejajar serat tetapi sangat tinggi dalam keteguhan geser melintang serat.

d. Keteguhan Tarik

Keteguhan tarik sangat penting diketahui untuk suku bawah (busur) pada penopang kayu dan dalam rancangan sambungan antara suku – suku bangunan.

e. Kekerasan

Kekerasan tergantung pada cara pengujian dan dalamnya penetrasi.

Berdasarkan kekuatannya, BKI Peraturan Kapal Kayu menggolongkan jenis kayu menjadi lima kelas kuat yang dapat dilihat pada Tabel 2.4 di bawah ini. Tiap kelas kuat memiliki perbedaan berat jenis kering udara, kukuh lentur mutlak dan kukuh tekanan mutlak. Kukuh lentur mutlak suatu kayu tergantung pada berat jenis kering udara kayu tersebut.

Tabel 2.4 Tabel Penggolongan Kekuatan Kayu di Indonesia

Kelas Kuat	Berat Jenis Kering Udara	Kukuh Lentur Mutlak (kg/cm <sup>2</sup> )	Kukuh Tekanan Mutlak (kg/cm <sup>2</sup> )
I	≥ 0,90	≥ 1100	≥ 650
II	0,90 – 0,60	1100 – 725	650 – 425
III	0,60 – 0,40	725 – 500	425 – 300
IV	0,40 – 0,30	500 – 360	300 – 215
V	≤ 0,30	≤ 360	≤ 215

Sumber : (BKI Peraturan Kapal Kayu,1996)

Tabel diatas menunjukkan bahwa berat jenis kering kayu mempengaruhi nilai kukuh lentur dan kukuh tekanan mutlak. Kelas kuat I memiliki berat jenis kering udara yang lebih besar daripada kelas kuat lainnya. Kelas kuat I memiliki nilai kukuh lentur mutlak dan kukuh tekanan mutlak sebesar  $\geq 1100 \text{ kg/cm}^2$  dan  $\geq 650 \text{ kg/cm}^2$ . Kelas kuat V memiliki berat jenis kering udara yang lebih kecil daripada kelas kuat lainnya. Kelas kuat V memiliki nilai kukuh lentur mutlak dan kukuh tekanan mutlak sebesar  $\leq 360 \text{ kg/cm}^2$  dan  $\leq 215 \text{ kg/cm}^2$ .

Penggolongan tingkat kekuatan kayu untuk konstruksi kapal kayu dipengaruhi oleh beberapa faktor adalah sebagai berikut :

1. Massa jenis (gr/cm<sup>3</sup>)
2. Kekuatan lengkung besar (kg/cm<sup>2</sup>)
3. Kekuatan tekan (kg/cm<sup>2</sup>)
4. Modulus elastisitas (kg/cm<sup>2</sup>)

Beberapa kondisi yang menentukan penggolongan tingkat kekuatan kayu sebagai konstruksi kapal kayu adalah sebagai berikut :

1. Selalu berhubungan dengan air
2. Dipengaruhi oleh cuaca dan angin, tetapi terlindung dan tidak terendam air
3. Dibawah atap, tidak berhubungan dengan air
4. Cukup dipelihara (misalnya dicat dan lain-lain)
5. Kerusakan akibat binatang air
6. Kekuatan

#### 2.2.4 Teknik Laminasi Kapal Kayu

Pengertian kapal kayu laminasi adalah suatu bentuk kapal dimana terdapat bagian konstruksi utama seperti lunas, linggi, balok mati, serta bagian lain dibuat dari susunan beberapa papan atau bilah kayu kering perkapalan yang dipadukan satu sama lain dengan menggunakan perekatan khusus untuk perkapalan (*resorcinol, epoxy*). Dimana tujuan dasar diciptakannya kayu sistem laminasi adalah menciptakan suatu rancang bangun konstruksi dari kayu utuh yang kering sempurna dan mudah mendapatkan bahan dasarnya. Secara umum sistem laminasi masih dipandang lebih unggul baik dari segi teknik pembuatannya maupun dari segi pengoperasiannya.

Dalam sistem laminasi, ketebalan efektif dari kayu adalah sebesar  $\pm 2$  in atau  $\pm 50$  mm (Woelan Soedikman, 2008). Beberapa alasan penggunaan kayu laminasi adalah

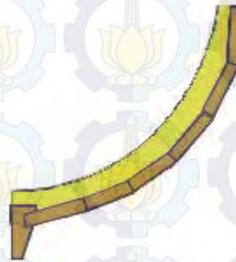
- Penggunaan kayu yang tebal (lebih tebal dari  $\pm 2$  in atau  $\pm 50$  mm) akan menimbulkan kesulitan dalam pembentukan kayu sebagai komponen kapal yang melengkung.
- Berpengaruh juga pada pengeringan, karena dengan semakin tipisnya kayu yang akan dikeringkan, maka akan semakin cepat pula proses pengeringannya.
- Penggunaan papan kayu yang tebal (lebih tebal dari  $\pm 2$  in atau  $\pm 50$  mm) akan menurunkan kandungan kelembaban dari tiap papan kayu.
- Struktur laminasi memiliki kekuatan yang lebih kuat dibandingkan dengan kayu utuh (solid).

Banyak sedikitnya penggunaan papan pelapis sedikit pengaruhnya terhadap kekuatan hasil laminasi. Hal ini disebabkan karena saat perekat dioleskan pada tiap sisi papan, papan akan menyerap sebagian dari cairan perekat tersebut. Banyaknya perekat yang diserap tergantung dari nilai kelembaban tiap papan. Sehingga setelah proses pengeleman, kayu akan bersifat lebih kaku dan sifat elastisitasnya akan menurun. Sehingga semakin banyak jumlah papan pelapisnya akan menghasilkan struktur yang semakin kaku dan memiliki kekuatan yang lebih baik dari kayu utuh (solid). Hal ini dikarenakan penggunaan lem/ perekat akan menambah tingkat kekuatan dari kayu dan pemilihan kayu serta pengaturan serat saat laminasi akan mengurangi tingkat kerusakan kayu.

Dalam pembuatan kapal kayu tradisional khususnya laminasi kapal, terdapat beberapa teknologi yang telah digunakan untuk pemasangan planking atau kulit lambung, diantaranya :

- *Carvel planking*

*Carvel planking* adalah salah satu metode pemasangan kulit lambung secara tradisional. Metode ini dilakukan dengan cara menempelkan papan kayu dengan konstruksi lain seperti kerangka (*frame*) dan pembujur (*stringer*) dengan menggunakan paku dan sekrup atau paku keling terlihat pada Gambar 2.6. Setelah pemasangan kulit lambung selesai, kapal ditemplei dengan kapas, atau serabut lainnya sebelum dilakukan pendempulan. Hal ini dimaksudkan agar kapal kedap dan mudah dalam perbaikan nantinya.



Gambar 2.6 Teknik *Carvel Planking*  
Sumber : (Rifai,2013)

- *Lapstrake planking*

*Lapstrake planking* merupakan metode pemasangan lambung kapal dengan papan berdekatan yang bertumpang tindih. Dalam mengikat papan tersebut dilakukan menggunakan paku keling terlihat pada Gambar 2.7. Pemasangan kulit seperti ini dinilai lebih kuat dibandingkan metode lainnya. Celah yang terjadi dapat dikedapkan dengan pengeleman epoxy ataupun yang sejenisnya.



Gambar 2.7 Teknik *Lapstrake Planking*  
Sumber : (Rifai,2013)

- *Strip planking*

Metode *Strip planking* pada dasarnya memiliki metode yang hampir sama dengan metode *carvel planking*. Perbedaan metode ini hanya terletak pada penggunaan bilah kayu, tidak seperti pada metode *carvel planking* yang

menggunakan papan. Bilah kayu dibentuk cekung bagian atas dan cembung bagian bawah didikat dengan paku keeling agar kedap pemasangannya. Sebelumnya bilah dapat dilapisi perekat seperti lem agar lebih kuat dan kedap dalam pemasangannya. Metode seperti ini cukup sulit dalam perbaikan karena bilah yang diikat satu sama lain terlihat pada Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.8 Teknik Strip Planking  
Sumber : (Rifai,2013)

### 2.2.5 Standar Pengeleman

Kapal yang sebagian atau seluruh bagian konstruksinya dibangun dalam ruangan tertutup, suhu rata-rata dalam ruangan minimal 15°C dan kelembaban tidak boleh kurang dari 65%. Harus dihindari adanya angin yang tidak diperlukan di dalam ruangan (BKI, 1996). Sebelum dikerjakan kayu harus sudah cukup lama disimpan didalam ruangan yang kering dan pada waktu pengeleman harus mempunyai suhu yang sama dengan ruang tempat pengeleman. Hanya kayu yang cukup kering yang boleh dilem. Dianjurkan agar kelembaban sesuai Tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.5 Kelembaban Maksimum

Bagian Konstruksi	Kelembaban Max (%)
Lunas luar dan linggi	18
Lunas dalam dan wrang	14
Kulit alas	15
Kulit sisi	12
Galar balok	10
Geladak	8
Bangunan dalam	8

Sumber : (BKI Peraturan Kapal Kayu,1996)

Tabel 2.5 menunjukkan kayu yang digunakan untuk bagian konstruksi harus memiliki kelembaban yang diisyaratkan oleh BKI Peraturan Kapal Kayu Tahun 1996, misalnya kayu yang akan digunakan untuk bagian konstruksi lunas luar dan linggi harus memiliki kelembaban maksimal 18%. Lem yang digunakan harus mempunyai sifat tahan cuaca, air dan panas serta harus memiliki daya tahan yang lama. Lem yang dapat merusak tidak boleh digunakan. Untuk pengeleman bagian konstruksi yang memikul pembebanan dan bagian konstruksi yang terus menerus kena air atau cuaca hanya lem kapal kayu yang telah disetujui BKI yang boleh dipergunakan. Lem yang kadaluarsa tidak boleh digunakan. Lem agar dicampur dengan mesin pencampur. Pengeleman harus dilakukan pada tiap sisi lapisan dengan pengaturan yang dapat menjamin kerataan pengolesan. Jumlah lem yang telah dioleskan harus diperiksa secara teratur (BKI Peraturan Kapal Kayu, 1996).

Untuk mendapatkan beban tekan yang merata, maka penekanan harus dilakukan dengan papan penekan yang tebalnya paling kurang sama dengan tebal lapisan. Bila tebal lapisan kurang dari 19 mm maka pada tiap sisi lapisan harus dipakai dua buah papan penekan. Papan penekan harus mempunyai lebar minimal selebar lapisan. Cara lain yang dapat memberikan peralatan beban yang sama baiknya dapat juga digunakan. Bila akan mengelem bagian yang melengkung, maka penekan harus dimulai dari bagian tengah dan dilakukan secara berangsur-angsur ke arah ujung (BKI Peraturan Kapal Kayu, 1996).

Besarnya tekanan selama pengerasan adalah 8 sampai dengan 10 kg/cm<sup>2</sup> untuk kayu lunak dan 12 sampai dengan 16 kg/cm<sup>2</sup> untuk kayu keras. Tekanan harus diperiksa dan disesuaikan kembali 30 sampai 45 menit sesudah penekanan permulaan. Sambungan yang sudah dilepas dari penekan harus disimpan diruang tertutup selama paling kurang 7 hari pada suhu 15°C. Waktu pengerasan akhir bisa dikurangi bila suhu dinaikkan. Kombinasi suhu pengerasan dan tekanan pengerasan yang berbeda dari yang tersebut diatas yang memberikan hasil yang sama baiknya dapat digunakan atas persetujuan BKI (BKI Peraturan Kapal Kayu, 1996).

Sambungan memanjang dengan lem dari bagian konstruksi di dalam kapal seperti galar dapat dilakukan tanpa sekrup atau keling bila mana panjang sambungan tersebut kurang lebih sama dengan 8 kali tinggi atau lebar bagian konstruksi yang disambung. Untuk bagian yang dilem berlapis seperti lunas, linggi, wrang, gading-gading, balok geladak dan sebagainya tidak diperlukan sekrup atau keling tambahan. Tebal tiap lapisan kurang lebih sepersepuluh tinggi, tetapi tidak boleh kurang dari 5 mm dan tidak boleh lebih

dari 20 mm. Bila bagian konstruksi terdiri dari kayu yang dilem satu sama lain atau dilem dengan bagian konstruksi yang terdiri dari kayu berlapis, maka sambungan harus diperkuat dengan sekrup atau keeling guna mencegah pecahnya konstruksi akibat pemuaian atau pengeringan. Bagian pengisi konstruksi kayu berlapis harus juga dibuat dari kayu berlapis (BKI Peraturan Kapal Kayu, 1996).

## **2.3 Kapal Ikan**

Kapal ikan merupakan suatu moda angkutan di laut yang sangat vital perannya bagi masyarakat pesisir yang bermata pencaharian sebagai nelayan. Kapal ikan dibangun dengan beragam teknik dimana terdapat perbedaan di setiap daerah sesuai dengan kondisi daerah tersebut. Pembangunan kapal ikan secara umum masih dilakukan secara tradisional, yaitu dengan mengikuti cara pembangunan kapal sebelumnya yang cenderung tanpa perencanaan yang tepat. Saat ini seiring dengan berkembangnya teknologi perkapalan, setiap pembangunan kapal termasuk kapal ikan direncanakan sesuai dengan permintaan dan kebutuhan dari pemiliknya.

Kekurangan kapal ikan tradisional adalah kecepatannya yang rendah dikarenakan besarnya hambatan kapal dan kecilnya propeller kapal. Hal ini terjadi karena tidak adanya hitungan tentang hambatan kapal dan propulsi. Kekurangan yang lain adalah pada pemakaian bahan kayu yang berlebihan dalam proses produksinya, yaitu :  $\pm 20$  s.d  $50 \text{ m}^3$  untuk kapal dengan ukuran lunas 10 s.d 20 m dan hal ini merupakan suatu pemborosan terhadap bahan baku kayu.

### **2.3.1 Pembuatan Lambung Kapal Ikan**

Dalam pembuatan lambung kapal kayu terdapat beberapa tahap antara lain : Mempersiapkan kayu berbeda jenis sesuai penggunaannya. Kemudian memilah sesuai dengan tebal dan jenis kayu serta faktor lain yang dianggap perlu. Papan kulit harus dihaluskan terlebih dahulu serta dipersiapkan permukaannya agar sambungan kulit dapat rapi, untuk bagian kulit yang berbentuk lengkung biasanya dilengkungkan sementara yang nantinya akan disesuaikan dengan keadaan sebenarnya, pelengkungan sementara ini dilakukan dengan cara dibakar diatas bara api, namun hal ini sebenarnya tidak dianjurkan. Sebaiknya pelengkungan dilakukan dengan jalan dipanas dengan menggunakan uap air dari hasil rebusan air. Pengikatan antara kulit dengan gading dapat menggunakan paku yang memenuhi syarat tidak mudah berkarat atau dapat juga dengan pasak kayu. Cara

pemasangan ikatan dengan paku atau menggunakan baut, papan kulit harus dilubangi memakai bor terlebih dahulu dengan mata bor berukuran lebih kecil dari ukuran logam ikatan. Penggunaan papan kulit dianjurkan jangan terlalu lebar kira – kira 20 cm sudah cukup karena untuk menghindari keretakan pada saat dilengkungkan melintang. Sebaliknya, panjang kulit dianjurkan sepanjang mungkin supaya tidak terjadi banyak sambungan memanjang. Penyambungan kulit secara memanjang dapat ditentukan sebagai berikut , untuk 2 keping papan yang berturutan jarak samungnya setidaknya – tidaknya tiga jarak gading atau kira – kira sekitar 1,20 meter.

Pemakalan kulit kapal kayu ada dua pilihan , bila penyambungan menggunakan paku dari logam dengan kombinasi mur baut, maka sela – sela kulit harus dipakal dan selanjutnya didempul setelah pakal sempurna. Cara lainnya yakni antara papan disambung secara memanjang dengan menggunakan pasak kayu. Papan kulit dibor menurut tebalnya, kemudian tiap lajur papan kulit memanjang yang berturutan dan sudah diberi lubang pasak disatukan dengan bantuan pasak sedangkan diantara papan dipasang kulit gelam agar pada saat terkena air laut kulit gelam mengembang dan sambungan menjadi rapat. (Diktat Pak Maharjo, Perancangan dan Produksi Kapal Kecil).

#### **2.4 Teknologi Bambu Laminasi**

Teknologi bambu laminasi merupakan teknik penggabungan bahan dengan bantuan perekat, bahan bangunan berukuran kecil dapat direkatkan membentuk komponen bangunan sesuai dengan keinginan. Teknologi laminasi juga merupakan cara penggabungan bahan baku yang tidak seragam atau dari berbagai kualitas. Menurut Morisco (2006), secara garis besar keuntungan yang dapat diperoleh dari teknologi laminasi antara lain:

- Teknologi laminasi secara tidak langsung dapat mengatasi masalah retak, pecah ataupun cacat akibat pengeringan karena lamina terdiri atas lembaran-lembaran yang tipis sehingga pengeringan lebih cepat dan mudah.
- Produk lamina yang berlapis-lapis memungkinkan untuk memanfaatkan lamina berkualitas rendah untuk disisipkan diantara lapisan luar (*face*) dan lapisan belakang (*back*) seperti halnya produk kayu lapis.
- Teknologi laminasi memungkinkan pembuatan struktur bangunan berukuran besar yang lebih stabil karena seluruh komponen (lembaran) yang digunakan telah dikeringkan sebelum dirakit menjadi produk laminasi.

Arah serat lamina dapat dipasang saling bersilangan, sehingga susunan ini akan menjadikan kembang-susut produk tidak besar.

#### 2.4.1 Bahan Perekat

Perekat adalah suatu substansi yang mempunyai kemampuan untuk menggabungkan bahan-bahan melalui ikatan permukaan. Perekatan adalah peristiwa merekatnya dua benda yang disebabkan adanya gaya tarik menarik antara perekat dengan benda yang direkatnya bersamaan dengan gaya tarik menarik antar molekul perekat itu sendiri.). Berdasarkan cara pengerasannya, maka perekat dibagi dua golongan, yaitu :

##### a. *Thermoplastic*

Perekat ini mempunyai sifat menjadi lunak jika kena panas dan menjadi keras apabila temperatur rendah, yaitu pada *Polyvinil Acetat (PVAc)* dan *Butyrate*.

##### b. *Thermosetting*

Perekat ini mempunyai sifat tidak dapat lunak kembali dan menjadi keras apabila diberi panas, adanya reaksi kimia dengan hardener atau keduanya, contohnya yaitu UF, *Melamin Formaldehida* dan *Resorsinol Formaldehida*.

#### 2.4.2 Lem Epoxy

Lem *epoxy* merupakan jenis perekat yang bersifat *thermosetting*. Perekat *epoxy* berbentuk cair dan merupakan sistem gabungan dua komponen yang terdiri atas resin dan hardener yang dicampur saat akan digunakan dengan rasio masing – masing 50 %. Epoxy cocok digunakan untuk merekatkan sambungan papan kayu pada kapal kayu dan sambungan kayu pada furnitur/mebel bahkan dapat merekatkan logam serta kaca terlihat pada Gambar 2.8. Pemakaian lem *epoxy* sangat luas pada bahan-bahan logam, gelas, keramik, beton, plastik termosel (*polyster, fenolik*). Jenis *epoxy* yang dimodifikasi antara lain : *epoxy nilon, epoxy polisulfida, dan epoxy poliuretan*. Epoxy tergolong perekat tahan lembab untuk pemakaian eksterior. Waktu simpan *epoxy* sekitar 3 bulan sampai 1 tahun. Cara penyimpanannya adalah pada suatu tempat/wadah tertutup, dihindarkan dari lingkungan yang basah dan dilindungi dari sinar matahari secara langsung dengan temperatur tempat penyimpanan 15-30°C. Dengan cara penyimpanan di atas, *epoxy* akan tahan selama satu tahun. Kelebihan -kelebihan dari perekat *epoxy*, antara lain :

a. Mudah digunakan.

b. Praktis dan ekonomis.

- c. Mempunyai efisiensi yang tinggi dalam kekuatan.
- d. Tahan terhadap air laut atau udara yang mengandung garam ( di daerah pesisir )
- e. Hasilnya tidak buram



Gambar 2.9 Lem Epoxy

## 2.5 Beban

Dalam ilmu fisika, beban didefinisikan sebagai gaya (dorongan/tarik) yang terjadi pada suatu titik beban tertentu. Beban dapat menyebabkan tegangan, perubahan bentuk, dan perpindahan pada suatu struktur.

Widodo (2010), dalam penelitiannya menyebutkan bahwa beban yang dapat menyebabkan terjadinya kelelahan pada struktur adalah beban yang bersifat siklik, yaitu :

- Beban siklis frekuensi rendah (*quasi-statis*) yang ditimbulkan oleh eksitasi gelombang.
- Beban siklis frekuensi tinggi (dinamis), yang dapat diklasifikasikan menjadi beban transient (slamming, wave slapping, hull whipping) dan steady (mesin, baling-baling, *hull springing*). Beban ini dapat terjadi karena pengaruh gelombang air laut, tabrakan dengan bongkahan kayu di tengah laut
- Beban siklis frekuensi sangat rendah (statis) akibat perubahan beban (logistik) di atas struktur dan hidrostatis (pasut).
- Beban siklis karena gradien panas tak beraturan akibat cuaca dan temperatur muatan.

### 2.5.1 Gelombang Air Laut

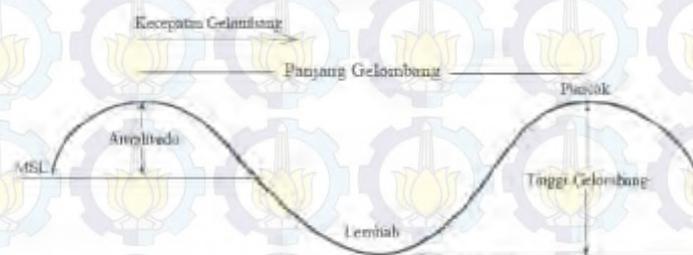
Gelombang air laut atau dapat disebut juga ombak merupakan gerakan air laut yang paling umum dan mudah diamati. Prinsip dasar terjadinya gelombang air laut adalah ketika dua massa benda yang berbeda kerapatannya (densitas) bergesekan satu sama lain, maka

pada bidang gerakannya akan terbentuk gelombang. Gelombang terjadi karena beberapa sebab (Furqon,2006), antara lain sebagai berikut:

- Adanya gesekan angin di permukaan. Oleh karena itu, arah gelombang sesuai dengan arah angin.
- Akibat menabrak pantai. Gelombang yang sampai ke pantai akan terjadi hempasan dan pecah. Air laut yang pecah akan menimbulkan arus balik dan membentuk gelombang.
- Akibat gempa bumi. Gelombang air laut terjadi akibat gempa di dasar laut. Gempa terjadi karena adanya gunung laut yang meletus atau pergeseran kulit bumi di dasar laut.

Gerakan permukaan gelombang dapat dikelompokkan menjadi beberapa bagian yaitu sebagai berikut :

- Gerak osilasi, yaitu gerak gelombang akibat molekul air bergerak melingkar. Gerak osilasi biasanya terjadi di laut lepas. Gerak gelombang ini memiliki tinggi dan lembah gelombang terlihat pada Gambar 2.10.
- Gerak translasi, yaitu gelombang osilasi yang telah pecah lalu seperti memburu garis pantai, bergerak searah dengan gerak gelombang tanpa diimbangi gerakan mundur. Gerak gelombang ini tidak memiliki puncak dan lembah gelombang.
- Gerak *swash* dan *backwash*, yaitu gerak gelombang yang menyentuh garis pantai. Kedatangan gelombang disebut *swash*, sedangkan ketika gelombang kembali disebut *backwash*.



Gambar 2.10 Bagian Gelombang Air Laut  
Sumber : (Furqon,2006)

Gelombang air laut di perairan dalam yang bergerak memasuki perairan pantai mengalami transformasi yakni : kecepatannya berkurang, panjang gelombang menjadi lebih pendek dan tingginya bertambah. Pada kondisi *splash zone* gelombang air laut yang terjadi relatif tinggi, sedangkan pada kondisi *sink* dan *free* gelombang air laut yang terjadi relatif kecil. Transformasi gelombang air laut ini terlihat pada Gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.11 Transformasi Gelombang Air Laut pada Free, *Splash zone* dan *Sink*

Sumber : (Furqon,2006)

## 2.6 Karakteristik *Free*, *Splash Zone* dan *Sink*

Lingkungan struktur pantai dapat dibedakan dalam empat macam berdasarkan posisinya terhadap permukaan air laut, yaitu: *atmosphere zone* (daerah atmosfer), *splash zone* (daerah percikan/deburan), *sink zone* (daerah permukaan pasang surut) dan daerah lumpur (*immersed zone*) terlihat pada Gambar 2.12. *Splash zone* adalah bagian yang mengalami korosi sangat berat, sedangkan *sink zone* relatif ringan untuk suatu batang struktur vertikal tanpa lapisan pelindung, seperti tiang pancang.



Gambar 2.11 Struktur Pantai

*Splash zone* terdiri atas 3 daerah, yaitu : *splash*, *sink* dan *free*. *Free* adalah kondisi dimana bagian kapal yang bebas / tidak tercelup air, terletak di bagian freeboard kapal. Bagian ini terkena terik sinar matahari dan hujan terlihat pada Gambar 2.12 di bawah ini.



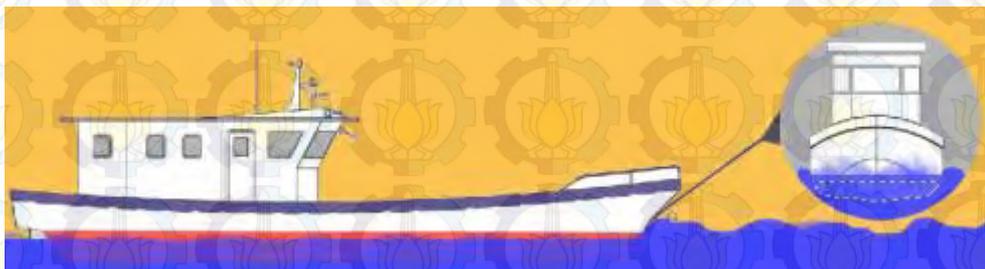
Gambar 2.12 Kondisi *Free* pada Lambung Kapal Ikan

*Splash Zone* adalah kondisi dimana bagian kapal terkena percikan air akibat gelombang air laut. Gelombang air laut yang terjadi pada kondisi ini relatif tinggi. *Splash Zone* dibatasi oleh garis batas tertinggi naiknya gelombang dan batas terendah turunnya gelombang terlihat pada Gambar 2.13 di bawah ini.



Gambar 2.13 Kondisi *Splash Zone* pada Lambung Kapal Ikan

*Sink* adalah kondisi dimana bagian kapal yang tercelup air seluruhnya, terletak di bawah sarat kapal. Gelombang air laut yang terjadi relatif kecil (perairan tenang) terlihat pada Gambar 2.14 di bawah ini.



Gambar 2.14 Kondisi *Sink* pada Lambung Kapal

## 2.7 Pengujian Foto Makro, Tarik dan *Impact*

### 2.7.1 Foto Makro

Foto makro adalah pembesaran visual melalui lensa kamera untuk mengetahui kerusakan atau bentuk permukaan setelah dilakukan suatu perlakuan maupun pengujian pada spesimen uji (Gambar 2.15). Alat – alat yang diperlukan untuk foto makro adalah sebagai berikut :

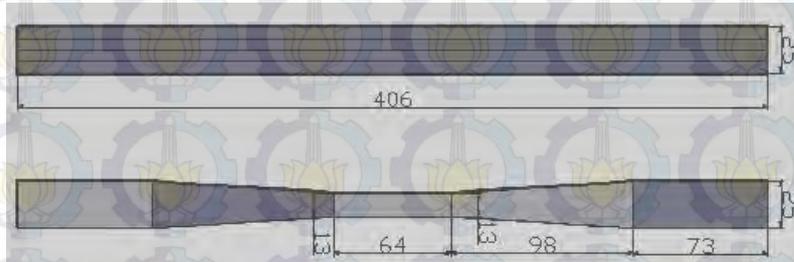
1. Penggaris
2. Alat Penyangga
3. Kamera SLR dengan lensa pembesaran yang baik
4. *Milimeter block*
5. Lampu sorot kecil
6. Gunting



Gambar 2.15 Foto Makro pada Spesimen Uji  
 Sumber : (Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal ITS, 2014)

### 2.7.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dalam penelitian dilakukan berdasarkan standard ASTM D3500-90 tahun 2004. Metode pengujian dibagi menjadi dua kategori: A untuk spesimen berukuran kecil dan B untuk spesimen berukuran besar. Bambu laminasi termasuk dalam kategori A, sementara dimensi spesimen untuk kategori A dibagi dalam tiga tipe: A untuk tebal bilah lebih dari  $\frac{1}{4}$  inchi atau 6 mm, B untuk tebal bilah kurang dari  $\frac{1}{4}$  inchi atau 6 mm, dan C untuk *plywood* dengan besar sudut susunan serat diluar  $0^\circ$  ataupun  $90^\circ$  terhadap panjang spesimen. Sehingga, spesimen bambu Ori dalam pengujian ini mengacu pada kategori A tipe B. Dimensi spesimen tarik terlihat pada Gambar 2.16 di bawah ini.



Gambar 2.16 Dimensi Spesimen Tarik  
 Sumber : (ASTM D3500-90,2004)

Gambar 2.20 menunjukkan panjang efektif dari spesimen tarik 64 mm dengan tebal 25 mm dan 25 mm. Perhitungan data akan dihitung menggunakan rumus standard ASTM D3500-90 tahun 2004 sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P_{maks}}{A_0} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

$\sigma$  = Kuat Tarik [N/mm<sup>2</sup> / MPa]

$P_{maks}$  = Beban Maksimum [N]

$A_0$  = Luas Penampang Spesimen [mm<sup>2</sup>]

$\epsilon$  = Regangan

$\Delta L$  =  $L_1 - L_0$

$L_0$  = Panjang Awal [mm]

Sementara, modulus elastisitas tarik spesimen bambu laminasi dihitung dengan menggunakan ASTM D3500-90 tahun 2004 sebagai berikut :

$$MoE = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

MoE = Modulus Elastisitas Tarik [N/mm<sup>2</sup>],

$\sigma$  = Kuat Tarik [N/mm<sup>2</sup>]

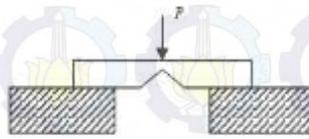
$\epsilon$  = Regangan

### 2.7.3 Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* adalah Pengujian untuk mengukur ketahanan material terhadap *impact* dengan menumbuk benda uji menggunakan sebuah pendulum yang diayunkan. Pengujian ini dilakukan sebagai pemeriksaan kualitas secara tepat dan mudah dalam menentukan sifat *impact*. Ada dua metode dalam pengujian ini, yaitu :

#### 1. Metode *Charpy*

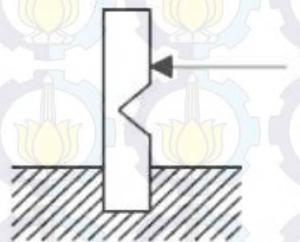
Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal/mendatar dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan terlihat pada Gambar 2.17. Metode ini biasa digunakan di Amerika Serikat.



Gambar 2.17 Pengujian *Impact* Metode *Charpy*  
 Sumber : (<http://teknikmesin2011unila.com>)

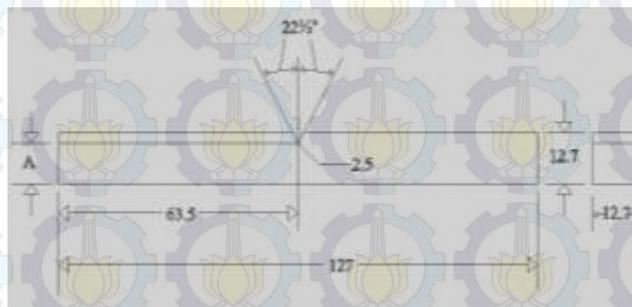
## 2. Metode *Izod*

Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah searah dengan arah takikan terlihat pada Gambar 2.18. Metode ini banyak digunakan di Inggris.



Gambar 2.18 Pengujian *Impact* Metode *Izod*  
 Sumber : (<http://teknikmesin2011unila.com>)

Pengujian *impact* pada penelitian ini dilakukan berdasarkan standard ASTM D6110-02 tahun 2004. Pengujian *impact* dilakukan dengan metode *charpy* dengan bentuk notch v. Pada pengujian *impact* ini akan didapat energi *absorb* yang diserap benda uji. Kemudian akan dihitung besarnya usaha ( $W$ ) dan harga *impact* ( $K$ ) benda uji menggunakan rumus menurut standard ASTM D6110 - 02. Dimensi dari spesimen *impact* terlihat pada Gambar 2.19 di bawah ini.



Gambar 2.19 Dimensi Spesimen *Impact*  
 Sumber : (ASTM D6110-02,2004)

Untuk menghitung energi mekanik ( $E_m$ ) dan energi potensial ( $E_p$ ) didapat dari persamaan dari standard ASTM D6110-02 tahun 2004 yaitu sebagai berikut :

$$E_m - E_s = E_p \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$E_m$  = Energi mekanik (Joule)

$E_s$  = Energi yang diserap / hasil pengujian *impact* (Joule)

$E_p$  = Energi potensial (Joule)

Dari persamaan diatas, usaha yang dilakukan ( $W$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan ASTM D6110-02 tahun 2004 :

$$W = \frac{E_p}{h} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$W$  = Usaha yang dilakukan (N)

$E_p$  = Energi potensial (Joule)

$h$  = Jarak vertikal antara pendulum dengan benda uji (m)

Dapat dilakukan perhitungan untuk mencari besar harga nilai *impact* spesimen uji.

Besar harga nilai *impact* spesimen uji dapat dihitung dengan menggunakan persamaan ASTM D6110-02 tahun 2004 :

$$K = \frac{E_s}{A} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

$K$  = Nilai harga *impact* (J/mm<sup>2</sup>)

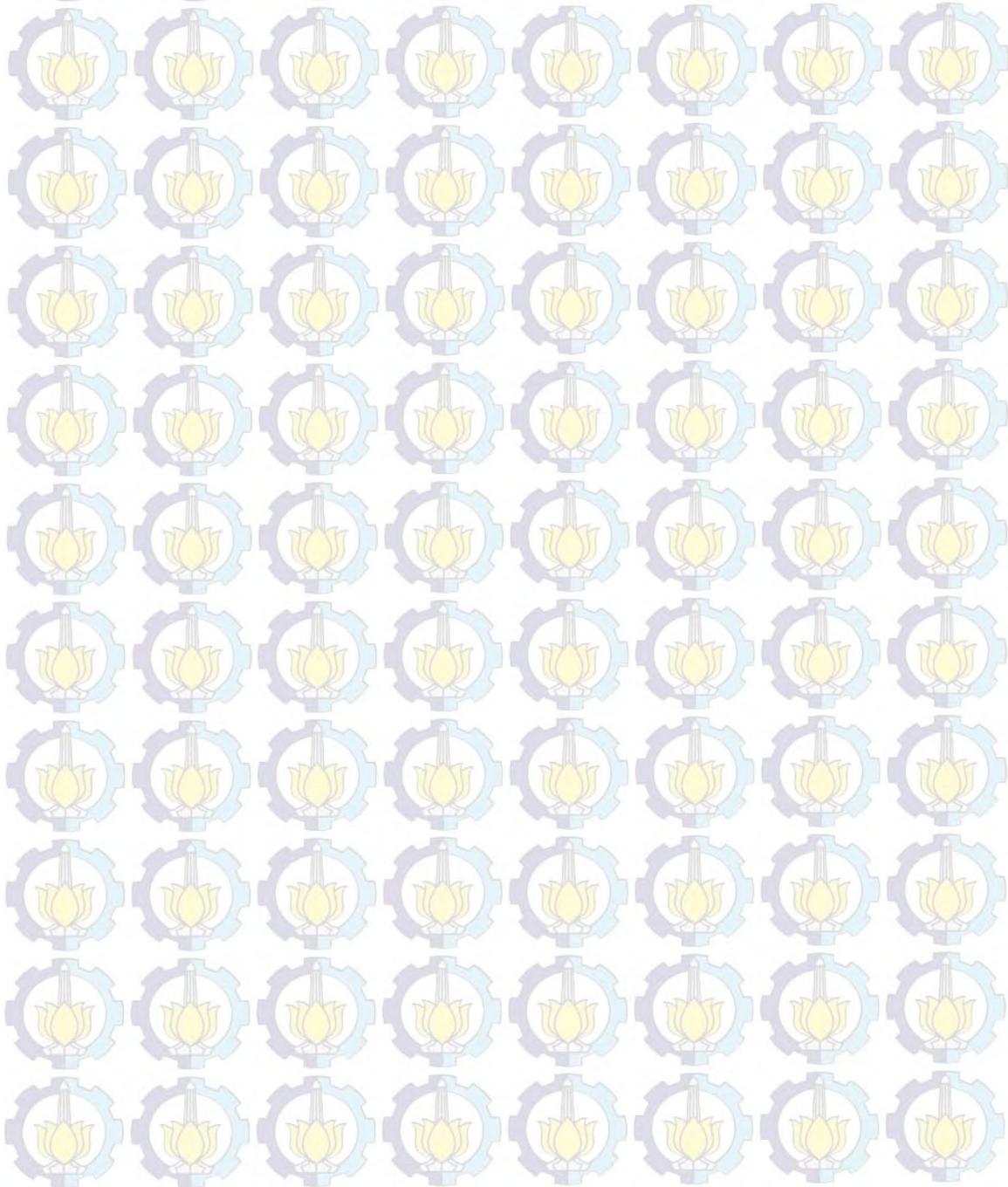
$E_s$  = Energi yang diserap / hasil pengujian *impact* (Joule)

$A$  = Luas Penampang di bawah takikan (mm<sup>2</sup>)

## 2.8 Tegangan Izin Peraturan Kapal Kayu Biro Klasifikasi Indonesia Tahun 1996

Peraturan Kapal Kayu Biro Klasifikasi Indonesia tahun 1996 menyatakan pada Bab 2 pasal 2 ayat 1 tentang kayu lapis adalah kayu yang dipergunakan untuk bagian konstruksi yang terpenting bebas dari hama, sehat, tidak ada celah dan tidak ada cacat-cacat yang dapat membahayakan dan harus mempunyai sifat mudah dikerjakan. Kayu-kayu yang diawetkan dapat dipergunakan atas persetujuan BKI. Kayu yang tidak tahan terhadap air, cuaca, jamur dan serangga tidak boleh dipergunakan. Kayu yang kurang tahan terhadap perubahan kering-basah yang permanen hanya boleh digunakan untuk bagian-bagian di bawah garis air, umpamanya papan alas. Bahan untuk pengawetan kayu harus disetujui BKI. Bahan tersebut tidak boleh menyebabkan korosi pada baja atau logam lainnya yang

digunakan dan tidak boleh memberikan pengaruh buruk pada lem atau proses pengelaman dalam hal penggunaan laminat. Untuk persetujuan bagian-bagian laminat sebagai pengawetan, maka pengawetan harus dilakukan sebelum pengeleman. Kayu lapis harus direkat dengan lem yang disetujui, tahan air serta telah diuji dan distempel oleh BKI, atau dibuat sesuai standar yang diakui dan harus mempunyai kuat tarik minimum 42,17 MPa. Kayu lapis dapat digunakan untuk sekat dan bagian konstruksi lainnya. Kayu lapis yang dipergunakan harus tahan air dan cuaca akibat beban dinamis maupun statis.



## BAB 3

# METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini adalah analisis teknis dari hasil penelitian pengaruh *splash zone* pada lambung kapal ikan. Penelitian ini dimulai dengan melakukan pemilihan dan pemotongan bambu hingga menjadi bambu laminasi siap guna. Bambu yang digunakan adalah bambu Ori. Sedangkan perekat yang dipakai adalah perekat *Epoxy (Melamin Formaldehyde)*. Pada penelitian Tugas Akhir ini dilakukan dua jenis pengujian, yaitu pengujian tarik dan *impact*. Untuk pengujian tarik terdiri atas tiga variasi, yaitu *free*, *splash zone* dan *sink* yang masing-masing terdiri atas 4 spesimen bambu laminasi dan 1 spesimen kayu Jati. Ukuran dan prosedur untuk pengujian tarik menggunakan standard ASTM D3500-90 tahun 2004. Sedangkan pada pengujian *impact* terdapat dua variasi, yaitu *splash zone* dan *sink* yang masing – masing terdiri atas 4 spesimen bambu laminasi dan 2 spesimen kayu Jati. Ukuran dan prosedur untuk pengujian *impact* menggunakan standard ASTM D6110-02 tahun 2004. Sebelum dua pengujian tersebut dilakukan foto makro. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah perbandingan nilai kuat tarik dan nilai *impact* bambu laminasi dan kayu Jati. Tahap selanjutnya nilai kuat tarik dan *impact* bambu laminasi memenuhi apa tidak tegangan izin dari peraturan kapal kayu BKI tahun 1996. Dari perbandingan tersebut dapat ditarik kesimpulan apakah bambu laminasi dapat digunakan sebagai bahan utama pembuatan lambung kapal ikan pada kondisi *splash zone*.

#### 3.1.1 Pembuatan Spesimen

Sebelum membuat spesimen, perlu dibuat alur proses pembuatan bambu laminasi, yaitu dengan cara breakdown struktur bambu laminasi. Proses breakdown struktur ini dimulai dari pemotongan bambu dari batang hingga menjadi bambu laminasi siap guna dan dilakukan perlakuan *free*, *splash zone* dan *sink*.

### 3.1.1.1 Langkah Pembuatan Spesimen

Pada pengujian tarik yang dilakukan terdiri atas tiga variasi, yaitu *free*, *splash zone* dan *sink*. Tiap variasi terdiri atas 4 spesimen bambu laminasi dan 1 spesimen kayu Jati. Sedangkan pada pengujian *impact* yang dilakukan terdiri atas dua variasi, yaitu *splash zone* dan *sink*. Adapun langkah pembuatan spesimen uji tarik adalah sebagai berikut : Tahap pertama adalah Pemilihan dan pemotongan bambu. Pemilihan lokasi di daerah Pacet terlihat pada Gambar 3.1. (a) Pada saat pemilihan, bambu dicek kadar airnya terlebih dahulu. Bambu yang dipilih adalah bambu yang diusahakan lurus dan bengkoknya tidak *zigzag*. (b) Pemotongan bambu utuh sepanjang 3 meter. Pemotongan bambu menggunakan alat gergaji.



(a)

(b)

Gambar 3.1 Pemilihan Bambu dan Pemotongan Bambu

Setelah pemotongan bambu, dilakukan Tahap kedua Pengecekan kadar air bambu terlihat pada Gambar 3.2. Bambu siap potong kadar air harus di bawah 50%. Pengecekan kadar air ini menggunakan alat *moisture meter*. Pengecekan ini dimulai dengan memberikan irisan pada kulit bambu kemudian *moisture meter* ditancapkan.



Gambar 3.2 Pengecekan Kadar Air Bambu

Pemotongan bambu utuh menjadi bilah bambu terlihat pada Gambar 3.3. Pemotongan bambu utuh menjadi bilahan memiliki lebar bilahan 2,5 cm agar dalam proses plannar bilahan bambu tidak patah. Proses pembilahan ini dilakukan dengan cara tradisional menggunakan alat golok/arit.



Gambar 3.3 Pemotongan Bambu menjadi Bilah

Pembersihan kulit bilah bambu dari kuku dan buku. Pembersihan ini dilakukan agar memudahkan proses plannar. Kuku bilah bambu terlihat pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 Kuku pada Bilah Bambu

Pembersihan buku pada bilah bambu dengan menggunakan palu terlihat pada Gambar 3.5. Sedangkan Kuku pada bambu dibersihkan dengan menggunakan golok / arit terlihat pada Gambar 3.6. Pembersihan ini dilakukan untuk mempermudah proses plannar bilah bambu dan menghemat waktu proses produksinya.



Gambar 3.5 Pembersihan Buku pada Bilah Bambu



Gambar 3.6 Pembersihan Kuku pada Bilahan Bambu

Bilah bambu yang telah dibersihkan dari kuku dan buku akan disiapkan untuk Tahap pengawetan terlihat pada Gambar 3.7. Bilah bambu yang siap diawetkan tidak diletakkan langsung ke tanah. Hal ini dilakukan agar bilah bambu terhindar dari rayap tanah. Pengawetan ini juga dilakukan agar bambu menjadi tahan lama dan terbebas dari hama. Pengawetan dilakukan dengan bahan kimia berupa boraks, urea dan garam grosok. Boraks digunakan untuk mengawetkan bambu dicampur dengan air. Garam grosok dan urea digunakan setelah proses perendaman larutan boraks.



Gambar 3.7 Bilah Bambu yang Telah Dibersihkan dari Bulu dan Kuku

Larutan borax yang akan digunakan untuk pengawetan bilah bambu terlihat pada Gambar 3.8. Pengawetan bilah bambu dilakukan selama 4 hari. Penaburan borax ke dalam kolam disesuaikan dengan kedalaman air dalam kolam terlihat pada Gambar 3.9. Perendaman ini dilakukan agar material bambu yang siap digunakan untuk material uji terbebas dari hama rayap. Hama rayap akan mempengaruhi kekuatan bilah bambu yang akan dibuat spesimen uji.



Gambar 3.8 Bahan Larutan Pengawetan Bilah Bambu



Gambar 3.9 Penaburan Borax ke kolam Perendaman dan Perendaman Bilahan Bambu

Pengeringan bilahan bambu dilakukan selama 5 hari sebelum siap diplannar terlihat pada Gambar 3.10 agar kadar air bilahan bambu di bawah 20%. Apabila kadar air bambu setelah dikeringkan masih di atas 20%, maka bilahan bambu akan dikeringkan dengan oven dengan suhu 50° selama 5 jam. Hal ini dilakukan agar kadar air bambu di bawah 20% dan siap untuk diplannar.



Gambar 3.10 Pengeringan Bilah Bambu

Proses plannar dilakukan setelah bilah bambu kering dan kadar air di bawah 20%. Hal ini dilakukan agar memudahkan proses plannar bilah bambu. Proses plannar yang dilakukan menggunakan mesin plannar *two side* buatan Taiwan. Proses plannar dilakukan untuk meratakan sisi bagian luar dan dalam bilah bambu terlihat pada Gambar 3.11. Tebal bilah bambu setelah plannar adalah 5 mm. Proses plannar dilakukan hingga bagian kulit dan bagian dalam bilah bambu rata. Hal ini dilakukan agar mempermudah proses penyusunan bilahan bambu menjadi balokan bambu laminasi.



Gambar 3.11 Proses Plannar Bilah Bambu

Setelah proses plannar, Tahap selanjutnya bambu dipotong menggunakan *circular saw* terlihat pada Gambar 3.12. Alat ini dapat memotong hingga ketebalan 3 cm. Apabila

melebihi dari batas maksimal ketebalan tersebut pisau *circular saw* akan patah. Pemotongan bilahan bambu dilakukan hingga didapatkan panjang bilahan 50 cm untuk spesimen uji tarik dan 20 cm untuk spesimen uji *impact*. Pemotongan ini disesuaikan dengan ukuran balok laminasi yang akan disusun untuk tiap pengujian.



Gambar 3.12 Pemotongan Bilah Bambu



Gambar 3.13 Bilahan yang Telah Dipotong

Bilah yang telah dipotong akan diratakan dengan mesin *handplannar* agar dalam proses penyusunan balok laminasi bambu rapi dan tidak lubang terlihat pada Gambar 3.13. Proses dengan menggunakan mesin *handplannar* mempengaruhi hasil penyusunan balokan bambu laminasi terlihat pada Gambar 3.14. di bawah ini.

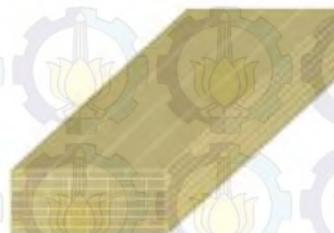


Gambar 3.14 Proses Perataan dengan Mesin *Handplannar*

Bilah bambu tersebut disusun sejajar arah serat terlihat pada Gambar 3.16 dengan susunan zigzag menyerupai pemasangan batu bata (*carvel*) hingga 7 lapis (*layer*). Ketebalan susunan bilah bambu 2,6 cm dan lebar 23 cm untuk spesimen uji tarik, sedangkan pengujian *impact* ketebalan bilah 1,5 cm dan lebar 20 cm terlihat pada Gambar 3.17 di bawah ini.



Gambar 3.16 Penyusunan Bilah Bambu menjadi Balok Laminasi



Gambar 3.17 Laminasi Tumpuk Bata

Dalam penyusunan balok laminasi, bilah bambu diberikan penomoran untuk menandakan keterangan tiap lapis. Tahap selanjutnya dilakukan pengecekan ketebalan susunan balok laminasi terlihat pada Gambar 3.18 di bawah ini.



Gambar 3.18 Pengecekan Ketebalan Susunan Balok Laminasi Sebelum Proses Pengeleman.

Tahap selanjutnya, persiapan pencampuran lem antara hardener dan resinnya dengan perbandingan 1:1 terlihat pada Gambar 3.19. Proses pencampuran lem dibantu dengan alat timbangan digital, kapi dan bor pengaduk.



Gambar 3.19 Proses Pencampuran Lem

Bilah bambu disusun di mesin press dan direkatkan menggunakan lem *epoxy* dengan bantuan kuas dan mesin press. Setelah terbentuk suatu balok laminasi bambu dengan dimensi 500 x 260 x 25 mm, balok dipress selama 4 jam untuk menyempurnakan perekatan terlihat pada Gambar 3.20. Dalam proses ini dibantu dengan dongkrak. Proses

penyusunan dan pengeleman mempengaruhi hasil dari balok bambu laminasi tersebut. Semakin baik penyusunan dan pengeleman semakin baik juga hasil pembentukan spesiment uji.



Gambar 3.20 Pengeleman Laminasi Bambu

Balok bambu laminasi tersebut dibentuk menjadi spesimen tarik dan spesimen *impact*. Balokan bambu akan dipotong menggunakan mesin *jig saw* terlihat pada Gambar 3.21. kemudian dibentuk menjadi spesimen tarik dan *impact* terlihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.21 Balokan Bambu yang Dipotong



Gambar 3.22 Pembentukan Spesimen *Impact*

Tahap selanjutnya, dilakukan proses pengamplasan pada spesimen uji agar permukaan spesimen uji halus terlihat pada Gambar 3.23 di bawah ini. Pada proses ini harus diperhatikan pengamplasaannya agar tidak menyalahi aturam ukuran standard ASTM D3500-90 dan D-6110-02.



Gambar 3.23 Proses Pengamplasan Spesimen Uji

### 3.1 Pembuatan Alat Perendaman

#### 3.1.1 Desain Alat

Desain untuk perlakuan spesimen ini menggunakan desain sederhana dengan konsep ayunan. Disini bak berukuran 78 x 55 cm sebagai tempat untuk perlakuan spesimen, pompa aquarium digunakan untuk menyedot air dan memenuhi bak kecil sebagai pemberat spesimen, pipa parallon digunakan untuk penyangga pipa kecil. Gambar 3.24 menunjukkan perangkaian alat perendaman. Gambar 3.25 menunjukkan bak

perendaman yang telah diisi air laut. Bagian luar bak dilapisi plastik agar percikan air tidak keluar dari bak dan tidak menyebabkan benda - benda di samping bak mengalami korosi.



( a ) ( b )

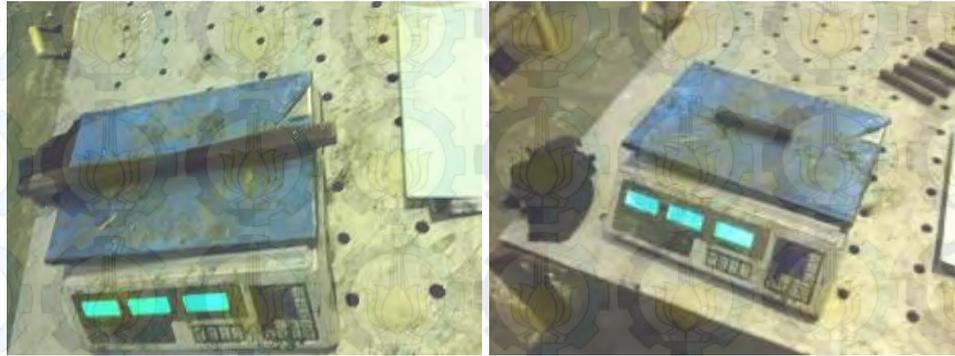
Gambar 3.24 Perangkaian Alat



Gambar 3.25 Alat Perendaman Setelah Dirangkai

### 3.2 Perlakuan Spesimen Uji

Air yang digunakan untuk perlakuan *splash zone* adalah air laut. Perlakuan dilakukan selama 2,5 bulan dengan penggantian air laut tiap minggu. Hal ini dilakukan agar kadar garam air laut tidak berkurang karena terserap spesimen uji. Perlakuan dilakukan pada variasi *splash zone* dan *sink* untuk pengujian tarik dan *impact*. Spesimen uji *free* diletakkan di genteng agar menerima sinar terik matahari dan hujan. Setelah selesai perlakuan bambu akan diukur massa spesimen terlihat pada Gambar 3.26 di bawah ini.



( a ) ( b )  
Gambar 3.26 Pengukuran Massa Spesimen

### 3.3 Pengujian Material

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap material bambu laminasi dengan menggunakan bambu Ori. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan masing – masing material dengan variasi *free*, *splash zone* dan *free*. Hasil pengujian tarik akan dibandingkan dengan kayu Jati. Dari hasil pengujian ini nantinya dapat menentukan apakah material bambu laminasi tersebut dapat digunakan sebagai konstruksi lambung kapal pada kondisi *splash zone*. Pengujian material dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Sebelum pengujian tarik dan *impact* akan dilakukan foto makro. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kerusakan visual masing – masing material dengan variasi *free*, *splash zone* dan *free*.

#### 3.3.1 Foto Makro



Gambar 3.27 Foto Makro pada Benda Uji

Tahapan foto makro terlihat pada Gambar 3.27 adalah sebagai berikut : Tahap pertama mempersiapkan benda uji dengan ketentuan ukuran sesuai standard. Tahap kedua memberikan kode pada benda uji sebagai keterangan atau tanda. Tahap ketiga mempersiapkan alat berupa kamera SLR, *milimeter block* dan lampu sorot. Tahap selanjutnya memasang benda uji pada tempatnya. Pengujian foto makro dilakukan untuk semua benda uji.

### 3.3.2 Pengujian tarik



Gambar 3.28. Pengujian Tarik

Tahap pertama mempersiapkan benda uji dengan ketentuan ukuran standard ASTM D3500-90. Tahap kedua memberikan nomor atau kode pengujian pada benda uji sebagai tanda. Tahap Ketiga 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 menunjukkan 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 dengan 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.

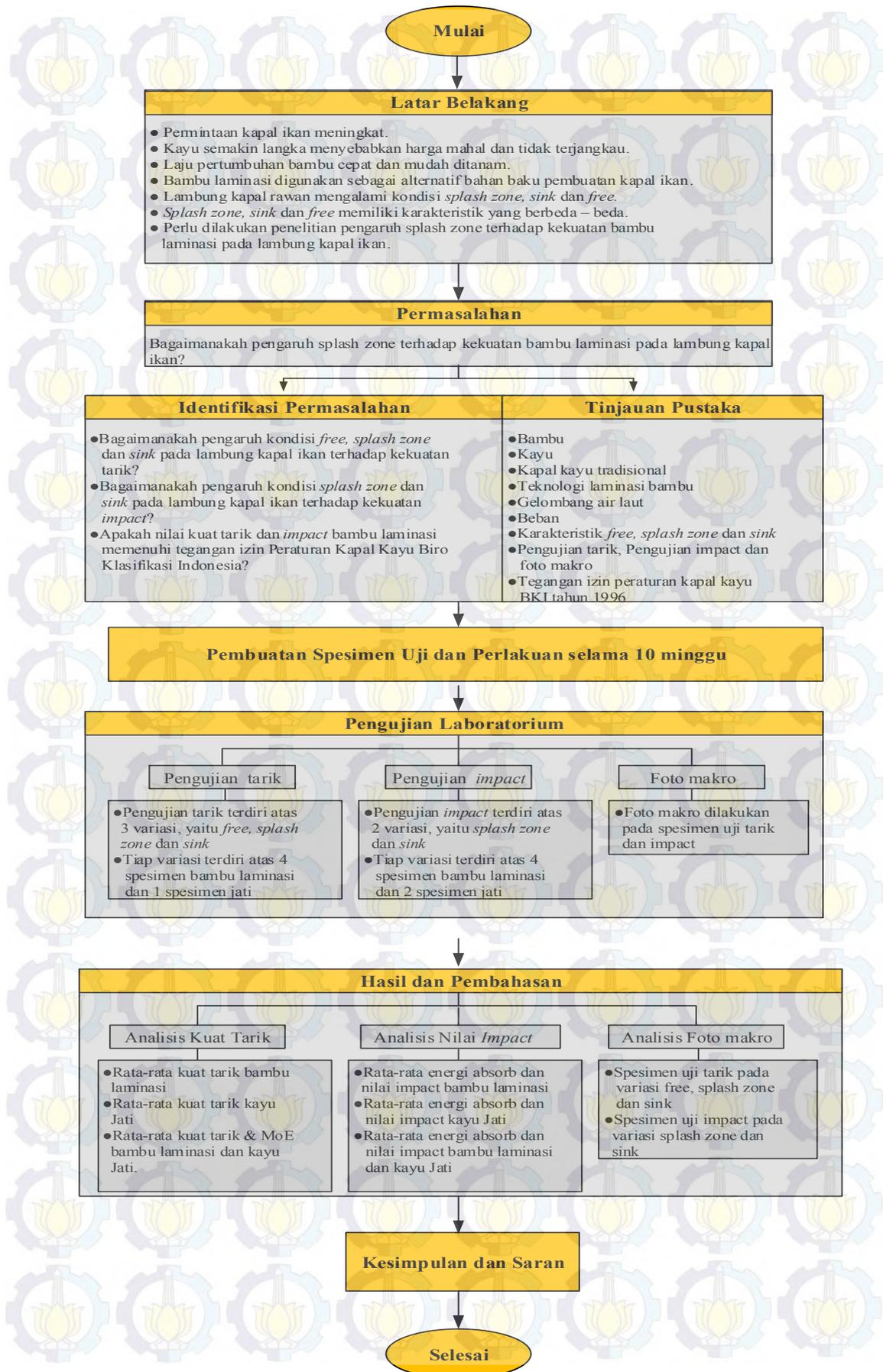
Dari pengujian tarik akan didapat beban maksimum yang dapat ditahan oleh spesimen uji. Tahap selanjutnya akan dicari nilai *elongation*,  $\sigma_{maks}$  dan modulus elastisitasnya.

### 3.3.3 Pengujian *impact*

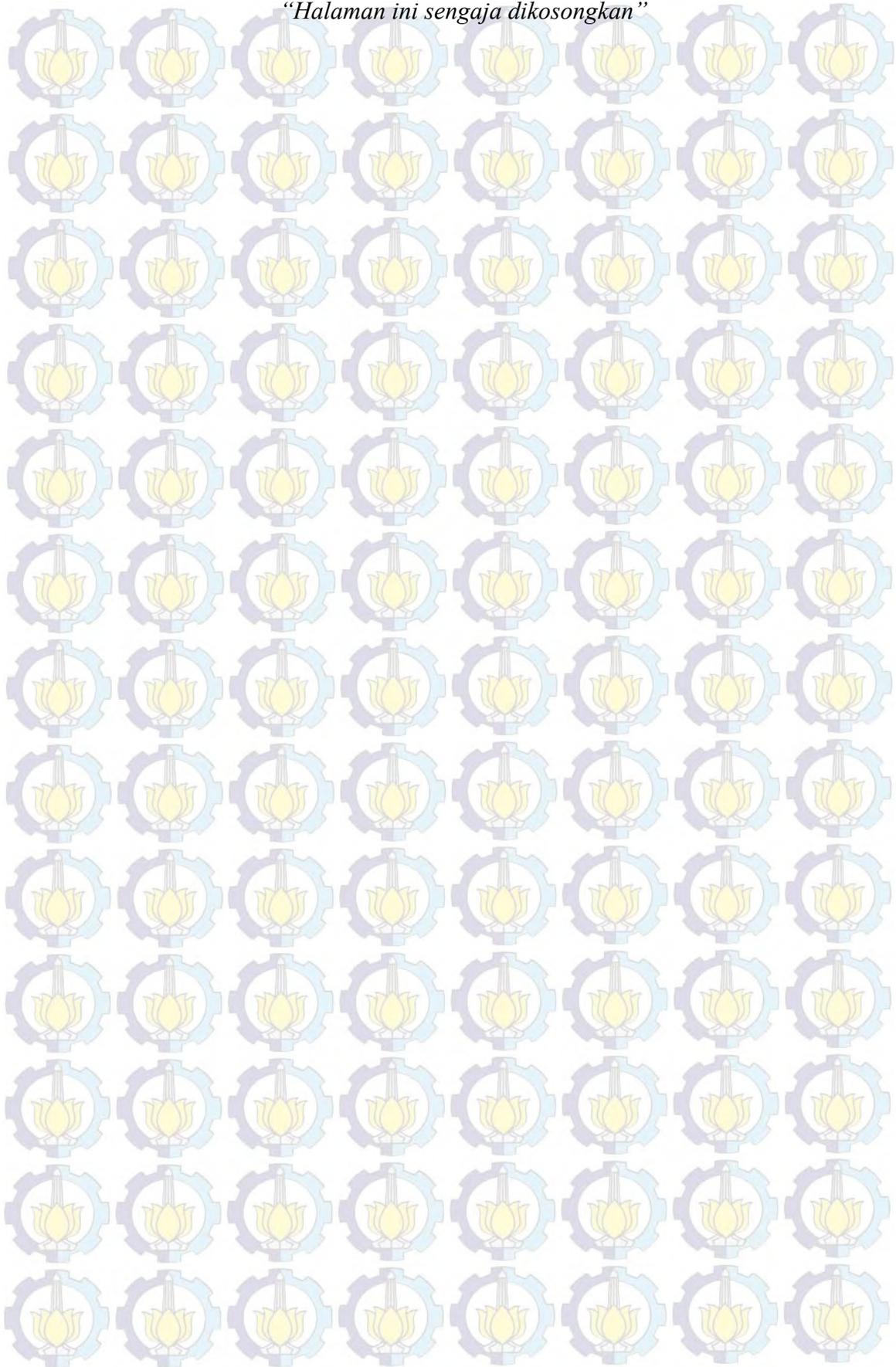


Gambar 3.29 Pengujian *Impact* Metode *Charpy*

Tahapan pengujian *impact* terlihat pada Gambar 3.29 adalah sebagai berikut : Tahap pertama adalah mempersiapkan benda uji dengan ketentuan ukuran sesuai standard ASTM D6110 – 02 tahun 2004 dan memberikan nomor atau kode pengujian pada benda uji sebagai tanda. Selanjutnya memeriksa ukuran luas permukaan di bawah takik dan mencatat pada lembar pengujian. Tahap kedua adalah memasang benda uji pada mesin uji dan dijepit pada pemegang sample (fixture) dengan sisi yang diberi notch menghadap sisi berlawanan *impact* dari pendulum. Selanjutnya menempatkan benda uji harus berada pada posisi tengah dimana pisau pada pendulum berada sejajar dengan takikan benda tersebut. Menyetel posisi jarum penunjuk pada  $0^\circ$ . Tahap ketiga adalah mempersiapkan mesin uji. Selanjutnya menghidupkan mesin uji, mengangkat pendulum dengan cara memutar berlawanan arah jarum jam secara perlahan – lahan. Kemudian pendulum dilepaskan dan mematahkan benda uji, menghentikan pendulum, mencatat hasil data *impact* yang tertera. Beri keterangan terkait dengan patahan yang terjadi. Pengujian ini berlaku untuk semua benda uji *impact*. Tahap akhir adalah perhitungan energi mekanik ( $E_m$ ), energi potensial ( $E_p$ ), besarnya usaha yang dilakukan ( $W$ ) dan nilai *impact* ( $K$ ).



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Pengujian

##### 4.1.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik

Prosedur Pengujian tarik dilakukan dengan mengikuti peraturan yang terdapat pada ASTM D 3500-90. Pengujian tarik yang dilakukan terdiri atas tiga variasi, yaitu variasi *splash zone*, *sink* dan *free*. Pengujian tarik yang dilakukan pada pada tiap variasi terdiri atas 4 spesimen bambu laminasi dan 1 spesimen kayu Jati sebagai pembanding. Hasil uji tarik didapat dari pembacaan jarum ukur pada mesin uji dan grafik yang dihasilkan oleh mesin uji. Pengujian tarik menghasilkan data – data pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Hasil Rata-Rata Pengujian Tarik

Spesimen	Variasi	$\sigma_{maks}$	MoE
		[MPa]	[GPa]
Bambu Laminasi	<i>Splash Zone</i>	61,444	1,4326
	<i>Sink</i>	179,893	2,7596
	<i>Free</i>	82,667	1,4279
Kayu Jati	<i>Splash Zone</i>	46,983	1,2529
	<i>Sink</i>	88,381	1,4141
	<i>Free</i>	71,060	1,1990

Pengujian tarik dilakukan sampai spesimen mampu menahan beban tarik maksimum dan akhirnya benda uji patah. Tabel 4.1, dari segi nilai kuat tarik ( $\sigma_{maks}$ ) menunjukkan spesimen bambu laminasi pada variasi *sink* memiliki rata-rata kuat tarik lebih tinggi dibandingkan variasi bambu laminasi lainnya yaitu sebesar 179,893 MPa. Sedangkan pada variasi *splash zone* memiliki rata-rata kuat tarik yang lebih kecil daripada variasi bambu laminasi lainnya yaitu sebesar 61,444 MPa. Pada spesimen bambu laminasi pada variasi *free* memiliki rata-rata kuat tarik sebesar 82,667 MPa. Pada spesimen kayu Jati variasi *sink* juga memiliki rata-rata kuat tarik lebih tinggi dibandingkan variasi kayu Jati lainnya yaitu sebesar 88,381 MPa. Sedangkan pada variasi *splash zone* memiliki rata-rata kuat tarik yang lebih kecil dibandingkan variasi kayu Jati lainnya yaitu sebesar 46,983 MPa. Pada spesimen kayu Jati variasi *free* memiliki rata-rata kuat tarik sebesar 71,060 MPa.

Pada tabel 4.1 dari segi nilai modulus elastisitas (MoE), menunjukkan spesimen bambu laminasi pada variasi *sink* memiliki rata-rata modulus elastisitas lebih tinggi dibandingkan variasi bambu laminasi lainnya yaitu sebesar 2,7596 GPa. Sedangkan pada variasi *free* memiliki rata-rata modulus elastisitas yang lebih kecil daripada variasi bambu laminasi lainnya yaitu sebesar 1,4279 GPa. Pada spesimen bambu laminasi variasi *splash zone* memiliki rata-rata modulus elastisitas sebesar 1,4326 GPa. Pada spesimen kayu Jati variasi *sink* juga memiliki rata-rata modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada variasi kayu Jati lainnya yaitu sebesar 1,4141 GPa. Sedangkan pada variasi *free* memiliki rata-rata modulus elastisitas yang lebih kecil daripada variasi kayu Jati lainnya yaitu sebesar 1,1990 GPa. Pada spesimen kayu Jati variasi *splash zone* memiliki rata-rata modulus elastisitas sebesar 1,2529 GPa.

Berdasarkan uraian tersebut, dari segi nilai kuat tarik ( $\sigma_{maks}$ ) spesimen bambu laminasi memiliki rata-rata kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan spesimen kayu Jati dan dari segi modulus elastisitas (MoE) spesimen bambu laminasi juga memiliki rata-rata modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan spesimen kayu Jati.

#### 4.1.2 Hasil Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* dilakukan dengan mengikuti peraturan yang terdapat pada D6110-02 tahun 2004. Pengujian *impact* yang dilakukan terdiri atas dua variasi, yaitu *splash zone* dan *sink*. Pengujian *impact* yang dilakukan pada tiap variasi terdiri atas 4 spesimen bambu laminasi dan 2 spesimen kayu Jati sebagai pembanding. Hasil uji *impact* didapat dari pembacaan jarum ukur pada mesin uji. Pengujian *impact* menghasilkan data berupa luasan di bawah takikan, energi yang diserap spesimen uji dan nilai *impact* seperti terlihat pada Tabel 4.2. Energi yang didapat dari hasil pengujian disebut energi absorb (energi yang diserap spesimen uji).

Tabel 4.2 Hasil Rata - Rata Pengujian *Impact*

Spesimen	Variasi	Es	K
		[Joule]	[J/mm <sup>2</sup> ]
Bambu Laminasi	<i>Splash Zone</i>	71,50	4,433x10 <sup>-2</sup>
	<i>Sink</i>	93,00	5,766x10 <sup>-2</sup>
Kayu Jati	<i>Splash Zone</i>	9,50	0,589x10 <sup>-2</sup>
	<i>Sink</i>	13,50	0,84 x10 <sup>-2</sup>

Pengujian *impact* dilakukan sampai spesimen uji patah dan menghasilkan energi *absorb* yang diserap spesimen uji. Berdasarkan Tabel 4.2 dari segi nilai energi *absorb* (Es), menunjukkan pada spesimen bambu laminasi variasi *sink* memiliki rata-rata energi *absorb* yang lebih tinggi dibandingkan variasi *splash zone* yaitu sebesar 93,00 J. Pada spesimen kayu Jati, variasi *sink* juga memiliki rata-rata energi *absorb* yang lebih tinggi dibandingkan variasi *splash zone* yaitu sebesar 13,50 J.

Pada tabel 4.2 dari segi nilai *impact* (K) , menunjukkan pada spesimen bambu laminasi variasi *sink* memiliki rata-rata nilai *impact* yang lebih tinggi dibandingkan variasi *splash zone* yaitu sebesar  $5,766 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup>. Pada spesimen kayu Jati, variasi *sink* juga memiliki rata-rata nilai *impact* yang lebih tinggi dibandingkan variasi *splash zone* yaitu sebesar  $0,84 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan uraian diatas, dari segi energi *absorb* dan nilai *impact* spesimen bambu laminasi memiliki nilai rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan spesimen kayu Jati.

## **4.2 Analisis Kekuatan Tarik dan *Impact***

### **4.2.1 Analisis Foto Makro**

Untuk dapat mengetahui kondisi spesimen uji setelah mendapat perlakuan *splash zone* selama 10 minggu maka perlu dilakukan pengujian foto makro. Dari pengujian foto makro akan tampak kerusakan yang terjadi pada spesimen uji. Pada spesimen uji tarik bambu laminasi variasi *splash* tampak serat pada bambu mengalami kerusakan terlampir pada Gambar 6.8. Hal ini dapat terjadi karena pada spesimen variasi *splash zone* dibatasi oleh garis batas tertinggi naiknya gelombang dan batas terendah turunnya gelombang. Dalam rentan waktu tertentu terendam penuh dengan air laut dan dalam waktu rentan waktu juga tidak terendam air laut. Media air laut, udara dan sinar terik matahari mempengaruhi kerusakan pada variasi ini. Hal ini juga terjadi pada kayu Jati variasi *splash zone* terlampir pada Gambar 6.9. Namun, bambu laminasi memiliki serat yang lebih banyak daripada kayu Jati. Sehingga saat terjadi gelombang air laut serat-serat dari bambu laminasi melindungi bagian dalam dari bambu laminasi sehingga kerusakan yang terjadi lebih kecil daripada kayu Jati.

Pada spesimen uji tarik bambu laminasi variasi *sink* tampak bambu laminasi berlumpur dan tidak terjadi kerusakan akibat gelombang air laut terlampir pada Gambar 6.10 Hal ini disebabkan akibat pengaruh perlakuan dengan media air laut. Pada variasi *sink* spesimen terendam penuh dengan air laut yang menyebabkan bambu diawetkan oleh air

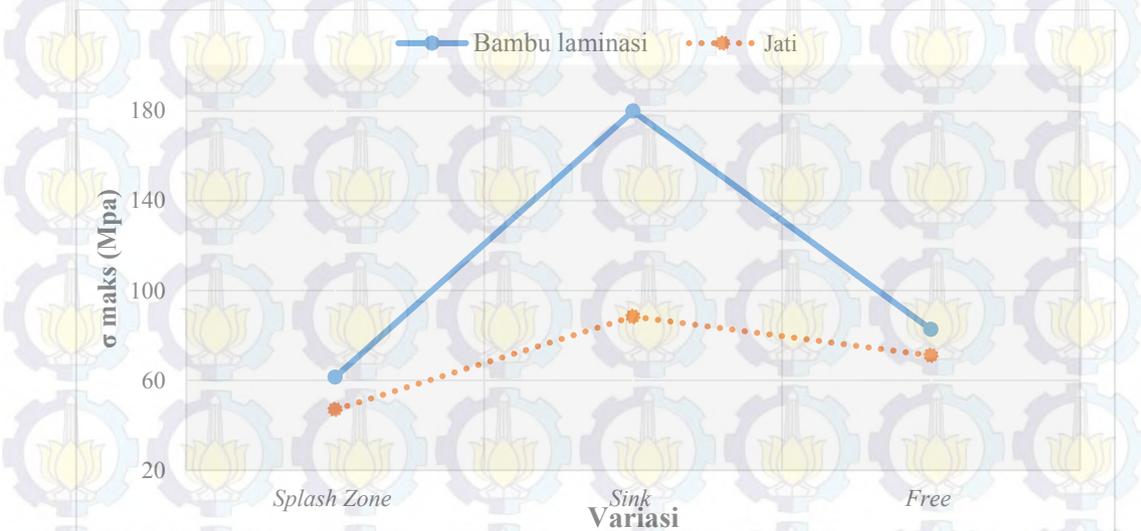
laut. Semakin tinggi kandungan air laut yang diserap bambu laminasi, semakin kuat pula kekuatannya untuk menahan beban dinamis, misalnya gelombang air laut. Hal ini juga terjadi pada kayu Jati variasi *sink* terlampir pada Gambar 6.11

Pada spesimen bambu laminasi dan kayu Jati yang diberikan perlakuan *splash zone* juga mengalami kerusakan pada permukaannya terlampir pada Gambar 6.12. Kandungan salinitas air laut yang terserap spesimen pada saat terendam penuh berinteraksi dengan udara luar saat tidak terendam air laut sehingga menyebabkan spesimen mengalami kerusakan pada permukaannya. Pada bambu laminasi uji tarik variasi *splash zone* kerusakannya lebih kecil daripada kayu Jati karena bambu memiliki serat yang lebih banyak daripada kayu jati. Serat-serat dari bambu yang terendam air laut membuat bambu semakin ulet menerima beban kejut akibat gelombang air laut maupun menabrak bongkahan kayu saat berlayar.

Pada spesimen uji *impact* bambu laminasi dan kayu Jati yang diberikan perlakuan *sink* pada permukaannya berlumpur dan tidak terjadi kerusakan. Air laut yang berinteraksi langsung dengan spesimen uji mengawetkan spesimen uji. Pada bambu laminasi tampak bambu lebih baik menyerap air laut daripada kayu Jati.

#### 4.2.2 Analisis Kekuatan Tarik

Kayu Jati pada umumnya digunakan untuk bahan pembuatan kapal ikan. Oleh karena itu, diperlukan perbandingan kekuatan tarik bambu laminasi dengan kayu Jati. Perbandingan ini meliputi nilai kuat tarik ( $\sigma_{maks}$ ) dan modulus elastisitas (MoE).



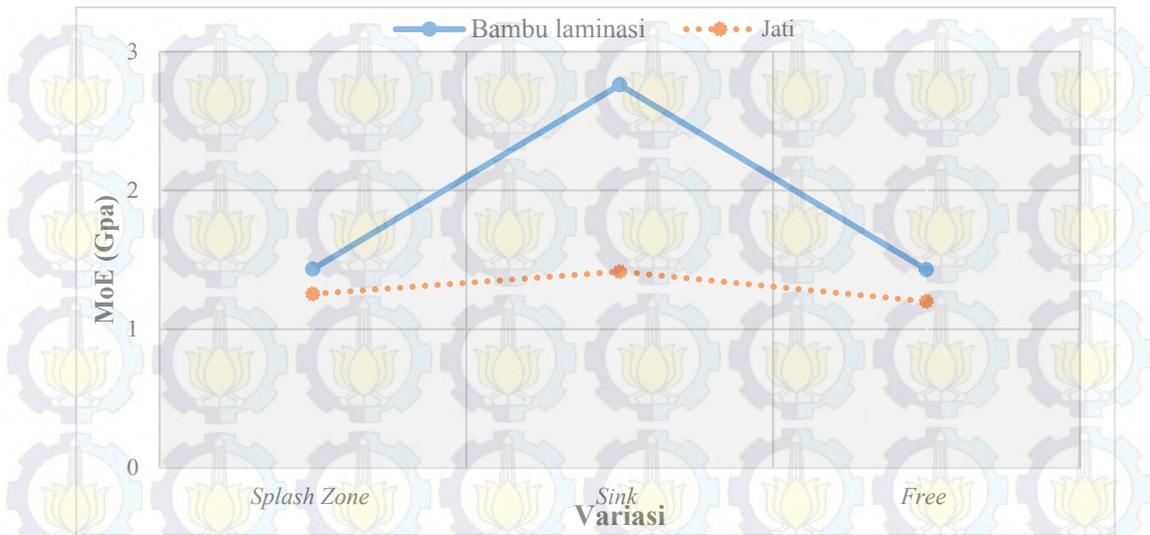
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Rata-rata Kuat Tarik Bambu Laminasi dan Kayu Jati

Gambar 4.7 menunjukkan spesimen bambu laminasi pada variasi *sink* memiliki rata-rata kuat tarik lebih tinggi dibandingkan variasi bambu laminasi lainnya. Sedangkan variasi *splash zone* memiliki rata-rata kuat tarik yang lebih kecil daripada variasi bambu laminasi lainnya. Perbedaannya signifikan dapat dilihat dari gambar grafik diatas. Pada spesimen kayu Jati variasi *sink* juga memiliki rata-rata kuat tarik lebih tinggi dibandingkan variasi kayu Jati lainnya. Sedangkan pada variasi *splash zone* memiliki rata-rata kuat tarik yang lebih kecil dibandingkan variasi kayu Jati lainnya.

Dari pemaparan di atas, spesimen bambu laminasi dan kayu Jati pada variasi *sink* memiliki rata-rata nilai kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya. Perbedaan ini dapat terjadi akibat pengaruh perlakuan dengan air laut. Pada variasi *sink* spesimen terendam penuh dengan air laut yang menyebabkan nilai kuat tariknya bertambah. Hal ini berbanding terbalik pada spesimen bambu laminasi dan kayu Jati variasi *splash zone* yang memiliki nilai kuat tarik lebih kecil dibandingkan variasi lainnya. Hal ini dapat terjadi karena pada spesimen variasi *splash zone* dibatasi oleh garis batas tertinggi naiknya gelombang dan batas terendah turunnya gelombang. Dalam rentan waktu tertentu terendam penuh dengan air laut dan dalam waktu rentan waktu juga tidak terendam air laut. Media air laut, udara dan sinar terik matahari mempengaruhi perubahan sifat mekanik pada variasi *splash zone*.

Gambar 4.7 juga menunjukkan spesimen bambu laminasi memiliki nilai rata-rata kuat tarik lebih besar daripada kayu Jati pada variasi *free*, *splash zone* dan *sink*. Bambu laminasi variasi *splash zone* memiliki kuat tarik 14,461 MPa lebih tinggi dibandingkan dengan kayu Jati, bambu laminasi variasi *sink* memiliki kuat tarik 91,512 MPa lebih tinggi dibandingkan dengan kayu Jati, dan bambu laminasi variasi *free* memiliki kuat tarik 11,608 MPa lebih tinggi dibandingkan dengan kayu jati.

Perbedaan pada variasi *sink* dapat terjadi akibat perlakuan dengan air laut. Air laut mempengaruhi perubahan sifat mekanik pada bambu laminasi, semakin lama bagian bambu laminasi tercelup air laut, nilai kuat tariknya akan bertambah. Perlakuan bambu laminasi dengan air laut yang dikondisikan pada variasi *sink* mengakibatkan bambu laminasi menjadi awet dan lebih kuat daripada kayu Jati. Hal ini menunjukkan bahwa bambu laminasi memiliki keandalan yang lebih baik untuk menahan beban tarik daripada kayu Jati pada kondisi *free*, *splash zone* dan *sink*.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Rata-rata MoE Bambu Laminasi dan Kayu Jati

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa spesimen bambu laminasi pada variasi *sink* memiliki rata-rata modulus elastisitas lebih tinggi dibandingkan variasi bambu laminasi. Sedangkan pada variasi *free* memiliki rata-rata modulus elastisitas yang lebih kecil daripada variasi bambu laminasi lainnya. Pada spesimen kayu Jati variasi *sink* juga memiliki rata-rata modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada variasi kayu Jati lainnya. Sedangkan pada variasi *free* memiliki rata-rata modulus elastisitas yang lebih kecil daripada variasi kayu Jati lainnya.

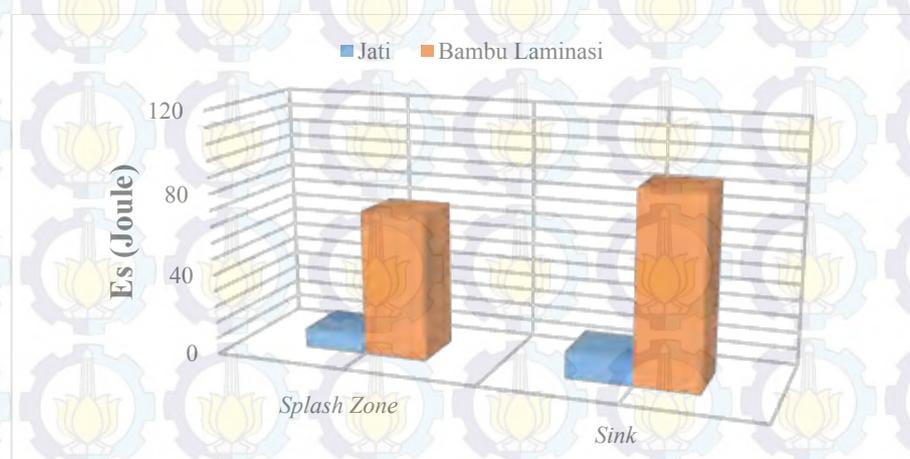
Dari pemaparan di atas, spesimen bambu laminasi dan kayu Jati pada variasi *sink* memiliki rata-rata nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya. Perbedaan ini dapat terjadi akibat pengaruh perlakuan dengan air laut yang menyebabkan nilai modulus elastisitas semakin bertambah. Sedangkan pada variasi *free* memiliki rata-rata nilai modulus elastisitas yang lebih kecil dibandingkan variasi lainnya. Hal ini berbanding terbalik dengan nilai kuat tarik pada variasi ini. Pada variasi *free* spesimen tidak terendam air laut namun hanya sinar matahari dan hujan yang menyebabkan nilai modulus elastisitasnya lebih kecil dibandingkan dengan variasi *splash zone* dan *sink* yang terendam air laut.

Gambar 4.8 juga menunjukkan nilai rata-rata modulus elastisitas bambu laminasi untuk tiap – tiap variasi lebih besar daripada kayu Jati. Perbedaannya signifikan dapat dilihat grafik tersebut. Bambu laminasi variasi *splash zone* memiliki modulus elastisitas 0,1797 GPa lebih besar dibandingkan dengan kayu Jati, bambu laminasi variasi *sink* memiliki modulus elastisitas 1,3455 GPa lebih besar dibandingkan dengan kayu Jati, dan

bambu laminasi variasi *free* memiliki modulus elastisitas 0,2289 GPa lebih besar dibandingkan dengan kayu jati. Hal ini menunjukkan bahwa bambu laminasi memiliki modulus elastisitas yang lebih baik dibandingkan dengan kayu Jati. Media air laut mempengaruhi perubahan sifat mekanik pada bambu laminasi. Penelitian sebelumnya telah diteliti oleh Rifai (2013) yang menyatakan bahwa semakin tinggi salinitas air laut yang diserap oleh bambu laminasi, maka kuat tarik semakin besar pula nilai kuat tarik dan modulus elastisitasnya. Hal ini menunjukkan bahwa bambu laminasi memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih baik daripada kayu Jati.

#### 4.2.3 Analisis Kekuatan *Impact*

Kapal ikan tidak hanya menerima beban statis, namun juga menerima beban dinamis saat berlayar maupun berlabuh. Beban dinamis ini dapat berupa gelombang air laut (ombak), bongkahan kayu dan gunung es di tengah laut yang menabrak bagian kapal. Kapal ikan umumnya menggunakan kayu sebagai material utama dalam pembuatannya. Oleh karena itu, perlu perbandingan dengan kayu Jati untuk menguji ketahanan *impact*. Perbandingan ini meliputi energi *absorb* ( $E_s$ ) dan nilai *impact* ( $K$ ).



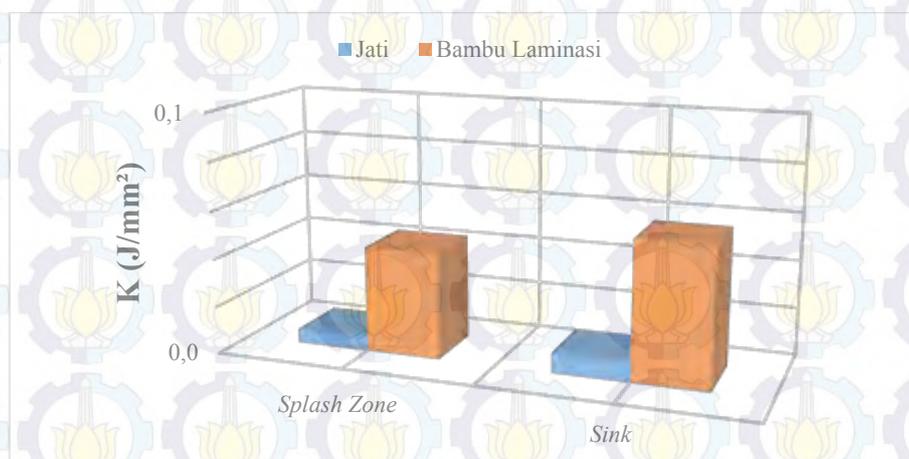
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Rata-rata Energi *Absorb* Bambu Laminasi dan Kayu Jati

Gambar 4.9 menunjukkan dari segi nilai energi *absorb* ( $E_s$ ), pada spesimen bambu laminasi variasi *sink* memiliki rata-rata energi *absorb* 21,5 J lebih tinggi dibandingkan variasi *splash zone*. Sedangkan spesimen kayu Jati, variasi *sink* juga memiliki rata-rata energi *absorb* 4 J lebih tinggi dibandingkan variasi *splash zone*.

Dari pemaparan di atas, spesimen bambu laminasi dan kayu Jati variasi *sink* memiliki nilai energi *absorb* yang lebih besar daripada variasi *splash zone*. Perbedaan pada

variasi *splash zone* dapat terjadi akibat spesimen tidak terendam penuh karena pada kondisi ini spesimen berada diantara batas gelombang air naik dan gelombang air turun. Sehingga spesimen pada kondisi ini mengalami degradasi kekuatan akibat media udara dan garam yang terkandung dalam air laut. Hal ini berbeda pada spesimen uji variasi *sink* yang terendam penuh dengan air laut. Salinitas Air laut mengakibatkan bambu laminasi semakin ulet, sehingga ketika menerima beban kejut dari gelombang air laut atau bongkahan kayu di laut bambu laminasi dan kayu Jati memiliki ketahanan *impact* yang lebih tinggi daripada variasi *splash zone*.

Gambar 4.9 juga menunjukkan bambu laminasi variasi *splash zone* mampu menyerap rata-rata energi absorb sebesar 62 J lebih tinggi dibandingkan dengan kayu jati, bambu laminasi variasi *sink* mampu menyerap rata-rata energi absorb sebesar 79,5 J lebih tinggi dibandingkan dengan kayu jati. Terdapat perbedaan nilai yang signifikan. Perbedaan ini dapat terjadi akibat serat bambu yang tercelup air laut membuat bambu semakin ulet. Hasil perpatahan ulet bambu laminasi terlihat pada Gambar 10. Perpatahan ini mengikuti arah serat. Namun perpatahan yang terjadi pada kayu Jati getas. Perpatahan getas kayu Jati dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Rata-rata Nilai *Impact* Bambu Laminasi dan Kayu Jati

Gambar 4.10 menunjukkan spesimen bambu laminasi variasi *sink* memiliki rata-rata nilai *impact*  $1,33 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup> lebih tinggi dibandingkan variasi *splash zone*. Pada spesimen kayu Jati, variasi *sink* juga memiliki rata-rata nilai *impact*  $0,25 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup> lebih tinggi dibandingkan variasi *splash zone*.

Gambar 4.10 juga menunjukkan bambu laminasi variasi *sink* memiliki nilai *impact* sebesar  $3,84 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup> lebih tinggi dibandingkan dengan kayu Jati, bambu laminasi

variasi *sink* memiliki nilai *impact* sebesar  $4,93 \times 10^{-2}$  J/mm<sup>2</sup> lebih tinggi dibandingkan dengan kayu Jati. Terdapat perbedaan nilai yang signifikan. Perbedaan ini dapat terjadi akibat serat bambu yang tercelup air laut membuat bambu semakin ulet. Hal ini dapat dilihat saat setelah pengujian, perpatahan pada spesimen bambu laminasi mengikuti serat dan tidak getas. Pada spesimen kayu Jati perpatahan yang terjadi getas.

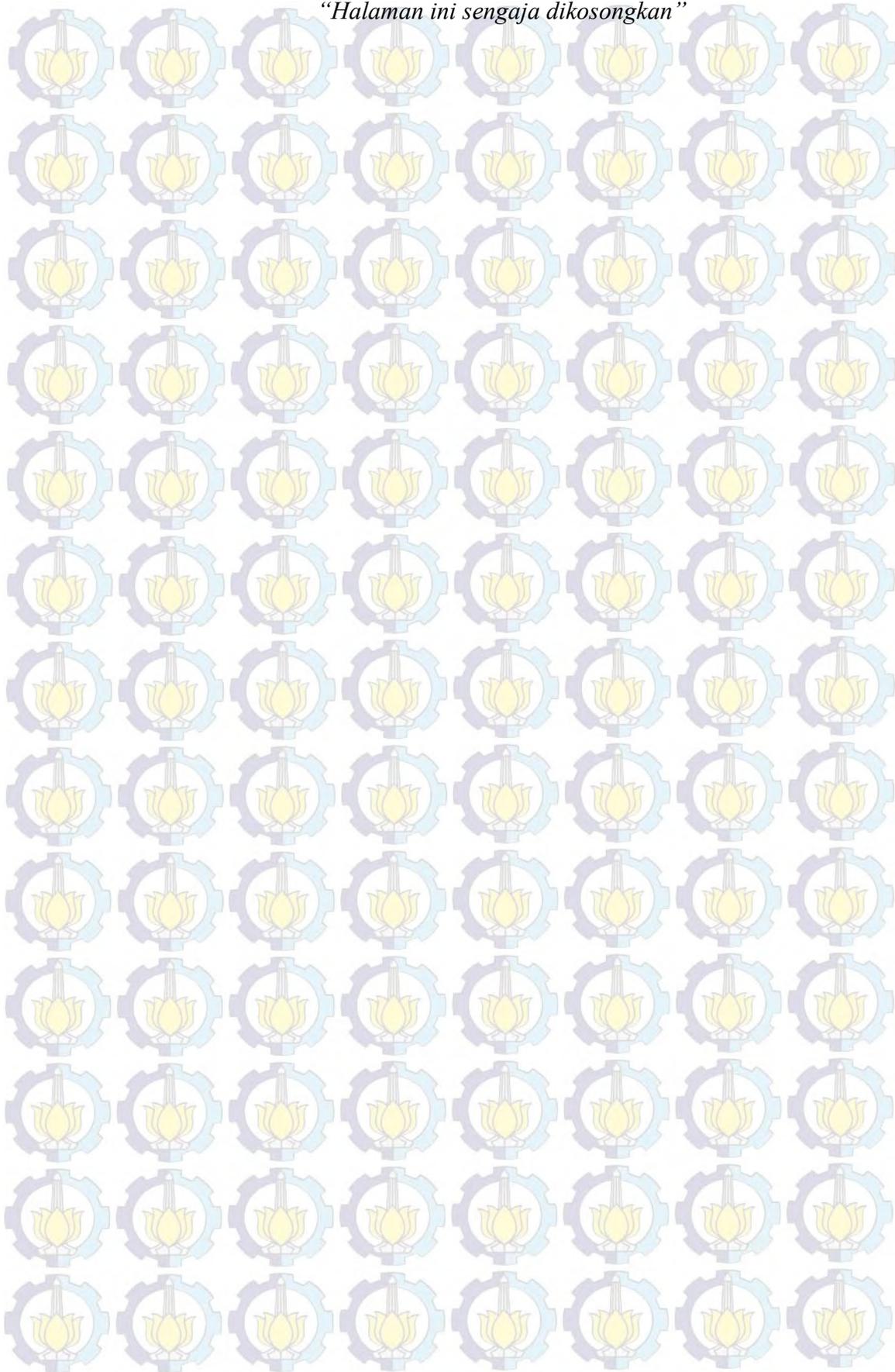
#### 4.2.4 Tegangan Izin Konstruksi Kapal Kayu Biro Klasifikasi Indonesia Tahun 1996

Dalam perencanaan konstruksi yang akan dirancang harus mampu menahan beban statik dan beban dinamis. Perencanaan konstruksi dari bambu harus memperhitungkan faktor aman yang disyaratkan. Kuat tarik merupakan gaya yang sangat dominan dalam kapal. Hal dapat dilihat pada saat kapal pada posisi *hogging* dan *sagging*. Berdasarkan Peraturan Konstruksi Kapal Kayu Biro Klasifikasi Indonesia Tahun 1996 untuk tegangan izin konstruksi pada kapal sebesar 42,17 MPa. Sedangkan bambu laminasi yang diberikan beban statik dan dinamis memiliki rata – rata kuat tarik masing-masing untuk daerah *free*, *splash zone* dan *sink* sebesar 82,667 MPa; 61,444 MPa dan 179,893 MPa. Dari segi kuat tarik bambu laminasi memenuhi tegangan izin dari Peraturan Kapal Kayu sebagai konstruksi lambung kapal pada kondisi *free*, *splash zone* dan *free*.

Berdasarkan Peraturan Kapal Kayu Biro Klasifikasi Indonesia Tahun 1996 juga menyatakan bahwa bahan untuk pembangunan kapal kayu harus mampu bertahan terhadap air dan cuaca. Bambu laminasi memiliki ketahanan yang baik terhadap kadar garam air laut, dimana kekuatan *impact* semakin tinggi seiring dengan semakin tingginya salinitas air laut dan lamanya proses perendaman dengan air laut. Air laut mengawetkan bambu laminasi sehingga kekuatan *impact* semakin bertambah dan mengakibatkan perpatahan yang terjadi pada spesimen bambu laminasi ulet / tidak getas. Berbeda dengan spesimen kayu Jati perpatahan yang terjadi getas.

Bambu laminasi yang diberikan perlakuan *splash zone* selama 10 minggu sifat mekaniknya semakin berkurang dari segi kuat tarik maupun kuat *impact* daripada variasi lainnya, namun masih memenuhi dari tegangan izin Peraturan Kapal Kayu tahun 1996. Dari uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa bambu laminasi dapat digunakan sebagai konstruksi kapal kayu pada lambung kapal ikan yang rentan pada kondisi *splash zone*.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

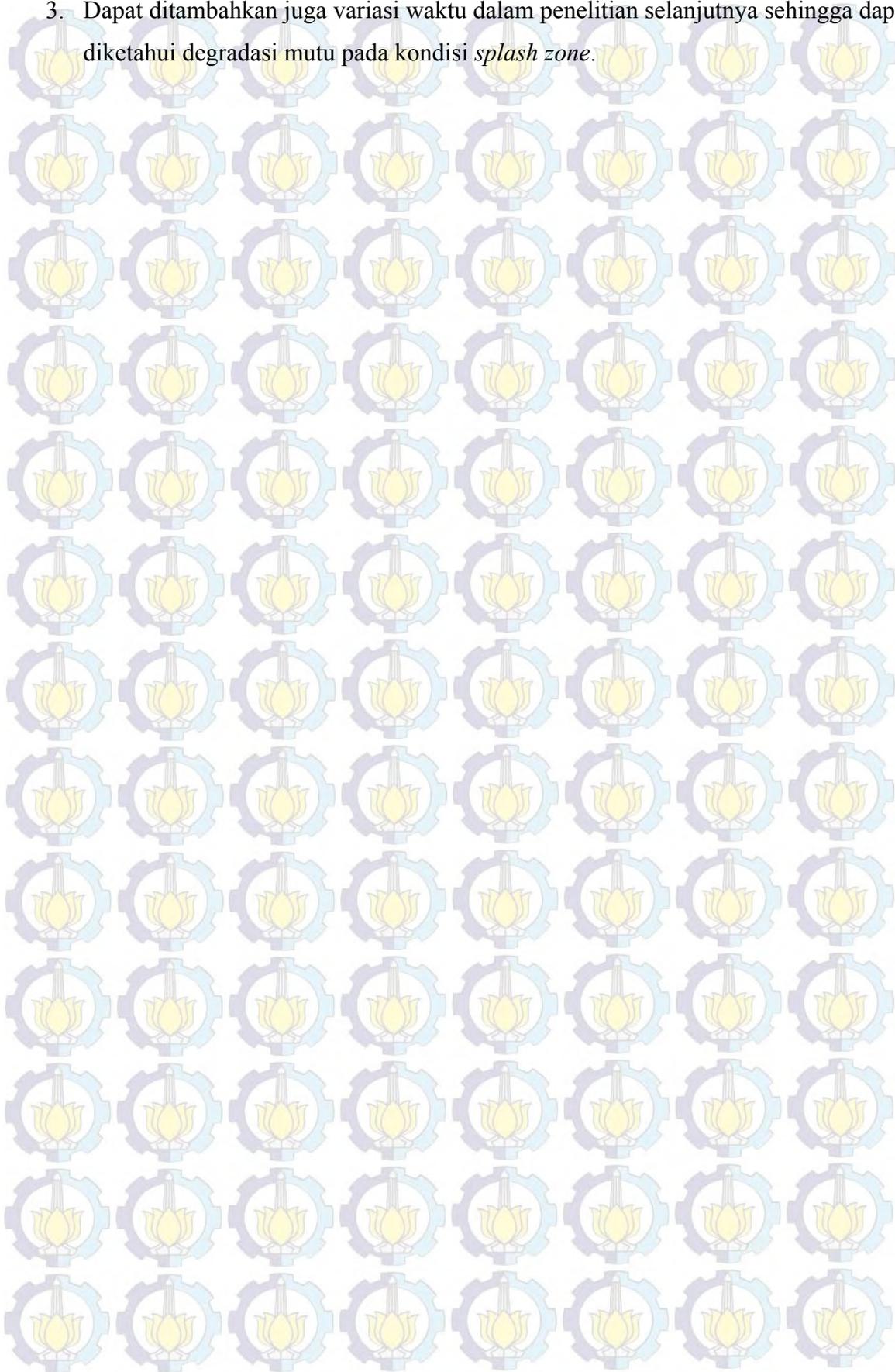
Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dan perhitungan hasil pengujian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan sifat mekanis yang terjadi pada bambu laminasi dari segi kuat tarik , yaitu bambu laminasi variasi *splash zone* memiliki kuat tarik **14,461 MPa** lebih tinggi dibandingkan dengan kayu Jati, bambu laminasi variasi *sink* memiliki kuat tarik **91,512 MPa** lebih tinggi dibandingkan dengan kayu Jati, bambu laminasi variasi *free* memiliki kuat tarik **11,608 MPa** lebih tinggi dibandingkan dengan kayu Jati.
2. Perubahan sifat mekanis yang terjadi pada bambu laminasi dari segi besar nilai *impact* , yaitu bambu laminasi variasi *splash zone* memiliki nilai *impact* sebesar  **$3,84 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$**  lebih tinggi dibandingkan dengan kayu Jati, bambu laminasi variasi *sink* memiliki nilai *impact* sebesar  **$4,93 \times 10^{-2} \text{ J/mm}^2$**  lebih tinggi dibandingkan dengan kayu Jati. Perbedaan ini dapat terjadi akibat serat bambu yang tercelup air laut membuat bambu semakin ulet. Hal ini dapat dilihat saat setelah pengujian, perpatahan pada spesimen bambu laminasi mengikuti serat dan tidak getas. Pada spesimen kayu Jati perpatahan yang terjadi getas.
3. Material bambu laminasi memenuhi tegangan izin dari Peraturan Kapal Kayu Biro Klasifikasi Indonesia sebagai konstruksi lambung yang rentan akibat pengaruh *splash zone*.

#### 5.2 Saran

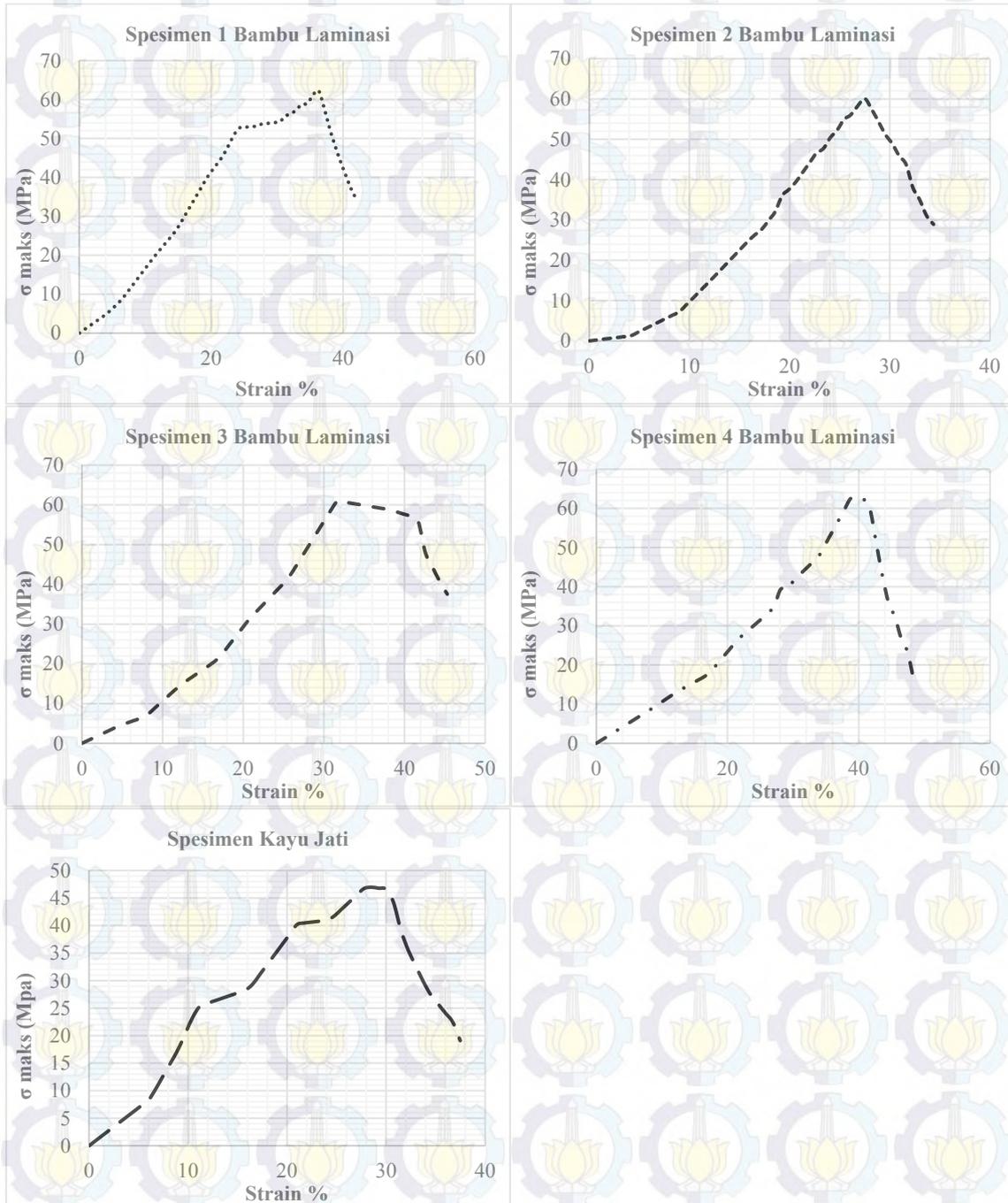
1. Untuk pengembangan untuk penelitian selanjutnya pada pengaruh *splash zone* dapat disertai juga dengan laju korosinya karena terjadi pengurangan kekuatan tarik dan nilai *impact* bambu laminasi pada variasi *splash zone* apabila dibandingkan dengan variasi *Free* dan *Sink*.
2. Penambahan jenis bambu selain bambu Ori dapat dijadikan sebagai pembanding untuk penelitian selanjutnya.

3. Dapat ditambahkan juga variasi waktu dalam penelitian selanjutnya sehingga dapat diketahui degradasi mutu pada kondisi *splash zone*.

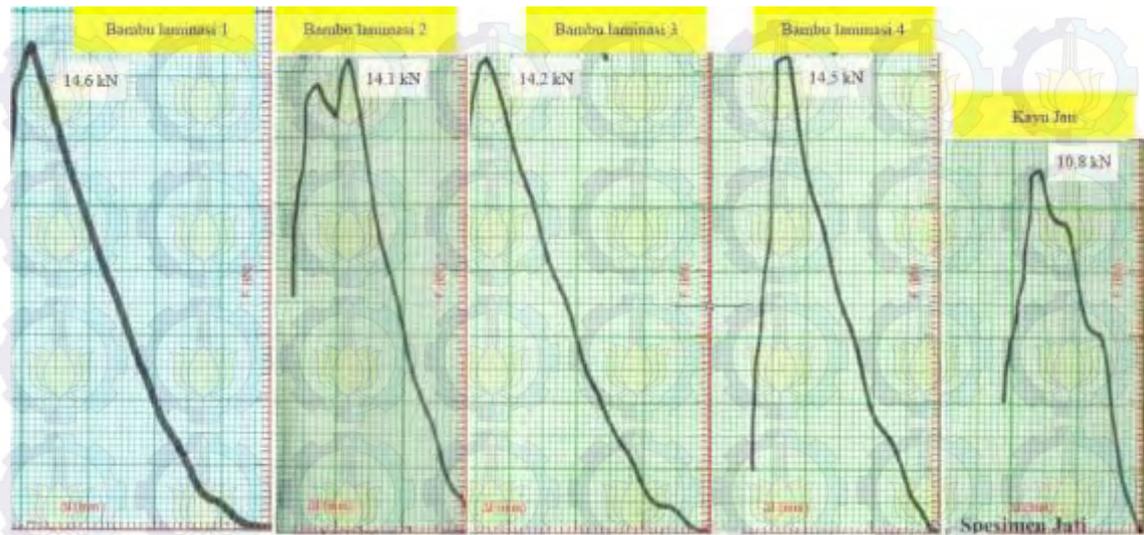


# LAMPIRAN

## 6.1 Lampiran Grafik Kuat Tarik Variasi 1 (*Splash Zone*)



Gambar 6.1 Grafik Perbandingan Kuat Tarik dan Regangan Variasi *Splash Zone*



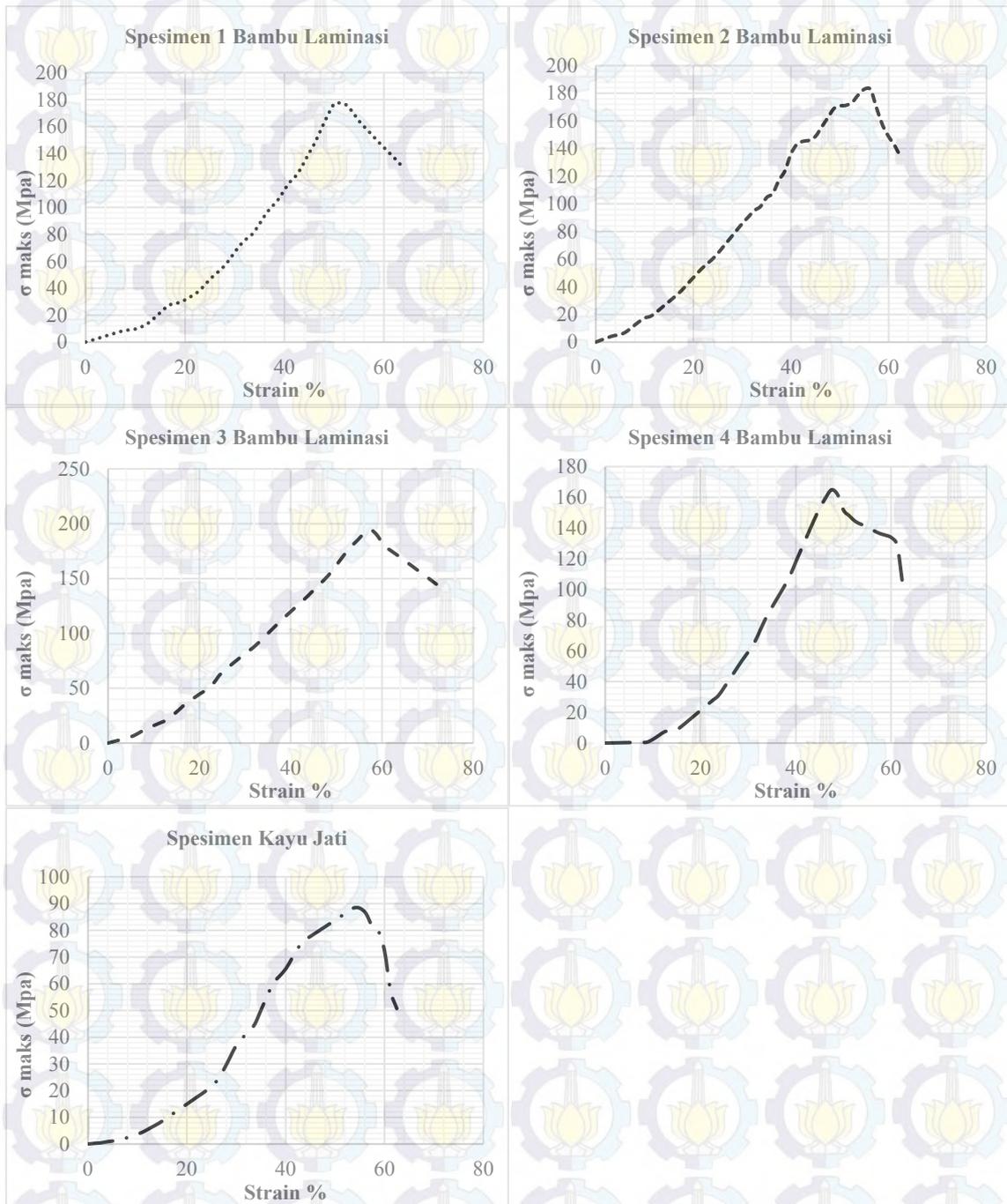
Gambar 6.2 Grafik *Milimeter Block* Pengujian Tarik Variasi *Splash Zone*

## 6.2 Lampiran Perhitungan Uji Tarik Variasi *Splash Zone*

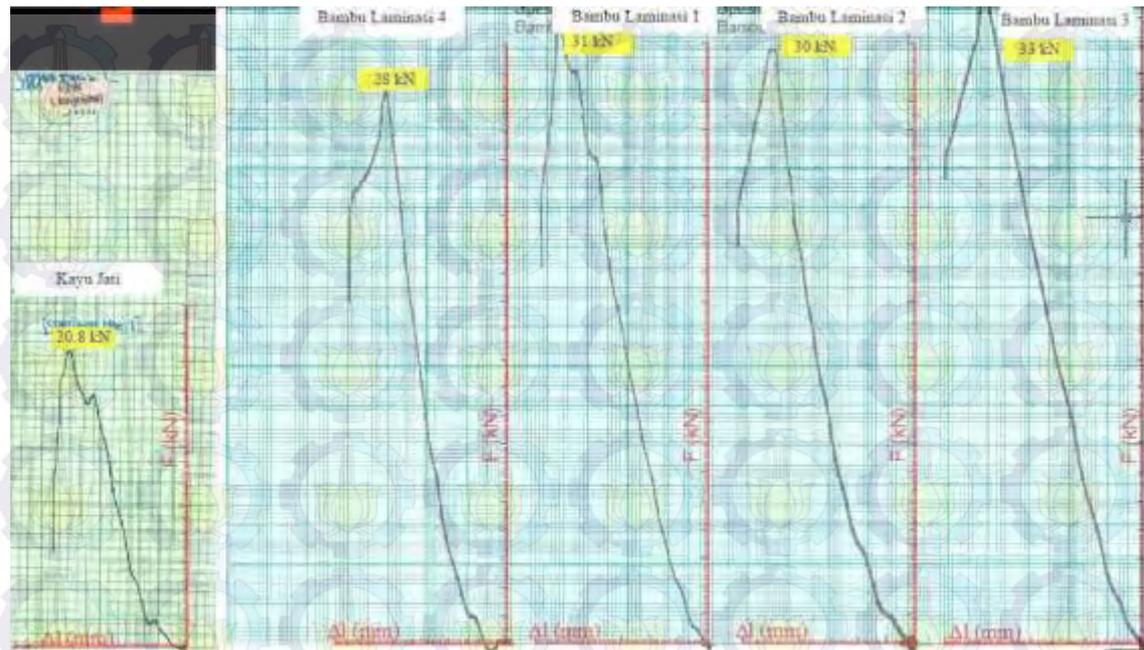
Tabel 6.1 Perhitungan Uji Tarik Variasi *Splash Zone*

Spesimen	Tebal [mm]	Lebar [mm]	Panjang Awal [mm]	Luasan [mm <sup>2</sup> ]	Beban [kN]	ΔL [mm]	Regangan [mm]
Bambu Laminasi 1	18,00	13,00	64,00	234,000	14,60	26,000	40,625
Bambu Laminasi 2	18,00	13,00	64,00	234,000	14,10	27,000	42,188
Bambu Laminasi 3	18,00	13,00	64,00	234,000	14,20	29,000	45,313
Bambu Laminasi 4	18,00	13,00	64,00	234,000	14,50	28,000	43,750
				<b>Rata-rata</b>	<b>14,35</b>	<b>27,500</b>	<b>42,969</b>
Kayu Jati	18,00	13,00	64,00	234,000	10,80	24,000	37,500

### 6.3 Lampiran Grafik Kuat Tarik Variasi 2 (*Sink*)



Gambar 6.3 Grafik Perbandingan Kuat Tarik dan Regangan Variasi *Sink*



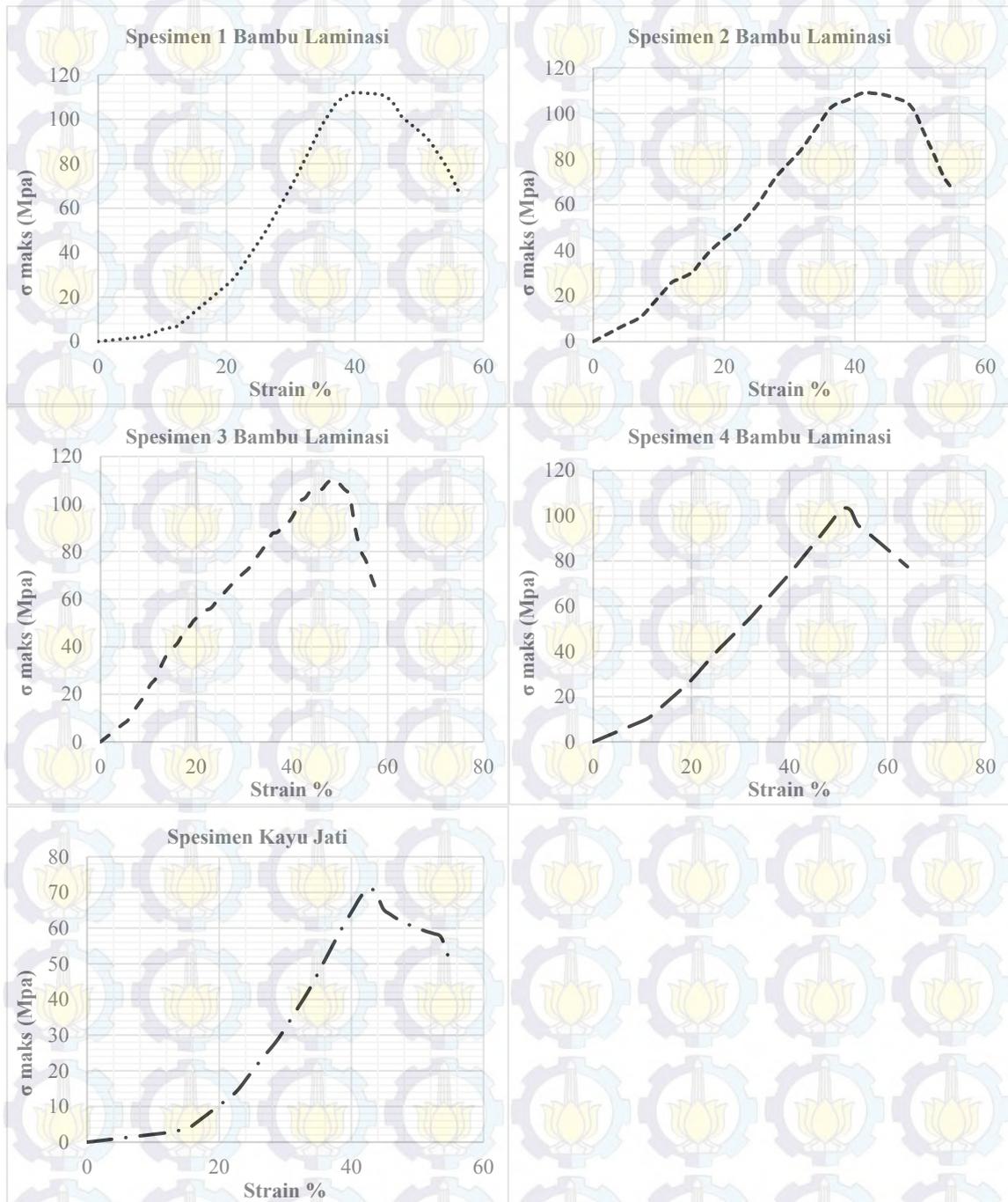
Gambar 6.4 Grafik Milimeter Block Pengujian Tarik Variasi Sink

#### 6.4 Lampiran Perhitungan Uji Tarik Variasi Sink

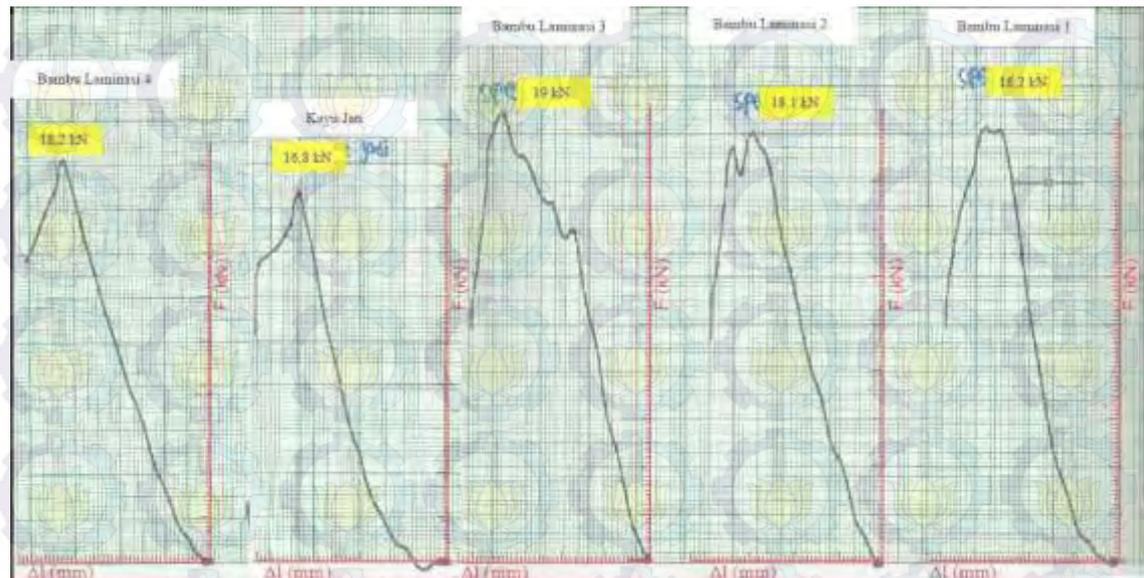
Tabel 6.2 Perhitungan Uji Tarik Variasi Sink

Spesimen	Tebal [mm]	Lebar [mm]	Panjang Awal [mm]	Luasan [mm <sup>2</sup> ]	Beban [kN]	ΔL [mm]	Regangan
Bambu Laminasi 1	18,00	13,00	64,00	234,000	31	41,000	64,0625
Bambu Laminasi 2	18,00	13,00	64,00	234,000	30	40,000	62,5000
Bambu Laminasi 3	18,00	13,00	64,00	234,000	33	46,000	71,8750
Bambu Laminasi 4	18,00	13,00	64,00	234,000	28	40,000	62,5000
				<b>Rata-rata</b>	<b>30,5</b>	<b>41,750</b>	<b>65,2344</b>
Kayu Jati	18,00	13,00	64,00	234,000	20,8	40,000	62,5000

### 6.5 Lampiran Grafik Kuat Tarik Variasi 3 (Free)



Gambar 6.5 Grafik Perbandingan Kuat Tarik dan Regangan Variasi *Free*



Gambar 6.6 Grafik Milimeter Block Pengujian Tarik Variasi Free

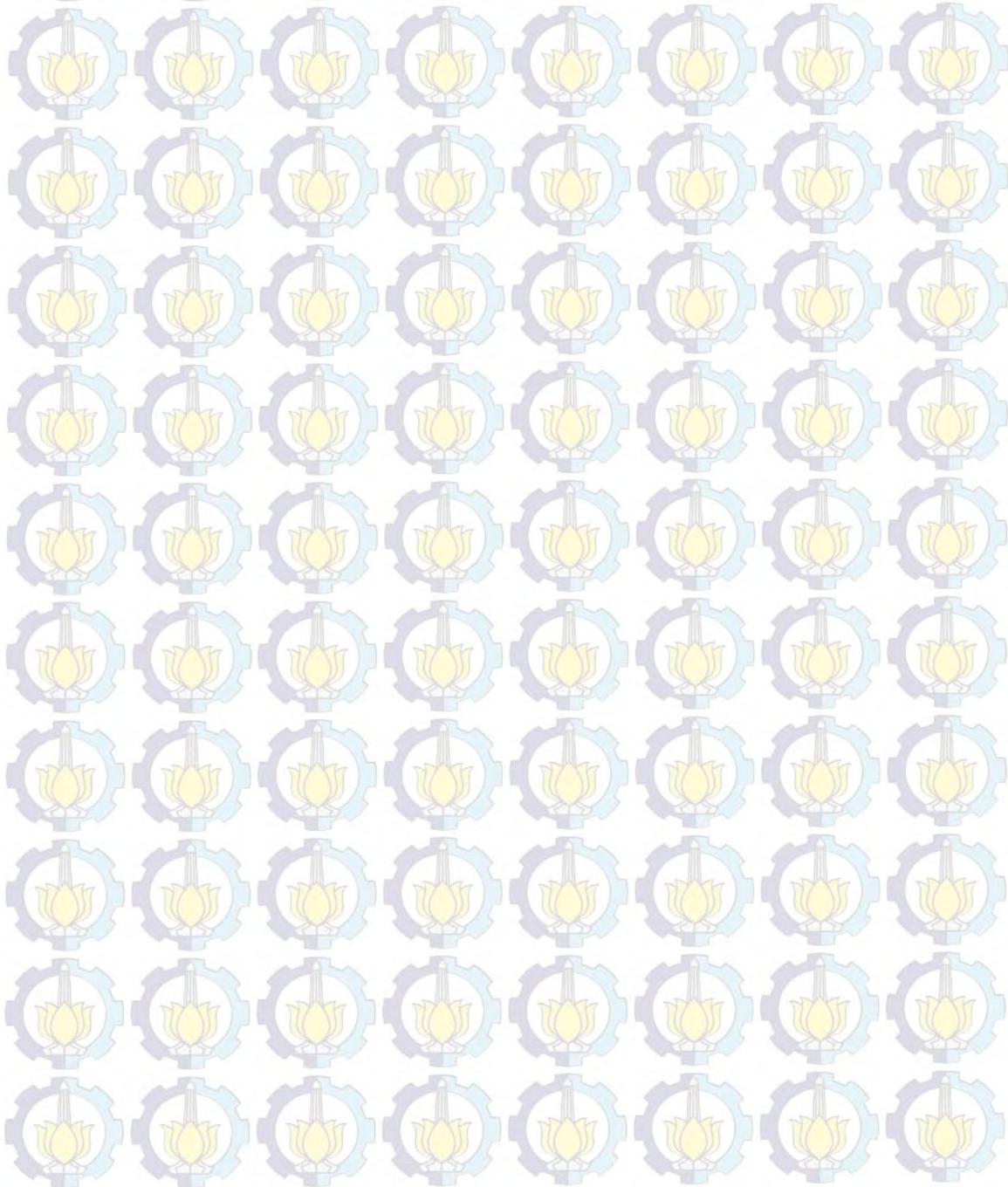
### 6.6 Lampiran Perhitungan Uji Tarik Variasi Free

Tabel 6.3 Perhitungan Uji Tarik Variasi Free

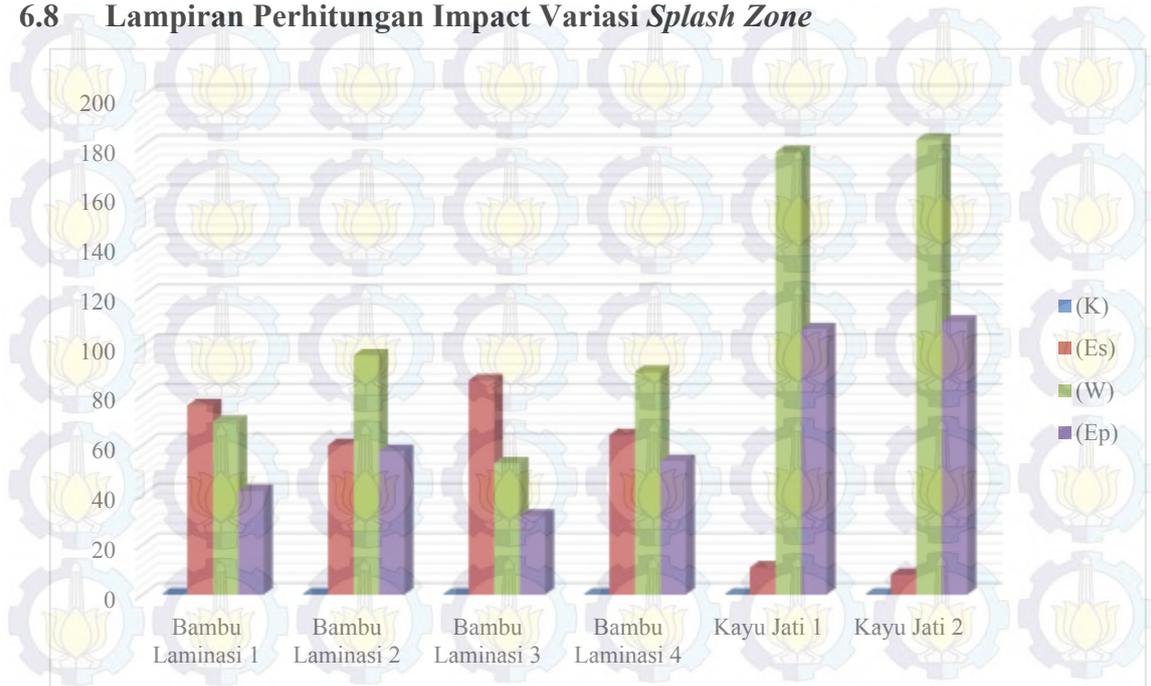
Spesimen	Tebal [mm]	Lebar [mm]	Panjang Awal [mm]	Luasan [mm <sup>2</sup> ]	Beban [kN]	ΔL [mm]	Regangan
Bambu Laminasi 1	18,00	13,00	64,00	234,00	18,2	36,00	56,25
Bambu Laminasi 2	18,00	13,00	64,00	234,00	18,1	35,00	54,68
Bambu Laminasi 3	18,00	13,00	64,00	234,00	19,0	37,00	57,81
Bambu Laminasi 4	18,00	13,00	64,00	234,00	18,2	37,00	64,06
				Rata-rata	18,375	36,250	58,2031
Kayu Jati	18,00	13,00	64,00	234,00	16,8	35,000	54,6875

## 6.7 Rekapitulasi Perhitungan Tarik

Spesimen	Variasi	$P_{maks}$ [N]	A [mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{maks}$ [Mpa]	MoE [Gpa]
Bambu Laminasi	<i>Splash Zone</i>	14377,960	234,000	61,444	1,4326
	<i>Sink</i>	30825,000	234,000	179,893	2,7596
	<i>Free</i>	18480,000	234,000	82,667	1,4279
Kayu Jati	<i>Splash Zone</i>	10994,040	234,000	46,983	1,2529
	<i>Sink</i>	20810,000	234,000	88,381	1,4141
	<i>Free</i>	16830,000	234,000	71,060	1,1990



## 6.8 Lampiran Perhitungan Impact Variasi *Splash Zone*



Gambar 6.6 Grafik Perbandingan Uji Impact Variasi *Splash Zone*

Tabel 6.4 Perhitungan Energi *Absorb*

Variasi <i>Splash Zone</i>	Panjang [mm]	Lebar [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	m [kg]	g [m/s <sup>2</sup> ]	cos $\alpha$ [160°]	cos $\delta$ [30°]	$\lambda$ [m]	h [m]	Hasil [Joule]
Bambu Laminasi 1	127	12,7	1612,9	8	9,81	-0,9396	0,8660	0,83	0,6	76
Bambu Laminasi 2	127	12,7	1612,9	8	9,81	-0,9396	0,8660	0,83	0,6	60
Bambu Laminasi 3	127	12,7	1612,9	8	9,81	-0,9396	0,8660	0,83	0,6	86
Bambu Laminasi 4	127	12,7	1612,9	8	9,81	-0,9396	0,8660	0,83	0,6	64
Kayu Jati 1	127	12,7	1612,9	8	9,81	-0,9396	0,8660	0,83	0,6	11
Kayu Jati 2	127	12,7	1612,9	8	9,81	-0,9396	0,8660	0,83	0,6	8

Tabel 6.5 Perhitungan Energi Potensial

Variasi <i>Splash Zone</i>	m [kg]	cos $\alpha$ [160°]	cos $\delta$ [30°]	$\lambda$ [m]	h [m]	g [m/s <sup>2</sup> ]	Hasil [Joule]	$E_m$ [Joule]	$E_p$ [Joule]
Bambu Laminasi 1	8	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	9,81	76	117,615	41,6152
Bambu Laminasi 2	8	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	9,81	60	117,615	57,6152
Bambu Laminasi 3	8	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	9,81	86	117,615	31,6152
Bambu Laminasi 4	8	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	9,81	64	117,615	53,6152
Kayu Jati 1	8	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	9,81	11	117,615	106,615
Kayu Jati 2	8	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	9,81	8	117,615	109,615

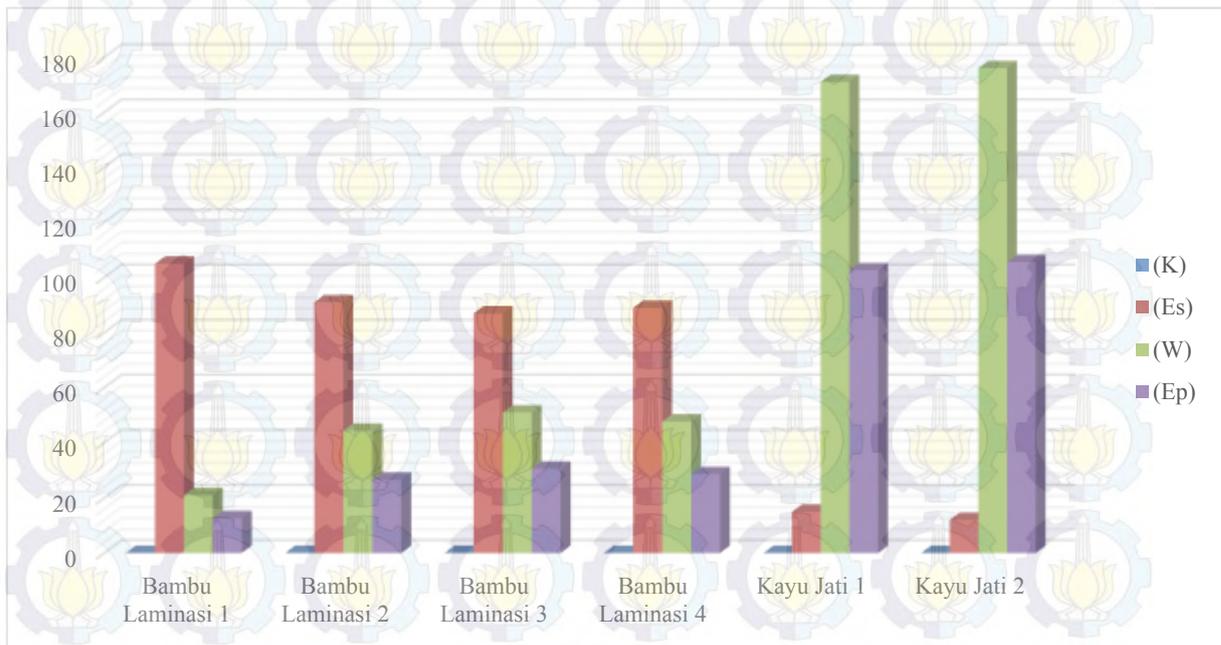
Tabel 6.6 Perhitungan Usaha (W)

Variasi <i>Splash Zone</i>	$E_p$ [Joule]	h [m]	W [N]
Bambu Laminasi 1	41,6152	0,6	69,359
Bambu Laminasi 2	57,6152	0,6	96,025
Bambu Laminasi 3	31,6152	0,6	52,692
Bambu Laminasi 4	53,6152	0,6	89,359
Kayu Jati 1	106,615	0,6	177,692
Kayu Jati 2	109,615	0,6	182,692

Tabel 6.7 Perhitungan Energi *Absorb*

Variasi <i>Splash Zone</i>	A [mm <sup>2</sup> ]	Hasil [Joule]	K [J/mm <sup>2</sup> ]
Bambu Laminasi 1	1612,9	76	4,71x10 <sup>-2</sup>
Bambu Laminasi 2	1612,9	60	3,72x10 <sup>-2</sup>
Bambu Laminasi 3	1612,9	86	5,33x10 <sup>-2</sup>
Bambu Laminasi 4	1612,9	64	3,97x10 <sup>-2</sup>
Kayu Jati 1	1612,9	11	0,68x10 <sup>-2</sup>
Kayu Jati 2	1612,9	8	0,50x10 <sup>-2</sup>

## 6.9 Lampiran Perhitungan Impact Variasi Sink



Gambar 6.7 Grafik Perbandingan Uji Impact Variasi Sink

Tabel 6.8 Perhitungan Energi Absorb

Variasi Sink	Panjang [mm]	Lebar [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	m [kg]	g [m/s <sup>2</sup> ]	cos $\alpha$ [160°]	cos $\delta$ [30°]	$\lambda$ [m]	h [m]	Hasil [Joule]
Bambu Laminasi 1	127	12,7	1612,9	8	9,81	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	105
Bambu Laminasi 2	127	12,7	1612,9	8	9,81	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	91
Bambu Laminasi 3	127	12,7	1612,9	8	9,81	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	87
Bambu Laminasi 4	127	12,7	1612,9	8	9,81	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	89
Kayu Jati 1	127	12,7	1612,9	8	9,81	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	15
Kayu Jati 2	127	12,7	1612,9	8	9,81	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	12

Tabel 6.9 Perhitungan Energi Potensial

Variasi Sink	m [kg]	cos $\alpha$ [160°]	cos $\delta$ [30°]	$\lambda$ [m]	h [m]	g [m/s <sup>2</sup> ]	Hasil [Joule]	$E_m$ [Joule]	$E_p$ [Joule]
Bambu Laminasi 1	8	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	9,81	105	117,615	12,6152
Bambu Laminasi 2	8	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	9,81	91	117,615	26,6152
Bambu Laminasi 3	8	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	9,81	87	117,615	30,6152
Bambu Laminasi 4	8	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	9,81	89	117,615	28,6152
Kayu Jati 1	8	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	9,81	15	117,615	102,615
Kayu Jati 2	8	-0,9396	0,86602	0,83	0,6	9,81	12	117,615	105,615

Tabel 6.10 Perhitungan Usaha (W)

<b>Variasi 2 Sink</b>	<b><math>E\rho</math> [Joule]</b>	<b>h [m]</b>	<b>W [N]</b>
Bambu Laminasi 1	12,6152	0.6	21,02532968
Bambu Laminasi 2	26,6152	0.6	44,35866301
Bambu Laminasi 3	30,6152	0.6	51,02532968
Bambu Laminasi 4	28,6152	0.6	47,69199635
Kayu Jati 1	102,6152	0.6	171,0253297
Kayu Jati 2	105,6152	0.6	176,0253297

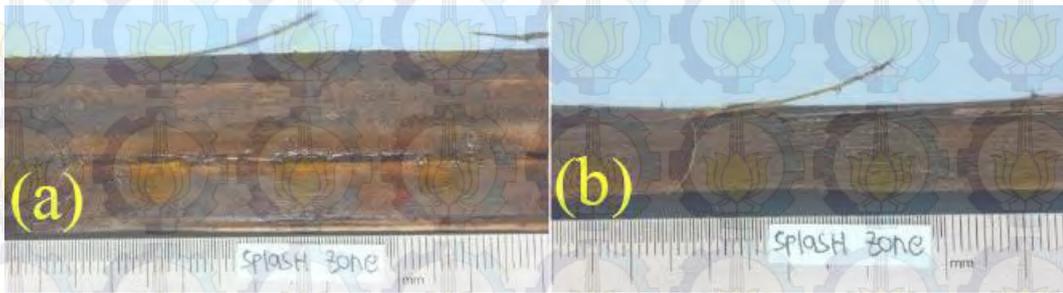
Tabel 6.11 Perhitungan Nilai *Impact*

<b>Variasi Sink</b>	<b>A [mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Hasil [Joule]</b>	<b>K [J/mm<sup>2</sup>]</b>
Bambu Laminasi 1	1612,9	105	6,510013
Bambu Laminasi 2	1612,9	91	5,6420113
Bambu Laminasi 3	1612,9	87	5,3940108
Bambu Laminasi 4	1612,9	89	5,518011
Kayu Jati 1	1612,9	15	0,9300019
Kayu Jati 2	1612,9	12	0,7440015

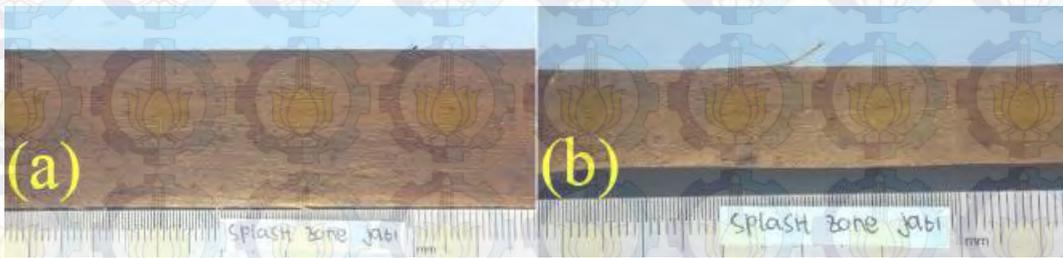
## 6.10 Rekapitulasi Perhitungan *Impact*

Spesimen	Variasi	A [mm <sup>2</sup> ]	Es [Joule]	K [J/mm <sup>2</sup> ]
Bambu Laminasi	<i>Splash Zone</i>	1612,90	71.50	4,43x10 <sup>-2</sup>
	<i>Sink</i>	1612,90	93.00	5,77x10 <sup>-2</sup>
Kayu Jati	<i>Splash</i>	1612,90	9.50	0,59x10 <sup>-2</sup>
	<i>Sink</i>	1612,90	13.50	0,84x10 <sup>-2</sup>

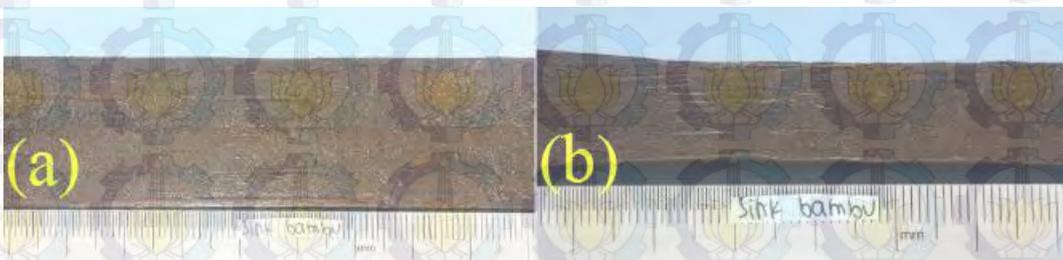
## 6.11 Lampiran Foto Makro Spesimen



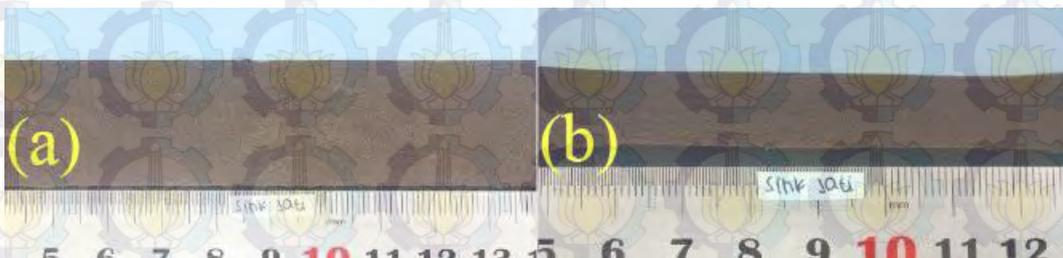
Gambar 6.8 Foto Makro Bambu Laminasi Variasi *Splash Zone* Uji Tarik Sebelum Diuji  
(a) Tampak Samping (b) Tampak Atas



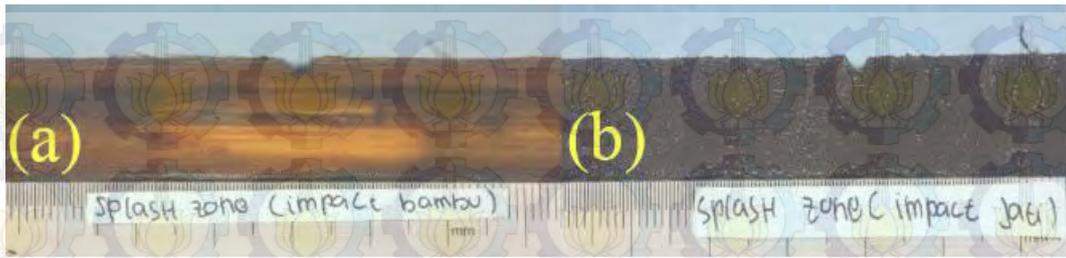
Gambar 6.9 Foto Makro Kayu Jati Variasi *Splash Zone* Uji Tarik Sebelum Diuji  
(a) Tampak Samping (b) Tampak Atas



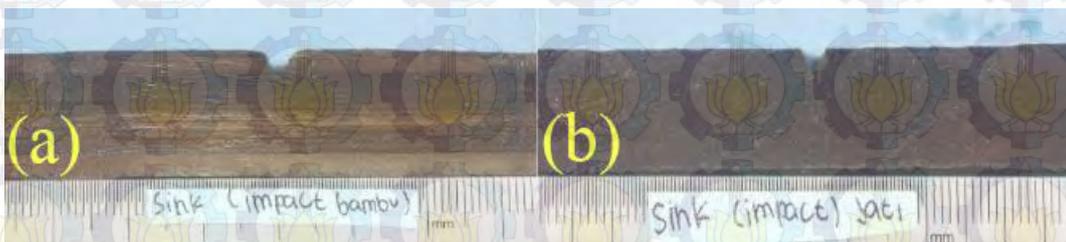
Gambar 6.10 Foto Makro Bambu Laminasi Variasi *Sink* Uji Tarik Sebelum Diuji  
(a) Tampak Samping (b) Tampak Atas



Gambar 6.11 Foto Makro Kayu Jati Variasi *Sink* Uji Tarik Sebelum Diuji  
(a) Tampak Samping (b) Tampak Atas



Gambar 6.12 Foto Makro Uji *Impact* Variasi *Splash Zone* Tampak Samping  
(a) Bambu Laminasi (b) Kayu Jati



Gambar 6.13 Foto Makro Uji *Impact* Variasi *Sink*  
(a) Bambu Laminasi (b) Kayu Jati



Gambar 6.14 Perpatahan Spesimen Uji *Impact* Bambu Laminasi



Gambar 6.15 Perpatahan Spesimen Uji *Impact* Kayu Jati

## 6.12 Lampiran Standard Pengujian Tarik dan Impact

### Standard Test Methods for Structural Panels in Tension<sup>1</sup>

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 ( $\epsilon$ ) 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<sup>2</sup>

D 4442 Test Method for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials<sup>2</sup>

#### 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  $65 \pm 2\%$  at a temperature of  $(68 \pm 6^\circ\text{F})$  ( $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ) is recommended.

<sup>1</sup> 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).

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.10.

## 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.<sup>3</sup> (16 cm<sup>3</sup>) if from small specimens (Test Method A), and at least 3 in.<sup>3</sup> (49 cm<sup>3</sup>) 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.

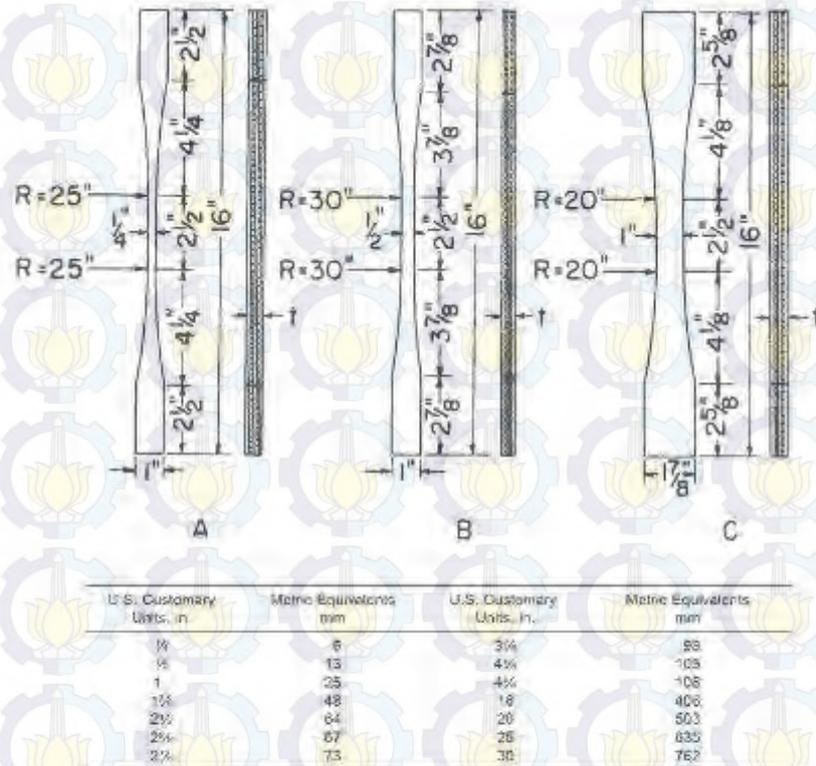
6.1.1 When the evaluation of elastic properties as well as ultimate tensile strength is required, the size and shape of the test specimen shall be selected on the basis of the construction and thickness of the material. For other structural panels, and

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  $\frac{1}{8}$  in. (6 mm) in thickness and Type B for material  $\frac{1}{8}$  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  $\pm 0.3\%$  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-working 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



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  $\frac{1}{2}$  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 Tripoli's 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  $\pm 0.3\%$  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)  $\pm 25\%$  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



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

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.

11.2 Measure the elapsed time from initiation of loading to maximum load and record to the nearest  $\frac{1}{2}$  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  $\times$  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

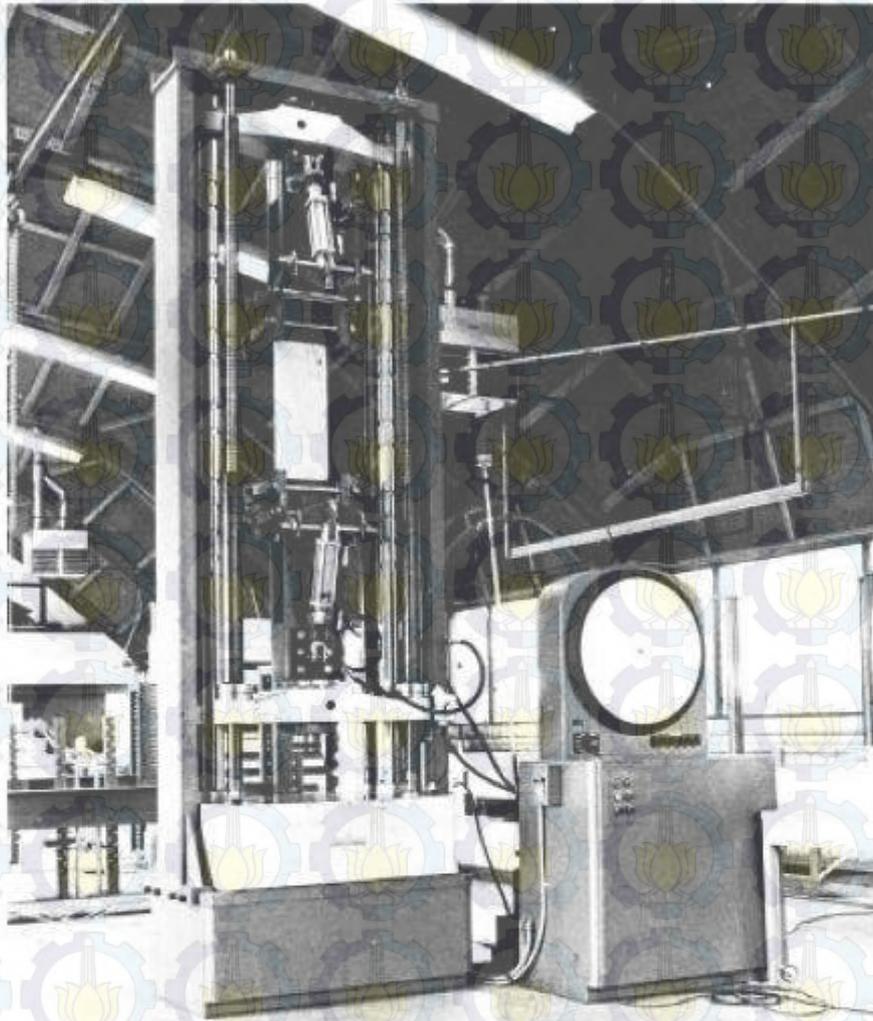
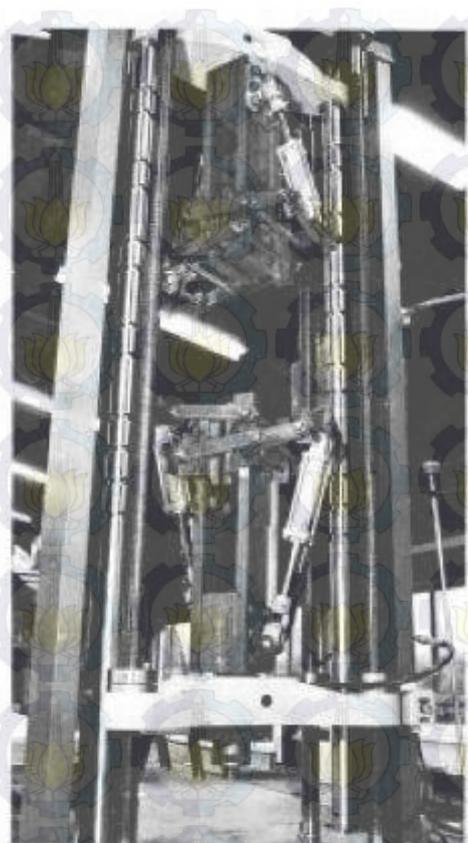


FIG. 4 Test Method B Tension Test Set-Up



**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 19429-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9595 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*

# Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 6110; 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 ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

## 1. Scope\*

1.1 This test method is used to determine the resistance of plastics to breakage by flexural shock as indicated by the energy extracted from standardized (see Note 1) pendulum-type hammers, mounted in standardized machines, in breaking standard specimens with one pendulum swing. This test method requires specimens to be made with a milled notch (see Note 2). The notch produces a stress concentration which promotes a brittle, rather than a ductile, fracture. The results of this test method are reported in terms of energy absorbed per unit of specimen width (see Note 3).

NOTE 1—The machines with pendulum-type hammers have been standardized in that they must comply with certain requirements including a fixed height of hammer fall, which results in a substantially fixed velocity of the hammer at the moment of impact. Hammers of different initial energies (produced by varying their effective weights), however, are recommended for use with specimens of different impact resistance. Moreover, manufacturers of the equipment are permitted to use different lengths and constructions of pendulums with possible differences in pendulum rigidities resulting (see Section 5). Be aware that other differences in machine design do exist.

NOTE 2—The specimens are standardized in that they have a fixed length and fixed depth, however, the width of the specimens is permitted to vary between limits. One design of milled notch is allowed. The notch in the specimen serves to concentrate the stress, minimize plastic deformation, and direct the fracture to the part of the specimen behind the notch. Scatter in energy-to-break is thus reduced. Because of differences in the elastic and viscoelastic properties of plastics, however, response to a given notch varies among materials.

NOTE 3—Caution must be exercised in interpreting the results of this test method. The following testing parameters have been shown to affect test results significantly: method of specimen fabrication, including but not limited to processing technology, molding conditions, mold design, and thermal treatment; method of notching; speed of notching tool; design of notching apparatus; quality of the notch; time between notching and test; test specimen thickness; test specimen width under notch; and environmental conditioning.

1.2 *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 appro-*

*priate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

NOTE 4—This standard resembles ISO 179 in title only. The content is significantly different.

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D 647 Practice for Design of Molds for Test Specimens of Plastic Molding Materials<sup>3</sup>
- D 883 Terminology Relating to Plastics
- D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials
- D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials
- D 5942 Test Method for Determination of Charpy Impact Strength
- D 5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Test Program to Determine the Precision of Test Methods

## 3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions related to plastics, see Terminology D 883.

## 4. Summary of Test Method

4.1 A notched specimen is supported as a horizontal simple beam and is broken by a single swing of the pendulum with the impact line midway between the supports and directly opposite the notch.

## 5. Significance and Use

5.1 Before proceeding with this test method, refer to the material specification for the material being tested. Any test specimen preparation, conditioning, dimensions and testing parameters required by the materials specification shall take

<sup>1</sup> This test method are under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved March 1, 2004. Published April 2004. Originally approved in 1997. Last previous edition approved in 2002 as D 6110 - 02.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup> Discontinued 1994; Replaced by D 1896, D 3419, D 3641, D 4703, D 5227.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

precedence over those required by this test method. Table 1 of Classification D 4000 lists the ASTM materials standards that currently exist. If there is no material specification, then the requirements of this test method apply.

5.2 The excess energy pendulum impact test indicates the energy to break standard test specimens of specified size under stipulated conditions of specimen mounting, notching (stress concentration), and pendulum velocity at impact.

5.3 For this test method, the energy lost by the pendulum during the breakage of the specimen is the sum of the energies required to initiate fracture of the specimen; to propagate the fracture across the specimen; to throw the free ends of the broken specimen (toss energy); to bend the specimen; to produce vibration in the pendulum arm; to produce vibration or horizontal movement of the machine frame or base; to overcome friction in the pendulum bearing and in the excess energy indicating mechanism, and to overcome windage (pendulum air drag); to indent or deform, plastically, the specimen at the line of impact; and to overcome the friction caused by the rubbing of the striking nose over the face of the bent specimen.

**Note 5**—The toss energy, or the energy used to throw the free ends of the broken specimen, is suspected to represent a very large fraction of the total energy absorbed when testing relatively dense and brittle materials. No procedure has been established for estimating the toss energy for the Charpy method.

5.4 For tough, ductile, fiber-filled, or cloth-laminated materials, the fracture propagation energy is usually large compared to the fracture initiation energy. When testing these materials, energy losses due to fracture propagation, vibration, friction between the striking nose and the specimen has the potential to become quite significant, even when the specimen is accurately machined and positioned, and the machine is in good condition with adequate capacity (see Note 6). Significant energy losses due to bending and indentation when testing soft materials have also been observed.

**Note 6**—Although the frame and the base of the machine should be sufficiently rigid and massive to handle the energies of tough specimens without motion or excessive vibration, the pendulum arm cannot be made very massive because the greater part of its mass must be concentrated near its center of percussion at its striking nose. Locating the striking nose precisely at the center of percussion reduces the vibration of the pendulum arm when used with brittle specimens. Some losses due to pendulum arm vibration (the amount varying with the design of the pendulum) will occur with tough specimens even when the striking nose is properly positioned.

5.5 In a well-designed machine of sufficient rigidity and mass the losses due to vibration and friction in the pendulum bearing and in the excess energy indicating mechanism should be very small. Vibrational losses are observed when wide specimens of tough materials are tested in machines of insufficient mass, or in machines that are not securely fastened to a heavy base.

5.6 Since this test method permits a variation in the width of the specimens and since the width dictates, for many materials, whether a brittle, low-energy break (as evidenced by little or no drawing down or necking and by a relatively low energy absorption) or a ductile, high-energy break (as evidenced by considerable drawing or necking down in the region behind the notch and by a relatively high energy absorption) will occur, it

is necessary that the width be stated in the specification covering that material and that the width be stated along with the impact value.

5.7 This test method requires that the specimen break completely. Results obtained when testing materials with a pendulum that does not have sufficient energy to complete the breaking of the extreme fibers and toss the broken pieces shall be considered a departure from standard and should not be reported as a standard result. Impact values cannot be directly compared for any two materials that experience different types of failure.

5.8 The value of this impact test method lies mainly in the areas of quality control and materials specification. If two groups of specimens of supposedly the same material show significantly different energy absorptions, critical widths, or critical temperatures, it is permitted to assume that they were made of different materials or were exposed to different processing or conditioning environments. The fact that a material shows twice the energy absorption of another under these conditions of test does not indicate that this same relationship will exist under another set of test conditions.

## 6. Apparatus

6.1 *Pendulum Impact Machine*—The machine shall consist of a massive base on which are mounted a pair of supports for holding the specimen and to which is connected, through a rigid frame and bearings, one of a number of pendulum-type hammers having an initial energy suitable for use with the particular specimen to be tested (or one basic pendulum designed to accept add-on weights), plus a pendulum holding and releasing mechanism and a mechanism for indicating the excess energy remaining in the pendulum after breaking specimen. The specimen anvil, pendulum, and frame shall be sufficiently rigid to maintain correct alignment of the striking edge and specimen, both at the moment of impact and during the propagation of the fracture, and to minimize energy losses due to vibration. The base shall be sufficiently massive so that the impact will not cause it to move. The machine shall be designed, constructed, and maintained so that energy losses due to pendulum air drag (windage), friction in the pendulum bearings, and friction and inertia in the excess energy indicating mechanism are held to a minimum.

6.1.1 *Pendulum*—The simple pendulum shall consist of a single or multi-membered arm with a bearing on one end and a head, containing the striking nose, on the other. Although a large proportion of the mass of the pendulum should be concentrated in the head, the arm must be sufficiently rigid to maintain the proper clearances and geometric relationships between the machine parts and the specimen and to minimize vibrational energy losses, which are always included in the measured impact value. A machine with a simple pendulum design is illustrated in Fig. 1. Instruments with a compound-pendulum design also have been found to be acceptable for use. A compound-pendulum design is illustrated in Fig. 2.

6.1.1.1 The machine shall be provided with a basic pendulum capable of delivering an energy of  $2.7 \pm 0.14$  J [ $2.0 \pm 0.10$  ft-lbf]. This pendulum shall be used for specimens that extract less than 85 % of this energy when breaking a specimen. Heavier pendulums or additional weights designed to

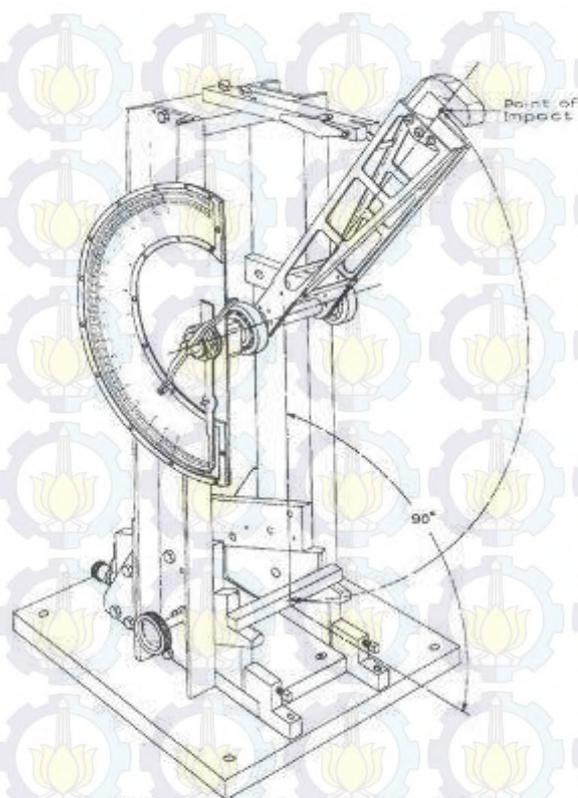


FIG. 1 Simple Beam (Charpy-Type) Impact Machine

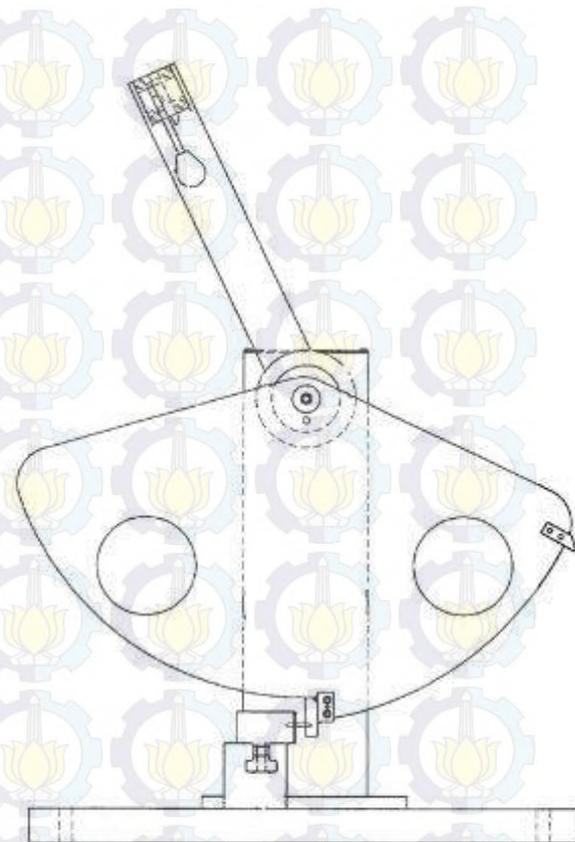


FIG. 2 Example of Compound-Pendulum-Type Machine

attach to the basic pendulum shall be provided for specimens that require more energy to break. A series of pendulums such that each has twice the energy of the next lighter one has been found convenient.

6.1.1.2 The effective length of the pendulum shall be between 0.325 and 0.406 m [12.8 and 16.0 in.] so that the required elevation of the striking nose is obtained by raising the pendulum to an angle between 60 and 30° above the horizontal.

6.1.2 *Striking Edge*—The striking edge (nose) of the pendulum shall be made of hardened steel, tapered to have an included angle of  $45 \pm 2^\circ$  and shall be rounded to a radius of  $3.17 \pm 0.12$  mm [ $0.125 \pm 0.005$  in.]. The pendulum shall be aligned in such a way that when it is in its free hanging position, the center of percussion of the pendulum shall lie within  $\pm 2.54$  mm [ $0.10$  in.] of the middle of the line of contact made by the striking nose upon the face of a standard specimen of square cross section. The distance from the axis of support to the center of percussion is determined experimentally from the period of motion of small amplitude oscillations of the pendulum by means of the following equation:

$$L = (g/4\pi^2) p^2 \quad (1)$$

where:

$L$  = distance from the axis of support to the center of percussion, m,

$g$  = local gravitational acceleration (known to an accuracy of one part in one thousand),  $m/s^2$

$\pi$  = 3.1416 ( $4\pi^2 = 39.48$ ), and

$p$  = period, in s, of a single complete swing (to and fro) determined from at least 20 consecutive and uninterrupted swings. The angle of swing shall be less than  $5^\circ$  each side of center.

6.1.3 *Pendulum Holding and Releasing Mechanism*—The mechanism shall be designed, constructed, and operated so that it will release the pendulum without imparting acceleration or vibration to the pendulum. The position of the pendulum holding and releasing mechanism shall be such that the vertical height of fall of the striking nose shall be  $610 \pm 2$  mm [ $24.0 \pm 0.005$  in.]. This will produce a velocity of the striking nose at the moment of impact of approximately 3.46 m [ $11.4$  ft]/s as determined by the following equation:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

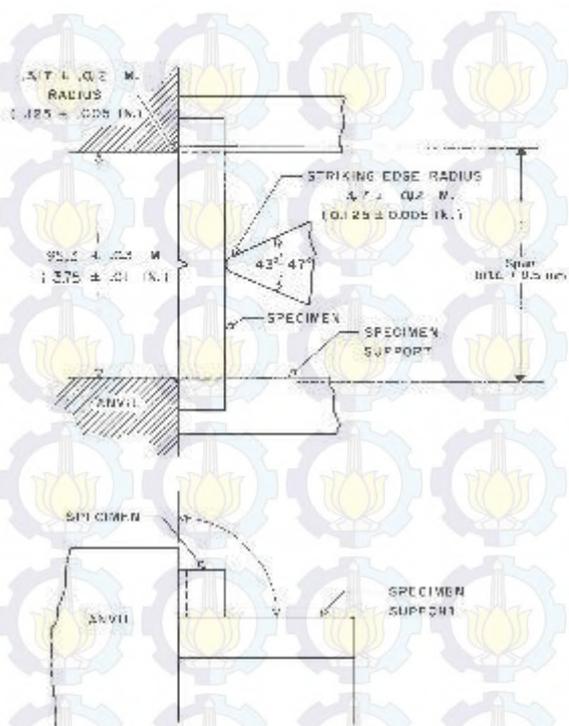


FIG. 3 Relationship of Anvil, Specimen, and Striking Edge to Each Other for Charpy Test Method

where:

$v$  = velocity of the striking nose at the moment of impact,

$g$  = local gravitational acceleration, and

$h$  = vertical height of fall of the striking nose.

This assumes no windage or friction.

6.1.4 *Specimen Supports*—The test specimen shall be supported against two rigid anvils in such a position that its center of gravity and the center of the notch shall lie on tangent to the arc of travel of the center of percussion of the pendulum drawn at the position of impact. The edges of the anvils shall be rounded to a radius of  $3.17 \pm 0.13$  mm [ $0.125 \pm 0.005$  in.] and the anvils' lines of contact (span) with the specimen shall be  $101.6 \pm 0.5$  mm [ $4.0 \pm 0.02$  in.] apart (see Fig. 3). A jig for positioning the specimen on the supports should be supplied by the machine manufacturer.

NOTE 7—Some machines currently in use employ a 108.0-mm span. Data obtained under these conditions are valid.<sup>1</sup>

6.1.5 *Excess Energy Indicator*—Means shall be provided for determining energy remaining in the pendulum after breaking a specimen. One acceptable method is the use of a pointer and dial mechanism which indicate the height of rise of the pendulum beyond the point of impact in terms of energy removed from that specific pendulum. More modern instruments use an electronic digital display or computer to measure the energy loss and indicate the breaking energy of the

specimen. The indicated remaining energy must be corrected for pendulum bearing friction, pointer friction, pointer inertia, and pendulum windage. The equipment manufacturer should provide graphs or tables to aid in the calculation of the correction friction and windage. Instructions for making these corrections are found in Annex A1 and Annex A2. Many digital indicating systems automatically correct for windage and friction. The equipment manufacturer should be consulted for information on how this is performed.

6.1.6 The calibration procedure in Appendix X2 should be used to establish the accuracy of the equipment. A check of the calibration of an impact machine is difficult to make under dynamic conditions. The basic parameters normally are checked under static conditions. If the machine passes the static tests, then it is assumed to be accurate. Appendix X2, however, also describes a dynamic test for checking certain features of the machine and specimen. For some machine designs, it might be necessary to change the recommended method of obtaining the required calibration measurements. Additional instructions for adjusting a particular machine should be supplied by the manufacturer. Other methods of performing the required checks are acceptable provided that they are proven to result in an equivalent accuracy.

6.2 *Specimen Notching Machine*—Notching shall be done on a milling machine, engine lathe, or other suitable machine tool. A carbide-tipped or industrial diamond-tipped notching cutter is recommended. Both cutter speed and feed rate shall be controllable. Provision for cooling the specimen is recommended. Water and compressed air are suitable coolants for many plastics.

6.2.1 The profile of the cutting tooth or teeth shall be such as to produce a notch in the test specimen of the contour and depth specified in Fig. 4 and in the manner specified in Section 8.

6.2.2 A single-tooth cutter shall be used for notching the specimen, unless it is demonstrated that notches of an equivalent quality are produced with a multi-tooth cutter. Single-tooth cutters are preferred because of the ease of grinding the cutter to the specimen contour and because of the smoother cut on the specimen. The cutting edge shall be ground and honed carefully to ensure sharpness and freedom from nicks and burrs. Tools with no rake and a work relief angle of 15 to 20° have been found satisfactory.

6.3 *Micrometers*—Apparatus for measurement of the width of the specimen shall comply with the requirements of Test Methods D 5947. Apparatus for the measurement of the depth of plastic material remaining in the specimen under the notch shall comply with requirements of Test Methods D 5947, provided however that the one anvil or presser foot shall be a tapered blade conforming to the dimensions given in Fig. 5. The opposing anvil or presser foot shall be flat and conforming to Test Methods D 5947.

## 7. Test Specimen

7.1 The test specimen shall conform to the dimensions and geometry of Fig. 4, except as modified in accordance with 7.2-7.5. To ensure the correct contour and conditions of the specified notch, all specimens shall be notched in accordance with Section 8.

<sup>1</sup> Supporting data is available from ASTM Headquarters. Request Research Report RR: D20 1033.

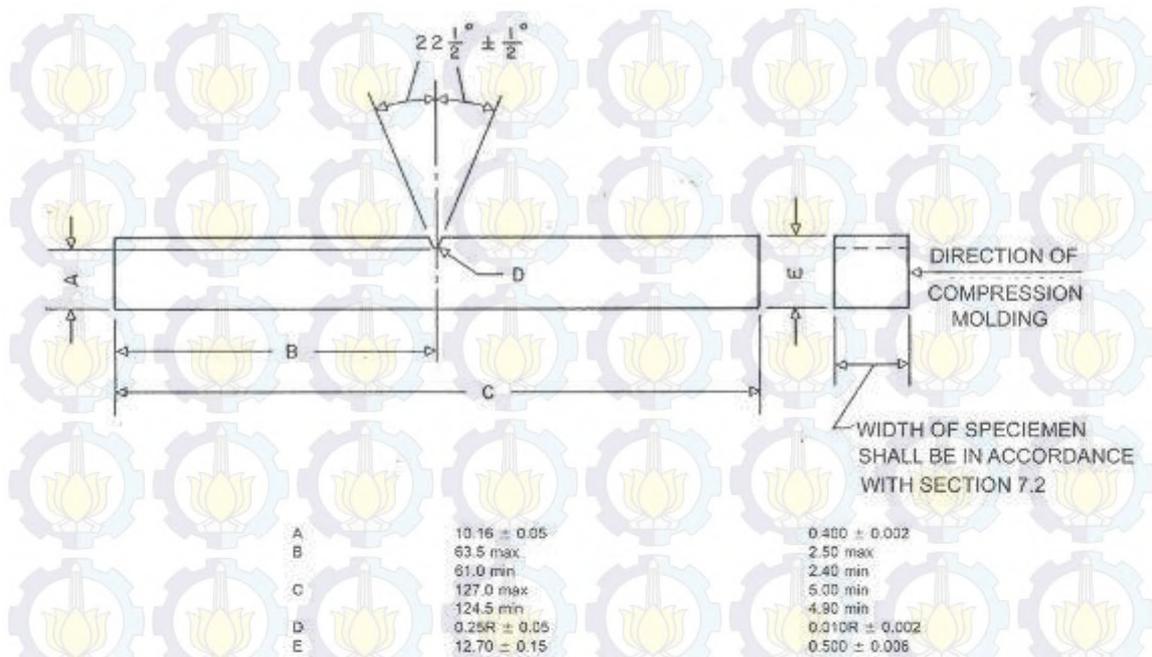


FIG. 4 Dimensions of Simple Beam, Charpy Type, Impact Test Specimen

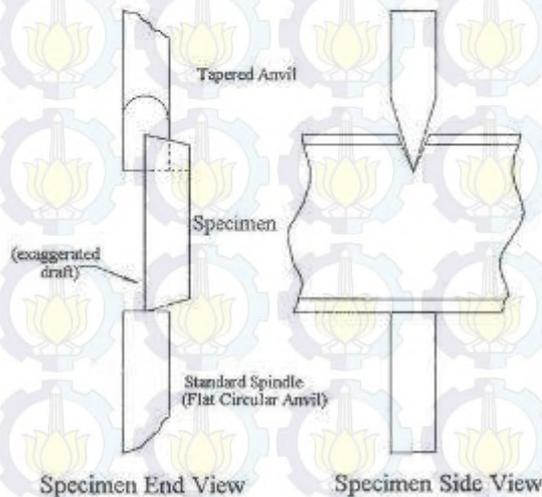


FIG. 5 Notch Depth Measurement on Test Specimens

7.2 Molded specimens shall have a width between 3.00 and 12.7 mm [0.118 and 0.500 in.]. Use the specimen width as specified in the material specification or as agreed upon between the supplier and the customer.

7.2.1 The type of mold and molding machine used and the flow behavior in the mold cavity will influence the strength obtained. It is possible that results from a specimen taken from

one end of a molded bar will give different results than a specimen taken from the other end. Cooperating laboratories should therefore agree on standard molds conforming to Practice D 647, and upon a standard molding procedure for the material under investigation.

7.2.2 A critical investigation of the mechanics of impact testing has shown that tests made upon specimens under 6.35 mm [0.250 in.] in width absorb more energy due to crushing, bending, and twisting than do wider specimens. Specimens 6.35 mm [0.250 in.] or over in width are therefore recommended. The responsibility for determining the minimum specimen width shall be the investigator's, with due reference to the specification for that material.

7.2.3 The impact resistance of a plastic material will be different if the notch is perpendicular to, rather than parallel to, the direction of molding.

7.3 For sheet materials, the specimens shall be cut from the sheet in both the lengthwise and crosswise directions unless otherwise specified. The width of the specimen shall be the thickness of the sheet if the sheet thickness is between 3.00 and 12.7 mm [0.118 and 0.500 in.]. Sheet material thicker than 12.7 mm [0.500 in.] shall be machined down to 12.7 mm [0.500 in.]. It is acceptable to test specimens with a 12.7-mm [0.500-in.] square cross section either edgewise or flatwise as cut from the sheet. When specimens are tested flatwise, the notch shall be made on the machined surface if the specimen is machined on one face only. When the specimen is cut from a thick sheet, notation shall be made of the portion of the thickness of the sheet from which the specimen was cut, for example, center, top, or bottom surface.

polars in monochromatic light. The specimens used to determine temperature rise shall not be used to make determinations of impact resistance.

8.3.2 The feed rate and the cutter speed shall remain constant throughout the notching operation.

8.4 It is acceptable to notch specimens individually or in a group. In either case, however, an unnotched backup or dummy bar shall be placed behind the last specimen in the sample holder to prevent distortion and chipping by the cutter as it exits from the last test specimen.

8.5 All specimens having one dimension less than 12.7 mm [0.500 in.] shall have the notch cut on the shorter side. Compression molded specimens shall be notched on the side parallel to the direction of application of molding pressure. The impact resistance of a plastic material will be different if the notch is perpendicular to rather than parallel to the direction of molding, as with or across the grain of an anisotropic bar cut from a plate.

## 9. Conditioning

9.1 Check the materials specification for the material that is being tested. If there are no conditioning requirements stated by the materials specification, the test specimens shall be conditioned at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  [ $73 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ] and  $50 \pm 5\%$  relative humidity for not less than 40 h after notching and prior to testing in accordance with Procedure A of Practice D 618, unless documented (between supplier and customer) that shorter conditioning time is sufficient for a given material to reach equilibrium of impact resistance.

9.2 For hygroscopic materials, such as nylons, the material specifications (for example, Classification System D 4066) call for testing dry-as-molded specimens. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % relative humidity. These specimens shall be sealed in water vapor-impermeable containers as soon as molded. When notching these specimens, minimize the exposure time during notching and return the specimens to a dry container after notching to allow for full cooling of the specimens prior to testing.

9.3 *Test Conditions*—Conduct tests in the standard laboratory atmosphere of  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  [ $73 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ] and  $50 \pm 5\%$  relative humidity, unless otherwise specified. In cases of disagreement, the tolerances shall be  $\pm 1^\circ\text{C}$  and  $\pm 2\%$  relative humidity.

## 10. Procedure

### 10.1 Specimen Preparation:

10.1.1 Prepare the test specimens in accordance with the procedures in Section 7. At least five and preferably ten or more individual determinations of impact resistance shall be made to determine the average impact resistance for a particular sample. The specimens shall be of nominal width only.

10.1.2 Notch the specimens in accordance with the procedure in Section 8.

10.1.3 Condition the specimens in accordance with the materials specification for the material that is being tested. If there are no conditioning requirements detailed in the materials specification, follow the conditioning requirements in Section 9.

### 10.2 Machine Preparation:

10.2.1 Estimate the breaking energy for the sample and select a pendulum of suitable energy. Select the lightest standard pendulum that is expected to break all specimens in the group with an energy loss of not more than 85 % of its capacity (see 6.1). If the breaking energy cannot be estimated, the correct pendulum can be determined by performing trial runs. Caution should be used to avoid damaging the pendulum by selecting a pendulum that is too light for a particular sample.

*Note:* 11—Ideally, an impact test would be conducted at a constant test velocity. In a pendulum-type test, however, the velocity decreases as the fracture progresses. For specimens that have an impact energy approaching the capacity of the pendulum, there is insufficient energy to complete the break and toss. By avoiding the higher 15 % scale energy readings, the velocity of the pendulum will not be reduced below 1.33 m/s. On the other hand, the use of a pendulum that is too heavy would reduce the sensitivity of the reading.

10.2.2 After installing the selected pendulum on the machine, check the machine for conformity with the requirements of Section 6 before starting the tests.

10.2.3 When using a machine equipped with a pointer and dial mechanism or an electronic indicator that does not automatically correct for windage and friction, determine the windage and friction correction factors for the machine before testing specimens. Windage and friction correction factors shall be determined on a daily basis and shall be calculated each time weights are added to the pendulum or the pendulum is changed. Refer to Annex A1 for information on constructing windage and friction correction charts or refer to Annex A2 for a procedure to calculate the windage and friction correction. If excessive friction is indicated (see X2.12 and X2.13) the machine shall be adjusted before testing specimens. Follow the machine manufacturer's instructions to correct for excessive windage and friction.

*Note:* 12—The actual correction factors for windage and friction will be smaller than these factors in an actual test because the energy absorbed by the specimen prevents the pendulum from making a full swing. The indicated breaking energy of the specimen, therefore, must be included in the calculation of the machine correction.

10.2.4 Some machines equipped with an electronic digital display or computer automatically compensate for windage and friction.

### 10.3 Specimen Testing:

10.3.1 Check all of the specimens in the sample group for conformity with the requirements of Sections 7 and 8 and 10.1.

10.3.2 Measure and record the width of each specimen after notching to the nearest 0.025 mm [0.001 in]. Measure the width in one location adjacent to the notch centered about the anticipated fracture plane.

10.3.3 Measure and record the depth of material remaining in the specimen under the notch of each specimen to the nearest 0.025 mm [0.001 in]. The tapered blade will be fitted to the notch. The specimen will be approximately vertical between the anvils. Position the edge of the non-cavity (wider edge) surface so that it is centered on the micrometer's flat circular anvil. See Fig. 5.

10.3.4 Position a test specimen horizontally on the supports and against the anvils so that it will be impacted on the face

opposite the notch (see Fig. 3). The notch should be centered between the anvils. A centering jig is useful for this purpose.

10.3.5 Raise and secure the pendulum in the release mechanism. Zero the excess energy indicating mechanism.

10.3.6 Release the pendulum, allowing the striking edge of the pendulum to impact the specimen. Note the indicated breaking energy.

10.3.7 Calculate the net breaking energy (see 11.1). If the net breaking energy is greater than 85 % of the pendulum's nominal energy, the wrong pendulum was used. Discard the result. Select and install a pendulum with a greater available energy or add additional weight to the pendulum, determine the windage and friction correction factor, and repeat the test on a new specimen.

10.3.8 If the proper pendulum was used, test the remaining specimens as described in 10.3.1-10.3.6. Results from specimens that do not break should be discarded. A specimen that does not break completely into two or more pieces is not considered to be broken.

10.3.9 After all of the specimens for the sample have been tested, calculate the impact resistance, in joules per metre, for each individual specimen (see 11.2).

10.3.10 Calculate the average impact resistance for the group of specimens (see 11.3). Values obtained from specimens that did not break completely shall not be included in the average.

10.3.11 Calculate the standard deviation for the group of specimens (see 11.4).

## 11. Calculation

11.1 *Net Breaking Energy*—Subtract the windage and friction loss energy from the indicated breaking energy.

11.2 *Impact Resistance*—Divide the net breaking energy by the measured width of each individual specimen.

11.3 Calculate the average impact resistance for a group of specimens by adding the individual impact resistance values for the group and dividing the sum by the total number of specimens in the group.

11.4 Calculate the standard deviation as follows and report it to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)/(n-1)} \quad (3)$$

where:

$s$  = estimated standard deviation,

$X$  = value of single observation,

$n$  = number of observations, and

$\bar{X}$  = arithmetic mean of the set of observations.

## 12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Complete identification of the material tested, including type source, manufacturer's code number, and previous history.

12.1.2 A statement of how the specimens were prepared, the testing conditions used, the number of hours the specimens were conditioned after notching, and for sheet materials, the direction of testing with respect to anisotropy, if any.

12.1.3 The capacity of the pendulum, J.

12.1.4 The span.

12.1.5 The width and depth under the notch of each specimen tested.

12.1.6 The total number of specimens tested per sample of material (that is five, ten, or more).

12.1.7 The average impact resistance, J/m. Impact resistance is not to be reported for other than complete breaks. Reporting results in kJ/m<sup>2</sup> is optional (see Appendix X4).

12.1.8 The standard deviation of the values of the impact resistance of the specimens in 10.3.11.

## 13. Precision and Bias

13.1 Table 1 is based on a round robin<sup>6</sup> conducted in 1987 in accordance with Practice E 691, involving five materials tested by nine laboratories. For each material, all samples were prepared at one source, but the individual specimens were notched and conditioned at the laboratories which tested them. Each laboratory tested an average of nine specimens for each material. **Warning**—The explanations of  $r$  and  $R$  (13.2-13.2.3) are intended only to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data presented in Table 1 should not be applied to acceptance or rejection of materials, as these data apply only to the materials tested in the round robin and are unlikely to be rigorously representative of other lots, formulations, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to their materials and laboratory, or between specific laboratories. The principles of 13.2-13.2.3 would then be valid for such data.

13.2 *Concept of  $r$  and  $R$  in Table 1*—If  $S_w$  and  $S_R$  have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were averages from testing nine specimens for each test result, then:

13.2.1 *Repeatability*— $r$  is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the

<sup>6</sup> Supporting data is available from ASTM Headquarters. Request Research Report RR: D20-1041 and 1134.

TABLE 1 Precision for Charpy Test

Material	Values in ft-lbf/in. of Width					Number of Laboratories
	Average	$S_w^A$	$S_R^B$	$r^C$	$R^D$	
Phenolic Reinforced nylon	0.55	0.029	0.050	0.06	0.14	7
Polycarbonate	1.90	0.065	0.143	0.18	0.40	7
Polypropylene	2.85	0.083	0.422	0.23	1.19	8
ABS	4.06	0.151	0.422	0.42	1.19	9
	10.3	0.115	0.829	0.32	1.78	9

<sup>A</sup> $S_w$  = within-laboratory standard deviation for the indicated material. It is obtained by pooling the within-laboratory standard deviations of the test result from all of the participating laboratories.

$$S_w = \{[(S_1)^2 + (S_2)^2 + \dots + (S_n)^2] / n\}^{1/2}$$

<sup>B</sup> $S_R$  = between-laboratories reproducibility, expressed as standard deviation:

$$S_R = \{S_1^2 + S_2^2\}^{1/2}$$

where  $S_1$  = standard deviation of laboratory means.

<sup>C</sup> $r$  = within-laboratory critical interval between two test results =  $2.8 \times S_w$ .

<sup>D</sup> $R$  = between laboratories critical interval between two test results =  $2.8 \times S_R$ .

same day in the same laboratory. Two tests results shall be judged not equivalent if they differ by more than the  $r$  value for that material.

13.2.2 *Reproducibility*— $R$  is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment in different laboratories, not necessarily on the same day. Two test results shall be judged not equivalent if they differ by more than the  $R$  value for that material.

13.2.3 Any judgement in accordance with 13.2.1 or 13.2.2 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

13.3 There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

#### 14. Keywords

14.1 Charpy impact; impact resistance; notch sensitivity; notched specimen

## ANNEXES

(Mandatory Information)

### A1. INSTRUCTIONS FOR THE CONSTRUCTION OF A WINDAGE AND FRICTION CORRECTION CHART

A1.1 The construction and use of the chart herein described is based upon the assumption that the friction and windage losses are proportional to the angle through which these loss torques are applied to the pendulum. Fig. A1.1 shows the assumed energy loss versus the angle of the pendulum position during the pendulum swing. The correction chart to be described is principally the left half of Fig. A1.1. The windage and friction correction charts should be available from commercial testing machine manufacturers. The energy losses designated as A or B are described in 10.3.

A1.2 Start the construction of the correction chart (Fig. A1.2) by laying off to some convenient linear scale on the abscissa of a graph the angle of pendulum position for the portion of the swing beyond the free hanging position. For convenience, place the free hanging reference point on the right end of the abscissa with the angular displacement increasing linearly to the left. The abscissa is referred to as Scale C. Although angular displacement is the quantity to be represented linearly on the abscissa, this displacement is more conveniently expressed in terms of indicated energy read from the machine dial. This yields a nonlinear Scale C with indicated pendulum energy increasing to the right.

A1.3 On the right hand ordinate lay off a linear Scale B starting with zero at the bottom and stopping at the maximum expected pendulum friction and windage value at the top.

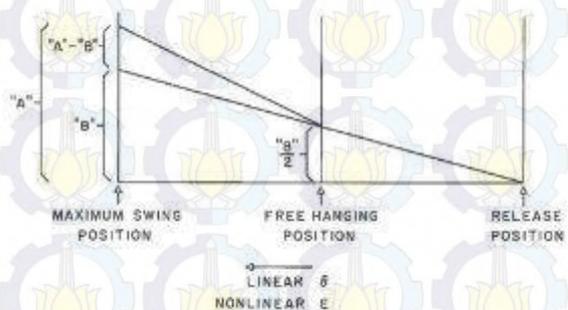


FIG. A1.1 Method of Construction of a Windage and Friction Correction Chart

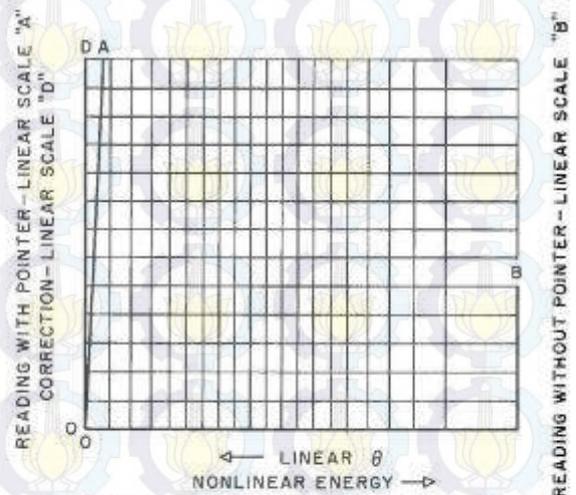


FIG. A1.2 Sample Windage and Friction Correction Chart

A1.4 On the left ordinate construct a linear Scale D ranging from zero at the bottom to 1.2 times the maximum ordinate value appearing on Scale B, but make the scale twice the scale used in the construction of Scale B.

A1.5 Adjoining Scale D draw a curve OA which is the focus of points whose coordinates have equal values of energy correction on Scale D and indicated energy on Scale C. This curve is referred to as Scale A and utilizes the same divisions and numbering system as the adjoining Scale D.

#### A1.6 Instructions for Using Chart:

A1.6.1 Locate and mark on Scale A the reading A obtained from the free swing of the pendulum with the pointer prepositioned in the free hanging or maximum indicated energy position on the dial.

A1.6.2 Locate and mark on Scale B the reading B obtained after several free swings with the pointer pushed up close to zero indicated energy position of the dial by the pendulum in accordance with instructions in 10.3.

A1.6.3 Connect the two points thus obtained by a straight line.

A1.6.4 From the indicated impact energy on Scale C project up to the constructed line and across to the left to obtain the correction for windage and friction from Scale D.

A1.6.5 Subtract this correction from the indicated impact reading to obtain the energy delivered to the specimen.

## A2. PROCEDURE FOR THE CALCULATION OF WINDAGE AND FRICTION CORRECTION

A2.1 The procedure for the calculation of the windage and friction correction in this annex is based on the equations developed by derivation in Appendix X3. This procedure is acceptable as a substitute for the graphical procedure described in Annex A1 and is applicable to small electronic calculator and computer analysis.

A2.2 Calculate  $L$ , the distance from the axis of support to the center of percussion as indicated in 6.3. It is assumed here that the center of percussion is approximately the same as the center of strike.

A2.3 Measure the maximum height,  $h_M$ , of the center of percussion (center of strike) of the pendulum at the start of the test as indicated in X2.16.

A2.4 Measure and record the energy correction,  $E_A$ , for windage of the pendulum plus friction in the dial, as determined with the first swing of the pendulum with no specimen in the testing device. This correction must be read on the energy scale,  $E_M$ , appropriate for the pendulum used.

A2.5 Without resetting the position of the indicator obtained in A2.4, measure the energy correction,  $E_B$ , for pendulum windage after two additional releases of the pendulum with no specimen in the testing device.

A2.6 Calculate  $\beta_{\max}$  as follows:

$$\beta_{\max} = \cos^{-1} \{1 - [(h_M/L)(1 - E_A/E_M)]\} \quad (\text{A2.1})$$

where:

$E_A$  = energy correction for windage of pendulum plus friction in dial, J [ft-lbf],

$E_M$  = full-scale reading for pendulum used, J [ft-lbf],  
 $L$  = distance from fulcrum to center of strike of pendulum, m [ft],

$h_M$  = maximum height of center of strike of pendulum at start of test, m [ft], and

$\beta_{\max}$  = maximum angle pendulum will travel with one swing of the pendulum.

A2.7 Measure specimen breaking energy,  $E_S$ , J [ft-lbf].

A2.8 Calculate  $\beta$  for specimen measurement  $E_S$  as:

$$\beta = \cos^{-1} \{1 - [(h_M/L)(1 - E_S/E_M)]\} \quad (\text{A2.2})$$

where:

$\beta$  = angle pendulum travels for a given specimen, and  
 $E_S$  = dial reading breaking energy for a specimen, J [ft-lbf].

A2.9 Calculate total correction energy,  $E_{TC}$ , as:

$$E_{TC} = (E_A - (E_B/2))(\beta/\beta_{\max}) + (E_B/2) \quad (\text{A2.3})$$

where:

$E_{TC}$  = total correction energy for the breaking energy,  $E_S$ , of a specimen, J [ft-lbf], and

$E_B$  = energy correction for windage of the pendulum, J [ft-lbf].

A2.10 Calculate the impact resistance using the following formula:

$$I_s = (E_S - E_{TC})/t \quad (\text{A2.4})$$

where:

$I_s$  = impact resistance of specimen, J/m [ft-lbf/in.] of width, and

$t$  = width of specimen or width of notch, m [in.]

## APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

### X1. PROCEDURE FOR THE INSPECTION AND VERIFICATION OF NOTCH

X1.1 The purpose of this procedure is to describe the microscopic method to be used for determining the radius and angle of the notch. These measurements could also be made using a comparator if available.

NOTE X1.1—The notch shall have a radius of  $0.25 \pm 0.05$  mm [ $0.010 \pm 0.002$  in.] and an angle of  $45 \pm 1^\circ$ .

X1.2 Apparatus:

X1.2.1 *Optical Device*, with minimum magnification of 60×, Filar glass scale and camera attachment.

X1.2.2 *Transparent Template*, that will be developed in this procedure.

X1.2.3 *Ruler*.

X1.2.4 *Compass*.

### X1.2.5 Plastic Drafting Set Squares (Triangles), 45 45 90°.

X1.3 A transparent template must be developed for each magnification and for each microscope used. It is preferable that each laboratory standardize on one microscope and one magnification. It is not necessary for each laboratory to use the same magnification because each microscope and camera combination have somewhat different blowup ratios.

X1.3.1 Set the magnification of the optical device at a suitable magnification with a minimum magnification of 60×.

X1.3.2 Place the Filar glass slide on the microscope platform. Focus the microscope so the most distinct of the Filar scale is visible.

X1.3.3 Take a photograph of the Filar scale (see Fig. X1.1).

X1.3.4 Create a template similar to that shown in Fig. X1.2.

X1.3.4.1 Find the approximate center of the piece of paper.

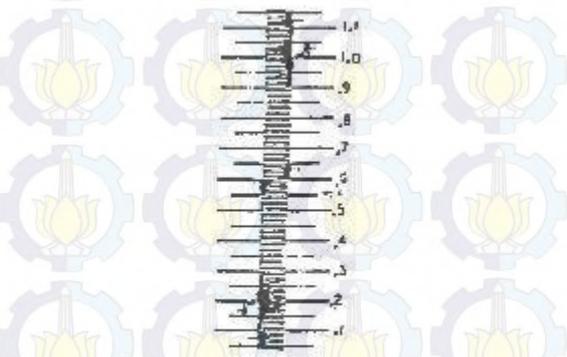
X1.3.4.2 Draw a set of perpendicular coordinates through the center point.

X1.3.4.3 Draw a family of concentric circles that are spaced in accordance with the dimensions of the Filar scale. This task is accomplished by first setting a mechanical compass at a distance of 0.1 mm [0.004 in.] as referenced by the magnified photograph of the Filar eyepiece. Subsequent circles shall be spaced 0.02 mm apart [0.001 in.], as rings, with the outer ring being 0.4 mm [0.016 in.] from the center.

X1.3.5 Photocopy the paper with the concentric circles to make a transparent template of the concentric circles.

X1.3.6 Construct Fig. X1.3 by taking a second piece of paper, finding its approximate center, and marking this point. Draw one line through this center point. Label this line zero degree (0°). Draw a second line perpendicular to the first line through this center point. Label this line 90°. From the center draw a line that is 44° relative to the 0°. Label the line 44°. Draw another line at 46°. Label the line 46°.

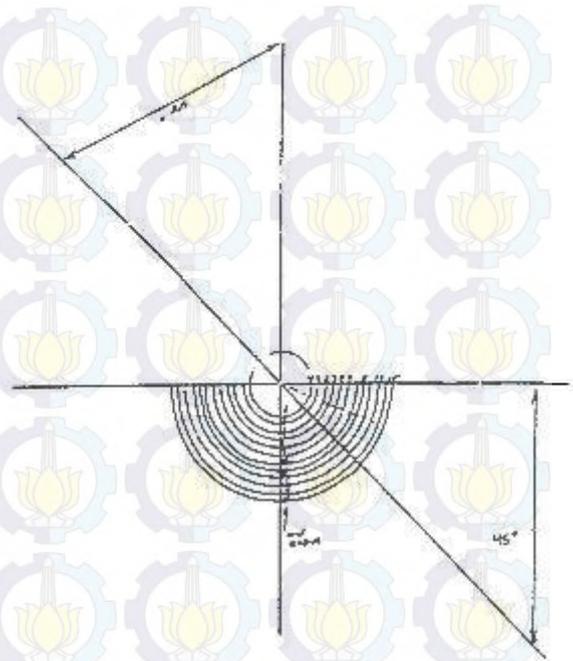
X1.4 Place a microscope glass slide on the microscope platform. Place the notched specimen on top of the slide. Focus



Note 1 - 100× reference.

Note 2 - 0.1 mm major scale; 0.01 mm minor scale.

FIG. X1.1 Filar Scale



Note 1 - Magnification = 100×

FIG. X1.2 Example of Transparent Template for Determining Radius of Notch

the microscope. Move the specimen around using the platform adjusting knobs until the specimen's notch is centered and near the bottom of the viewing area. Take a picture of the notch.

X1.4.1 *Determination of Notching Radius* (Fig. X1.4):

X1.4.1.1 Place the picture on a sheet of paper. Position the picture so that bottom of the notch in the picture faces downwards and is about 64 mm [2.5 in.] from the bottom of the paper. Tape the picture down to the paper.

X1.4.1.2 Draw two lines along the sides of the notch projecting down to a point where they intersect below the notch Point I (see Fig. X1.4B).

X1.4.1.3 Open the compass to about 51 mm [2 in.]. Using Point I as a reference, draw two arcs intersecting both sides of the notch (see Fig. X1.4C). These intersections are called 1a and 1b.

X1.4.1.4 Close the compass to about 38 mm [1.5 in.]. Using Point 1a as the reference point, draw an arc (2a) above the notch, draw a second arc (2b) that intersects with arc 2a at Point J. Draw a line between I and J. This establishes the centerline of the notch (see Fig. X1.4D).

X1.4.1.5 Place the transparent template on top of the picture and align the center of the concentric circles with the drawn centerline of the notch (see Fig. X1.4E).

X1.4.1.6 Slide the template down the centerline of the notch until one concentric circle touches both sides of the notch. Record the radius of the notch and compare it against the limits of 0.2 to 0.3 mm [0.008 to 0.012 in.].

X1.4.1.7 Examine the notch to ensure that there are no flat spots along the measured radius.

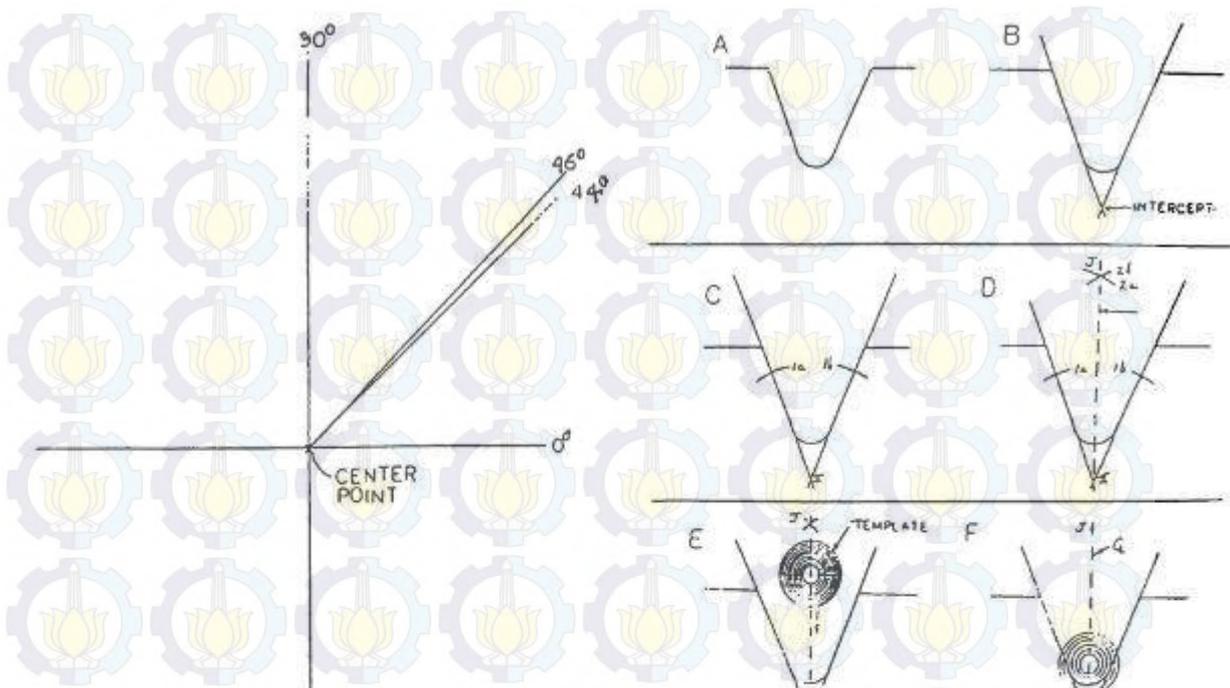


FIG. X1.3 Example of Transparent Template for Determining Angle of Notch

X1.4.2 *Determination of Notch Angle*—Place transparent template for determining notch angle (Fig. X1.3) on top of the photograph attached to the sheet of paper. Rotate the picture so that the notch tip is pointed towards you. Position the center point of the template on top of the Point I established in 0° axis of the template with the right side straight portion of the notch. Check the left side straight portion of the notch to ensure that this portion falls between the 44° and 46° lines. If not, replace the blade.

X1.5 A picture of a notch shall be taken at least every 500 notches or if a control sample gives a value outside its 3-sigma limits for that test.

X1.6 If the notch in the control specimen is not within the requirements, a picture of the notching blade should be taken and analyzed by the same procedure used for the specimen notch. If the notching blade does not meet ASTM requirements or shows damage, it should be replaced with a new blade which has been checked for proper dimensions.

X1.7 If a cutter has the correct dimensions, but does not cut the correct notch in the specimen, it will be necessary to evaluate other conditions (cutter and feed speeds) to obtain the correct notch dimension for that material.

FIG. X1.4 Determining Radius

## X2. CALIBRATION OF PENDULUM-TYPE HAMMER IMPACT MACHINES FOR USE WITH PLASTIC SPECIMENS

X2.1 This calibration procedure applies specifically to the Charpy impact machine.

X2.2 Locate the impact machine on a sturdy base. It shall not walk on the base and the base shall not vibrate appreciably. Loss of energy from vibrations will give high readings. It is recommended that the impact tester be bolted to a base having a mass of at least 23 kg if it is used at capacities higher than 2.7 J [2 ft-lbf].

X2.3 Check the level of the machine in both directions on the plane of the base with spirit levels mounted in the base, by a machinist's level if a satisfactory reference surface is available, or with a plumb bob. The machine should be made

level to within  $\tan^{-1} 0.001$  in the plane of swing and to within  $\tan^{-1} 0.002$  in the place perpendicular to the swing.

X2.4 Contact the machine manufacturer for a procedure to ensure the striker radius is in tolerance ( $3.17 \pm 0.12$  mm) (see 6.3).

X2.5 Check the transverse location of the center of the pendulum striking edge that shall be within 0.40 mm [0.016 in.] of the center of the anvil. Readjust the shaft bearings or relocate the anvil or straighten the pendulum shaft as necessary to attain the proper relationship between the two centers.

X2.6 Check the pendulum arm for straightness within 1.2

mm [0.05 in.] with a straightedge or by sighting down the shaft. This arm is sometimes bent by allowing the pendulum to slam against the catch when high-capacity weights are on the pendulum.

X2.7 Center a notched 12.7-mm square metal bar having opposite sides parallel within 0.025 mm and 125 mm long on the Charpy anvils. Place a thin oil film on the striking edge of the pendulum with an oiled cloth and let the striking edge rest gently against the bar. A thin line of oil should be transferred across the entire width of the bar, thereby verifying that the striking edge is in contact across the entire specimen width.

X2.8 When the pendulum is hanging free in its lowest position, the energy reading must be within 0.2 % of full scale.

X2.9 Swing the pendulum to a horizontal position, and support it by the striking edge in this position with a vertical bar. Allow the other end of this bar to rest at the center of a load pan on a balanced scale. Subtract the weight of the bar from the total weight to find the effective weight of the pendulum. The effective pendulum weight should be within 0.4 % of the required weight for that pendulum capacity. If weight must be added or removed, take care to balance the added or removed weight without affecting the center of percussion relative to the striking edge. It is not advisable to add weight to the opposite side of the bearing axis from the striking edge to decrease the effective weight of the pendulum since the distributed mass has the potential to result in large energy losses from vibration of the pendulum.

X2.10 Calculate the effective length of the pendulum arm or the distance to the center of percussion from the axis of rotation by the procedure in Note 5. The effective length must be within the tolerance stated in 6.3.

X2.11 Determine the vertical distance of fall of the pendulum striking edge from its latched height to its lowest point. This distance should be  $610 \pm 2$  mm. This measurement is made with a half-width specimen positioned on the anvils. Place a thin oil film on the specimen and bring the striking edge against it. The upper end of the oil line on the striking edge is the center of strike. Measure the change in vertical height of the center of strike from the latched to the free hang position (the lowest point). This vertical fall distance is adjusted by varying the position of the pendulum latch.

X2.12 If a pointer and dial mechanism is used to indicate the energy, the pointer friction should be adjusted so that the pointer will just maintain its position anywhere on the scale. The striking pin of the pointer should be securely fastened to the pointer. Friction washers with glazed surfaces should be replaced with new washers. Friction washers should be on either side of the pointer collar. The last friction washer installed should be backed by a heavy metal washer. Pressure on this metal washer is produced by a thin bent spring washer and locknuts. If the spring washer is placed next to the fiber friction washer, the pointer will tend to vibrate during impact.

X2.13 The free-swing reading of the pendulum (without specimen) from the latched height should be less than 2.5 % of pendulum capacity on the first swing. If the reading is higher than this, the friction in the indicating mechanism is excessive or the bearings are dirty. To clean the bearings, dip them in grease solvent and spin dry in an air jet. Clean the bearings until they spin freely or replace them. Oil very lightly with instrument oil before replacing. A reproducible method of starting the pendulum from the proper height must be devised.

X2.14 The shaft about which the pendulum rotates shall have no detectable radial play, less than 0.05 mm [0.002 in.]. An end play of 0.25 mm [0.010 in.] is permissible when a 9.8-N [2.2-lbf] axial force is applied in alternate directions.

X2.15 The machine should not be used to indicate more than 85 % of the energy capacity of the pendulum. Extra weight added to the pendulum will increase available energy of the machine. This weight must be added so as to maintain the center of percussion within the tolerance stated in 6.3. Correct effective weight for any range is calculated as follows:

$$W = E_p / h \quad (X2.1)$$

where:

$W$  = the effective pendulum weight, N [lbf] (see X2.13),  
 $E_p$  = potential or available energy of the machine, J [ft × lbf], and  
 $h$  = the vertical distance of fall of the pendulum striking edge, m [ft] (see X2.11).

Each 4.5 N [1 lbf] of added effective weight increases the capacity of the machine by 2.7 J [2 ft × lbf].

Note X2.1—If the pendulum is designed for use with add-on weight, it is recommended that they be obtained through the equipment manufacturer.

### X3. DERIVATION OF PENDULUM IMPACT CORRECTION EQUATIONS

X3.1 From right triangle distances in Fig. X3.1:

$$L - h = L \cos \beta \quad (X3.1)$$

X3.2 The potential energy gain of pendulum,  $E_p$ , is:

$$E_p = hW_p g \quad (X3.2)$$

X3.3 Combining Eq X3.1 and Eq X3.2 gives the following:

$$L - E_p / W_p g = L \cos \beta \quad (X3.3)$$

X3.4 The maximum energy of the pendulum is the potential

energy at the start of the test,  $E_M$ , or

$$E_M = h_M W_p g \quad (X3.4)$$

X3.5 The potential energy gained by the pendulum,  $E_p$ , is related to the absorption of energy of a specimen,  $E_s$ , by the following equation:

$$E_M - E_s = E_p \quad (X3.5)$$

X3.6 Combining Eq X3.3-X3.5 gives the following:

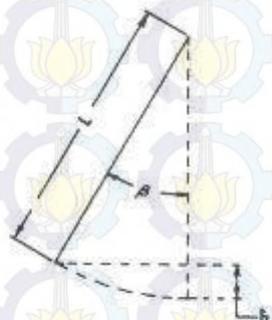


FIG. X3.1 Swing of Pendulum from Its Rest Position

$$(E_M - E_S)E_M = Lh_M(1 - \cos \beta) \quad (X3.6)$$

X3.7 Solving Eq X3.6 for  $\beta$  gives the following:

$$\beta = \cos^{-1} \{1 - [(h_M/L)(1 - E_S/E_M)]\} \quad (X3.7)$$

X3.8 From Fig. X3.2, the total energy correction,  $E_{TC}$ , is given as:

$$E_{TC} = m\beta + b \quad (X3.8)$$

X3.9 At the zero point of the pendulum the potential energy is:

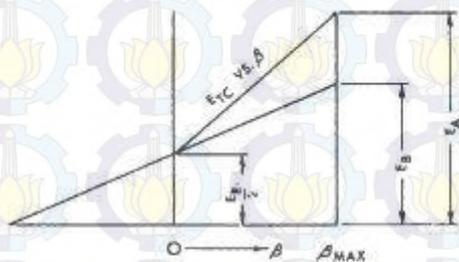


FIG. X3.2 Total Energy Correction for Pendulum Windage and Dial Friction as a Function of Pendulum Position

$$E_B/2 = m(0) + b \quad (X3.9)$$

$$b = E_B/2 \quad (X3.9)$$

X3.10 The energy correction,  $E_A$ , on the first swing of the pendulum occurs at the maximum pendulum angle,  $\beta_{max}$ . Substituting in Eq X3.8 gives the following:

$$E_A = m\beta_{max} + (E_B/2) \quad (X3.10)$$

X3.11 Combining Eq X3.8 and Eq X3.11 gives the following:

$$E_{TC} = (E_A - (E_B/2))(\beta/\beta_{max}) + (E_B/2) \quad (X3.11)$$

X3.12 Nomenclature:

- $b$  = intercept of total correction energy straight line,
- $E_A$  = energy correction, including both pendulum windage plus dial friction, J,
- $E_B$  = energy correction for pendulum windage only, J,
- $E_M$  = maximum energy of the pendulum (at the start of test), J,
- $E_P$  = potential energy gain of pendulum from the pendulum rest position, J,
- $E_S$  = uncorrected breaking energy of specimen, J,
- $E_{TC}$  = total energy correction for a given breaking energy,  $E_S$ , J,
- $g$  = acceleration of gravity,  $m/s^2$ ,
- $h$  = distance center of gravity of pendulum rises vertically from the rest position of the pendulum, m,
- $h_m$  = maximum height of the center of gravity of the pendulum, m,
- $m$  = slope of total correction energy straight line,
- $L$  = distance from fulcrum to center of gravity of pendulum, m,
- $W_p$  = weight of pendulum, as determined in X2.13, kg, and
- $\beta$  = angle of pendulum position from the pendulum rest position.

#### X4. UNIT CONVERSIONS

X4.1 Joules per metre cannot be converted directly into kilojoules per square metre.

Note X4.1—The optional units of  $kJ/m^2$  [ $ft \cdot lb/in.^2$ ] also may be required; therefore, the cross-sectional area under the notch must be reported.

X4.2 The following examples are approximations:

$$1ft \cdot lb/39.37 in. = 1.356 J/m$$

$$1ft \cdot lb/in. = (39.37)(1.356) J/m$$

$$1ft \cdot lb/in. = 53.4 J/m$$

$$1ft \cdot lb/in. = 0.0534 kJ/m$$

$$1ft \cdot lb/1550 in.^2 = 1.356 J/m^2$$

$$1ft \cdot lb/in.^2 = (1550)(1.356) J/m^2$$

$$1ft \cdot lb/in.^2 = 2101 J/m^2$$

$$1ft \cdot lb/in.^2 = 2.1 kJ/m^2$$

## SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of selected changes to this test method. For the convenience of the user, Committee D20 has highlighted those changes that impact the use of this test method. This section also includes descriptions of the changes or reasons for the changes, or both.

### *D6110-04:*

- (1) Add reference to D5947 in paragraph 2.1.
- (2) Changed requirements for micrometer in paragraph 6.3.
- (3) Removed requirement to mill draft angle from specimens.
- (4) Changed notch depth dimensions to  $10.16 \pm 0.05$  mm in order to agree with Figure 4; and clarified procedure to measure notch depth in paragraph 8.2.
- (5) Added paragraphs 10.3.2 and 10.3.3 on clarifying notch depth measuring technique. Renumbered subsequent sections.
- (6) Added Figure 6.
- (7) Permissive language removed.
- (8) Imperial units added for reference.

*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 19380-2959, 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](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D-3500. (2004). *Standard Test Methods for Structural Panel in Tension*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM D-6110. (2004). *Standard Test Methods for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).
- BKI. (1996). *Peraturan Kapal Kayu*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Blass, H.J. P. Ane, B.S. Choo, R. Gortlacher, D.R. Griffiths, B.O. Hilso, P. Raacher dan G Steek, (Eds), 1995, *Timber Engineering Step I*, First Edition, Centrum Hout, TheNedherland.
- Bramantyo Amar. (2008). *Pengaruh Konsentrasi Serat terhadap Sifat Fisis dan Mekanis*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Carol Powell and Dr Harold Michels, CDA Inc. (1984). *Review Of Splash Zone Corrosion*. Texas: LaQue Centerfor Corrosion Technology.
- Frick, H. (2004). *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu. Seri Konstruksi Arsitektur 7*. Yogyakarta: Kanisius.
- Furqon Azis. (2006). *Gerak Air Laut*. Jakarta: Oseanografil Lipi.
- Gagas Ikhsan Putradi. (2011). *Kekuatan Impak Komposit Sandwich Berpenguat Aren*. Surakarta: UNS.
- Ir. Darupratomo M.T. (2008). *Pengaruh Proses Pengawetan Bambu terhadap Karakteristik Bambu Sebagai Bahan Bangunan*. Jawa Tengah: Universitas Widha Klaten.
- Iskandar. (2009). *Pengaruh Pengekstrakan pada Kekuatan Kayu Damar Batu, Kempas dan Durian*. Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala.
- Maharjo. (n.d.). *Diktat Kuliah Perancangan Produksi Kapal Kecil*. Surabaya.
- Misdarti. (2004). *Kualitas Hasil Bambu Laminasi Kabupaten Toraja*. Makassar: Balai Litbang Kehutanan Sulawesi.
- Morisco. (1996). *Bambu sebagai Bahan Rekayasa*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Morissco. (1999). *Rekayasa Bambu*. Nafiri Offset. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada.
- Morisco. (2006). *Pemberdayaan Bambu Untuk Kesejahteraan Rakyat dan Kelestarian Lingkungan*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Muhammad Imron. (2010). *Kajian Ketahanan Kejut (Impact) Beton Kertas pada Variasi Campuran*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Nur Hafid Ahmad. (2011). *Standarisasi Bambu sebagai Bahan Bangunan Alternatif Pengganti Kayu dan sebagai Konstruksi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Powell Carol and Dr. Michels Harold, CDA Inc. (2000). *Review of Splash Zone Corrosion and Biofouling of C70600 Sheathed Steel During 20 Years Exposure*. USA: LaQue Center for Corrosion Technology in North Carolina.
- Puja .K.I.G. (2010). *Studi Sifat Impak Ketahanan Aus dan Koefisien Gesek Bahan Komposit Arang Limbah Serbuk Gergaji Kayu Glugu dengan Matrik Epoxy*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Putradi Ikhsan Gagas. (2011). *Kekuatan Impak Komposit Sandwich Berpenguat Serat Aren*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

- Putu Lokantara dan Suardana .P.N.G. (2007). *Analisis Arah dan Perlakuan Serat Tapis serta Rasio Epoxy Hardener terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Tapis/Epoxy*. Bali:Universitas Udayana.
- Ridwanti Batubara, S. Hut. (2002). *Pemanfaatan Bambu di Indonesia*. Sumatera:Universitas Sumatera Utara.
- Rifai Akhmad. (2013). *Analisis Pengaruh Salinitas Terhadap Sifat Mekanis Bambu Laminasi Sebagai Bahan Pembuatan Kapal Ikan Tradisional*. Surabaya:ITS.
- Saputra, H. H. (2006). *Pengujian Jenis Kayu Alternatif Pembuatan Kapal Di Indonesia*. Surabaya: ITS.
- Soejitno. (n.d.). *Diktat Kuliah Manajemen Teknologi Produksi I*. Surabaya.
- Sitohang Erdiana. (2001). *Pengaruh Jenis dan Lama Perendaman Bambu Betung terhadap Serangan Rayap Tanah*. Bogor:Institut Pertanian Bogor.
- Sri Handayani. (2007). *Pengujian Sifat Mekanik Bambu (Metode Pengawetan dengan Boraks)*. Semarang:Universitas Negeri Semarang.
- Sukardi & Sukanto. (1999). *Sifat Fisik, Kimia dan Mekanik Bambu*. Sumatera:Universitas Sumatera Utara.
- Sukmono, B. (2006). *Studi Proses Produksi Bambu Laminasi Sebagai Alternatif Bahan Baku Kapal*. Surabaya: ITS.
- Sulaiman. (2010). *Pengaruh Proses Pelengkungan dan Pemanasan Garis Pelat Baja Kapal AISI E 2512 Terhadap Nilai Kekerasan dan Laju Korosi*. Semarang:Universitas Diponegoro.
- Sunarto. (2013). *Analisa Pengujian Bending dan Impact Papan Partikel pada Mesin Hot Press Papan Partikel*. Jawa Tengah:Universitas Muria Kudus.
- Suprijanto Iwan. (2009). *Standarisasi Bambu Laminasi Sebagai Alternatif Pengganti Kayu Konstruksi*. Jakarta:Prosiding PPI Standarisasi.
- Sutrisno Ricky. (2012). *Produksi Kapal Ikan Tradisional dengan Kulit Lambung dan Geladak Kayu Laminasi serta Konstruksi Gading dan Geladak Aluminium*. Surabaya:ITS.
- Suwanto Bodja. (2008). *Pengawetan Bambu*. Semarang:Politeknik Negeri Semarang.
- Tampubolon, S. (1990). *Pembangunan Kapal Kayu (Wooden Boat Constuction)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perikanan.
- Tarkono. (2005). *Penggunaan Laminasi Kayu dan Bambu Untuk Komponen Balok Pada Kapal Kayu*. Surabaya: ITS.
- Thomas William Littleford . (1950). *Analysis of Variation in Modul of Elasticity and Rupture in Young*. Kolombia: University of British Columbia.
- Widodo Basuki. (2010). *Keunggulan Laminasi Bambu sebagai Bahan Pembangunan Kapal Perikanan*. Surabaya:Universitas Hang Tuah.
- Widnyana.K. (2008). *Bambu dengan Berbagai Manfaat*. Bali:Universitas Mahasaraswati Denpasar.
- Widjaja. (2001). *Identifikasi Jenis-Jenis Bambu di Kepulauan Sunda Kecil*. Puslitbang LIPI, Bogor.
- Widjaja, Mien A. R. Bambang S. Dodi N. (1994). *Strategi Penelitian Bambu Indonesia*.
- Widjaja, N. W. Utami dan Saefudin. (2004). *Panduan Membudidayakan Bambu*. Bogor:IPB.
- Woelan Soedikman. (2008). *Studi Perbandingan Pembuatan Kapal Kayu Penangkap Ikan Sistem Laminasi Pengeleman Dengan Sistem Tradisionil Untuk Daerah Perikanan Muncar – Banyuwangi*.
- Wood Handbook, Wood as an Engineering Material*. (1999).

<http://www.antara.com/>. (2004).(n.d).Retrieved January 17, 2014  
<http://www.bamboeindonesia.com>. (n.d.).Retrieved April 1,2014  
<http://www.bambusolo.com/>. (n.d.).Retrieved August 15, 2014  
<http://www.bambuawet.com>. (n.d.).Retrieved August 15,2014  
<https://www.danidwikw.wordpress.com>. (n.d.).Retrieved August 19,2014  
<http://www.fisikablogscience.com>. (n.d.).Retrieved August 19,2014  
<http://www.forum.woodenboat.com/>. (n.d.).Retrieved August 19, 2014  
<http://www.genoabay.net/>. (n.d.).Retrieved January 1, 2015  
<http://www.indonesiaforest.net/bambu.html>. (n.d.).Retrieved January 1,2014  
<http://www.kreativitasbybambu.blogspot.com/>. (n.d.).Retrieved January 1, 2014  
<http://www.mayaphobia.com>. (n.d.).Retrieved January 5,2015  
<http://www.moriscobamboo.com>. (n.d.).Retrieved January 5,2014  
<http://www.nautika-murdiansyah.com>.(n.d). Retrieved January 5,2015  
<http://www.pics.davesgarden.com>. (n.d.).Retrieved January 5,2015  
<http://www.rossebambu.files.wordpress.com/>. (n.d.).Retrieved January 5,2015  
[http://www.sahabatbambu.com/\(n.d.\)](http://www.sahabatbambu.com/(n.d.)).Retrieved January 17, 2015  
<http://www.teknikmesin2011unila.com>. (n.d.). January 17, 2015  
<http://www.yopyhenpristian.com>. (n.d.).Retrieved January 18,2015  
<http://www.woodboatbuilder.com/>. (n.d.).Retrieved January 18,2015

