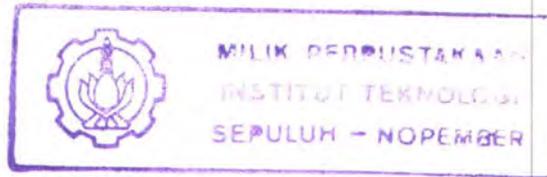


19.129 / ITS / H 2002



TUGAS AKHIR (KP 1701)

STUDI KARAKTERISTIK SERAT ROSELA, SERAT PISANG, SERAT ENCENG GONDOK SEBAGAI SUBSTITUSI KONSTRUKSI PELAT FRP PADA PEMBANGUNAN KAPAL



RSPe
623.8458
Sun
5-1

2002

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	12-9-2002
Terima Dari	f1
No. Agenda Prp.	219133

OLEH :

DWI SUNARYANTO
NRP. 4195 100 052

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2002**

TUGAS AKHIR
PRODUKSI

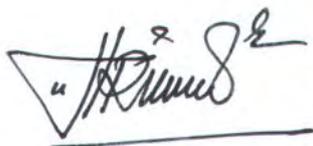
LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
(KP 1701)

**STUDI KARAKTERISTIK SERAT ROSELA,
SERAT PISANG, SERAT ENCENG GONDOK SEBAGAI
SUBSTITUSI KONSTRUKSI PELAT FRP PADA PEMBANGUNAN
KAPAL**

Diajukan sebagai salah satu Persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana pada
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Surabaya, Agustus 2002
Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Ir. Heri Supomo, M.Sc.
NIP. 131 842 506



Dosen Pembimbing II



Ir. R. Sjarief Widjaja, Ph.D
NIP. 131 782 034

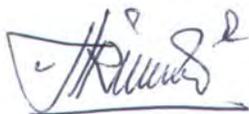
LEMBAR PENGESAHAN REVISI

TUGAS AKHIR
(KP 1701)

STUDI KARAKTERISTIK SERAT ROSELA,
SERAT PISANG, SERAT ENCENG GONDOK SEBAGAI
SUBSTITUSI KONSTRUKSI PELAT FRP PADA PEMBANGUNAN
KAPAL

Surabaya, Agustus 2002
Mengetahui dan Menyetujui

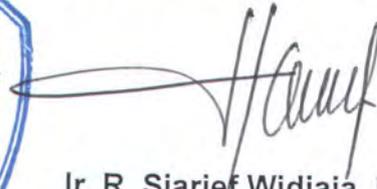
Dosen Pembimbing I



Ir. Heri Supomo, M.Sc
NIP. 131 842 506



Dosen Pembimbing II



Ir. R. Sjarief Widjaja, Ph.D
NIP. 131 782 034

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

Abstrak

Sifat material komposit yang ringan tahan terhadap korosi menjadikan material ini dijadikan sebagai alternatif pengganti baja pada pembangunan kapal. Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) adalah salah satu jenis material komposit yang biasa digunakan. Penggunaan serat penguat dari bahan alam, Naturalfiber Reinforced Plastic (NRP) dewasa ini banyak diminati.

*Pada penelitian ini mencoba menggali karakteristik dari Naturalfiber Reinforced Plastic (NRP). Material pengujian yang digunakan adalah komposit dengan serat penguat serat karung (*Hibiscus Cannabius*), abaka (*Musa Textillis Nee*) dan enceng gondok (*Eicchornia Crassipes*) yang dianyam tegak lurus. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik dan tekuk menggunakan standar pengujian ASTM D 3039/D 3039 M, 1993 dan ASTM D 790-91, 1993.*

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa NRP dengan serat penguat serat karung mempunyai kekuatan tarik lebih tinggi 18.6 % dibanding NRP dengan serat penguat abaka dan lebih tinggi 870.4 % dibanding NRP dengan serat penguat enceng gondok. Sementara itu untuk kuat tekuk NRP dengan serat penguat serat karung mempunyai kekuatan tekuk 42 % lebih tinggi dibanding NRP dengan serat penguat abaka dan 426 % lebih tinggi dibanding NRP dengan serat penguat enceng gondok. Untuk penerapan pada pembangunan kapal, penggunaan NRP dengan serat penguat serat karung memiliki ketebalan terkecil dibanding dengan NRP berserat penguat abaka dan enceng gondok dengan peningkatan tebal 51.3% dibanding FRP. Berat konstruksi NRP sebagai pelat kulit kapal masih lebih berat dibandingkan dengan FRP.

Abstract

The characteristic of composite material which are light in weight and good resistance on corrosion is the reason why this material is choosed as an alternative substitute for steel on shipbuilding. Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) is one of composite material that is usually used. Now days use of Natural-fiber Reinforced Plastic (NRP) is more interested.

This research tried to delve the characteristic of Natural-fiber Reinforced Plastic NRP. The experiment material are composites with sack fiber (Hibiscus Cannabius), abaca (Musa Textillis Nee) and water hyacinth (Eicchornia Crassipes) reinforced which are perpendicular plaited. The experiments that had been done are tensile and bending test based on ASTM D 3039/D 3039 M, 1993 and ASTM D 790-91, 1993.

The result shows that NRP reinforced by sack-fiber had tensile strength about 18.6% higher than NRP reinforced by abaca-fiber and 870% higher than NRP reinforced by water hyacinth fiber. For flexural strength, NRP reinforced by sack-fiber had 42% higher than NRP reinforced by abaca-fiber and 426% higher than NRP reinforced by water hyacinth fiber. Applying in shipbuilding, used of NRP reinforced by sack-fiber had lowest thickness comparing with NRP reinforced by abaca-fiber and water hyacinth fiber, which had increasing about 51.3% than FRP. Weight of NRP construction as ships skin plate is higher than FRP.

Kata Pengantar

Segala puji bagi Allah, Raja Manusia yang telah memberikan kuasanya hingga penulis dapat menyelesaikan **Tugas Akhir** dengan judul *Studi Karakteristik Serat Rosela, Serat Pisang, Serat Enceng Gondok Sebagai Substitusi Konstruksi Pelat FRP pada Pembangunan Kapal*.

Sebagai manusia yang tidak luput dari kesalahan dan kekurangan, penulis mengharapkan adanya kritik maupun saran atas kekurang-sempurnaan yang ada dalam penulisan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis berharap, penulisan tugas akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Amin.

Surabaya, Juli 2002

Penulis

Ucapan Terima Kasih

Penulisan tugas akhir ini tidak akan terselesaikan tanpa bantuan berbagai pihak yang memberikan bimbingan, dorongan, dan motivasi. Berikut adalah sebagian pihak yang bisa kami sebutkan :

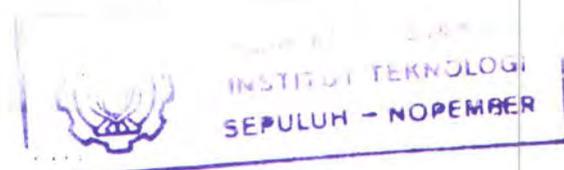
1. Kedua orang tuaku, Ayahanda Parno dan Ibunda Sumarjati
2. Bapak Ir. Heri Supomo, M.Sc selaku dosen pembimbing I
3. Bapak Ir. R. Sjarief Widjaja, Ph.D selaku dosen pembimbing II
4. Bapak Ir. Budie Santosa, MT selaku dosen wali
5. Seluruh staf dan pengajar jurusan Teknik Perkapalan FT. Kelautan ITS
6. Kakakku, Mas Pur yang telah tenang disisi Allah dan Adik-adikku, Iput & Vivin, You're my spirit.
7. Iskandar dan Sriyadi yang setia menemani dan membantu
8. Mas Hendri, mbak Ima, Irfan Panjul dan staf Rocket Production
9. Mas Yazid, Junaidi, Aan dan anggota GK 75, atas tempatnya
10. Ru'yat Rahmawan Boss KBS dan Crew eks GW 44
11. Arek-arek '94 dan '95 Kapal ITS (Vivat Segawon)
12. Bapak Untung Setyo Budi dari Balai Penelitian Tembakau dan Tanaman Serat Malang (Balittas) dan ibu Joylita, atas seratnya.

Daftar Isi

Abstrak	ii
Kata Pengantar	iv
Ucapan Terima Kasih	v
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Umum	I-1
1.2. Latar Belakang Penelitian	I-1
1.3. Perumusan Masalah	I-3
1.4. Batasan Masalah	I-3
1.5. Tujuan Penelitian	I-4
1.6. Manfaat Penelitian	I-4
1.7. Metodologi Penelitian	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tinjauan Umum	II-1
2.2. Komposit Pada Kapal	II-2
2.3. Pembuatan Material Komposit	II-6
2.3.1. Matriks	II-8
2.3.2. Material Penguat	II-8

2.3.3. Bahan Pendukung	II-13
2.4. Serat Alam Sebagai Penguat	II-15
2.4.1. Serat Karung Sebagai Serat Penguat	II-18
2.4.2. Abaka Sebagai Serat Penguat	II-21
2.4.3. Enceng Gondok Sebagai Serat Penguat	II-24
BAB III PERENCANAAN DAN PENGUJIAN MATERIAL	
3.1. Umum	III-1
3.2. Perhitungan Perencanaan Ketebalan dan Fraksi	
Volume Lamina	III-1
3.2.1. Perhitungan Ketebalan Lamina	III-2
3.2.2. Perhitungan Fraksi Volume Lamina	III-2
3.3. Perencanaan Spesimen Uji	III-3
3.3.1. Perencanaan Dimensi Spesimen Uji	III-4
3.3.1.1 Pengujian Tarik	III-4
3.3.1.2 Pengujian Tekuk	III-5
3.3.2. Perhitungan Berat Material Pembentuk	
Lamina Spesimen	III-6
3.3.3. Perhitungan Ketebalan Lamina	
Spesimen Pengujian	III-7
3.4. Perencanaan Susunan Laminat FRP dan NRP	III-10
3.5. Proses Pembuatan Spesimen Uji	III-12
3.5.1. Pembuatan Serat.	III-12
3.5.2. Persiapan Bahan dan Peralatan	III-13

3.5.3. Proses Pengerjaan Spesimen	III-14
3.6. Prosedur dan Proses Pengujian Spesimen	III-15
3.7. Perhitungan Hasil Pengujian	III-17
3.7.1. Hasil Pengujian Tarik	III-17
3.7.2. Hasil Pengujian Tekuk	III-18
BAB IV ANALISA TEKNIS	
4.1. Umum	IV-1
4.2. Analisa Kekuatan Tarik Lamine FRP dan NRP	IV-3
4.3. Kekuatan Tekuk Lamine Kulit FRP dan NRP	IV-5
4.4. Modulus Elastisitas Lamine Kulit FRP dan NRP	IV-7
4.5. Analisa Hasil Perhitungan Tebal Lamine Kulit Lambung dan Deck	IV-8
4.6. Analisa Hasil Perhitungan Berat Lamine FRP dan NRP	IV-9
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-3
Daftar Pustaka	
Lampiran-lampiran	

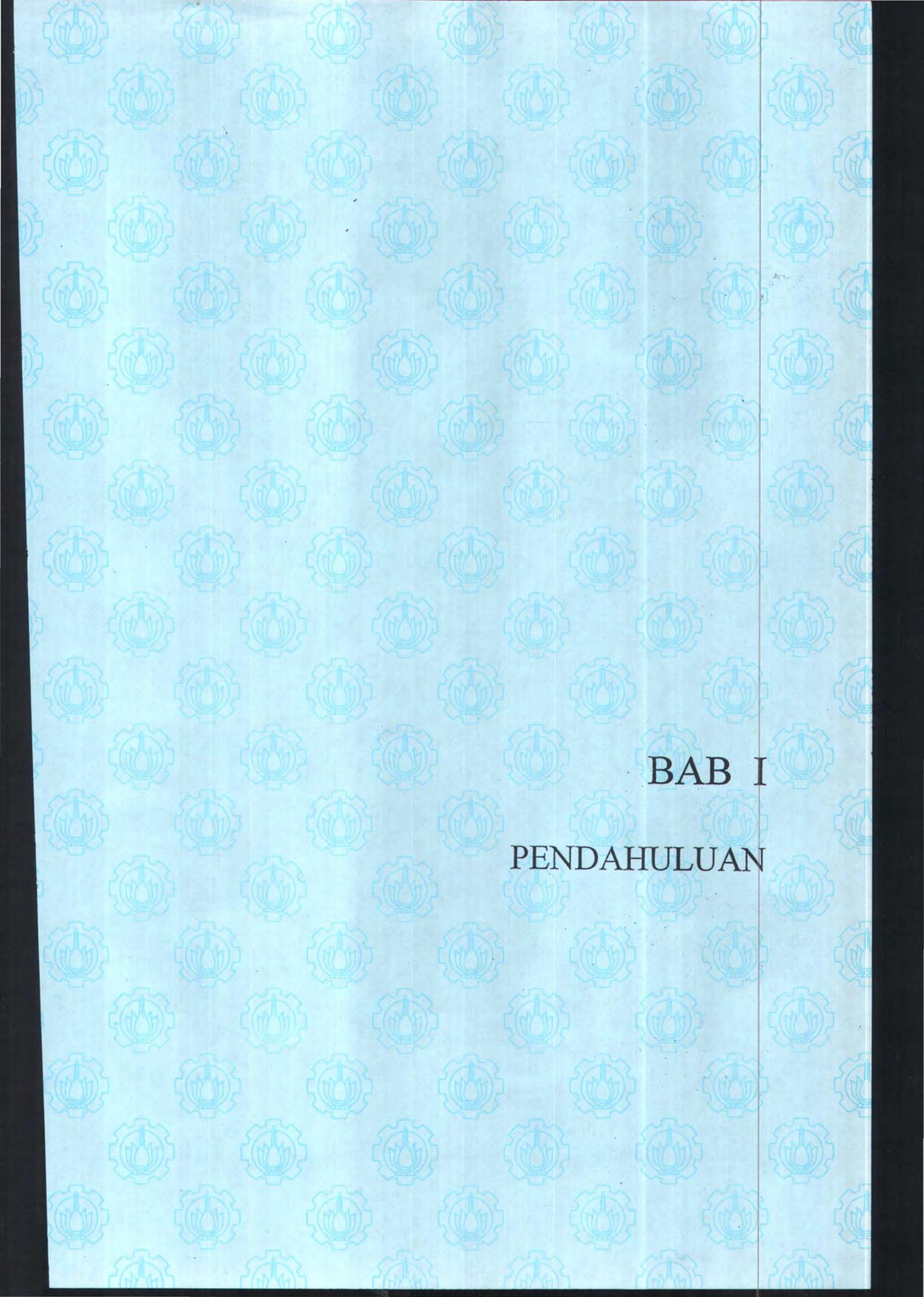


Daftar Gambar

Gambar 3.1	Dimensi spesimen uji tarik	III-4
Gambar 3.2	Dimensi spesimen uji tekuk	III-5
Gambar 3.3	Dimensi material uji	III-5
Gambar 4.1	Grafik Kuat Tarik	IV-3
Gambar 4.2	Grafik Kekuatan tekuk laminate	IV-5
Gambar 4.3	Grafik Modulus elastisitas Laminate	IV-7
Gambar 4.4	Grafik Tebal material laminate untuk konstruksi lambung dan deck	IV-8
Gambar 4.5	Grafik berat material laminate kulit lambung dan deck	IV-9

Daftar Tabel

Tabel 2.1	Karakteristik serat penguat	II-11
Tabel 2.2	Dimensi serta non kayu	II-17
Tabel 2.3	Sifat fisik serat alam	II-18
Tabel 2.4	Perbandingan mechanical dan physical properties material kayu dibanding non kayu	II-20
Tabel 2.5	Rincian mutu pelepah abaka	II-24
Tabel 3.1	Tabel berat tiap lembar serat penguat	III-6
Tabel 3.2	Tabel berat resin yang dibutuhkan tiap lamina	III-7
Tabel 3.3	Tabel tebal lamina spesimen uji	III-7
Tabel 3.4	Tabel komposisi serat penguat spesimen uji	III-9
Tabel 3.5	Tabel hasil pengujian tarik spesimen dengan orientasi serat 0^0 dan 45^0	III-16
Tabel 3.6	Tabel hasil pengujian tekuk spesimen dengan orientasi serat 0^0 dan 45^0	III-18
Tabel 4.1	Tabel kekuatan tarik laminate	IV-5
Tabel 4.2	Tabel kekuatan tekuk laminate	IV-6
Tabel 4.3	Tabel selisih tebal laminate FRP dan NRP	IV-9
Tabel 4.4	Tabel hasil perhitungan berat kulit lambung dan deck	IV-10



BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Umum

Dewasa ini material komposit telah diakui/diterima pemakaiannya disemua sektor industri, sebagai pengganti baja. Tahan korosi, ringan dan mempunyai karakteristik bahan yang baik menyebabkan komposit semakin banyak dipakai. Industri maritim adalah salah satu pengguna terbesar dari FRP (*Fiberglass Reinforced Plastic*) melalui kapal pesiar, kapal kecil dan kapal-kapal khusus. Banyak bukti menunjukkan bahwa dengan teknologi yang tepat komposit struktur dapat dijadikan transportasi laut yang ringan.

Perencanaan menggunakan komposit memerlukan pengetahuan yang luas tentang sifat-sifat bahan yang termasuk pembentuk material tersebut agar dapat memenuhi persyaratan struktur yang ada.

1.2 Latar Belakang Penelitian

Dalam pembuatan konstruksi-konstruksi yang ringan serta butuh kekedapan dan daya tahan yang tinggi terhadap cuaca atau senyawa kimia tertentu, saat ini kita telah mengenal apa yang disebut dengan FRP (*Fiberglass Reinforced Plastic*). Konstruksi FRP secara umum terdiri dari dua jenis yaitu FRP Single Skin dan FRP Sandwich,

dimana masing-masing konstruksi material tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan.

Disini penulis ingin mencoba sebuah alternatif material konstruksi yang salah satu bahan dasarnya juga dari bahan plastic (seperti pada konstruksi FRP) yang diperkuat oleh serat dari bahan serat alam, *Naturalfiber Reinforced Plastic (NRP)*. Serat alam yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat rosela/serat karung (*Hibiscus cannabinus*), pisang abaka (*Musa Textillis Nee*), dan enceng gondok (*Eicchornia Crassipes*). Serat karung, abaka, enceng gondok selain jauh lebih murah daripada serat gelas atau yang lebih kita kenal dengan *fiberglass*, juga memiliki beberapa keuntungan seperti bahan dasarnya yang banyak dijumpai di semua daerah di Indonesia bahkan untuk serat karung telah diproduksi secara massal untuk keperluan industri. Namun bagaimana dengan karakteristik material yang lain (kekuatan material, tingkat kesulitan dalam proses pembuatan, dan lain-lain). Apakah konstruksi serat karung, serat abaka, dan serat enceng gondok yang diperkuat plastik bisa menggantikan serat gelas untuk pembangunan sebuah kapal dan bagaimana prospeknya?

Untuk mengetahuinya maka diperlukan data-data dari material yang ada untuk diketahui persamaan maupun perbedaan karakteristiknya.

1.3. Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang timbul dari penggunaan serat rosela, serat pisang, serat enceng gondok sebagai pengganti serat gelas adalah bagaimanakah karakteristik dan prospek penggunaan serat rosela, serat pisang, serat enceng gondok sebagai pengganti serat gelas dalam pembangunan kapal?

1.4. Batasan Masalah

Dalam menganalisa karakteristik konstruksi dari material FRP dan NRP dibuat batasan-batasan dari masalah yang ditinjau yaitu :

- o Konfigurasi laminasi.
- o Ketebalan laminate.
- o Kekuatan tarik dan kekuatan tekuk.
- o Proses pembuatan.
- o Serat rosela yang digunakan adalah serat karung yang ada di.pasaran.
- o Tidak membahas reaksi kimia yang terjadi pada proses pembuatan material.
- o Tidak membahas persoalan teknis pasca pembuatan (perawatan dan reparasi).
- o Tidak membahas aspek ekonomis penggunaan material.
- o Analisa perilaku bahan komposit ditinjau secara makromekanik.
- o Benda uji dianggap sempurna (tebal sama, permukaan rata, komposisi sesuai yang direncanakan).

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- Mendapatkan perbandingan sifat-sifat fisik (berat material, tebal laminate) dan mekanis (kekuatan tarik, kekuatan tekuk)
- Mendapatkan data tentang prospek penggunaan serat karung, abaka, enceng gondok sebagai substitusi serat gelas

1.6 Manfaat Penelitian

Data yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan untuk pengembangan material komposit yang menggunakan serat alam sebagai material penguat, khususnya serat karung, serat enceng gondok, serat abaka dalam industri pembangunan kapal.

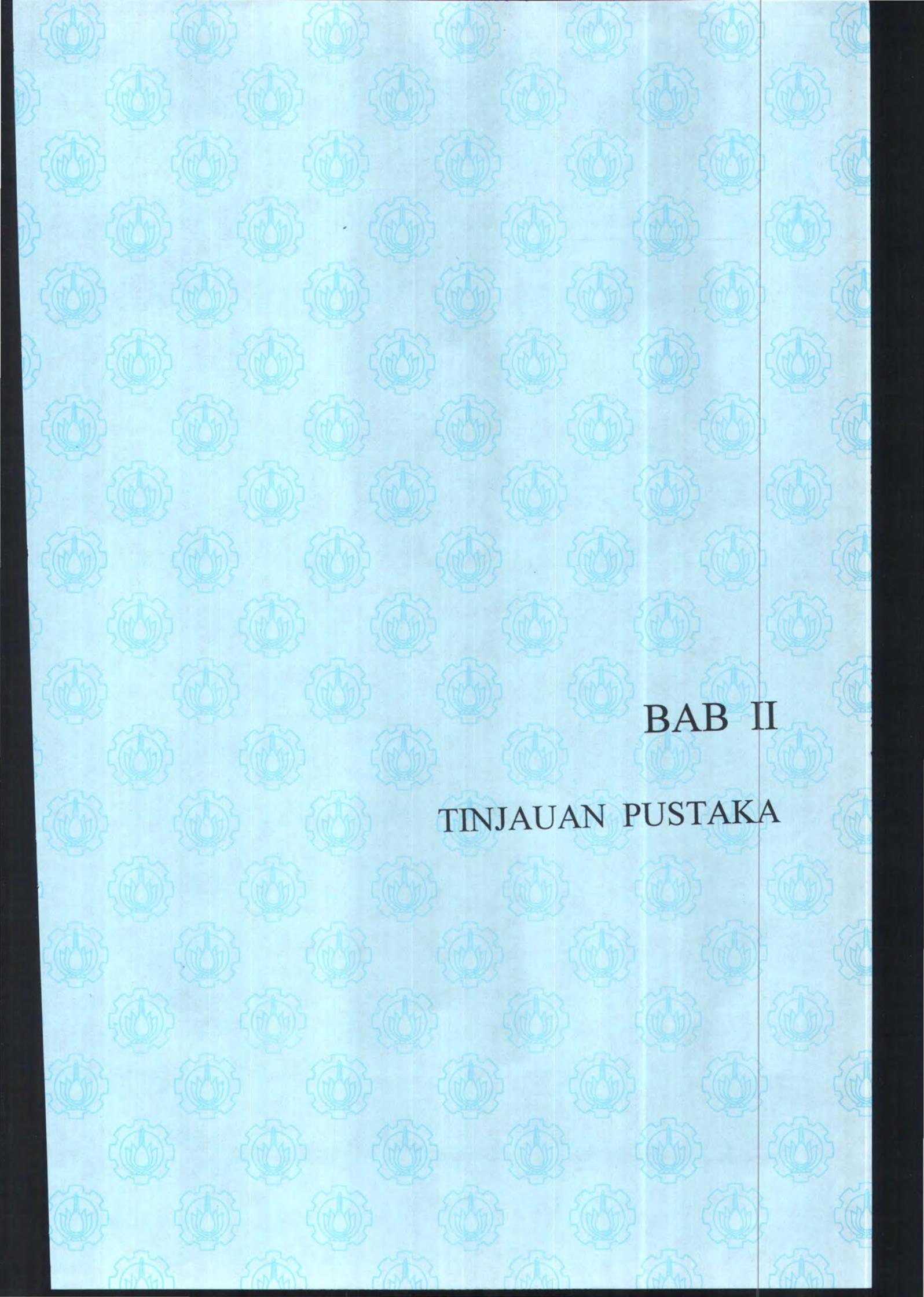
1.7 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah :

- o Studi literatur awal mengenai material komposit, FRP dan serat karung, abaka, enceng gondok serta proses produksinya.

Mempelajari tentang karakteristik material komposit, konfigurasi material FRP dan proses produksinya serta jenis-jenis serat karung, abaka, enceng gondok beserta pemanfaatannya dari buku atau jurnal ilmiah.

- o Survey lapangan
Mengadakan survey lapangan untuk mendapatkan data tentang serat karung, abaka, enceng gondok dan proses pembuatannya.
- o Mempelajari konstruksi serta menyusun konfigurasi laminasi kedua material
Berdasarkan data yang diperoleh dibuat konfigurasi laminasi FRP dan konfigurasi laminasi NFRP
- o Pembuatan spesimen uji
Spesimen uji dibuat berdasarkan standart pengujian ASTM D 3039. 1993 dan ASTM D 790-91. 1993
- o Melakukan pengujian di laboratorium
Berdasarkan pada konfigurasi material dan konstruksi yang telah dibuat yang kemudian dibuat dalam bentuk dan jumlah specimen tertentu dilakukan pengujian-pengujian untuk mendapatkan data tentang sifat-sifat fisik dan mekanik bahan, antara lain adalah uji tarik serta uji tekuk
- o Melakukan perbandingan
Dilakukan perbandingan antara kedua jenis material dalam pembuatan suatu konstruksi dari semua aspek yang ditinjau



BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Composite dapat didefinisikan sebagai suatu kombinasi dari dua bahan atau lebih, yang sifatnya sangat berbeda dengan sifat masing-masing bahan asalnya. Dengan mengkombinasikan bahan-bahan tertentu maka akan dapat diperoleh suatu bahan yang lain dengan sifat yang lebih baik dari masing-masing bahan asalnya, karena masing-masing bahan diambil sifat baiknya. Kombinasi tersebut harus sedemikian rupa sehingga akan saling menghilangkan sifat buruk dari bahan asalnya yang lain [Wahid Suherman, 1987].

Material komposit dapat diklasifikasikan bermacam-macam tergantung pada ide-ide dan konsep yang diinginkan. Material komposit dapat dibagi dalam tiga jenis umum type komposit :

1. Fibrous composite, adalah material komposit yang hanya terdiri dari satu lamina (lapisan) dan bahan penguatnya berupa fiber atau whiskers. Dimana dimensi fiber mempunyai perbandingan antara panjang dan diameter sangat tinggi sampai ribuan. Sedangkan whiskers mempunyai perbandingan panjang terhadap diameter hanya dalam hitungan ratusan.

2. Komposit partikel, adalah komposit yang mengandung satu atau lebih partikel dalam matriks.
3. Komposit berlapis, adalah komposit yang tersusun atas dua atau lebih lapisan dari bahan yang berbeda

Dalam menganalisa karakteristik dari komposit terdapat dua macam konsep pemahaman yaitu :

1. tinjauan secara mikromekanik
2. tinjauan secara makromekanik

Dalam tinjauan mikromekanik, yang dilihat adalah komposit sebagai material yang tersusun antara matriks dan serat sehingga analisa kekuatan komposit didasarkan pada kekuatan matriks dan serat pembentuknya. Sedangkan dalam tinjauan makromekanik, yang dilihat adalah komposit sebagai suatu material yang utuh sehingga analisa kekuatan komposit didasarkan pada kekuatan tiap lapisan yang membentuknya.

2.2 Komposit pada kapal

Pada kapal kecil glass tetap mendominasi sebagai bahan pembuatnya, tetapi pada high performance craft yang menuntut kekakuan yang lebih besar serta berat yang lebih ringan dipakai carbon dan aramid fibre [Rudling, 1984]. Dari tiga macam tipe serat yang ada, E glass telah digunakan dengan hasil yang baik di industri maritim [Salama, 1987]. Keunggulan E glass adalah memiliki sifat yang tahan

korosi, bukan penghantar listrik dan panas, serta harganya relatif murah bila dibandingkan dengan tipe glass yang lain. Penggunaan R dan S glass cenderung dibatasi untuk high performance craft saja. R glass terbukti tahan terhadap banyak senyawa kimia. Namun harga R glass dapat mencapai 7 – 10 kali harga E glass sedangkan S glass dapat sampai 20 kali harga E glass [Smith, 1990].

Carbon fibre dapat dikategorikan sebagai high strength atau high stiffness fibre. Pada umumnya carbon fibre dipakai dalam industri dirgantara. Harga carbon dapat mencapai 50 kali harga E glass. Aramid fibre atau yang lebih dikenal dengan nama kevlar, sudah pernah dipakai untuk high performance craft, sebab kevlarr memiliki tahanan impak yang tertinggi bila dibandingkan dengan jenis fibre yang lain. Harga tipe ini lebih murah dibandingkan serat carbon yakni sekitar 15 kali harga E glass.

Teknik yang paling cepat untuk komposit adalah dengan cara *Hibrid*. Dengan campuran tertentu akan sangat dimungkinkandiperoleh sifat mekanik bahan yang sesuai dengan kebutuhan dan harganya lebih rendah. Sebagai contoh kevlar dan carbon digunakan secara hibrid sehingga keunggulan masing-masing sifat-sifat tiap material akan mengisi kelemahan masing-masing sifat material yang lain. Carbon yang mempunyai stiffness dan impack serta tensile yang tinggi akan memproduksi laminasi yang bukan hanya kaku tetapi juga lebih murah bila dibandingkan dengan carbon carbon komposit murni. Mungkin

teknik ini kelak akan menjadi populer dikemudian hari untuk penggunaan di industri maritim.

Pada umumnya konstruksi komposit diindustri maritim dibuat dengan metode hand lay up. Oleh karenanya kualitas laminasi sangat tergantung pada kemampuan dan ketrampilan pekerja. Secara umum diketahui bahwa teknik quality control adalah metode destructive test. Teknik lain yang juga digunakan adalah ultrasonic test, terutama untuk single skin laminate.

Menurut konferensi Internasional tentang persyaratan keselamatan jiwa dilaut [SOLAS, 1974] material yang dipakai dikapal adalah material yang tidak terbakar, dan jika kita melihat secara fisik material komposit baik resin maupun fibernya baik secara terpisah maupun hasil campuran termasuk dalam keluarga plastik, dimana plastik dalam segala bentuk penggunaannya termasuk bahan yang “mudah terbakar”. Akan tetapi dari hasil pengujian dibuktikan bahwa FRP wall tetap mampu bertahan setelah dikenakan uji kebakaran menurut standart Fire Test B.S 476 yang lebih kurang sama dengan standart uji kebakaran menurut SOLAS A 60 FIRE TEST. Hasil test menunjukkan bahwa bila dibandingkan dengan aluminium, material komposit memiliki standart fire performance yang lebih tinggi khususnya struktur integritasnya. Kelemahan satu-satunya dari material komposit adalah timbulnya sejumlah asap.

Beberapa keuntungan penggunaan material komposite untuk pembangunan kapal antara lain :

- Berat jenisnya rendah, sehingga bentuk konstruksi akan lebih ringan jika dibandingkan dengan konstruksi dari baja atau kayu untuk besar struktur yang sama.
- Anti korosi, tahan terhadap cuaca, tahan terhadap marine boring organisme, sehingga biaya reparasi dan perawatan jauh lebih murah
- Mudah dibentuk, sehingga lebih fleksibel terutama untuk konstruksi yang membutuhkan bentuk hidrodinamis

Adapun prinsip material pada dasarnya adalah sebagai berikut :

- Material harus tersedia dan harganya terjangkau
- Material harus mudah diproses dan dibentuk
- Memenuhi fungsinya dalam konstruksi
- Struktur harus mudah disambung dengan struktur yang lain
- Struktur harus mampu bertahan terhadap persyaratan beban, berat, dan bahaya kebakaran.

Didalam industri kapal saat ini dikenal ada dua jenis konstruksi FRP yang biasa digunakan yaitu :

➤ FRP Single Skin

Yaitu salah satu jenis konstruksi FRP dimana tersusun atas lamina serat penguat bercampur resin dengan susunan yang bervariasi baik bentuk maupun konfigurasi, untuk

mendapatkan keuntungan dari sifat masing-masing serat. Biasanya digunakan campuran antara *Chopped Strand Mat* dan *Woven Roving*.

➤ FRP Sandwich

Yaitu konstruksi FRP yang memiliki lapisan inti atau *Core* selain lapisan penguat, dimana bahan material inti ini berbeda dengan bahan lamina penguat yang mengapitnya (kulit). Bahan lapisan inti harus mempunyai sifat yang ringan, kekuatan geser (*shear strength*) yang tinggi untuk dapat mendistribusikan tegangan diantara kedua kulit pengapitnya, serta kekuatan tekan (*Compressive strength*) yang baik untuk menahan beban. Lapisan inti dan lamina kulit dilekatkan dengan perekat dari bahan poliester, dimana bahan lapisan inti dan perekat ini harus bersifat tahan air.

2.3 Pembuatan Material Komposit

Didalam industri pembangunan kapal fiberglass secara umum ada dua metode yang biasa digunakan yaitu [Lukman Aris, 2001]:

1. Metode Tangan

Pada metode olesan (*Hand lay up*), penguat diletakkan diatas cetakan yang diolesi dengan *wax*, *wax* ini berfungsi untuk memudahkan pengambilan komposit dari cetakan.

Pada metode ini serat yang dipakai dapat berupa anyaman (*woven roving*) atau serat pendek dan acak (*chopped strand mat*). Resin yang umum dipakai dalam metode ini adalah poliester. Cairan resin dicampur dengan stiren dan katalis, kemudian dioleskan dan dirol diatas penguat. Pembekuan cukup dengan temperatur kamar. Adapun fraksi volume penguat yang dapat dipakai dengan metode ini tidak lebih dari 30%.

2. Metode dengan cetakan mesin

Metode ini sangat luas penggunaannya dan pada umumnya dijumpai pada industri-industri skala besar. Contoh pembuatan komposit dengan metode ini antara lain : sistem injeksi, pultrasi, sistem penggulungan kawat, dan lain-lain.

Pada umumnya material komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu :

- *Matriks*, umumnya lebih ductile namun kekuatan dan rigiditasnya lebih rendah
- Penguat (*reinforcement*), umumnya berbentuk serat yang memiliki sifat kurang ductile namun lebih rigid dan kuat
- Bahan pendukung, yaitu bahan yang ditambahkan untuk membantu proses pembuatan lamina

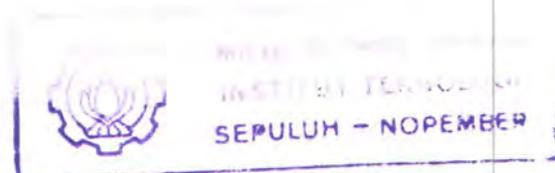
2.3.1 Matrik

Matriks merupakan material pengikat serat penguat pada komposit. Sifat umum matriks adalah ductile dan kekuatannya kurang jika dibandingkan dengan material penguatnya. Bahan yang umum dipakai sebagai matriks adalah metal atau polimer. Untuk penggunaan yang sering ditemui di Industri adalah jenis polimer. Adapun jenis polimer adalah sebagai berikut [Handoko T.L, 1998]:

1. *Resin polyester*, merupakan resin yang sering dipakai dalam proses manufacturing. Pada proses pelapisan dipakai katalis untuk mempercepat proses pengerasan dari resin tersebut.
2. *Resin Epoxy*, merupakan pengkondensian antara epikloridin dengan senyawa polihidroksi.
3. *Resin Silikon*, yaitu senyawa organik hasil ikatan antara silicon dengan atom oksigen.
4. *Resin Furin*, resin ini diperoleh dengan proses kondensasi fulfural alcohol dengan fulfural.
5. *Resin Fenolik*, resin ini diperoleh dengan proses kondensasi fenol dengan aldehyd.

2.3.2 Material Penguat (*Reinforced Material*)

Material penguat tidak selalu dalam bentuk serat yang panjang, tetapi dapat juga berbentuk serat pendek, *whiskers*, partikel atau berupa lembaran anyaman. Serat dikarakteristikan secara geometri memiliki



perbandingan panjang dengan diameter mendekati kristal, *whiskers* pada dasarnya sama dengan serat tapi umumnya sangat pendek dan tumpul, sedangkan partikel secara geometri bentuknya sangat kecil dan mempunyai prosentase total volume yang sangat kecil.

Secara umum fungsi serat adalah sebagai penguat atau unsur yang menerima beban dan mempunyai sifat kuat dan kaku. Ada beberapa syarat yang harus dimiliki serat untuk dapat memperkuat matrik pada bahan komposit, antara lain: serat harus mempunyai modulus elastisitas yang tinggi, kekuatan yang tinggi dan mampu menerima beban yang bekerja padanya.

Komposit berpenguat serat dapat dibagi dalam dua jenis :

- Komposit serat pendek
- Komposit serat panjang

1. Komposit serat pendek

Pada umumnya komposit berpebguat serat pendek menggunakan resin jenis termoset. Panjang serat pendek yang dipakai biasanya sekitar 1 mm sampai dengan 20 mm. Komposit berpenguat serat pendek dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu :

- a. Komposit berpenguat serat pendek yang memiliki orientasi acak
- b. Komposit berpenguat serat pendek dengan orientasi sejajar satu sama lain

Komposit berpenguat pendek dengan orientasi acak sendiri dibagi menjadi dua macam yaitu :

- a). Komposit berpenguat serat acak 3 dimensi, dimana panjang serat lebih kecil dari tebal komposit.
- b). Komposit berpenguat serat acak 2 dimensi, dimana panjang serat lebih besar dari tebal komposit.

Akibat langsung dari komposit berpenguat serat pendek dengan orientasi acak adalah nilai fraksi volume yang rendah. Fraksi volume serat yang rendah berhubungan dengan ketidak-efisienan balutan dan batasan-batasan dalam proses pencetakan. Namun keuntungan pemakaian serat pendek adalah kemungkinan pengolahan yang lebih mudah, lebih cepat, produksi lebih murah dan kemungkinan rancangan lebih beragam.

2. Komposit serat panjang

Komposit dikategorikan berpenguat serat panjang, jika panjang serat sama dengan panjang komposit. Komposit serat panjang lebih efisien untuk diorientasikan daripada serat pendek karena kemudahan pada proses pembuatannya.

Serat penguat (*reinforcement*) yang paling sering digunakan untuk material komposit umumnya adalah serat gelas karena memiliki modulus elastisitas yang cukup tinggi. Untuk bahan serat yang lain yang sering digunakan dalam struktur komposit dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut [Yoyok, 1998]:

Table 2.1 Karakteristik serat penguat

Type	Manufacturer	Tensile strength	Modulus	Density
		Mpa (ksi)	Gpa (Msi)	(g/cm ³)
E-glass	Corning	3,450 (500)	72,5 (10,5)	2,54
S-glass	Corning	4,480 (650)	85,6 (12,4)	2,49
Cellulose	Cutting	300-500	10	1,2
Carbon				
AS4	Hercules	3,730 (540)	235 (34)	1,81
T300	Union Carbide	2,760-3,450 (400-500)	228 (33)	1,76
HFS	Hercules	2,830 (410)	248 (36)	1,82
IM-6	Hercules	4,480 (650)	290 (42)	1,80
IM-7	Hercules	5,170 (750)	290 (42)	1,80
Graphite				
T-50	Union Carbide	2,070 (300)	393 (57)	1,67
GY-70	Celanese	1,725 (250)	517 (75)	1,86
Pitch type P	Union Carbide	1,725 (250)	345 (50)	2,02
Boron	AVCO	3,280-3,660 (475-530)	365-414 (53-60)	2,1-3,0
Kevlar (aramid)	DuPont	3,800 (550)	131 (19)	1,45
Silicone carbide				
5,6 mil/C (SCS-2)	Textron	4,140 (600)	400 (58)	3,05
Nicalon	Nippon Caebon	2,070 (300)	172 (25)	2,60
Alumina				
FP-2	DuPont	1,725 (250)	380 (55)	3,70
Saphikon	Saphikon	3,100 (450)	380 (55)	3,80
Silika	-	5,800 (840)	72,5 (10,5)	2,19
Tungsten	-	4,140 (600)	414 (60)	19,30

Dari tabel diatas terlihat bahwa serat S-glass mempunyai kekuatan tarik dan modulus elasticity yang lebih tinggi (4.480 Mpa dan 85.6 Gpa) dibanding dengan serat E-glass (3450 Mpa dan 72.5 Gpa) maupun serat yang berbasis Cellulose (300 Mpa dan 10 Gpa). Serat penguat dari bahan kaca (*fiberglass*) sangat banyak digunakan adalah karena sifat kaca yang sangat lembam, tidak menyerap air, tidak

mengembang, atau membusuk, memiliki daya tahan terhadap panas yang tinggi dan tidak dapat terbakar, serta tahan terhadap zat-zat kimia.

Fungsi lain serat penguat antara lain:

- Meningkatkan kuat tarik dan kekuatan lengkung
- Meningkatkan modulus kelengkungan
- Meningkatkan kekuatan tumbuk
- Mempertahankan kestabilan bentuk

Namun demikian serat penguat dari bahan kaca memiliki kelemahan, yaitu kurang sempurnanya ikatan dengan resin. Hal ini disebabkan sifatnya yang inert dan tidak menyerap air, terutama jenis serat penguat Waven Roving.

Beberapa jenis serat gelas yang sering digunakan pada proses pembentukan komposit antara lain [Handoko T.L, 1998]:

1. Serat E Glass

Serat jenis ini memiliki *kekuatan yang cukup tinggi*, umumnya digunakan untuk proses manufacturing. Kandungan unsure alkali dalam serat ini kurang dari 1% yang dikombinasi dengan sodium dan potassium oksida.

2. Serat C Glass

Serat ini dirancang untuk *tahan korosi terhadap lingkungan kimia* sehingga banyak dipakai untuk melapisi peralatan pada pabrik kimia.

3. Serat S dan R Glass

Serat jenis ini memiliki *modulus elastisitas yang tinggi*, umumnya dipergunakan untuk konstruksi pesawat terbang dan kapal laut.

Serat gelas yang ada dipasaran sekarang ada beberapa tipe. Tipe-tipe tersebut menunjukkan bentuk konfigurasi seratnya, beberapa jenis tipe serat tersebut antara lain [Yoyok, 1998]:

- *Roving*, merupakan serat gelas yang berbentuk benang yang tidak terputus
- *Woven Roving*, yaitu serat gelas yang dianyam saling tegak lurus seperti tikar
- *Chopped roving*, yaitu roving yang membentuk potongan-potongan kecil dengan ukuran kurang dari 10 cm, pemakaiannya disebarkan diatas resin
- *Chopped strand mat*, yaitu serat gelas yang tersusun dari chopped roving yang ditenun satu sama lain dan tersusun secara acak

2.3.3 Bahan Pendukung

Dalam proses pembuatan lamina ada beberapa material yang berpengaruh terhadap karakteristik laminate kulit yang dibuat. Untuk itu kita perlu mengetahui fungsi, komposisi dan pengaruh dari masing-masing bahan pendukung itu. Berikut adalah beberapa diantaranya [Wiley, 1982]:

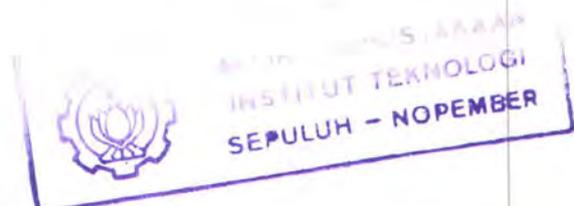
- Katalis (Catalyst), adalah bahan pendukung yang berfungsi untuk memulai proses perubahan bentuk resin dari cair menjadi padat (*olymerization*) pada temperature kamar (27^0 Celcius). Umumnya pemberian katalis ini adalah 0.5 – 4 % dari fraksi volume resin. Misalnya, pada pemberian katalis 2% maka resin akan mengalami proses perubahan bentuk dari cair ke bentuk agar (gel) dalam waktu 15 menit pada suhu 27^0 Celcius. Katalis yang umum dipakai untuk polyester resin adalah *methyl ethyl ketone peroxide*.
- Promotor (*Accelerator*), adalah bahan pendukung yang berfungsi supaya katalis dan resin dapat berpolimerisasi pada suhu kamar dalam waktu yang relative cepat. Bahan ini berbentuk cairan dengan warna biru keunguan, penambahan promoter paling tinggi 1% dari fraksi volume resin polyester. Promotor yang sering digunakan adalah *cobalt naphthenate*. Promotor biasanya sudah langsung dicampur pada resin oleh produsen resin (resin polyester SHCP 268 BQTN dan Yukalac 157 BQTN-EX).
- Sterin (*Styrene Monomer*), adalah bahan pendukung yang berfungsi untuk mengencerkan resin. Berbentuk cairan bening encer yang tidak berwarna, penambahannya adalah 35 – 40% dari fraksi volume.
- *Gel Coat*, berfungsi sebagai lapisan pelindung laminate dari goresan. Bahan ini termasuk salah satu jenis resin polyester yang bersifat

keras dan memiliki ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh cuaca. Lapisan ini menjadi lapisan terluar dari laminate kulit dan diberi zat pewarna (pigment), dimana campuran zat pewarna tidak boleh lebih dari 15% dari gel coat dengan ketebalan maksimum 15 μ .

- Lapisan pelepas (*Mold Release*), merupakan lapisan yang berfungsi untuk mencegah laminate agar tidak lengket dengan cetakan. Bahan yang umum digunakan adalah *wax* (misalnya *mirror glaze*) dan PVA (*Polyvinyl Alcohol*).

2.4 Serat Alam Sebagai Penguat.

Pada umumnya *filler* atau serat penguat yang dipakai dalam pembuatan bahan komposit yang berbasis plastik ini banyak berasal dari serat sintesis. Sedangkan yang menggunakan serat alami dengan rekayasa masih sangat sedikit, padahal serat alami ini produksinya sangat berlimpah dan harganya relatif murah. Kelebihan dan keunggulan dari serat alami ini bila dipakai sebagai filler diantaranya adalah harga komposit akan menjadi lebih murah, mudah diproduksi dan beberapa sifat mekanis memiliki keunggulan daripada fiberglass. Berikut ini adalah beberapa keuntungan dan kerugian penggunaan serat alam sebagai serat penguat pada material komposit [W. D. (Rik) Brouwer, 2001]:



1. Keuntungan

- Berat yang relative lebih ringan dibanding dengan serat gelas dan kekerasan yang lebih.
- Merupakan sumber daya yang dapat diperbarui
- Relative lebih murah
- Ramah lingkungan, proses produksi tidak banyak memerlukan alat, serta tidak menimbulkan iritasi pada kulit.
- Mempunyai daya redam panas yang baik.

2. Kerugian

- Mempunyai impact strength yang lebih rendah.
- Kualitas bahan bermacam-macam dan dipengaruhi oleh cuaca.
- Memiliki daya serap terhadap air yang cukup tinggi.
- Keterbatasan kemampuan untuk proses yang menggunakan proses pemanasan.
- Ketahanan terhadap api kurang.
- Panjang serat terbatas.

Berikut ini adalah beberapa contoh serat alam serta sifat-sifat fisiknya :

Tabel 2.2 dimensi serat non kayu.

	Length (microns)			Diameter (microns)			L/D Ratio
	Maximum	Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average	
Bast Fibers							
Common (industrial) hemp	55000	5000	20000	50	16	22	1000:01:00
Jute (1)	4520	470	1060	72	8	26	45:01:00
Jute (2)	5000	500	2000	68	8	20	100:01:00
Kenaf	7600	980	2740			20	135:01:00
Oilseed flax tow	45000	10000	27000	30	16	22	1250:01:00
Textile flax tow	55000	16000	28000	28	14	21	1350:01:00
Core Fibers							
Kenaf	1100	400	600	37	18	30	20:01
Leaf Fibers							
Abaca	12000	2000	6000	36	12	20	300:01:00
Sisal	6000	1500	3030			17	180:01:00
Seed Hull Fibers							
Cotton staple	50000	20000	30000	30	12	20	1500:01:00
Cotton linters	6000	2000	3500	27	17	21	165:01:00

Sumber :

1. Hurter, Robert W., "Agricultural Residues", TAPPI 1997 Nonwood Fibers Short Course.
2. Hurter, A.M., "Utilization of Annual Plants and Agricultural Residues for the Production of Pulp and Paper", Nonwood Plant Fiber Pulping Progress Report #19, TAPPI Press, pp.49-70.

Dari tabel 2.2 diatas terlihat bahwa kenaf ukuran serat relatif lebih kecil (7600 microns) dibanding dengan serat abaka (12000 microns).

Sifat fisik dari suatu material berpengaruh terhadap kekuatan suatu serat. McLaughlin dan Tait [Jain,1994] telah mempresentasikan sebuah gambaran fisik dari mekanisme keruntuhan tarik serat alam didasarkan pada cellulosenya. Mereka memperkirakan bahwa kekuatan tarik dan modulus young rata-rata meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan cellulose dan menurunnya sudut microfibrillar. Tabel 2.3 menunjukkan sifat fisik beberapa jenis serat alam.

Tabel 2.3 Sifat fisik dari serat alam [Jain, 1994]

Serat Alam	Density ($10^{-3} \text{ kg.m}^{-3}$)	Microfibrillar angle (deg)	Cellulose (%)	Lignin (%)
Kelapa	1150	30-49	43	45
Pisang	1350	11	65	5
Nanas	1450	20-25	70	12
Rami	1450	8,1	63	11,7
Bambu	600-800	20-10	60,8	32,2

2.4.1 Serat Karung Sebagai Serat Penguat

2.4.1.1 Umum

Semula bahan baku untuk pembuatan karung digunakan serat rosela, namun dengan meningkatnya permintaan bahan baku dan terbatasnya lahan dicarikan bahan baku alternatif yaitu serat kenaf, dengan pertimbangan dapat digunakan sebagai bahan pembuat karung dan mudahnya tanaman ini ditanam di lahan kritis yang selama ini tidak dimanfaatkan, sekaligus merangsang petani menanami lahan kritis dan meningkatkan persediaan bahan baku. Selain itu kenaf dinilai mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan rosella. Dalam tugas akhir ini digunakan serat karung yang telah ada dipasaran yang

berasal dari kenaf. Selain sebagai bahan pembuatan karung, dewasa ini kenaf dikembangkan sebagai bahan baku kertas yang cukup baik.

Adapun sifat-sifat kenaf antara lain [Building Materials & Technology Promotion Council, 2001] :

1. Berat Jenis

Kenaf mempunyai berat jenis 1.2 g/cm^3

2. Kekuatan Tarik

Kenaf mempunyai Kekuatan Tarik 295 MPa

B. Penggunaan

Pemanfaatan serat karung saat ini sudah meluas bahkan sampai pada sektor industri antara lain pengembangan serat karung sebagai bahan pembuatan kertas. Kekuatan tarik yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kayu membuat ketertarikan tersendiri bagi manusia untuk memanfaatkan serat karung sebagai material pengganti kayu. Pada industri otomotif penggunaan serat karung sebagai material penguat komposit telah banyak dilakukan antara lain sebagai panel pintu, package trays, panel ban cadangan [Kline, 2001].

Tabel dibawah menggambarkan perbandingan *mechanical* dan *physical properties* beberapa material kayu dibandingkan dengan beberapa jenis serat non kayu.

Tabel 2.4 Perbandingan mechanical dan physical properties beberapa material kayu dibandingkan dengan beberapa jenis serat non kayu

FIBROUS MATERIAL	DENSITY(g/cm ³ FIBER)		LENGTH		DIAMETER		LENGTH/DIAMETER	TENSILE (psi)
	FIBER	BUNDLE	RANGE (mm)	AVG (m)	RANG E	AV G	RATIO	STRENGTH S
FLAX	1,51	1.2	Oct-65	32	25-Oct	18	1,778	51,000
KENAF (bast)	-	1.2	1.4 - 5	2.6	14 - 23	21	124	58,000
KENAF (core)	0.31	-	0.4 - 1.1	0.6	18 - 37	30	20	-
HEMP	1,48	1.2	Jul-55	25	13 - 30	18	1,087	118,000
S. Y. PINE	0.51	-	2.7 - 4.6	3.7	32 - 43	38	97	11,600
D. FIR	0.48	-	2.7 - 4.6	3.7	32 - 43	38	97	15,600
ASPEN	0.39	-	0.7 - 1.6	1.2	20 - 30	25	48	7,400

Sumber : Wood Handbook; Danforth International; W.S.U., WMEL; Columbus, 1996, Institute of Natural Fibers, U.S.D.A., A.R.S.; The BioComposite Center.

Dari tabel diatas terlihat bahwa serat alam non kayu mempunyai kekuatan tarik relatif lebih besar dibandingkan material kayu, serta besar serat yang ada relatif lebih kecil.

C. Bagian-Bagian Kenaf

Batang kenaf yang menghasilkan serat untuk bahan baku industri didapatkan dari batang kenaf bagian luar dan bagian dalam. Sekitar 35% kenaf (*hibiscus cannabinus*) adalah *bast fiber* yang cocok digunakan sebagai bahan baku kertas, textile, dan tali sekitar 65% sisanya adalah *core fiber* [Terry Sellers, Jr, 1995].

1. Bagian Luar

Batang bagian luar inilah yang menghasilkan serat yang kuat biasanya disebut sebagai *bast fiber*.

2. Bagian Dalam

Batang kenaf bagian dalam menghasilkan serat yang juga dipakai dalam industri, tetapi serat yang dihasilkan mempunyai kekuatan relatif lebih rendah dibanding dengan bagian luar. Biasanya disebut dengan *core fiber*.

2.4.2 Abaka Sebagai Serat Penguat

A. Umum

Pemanfaatan abaka sebagai bahan industri telah lama dilakukan. Penggunaan serat ini sangat luas dalam bidang industri. Abaka dianggap sebagai salah satu bahan serat tali, abaka terkenal memiliki kekuatan dan keawetan yang tinggi. Bahan ini juga tahan terhadap dampak air asin, dan karena itu cocok untuk bahan tali di laut.

Termasuk dalam keluarga yang sama dengan pisang biasa, abaka (*musa textiles*) tumbuh di pulau-pulau Philipina, khususnya di daerah Bicol. Satu tanaman abaka mempunyai diameter antara 10-30 cm yang terdiri atas 12-25 lembar daun/pelelah. Setiap pelelah terdiri atas tiga lapisan dari yang paling luar adalah lapisan yang mengandung paling banyak serat, lapisan tengah yang mengandung sedikit serat berwarna putih yang mempunyai kekuatan kecil, dan lapisan dalam

yang tidak mengandung serat [Dempsey JM, 1963]. Panjang serat Abaka bervariasi antara 3 kaki sampai 12 kaki, namun rata-rata panjangnya adalah 6 kaki (1 kaki = 30 sentimeter).

Ketebalan seratnya juga bervariasi dari 0,016 sampai 0,032 kaki, tapi rata-rata adalah 0,024 kaki. Selain digunakan sebagai tali di laut, abaca jenis rendah secara tradisional dipakai sebagai tali pengikat dan bahan tikar, sementara jenis tingginya dipakai sebagai bahan anyaman untuk topi dan tas.

Adapun sifat-sifat abaka antara lain [W. D. (Rik) Brouwer, 2001] :

- 1 Berat Jenis

Abaka mempunyai berat jenis 1.5 g/cm^3

- 2 Kekuatan Tarik

Abaka mempunyai kekuatan tarik 980 MN/m^2

B. Penggunaan

Tanaman abaca (*Musa Textilis Nee*) termasuk dalam pisang (*Musaceae*) yang dikategorikan sebagai pisang jantan, karena pisang ini, tidak menghasilkan buah. Produksi utama dari budidaya tanaman pisang ini adalah berupa serat (fiber) yang terkenal dalam perdagangan internasional sebagai serat berkualitas tinggi, sebab serat pisang abaca ini tahan terhadap air garam sehingga banyak digunakan sebagai pembungkus kabel bawah laut atau tali temali pada kapal. Namun belakangan ini serat pisang abaca juga banyak digunakan untuk bahan

baku pulp kertas bermutu tinggi seperti kertas uang, cek, kertas filter dan kertas pembungkus.

Berikut ini adalah pemanfaatan pisang abaka dilihat dari bagian-bagian dari tanaman pisang abaka [SI-PUK, 2002].

1. Daun

Selain pelepahnya, daun abaka juga dimanfaatkan sebagai bahan baku industri, antara lain digunakan sebagai bahan kertas tissue dan untuk kompos.

2. Batang (pelepah)

Pelepah abaka sebagai hasil utama tanaman abaka banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku industri antara lain untuk pembuatan kertas mata uang, bahan tekstil, gordyn, kain jok kendaraan bermotor, tali kapal, pembungkus kabel, popok bayi, pembalut wanita, dan sekarang sedang dikembangkan sebagai panel pintu kendaraan bermotor.

3. Pelepah Dalam

Pelepah dalam pisang abaka yang tidak mengandung serat masih bisa dimanfaatkan sebagai pupuk kompos

Berdasarkan mutunya, pelepah yang menyusun batang semu dapat digolongkan dalam 4 macam seperti terlihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Rincian Mutu Pelepah

Bagian Tengah	Rincian Mutu			
	Jumlah Helai	Warna	Jml Serat	Kekuatan
1. Pelepah Bagian Luar	1 - 3	Hijau - Ungu	Banyak	Kuat
2. Pelepah Bagian Tengah	1 - 3	Kuning - Hijau	Sedikit	Kuat
3. Pelepah Tengah-Dalam	4 - 5	Putih - Kuning	Banyak	Tdk Kuat
4. Pelepah Bagian Dalam	7 - 8	Putih	Tidak Ada	-

Sumber : Hobir dan A. Kadir Pedoman Bercocok tanam Abaca (Ditjen Perkebunan bekerja sama dengan BALITRO) 1986

Kualitas serat pisang abaca ditentukan oleh letak pelepah pada batang semu. Pelepah paling luar seratnya kasar, tetapi seratnya kuat. Makin ke dalam makin serat tersebut makin halus, warnanya makin putih tetapi kekuatan makin berkurang.

2.4.3 Enceng Gondok Sebagai Serat Penguat

A. Umum

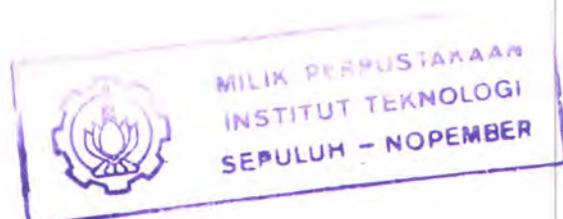
Enceng gondok mengandung hampir 90% air. Fraksi kering enceng gondok mengandung 10-26 persen bahan protein, sedang pada daunnya mengandung sekitar 38%. Mineral yang dikandung enceng

gondok rata-rata antara 17-26 persen, dan mengandung serat sekitar 20% [Leonardo Lareo, 2001].

Enceng gondok sebagai tumbuhan air lebih dikenal sebagai tanaman pengganggu dibandingkan dengan kegunaannya. Di berbagai negara, terutama di negara-negara tropis enceng gondok merupakan musuh utama yang membutuhkan biaya besar untuk penanggulangannya. Dewasa ini dengan gencarnya isu lingkungan permasalahan enceng gondok bukan lagi sekedar bagaimana penanggulangannya tetapi penelitian tentang pemanfaatan enceng gondok sebagai bahan yang berguna bagi kehisapan telah banyak dilakukan. Penelitian tentang enceng gondok sebagai bahan untuk meningkatkan produksi pertanian (sebagai pupuk).

B. Kegunaan

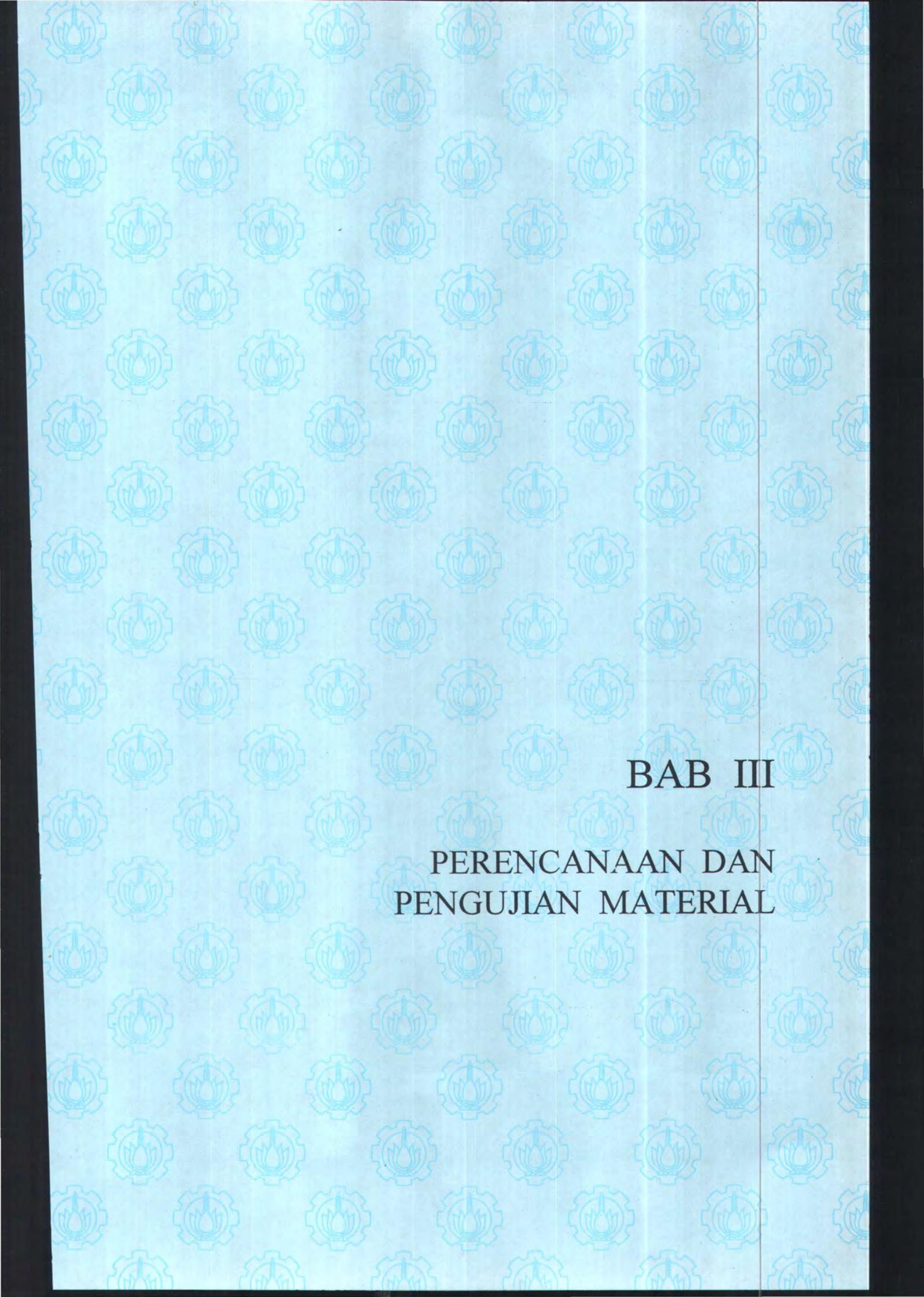
Di Singapura enceng gondok digunakan sebagai makanan bagi peternakan babi, selain itu penelitian tentang enceng gondok sebagai tanaman penyerap racun juga sedang dilakukan. Penggunaan enceng gondok sebagai bahan untuk meningkatkan kualitas hidup juga dilakukan di Indonesia sejak dahulu, di Jawa misalnya enceng gondok dimanfaatkan sebagai bahan obat-obatan tradisional. Pengembangan enceng gondok sebagai bahan kosmetik, sabun, deterjen, dan pewangi yang ramah lingkungan juga telah dilakukan di Surabaya. Sebagai bahan kerajinan enceng gondok cukup banyak dicari oleh konsumen



yang peduli akan lingkungan, karena proses pengolahannya tidak menggunakan bahan kimia yang merusak lingkungan, hanya untuk menjaga dari serangan jamur dipakai hydrogen peroksida sebagai pengawet dalam kadar yang cukup rendah [Joylita, 2002].

Berikut ini adalah beberapa macam pemanfaatan enceng gondok pada kehidupan manusia [Keith Lindsey and Hans-Martin Hirt, 1998] sebagai pupuk untuk tanaman sayur dan sebagai media penanaman jamur.

1. Sebagai makanan ternak dan ikan..
2. Sebagai bahan pembuatan tali, kerajinan tangan dan furniture:
3. Sebagai bahan baker baik berupa briket maupun biogas.



BAB III
PERENCANAAN DAN
PENGUJIAN MATERIAL

BAB III

PERENCANAAN DAN PENGUJIAN MATERIAL

3.1 Umum

Untuk mengetahui sifat mekanik laminate kulit FRP (*Fiberglass Reinforced Plastic*) dan NRP (*Naturalfiber Reinforced Plastic*) dalam penelitian ini dilakukan dengan cara makromekanik sehingga diperlukan suatu pengujian laboratorium. Dalam tugas akhir ini akan ditinjau mengenai kekuatan tarik, kekuatan tekuk, ketebalan dan berat dari laminate FRP dan NRP. Tujuan akhir dalam penelitian ini adalah membandingkan kelayakan penggunaan serat alam dibandingkan serat Woven Roving pada laminate kulit kapal.

3.2 Perhitungan Perencanaan Ketebalan dan Fraksi Volume Lamina

Perhitungan ketebalan dari laminate kulit FRP dan NRP dapat dilakukan melalui perhitungan rumus. Adapun perhitungan kekuatan tarik dan tekuk dilakukan secara makroskopis melalui pengujian dengan membuat material uji sesuai dengan bahan yang direncanakan.

3.2.1 Perhitungan Ketebalan Lamina

Hal penting yang harus dipertimbangkan dalam menyusun laminate kulit adalah perencanaan ketebalan lamina dan jumlah lamina pada laminate kulit FRP dan NRP. Dengan mengetahui berat spesifik dan komposisi dari material pembentuknya maka ketebalan laminate kulit FRP dan NRP dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini [Wijanarko W, 1995]:

$$T_c = T_f + T_m \quad (3.1)$$

$$T_f = N * (W/m^2)_f * TC_f$$

$$T_m = R/G * N * (W/m^2)_f * TC_m$$

Dimana :

T_c	= Ketebalan Lamina
T_f	= Ketebalan serat penguat
T_m	= Ketebalan matriks / resin
N	= Jumlah layer serat penguat
$(W/m^2)_f$	= Berat serat perluasan
TC	= Konstanta ketebalan ($1/\rho$)
ρ_f	= Massa jenis serat penguat
ρ_m	= Massa jenis resin

3.2.2 Perhitungan Fraksi Volume Lamina

Pada umumnya perhitungan komposisi serat penguat dan resin pada lamina didasarkan atas perhitungan fraksi volume. Tetapi pada kalangan industri dan galangan seringkali didasarkan pada fraksiberat. Untuk itu perlu dipahami perbedaan antara fraksi volume dan fraksi

berat sehingga dapat membantu kita untuk melakukan perhitungan selanjutnya [Wijanarko W, 1995]:

Fraksi berat adalah:

$$M_f = \frac{\text{massa serat}}{\text{massa total}} \quad M_m = \frac{\text{massa matriks / resin}}{\text{massa total}}$$

Fraksi volume adalah :

$$V_f = \frac{\text{volume serat}}{\text{volume total}} \quad V_m = \frac{\text{volume matriks / resin}}{\text{volume total}}$$

Perhitungan fraksi berat dalam hal ini digunakan untuk mencari tebal laminate kulit pada perhitungan tebal dan berat laminate kulit kapal.

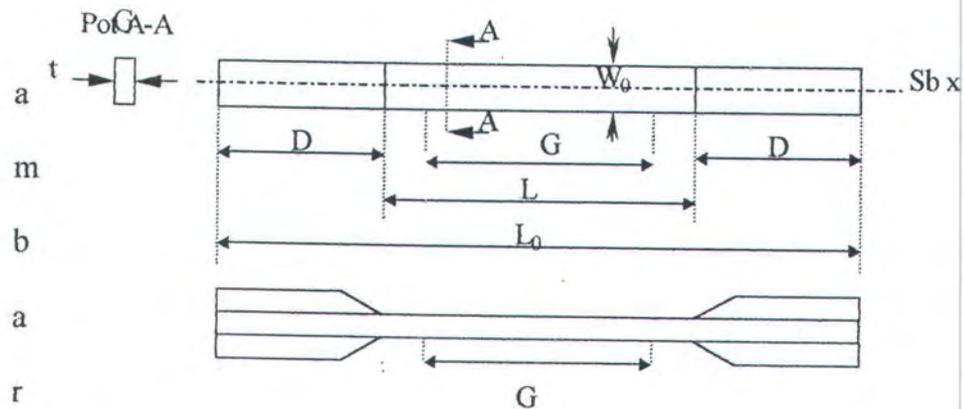
3.3 Perencanaan Spesimen Uji

Sebagai acuan standar pengujian material yang digunakan dalam penelitian ini adalah ' *Standart Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials* ', D 3039M - 93 dan ' *Standart Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials [Metric]*'¹², D 790M - 86, ASTM standars and Literature References for Composite Materials, American Society For Testing and Materials, Philadelphia, PA 1994.

3.3.1 Perencanaan dimensi specimen uji

3.3.1.1 Pengujian tarik

Berdasarkan standar pengujian ASTM D 3039M – 93, dimensi untuk pengujian tarik ditunjukkan seperti pada gambar 3.1.



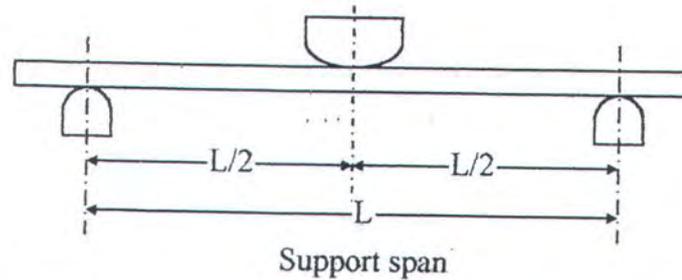
3.1 Dimensi spesimen uji tarik

dimana :

- W_0 : Lebar spesimen uji
- L_0 : Panjang total spesimen
- D : Panjang yang dijepit
- L : Panjang bagian antara
- G : Panjang daerah uji
- t : Tebal specimen

3.3.1.2 Pengujian tekuk

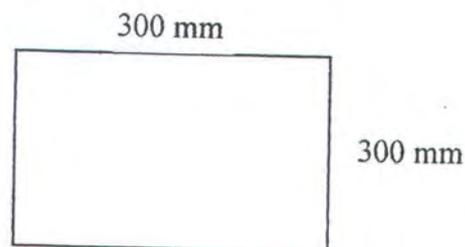
Berdasarkan standar pengujian ASTM D 790M – 86, dimensi untuk pengujian tekuk adalah sebagai berikut :



Catatan - Radius penyangga maksimal 1.5 kali dari tebal spesimen, radius leading nose maksimal 4 kali tebal spesimen

Gambar 3.2 Dimensi spesimen uji tekuk

Berdasarkan persyaratan standar pengujian ASTM jumlah spesimen uji masing-masing material minimal 5 buah sehingga perkiraan kebutuhan material uji yang kita buat dengan dimensi sebagai berikut :



Gambar 3.3 Dimensi material uji

3.3.2 Perhitungan berat material pembentuk lamina spesimen

Berat material pembentuk lamina spesimen bisa kita tentukan berdasarkan komposisi serat penguat dan komposisi resin yang kita pakai pada setiap lamina spesimen. Adapun perhitungan berat material pembentuk setiap lamina adalah sebagai berikut:

- A. Menghitung berat tiap lembar serat penguat yang dibutuhkan (dihitung dari komposisi berat serat penguat tiap meter persegi), maka serat penguat yang diperlukan untuk setiap lamina ditunjukkan pada tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Berat tiap lembar serat penguat

Serat Penguat	Berat Per m ² (gram)	Berat Yang dibutuhkan (gram)
Copped Strand mat (Mat 450)	450.00	40.50
Woven Roving 800 (WR 800)	800.00	72.00
Serat Karung (KarBi-D 580)	580.6	52.00
Serat Enceng Gondok (EncBi-D 422)	422.22	38.00
Serat Abaka (AbaBi-D 560)	559.00	50.31

Berat serat penguat yang dibutuhkan adalah berat serat penguat untuk satu lamina spesimen uji (300 mm x 300 mm).

- B. Menentukan berat polyester resin yang digunakan pada setiap serat seperti ditunjukkan pada tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2 Berat Resin yang dibutuhkan tiap lamina

Serat Penguat	Perbandingan Serat : Resin	Berat Serat Penguat (gram)	Berat Resin Yang Dibutuhkan (gram)
Copped Strand Mat (Mat 450)	25%:75%	40.50	121.50
	33%:67%	40.50	81.00
Woven Roving 800 (WR 800)	50%:50%	72.00	72.00
Serat Karung (KarBi-D 580)	25%:75%	52.00	156.00
	33%:67%	52.00	105.56
Serat Enceng Gondok (EncBi-D 422)	15%:85%	38.00	215.28
	20%:80%	38.00	151.96
Serat Abaka (AbaBi-D 560)	25%:75%	50.31	150.93
	30%:70%	50.31	117.23

Berat resin yang dibutuhkan adalah berat resin untuk satu lamina spesimen uji (300 mm x 300 mm).

3.3.3. Perhitungan Ketebalan Lamina Spesimen Pengujian

Ketebalan spesimen uji dapat kita dekati dengan menggunakan persamaan (3.1). Adapun perhitungan ketebalan tiap lamina adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3 Tebal lamina spesimen uji

Serat Penguat	Perbandingan Serat : Resin	Ketebalan serat penguat (mm)	Ketebalan serat matrik/resin (mm)	Ketebalan Lamina (mm)
Chopped Strand Mat (Mat 450)	25%:75%	0.18	1.09	1.27
	33%:67%	0.18	0.74	0.92
Woven Roving 800 (WR 800)	50%:50%	0.31	0.65	0.96
Serat Karung (KarBi-D580)	25%:75%	0.48	1.42	1.9
	33%:67%	0.48	0.96	1.44
Serat Eceng gondok (EncBi-D 422)	15%:85%	0.33	1.96	2.29
	20%:80%	0.33	1.37	1.7
Serat Abaka (KarBi-D 560)	25%:75%	0.37	1.37	1.74
	30%:70%	0.37	1.06	1.43

Dari persamaan 3.1 terlihat bahwa ketebalan lamina dipengaruhi oleh besarnya massa jenis material penguat, perbandingan resin dengan serat penguatnya, serta berat serat penguat persatuan luas. Perbandingan jumlah resin dengan serat penguat diusahakan jumlah serat sebesar mungkin, dalam hal ini daya serap serat terhadap resin menjadi pertimbangan utama.

3.4. Perencanaan Susunan Laminate FRP dan NRP

Dalam menentukan susunan laminate kulit FRP dan NRP, peningkatan kekuatan dan penurunan berat merupakan hal terpenting yang harus kita perhatikan. Untuk material komposit, kekuatan utama material terdapat pada serat menerusnya. Sehingga disarankan pada pembuatan FRP dan NRP ini fraksi volume serat setinggi mungkin. Pertimbangan lain yang harus diperhatikan adalah karakteristik laminate, misalkan kemampuan menahan air serta bentuk permukaan yang dihasilkan. Pada penggunaan serat Woven Roving dan serat alam kemampuan untuk menahan resapan air kurang baik dan permukaannya tidak rata sehingga untuk laminate FRP pada bagian terluar diperlukan lapisan strand mat, sedangkan pada laminate NRP permukaan yang rata didapat dengan menambah fraksi volume resin pada bagian terluarnya.

Tabel 3.4. Komposisi serat penguat spesimen uji

	Spesimen A	Spesimen B	Spesimen C	Spesimen D
Fraksi berat	25% mat 450 75% resin	25% KarBi-D 580 75% resin	15% EnsBi-D 422 85% resin	25% AbaBi-D 560 75% resin
	50% WR 800 50% resin	33% KarBi-D 580 67% resin	20% EncBi-D 422 80% resin	30% AbaBi-D 560 70% resin
	33% mat 450 67% resin	33% KarBi-D 580 67% resin	20% EncBi-D 422 80% resin	30% AbaBi-D 560 70% resin
	50% WR 800 50% resin	25% KarBi-D 580 75% resin	15% EncBi-D 422 85% resin	25% AbaBi-D 560 75% resin
	33% mat 450 67% resin			
	50% WR 800 50% resin			
	33% mat 450 67% resin			
	50% WR 800 50% resin			
	25% mat 450 75% resin			

Keterangan:

- Spesimen A = Serat penguat Woven Roving 800 gr/m² (WR 800)
- Spesimen B = Serat penguat Serat Karung Bidirectional 580.6gr/m²
(KarBi-D 580)
- Spesimen C = Serat penguat Serat Enceng Gondok Bidirectional
422.22 gr/m² (EncBi-D 422)
- Spesimen D = Serat penguat Serat Abaka Bidirectional 559 gr/m²
(AbaBi-D 560)

3.5. Proses Pembuatan Spesimen Uji

Proses pembuatan spesimen uji laminasi kulit FRP dan NRP dilakukan dengan cara manual yaitu cara hand lay up serta menggunakan material yang umum digunakan untuk bangunan kapal, yaitu resin polyester orthophthalic merk Yukalac BQTN 157-EX, serat penguat dengan jenis E-Glass terdiri dari Chopped Strand Mat (mat) dan Woven Roving dan katalis yang dipakai yaitu *methyl ethyl ketone peroxide*. Serat alam yang digunakan adalah serat karung, serat abaka, dan serat enceng gondok.

3.5.1. Pembuatan Serat Alam.

Perencanaan konfigurasi material penguat didasarkan pada kekuatan yang dihasilkan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, kekuatan serat tertinggi didapat ketika gaya yang bekerja sejajar dengan arah serat [Yoyok, 1998]. Berdasar hal tersebut maka konfigurasi material penguat direncanakan dengan bentuk anyaman tegak lurus seperti pada serat gelas woven roving.

Langkah-langkah pembuatan serat alam adalah sebagai berikut :

1. Serat karung.

- Serat karung yang telah jadi dibersihkan dari kotoran-kotoran yang menempel.
- Serat karung dengan bentuk strand yang dipilin dan dianyaman tegak lurus dipotong sesuai ukuran yang telah direncanakan.

2. Serat enceng gondok

- Enceng gondok basah dipotong bagian daun dan akar dibuang.
- Potongan dibersihkan dari kotoran dan tanah yang menempel.
- Potongan dijemur dengan sinar matahari sampai batas kekeringan yang diinginkan.
- Potongan yang telah kering dibelah dan dibuat menjadi lembaran.
- Lembaran yang telah siap dibelah dan dibuat strip dengan ukuran 0.5-0.8 cm.
- Strip dianyam tegak lurus sesuai yang direncanakan.

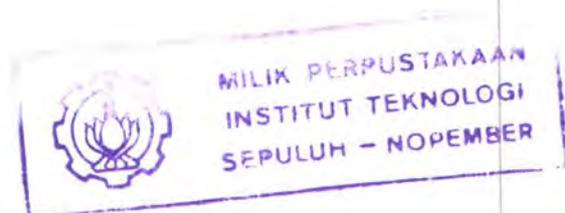
3. Serat abaka

- Serat abaka yang telah dihasilkan dari proses penyeratan dengan menggunakan mesin dekorikator dan telah dikeringkan, dibersihkan dari sisa sisa kotoran.
- Serat yang telah dipilih dibundel/dipisahkan dengan ukuran bundel kurang lebih 0.5-0.8 cm.
- Bundelan dianyam tegak lurus sesuai dengan perencanaan.

3.5.2 Persiapan Bahan dan Peralatan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menyiapkan spesimen antara lain :

- Pemotongan lembaran serat penguat yang terdiri dari :
 - Chopped Strand Mat (mat 450) 300 mm x 300 mm sebanyak 5 lembar.



- Woven Roving (WR 800) 300 mm x 300 mm = 4 lembar.
 - Serat abaka (AbaBi-D 560) 300 mm x 300 mm sebanyak 4 lembar.
 - Serat karung (KarBi-D 580) 300 mm x 300 mm sebanyak 4 lembar.
 - Serat enceng gondok (EncBi-D 422) 300 mm x 300 mm sebanyak 4 lembar.
- Menyiapkan cetakan dari kaca dengan ukuran 300 mm x 300 mm.
 - Menyiapkan gelas ukur untuk mengukur volume resin dan katalis yang digunakan.
 - Menyiapkan peralatan bantu (kuas, rol pemecah gelembung, gerinda, kikir, jangka sorong, penggaris).

3.5.3 Proses Pengerjaan Spesimen

Urutan pembuatan spesimen pengujian untuk setiap laminate adalah sebagai berikut :

- Cetakan kaca dilapisi dengan *plastik film* supaya laminate kulit mudah dilepas.
- Mengukur volume resin sesuai dengan perbandingan volume serat penguat seperti yang telah dihitung pada bab 3.2.2.
- Katalis dicampurkan sebanyak 1% dari volume resin, diaduk merata dan didiamkan selama kurang lebih 5 menit agar gelembung udara bisa terlepas.

- Menuangkan campuran resin dan katalis kedalam cetakan sebanyak $\frac{2}{3}$ dari total campuran tiap lamina lalu diratakandengan kuas.
- Meletakkan lembar pertama serat diatas cairan resin, kemudian tuang dan ratakan sisa ($\frac{1}{3}$) campuran resin keatas serat tersebut, untuk menghilangkan gelembung udara yang terperangkap maka lamina harus dirol.
- Membuat campuran resin dan katalis seperti langkah sebelumnya untuk serat kedua.
- Menuangkan $\frac{1}{3}$ campuran itu ke atas lamina pertama dan ratakan dengan kuas.
- Langkah selanjutnya dalam menyusun setiap lamina adalah sama, sesuai dengan komposisi serat yang dipakai. Setelah lamina terakhir dan dirol, letakkan kaca diatasnya agar kedua permukaan menjadi rata.

Langkah pembuatan spesimen uji untuk setiap laminate disesuaikan dengan susunan dan komposisi dari setiap lamina yang direncanakan seperti pada tabel 3.3.

3.6. Prosedur dan Proses Pengujian Specimen

Standar pengujian material yang digunakan dalam penelitian ini adalah ' Standart Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials ', D 3039M – 93 dan ' Standart Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and

Electrical Insulating Materials [Metric]¹, D 790M - 86, ASTM Standard and Literature References for Composite Materials, American Society For Testing and Materials, Philadelphia, PA 1994. Dalam pengujian mengenai kekuatan tarik dan tekuk material nanti dilakukan dua variasi orientasi serat yaitu 0^0 dan 45^0 .

Pengujian dilakukan di laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS. Adapun data mesin yang digunakan adalah :

Nama alat : Universal Testing Machine

Merk / th : MFL / UPD. 20 – 1979

No seri : 8877

Kapasitas max : 200 kN

Skala mesin uji yang dibaca untuk pengujian memakai skala pembacaan 0 – 20 kN, pada temperatur 28^0C .

Adapun prosedur pengujian yang harus dilakukan adalah :

- Mencatat dimensi dari spesimen uji, dalam hal ini untuk uji tarik kita catat panjang (pada daerah uji), lebar dan tebal spesimen sedangkan pada uji tekuk dimensi yang dicatat adalah panjang (support span), lebar dan tinggi spesimen. Dimensi dicatat dalam satua mm atau inci.
- Mengatur kecepatan pengujian, dimana pengaturan kecepatan ini harus dapat menyebabkan spesimen uji patah atau retak dalam

waktu 1 – 10 menit. Dalam pengujian ini kecepatan uji diatur dengan kecepatan 15 – 20 mm/menit.

Sedangkan proses pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mesin uji dikalibrasi terlebih dahulu dan skala pembebanan ditentukan sebelum pengujian dilakukan.
2. Memasang kertas grafik pada roll pencatat.
3. Memasang spesimen uji pada mesin, untuk uji tarik spesimen dipasangkan pada penjepit. Sedangkan pada uji tekuk, spesimen diletakkan pada penyangga dengan jarak sesuai pada support span yang ada pada tabel ASTM.
4. Mengeset jarum penunjuk skala pada posisi nol.
5. Menggerakkan beban/mesin.
6. Mencatat beban maksimum yang terjadi.
7. Melepas spesimen dari mesin.
8. Mengukur/membaca perubahan yang terjadi pada spesimen setelah pengujian, yaitu penambahan panjang pada uji tarik dan defleksi pada uji tekuk.

3.7. Perhitungan Hasil Pengujian

Sesuai dengan rumus yang terdapat pada standar ASTM serta data yang diperoleh dari spesimen dan hasil percobaan kita dapat menghitung kekuatan tarik dan tekuk dari material. Semua kondisi

selama percobaan yang berkaitan dengan spesimen dan hasil uji hendaknya diberi catatan sebagai bahan analisa hasil uji.

3.7.1. Hasil Pengujian Tarik

Tujuan dari perhitungan hasil pengujian tarik adalah untuk mengetahui kekuatan tarik laminate kulit yang kita uji. Dari hasil pengujian tarik yang telah dilaksanakan, diperoleh besarnya nilai beban maksimal. Untuk mengetahui besarnya kekuatan tarik dan modulus elastisitas digunakan rumusan sebagai berikut :

$$\text{Kekuatan tarik; } \sigma_{nu} = F / A \text{ (Mpa)} \quad (3.2)$$

Dimana :

F = Beban maksimal sampai spesimen patah (N)

A = Luasan penampang melintang spesimen (mm²)

σ_{nu} = Kekuatan tarik spesimen (Mpa)

Berikut adalah tabel hasil perhitungan yang diperoleh :

Tabel 3.5. Hasil pengujian tarik spesimen dengan orientasi serat 0⁰ dan 45⁰

Spesimen	Tebal (mm)	Tarik 0 ⁰		Tarik 45 ⁰	
		Δl (mm)	σ_{nu} (Mpa)	Δl (mm)	σ_{nu} (Mpa)
A	9.62	7.4	101.219	7.25	77.670
B	8.7	2.4	19.784	3	18.426
C	11.9	6	2.039	7.3	1.456
D	8.6	3.7	16.676	4.3	16.169

Dari pengujian tarik didapatkan besar beban maksimal yang mampu diterima oleh material uji. Kekuatan tarik specimen σ_{nu} dihitung dengan menggunakan rumus 3.2.

3.7.2. Hasil Pengujian Tekuk

Tujuan dari perhitungan hasil pengujian tekuk adalah :

- Mengetahui kekuatan tekuk laminate kulit yang kita uji
- Mengetahui defleksi maksimal yang terjadi pada laminate
- Mengetahui besar modulus tangensial atau modulus elastis laminate

Dari hasil pengujian tekuk yang telah dilaksanakan, diperoleh besarnya nilai beban maksimal dan defleksi yang dapat diterima oleh spesimen uji . Untuk mengetahui besarnya kekuatan tekuk dan *maximal strain* digunakan rumusan sebagai berikut :

$$\text{Kekuatan tekuk; } S = 3FL/2bd^2 \text{ (Mpa)} \quad (3.3)$$

$$\text{Modulus Elastisitas } E = L^3m/4bd^3 \text{ (MPa)} \quad (3.4)$$

$$\text{Max strain; } r = 6wd/L^2 \text{ (mm/mm)} \quad (3.5)$$

Dimana :

F = Beban maksimal sampai dengan serat terluar spesimen patah (N)

E = Modulus elastisitas (Mpa)

L = Panjang support span (mm)

w = Defleksi maksimal pada spesimen (mm)

S = Kekuatan tekuk spesimen (Mpa)

r = Max strain (Mpa)

m = Slope garis singgung pada titik tertinggi kurva load-deflection (N/mm)

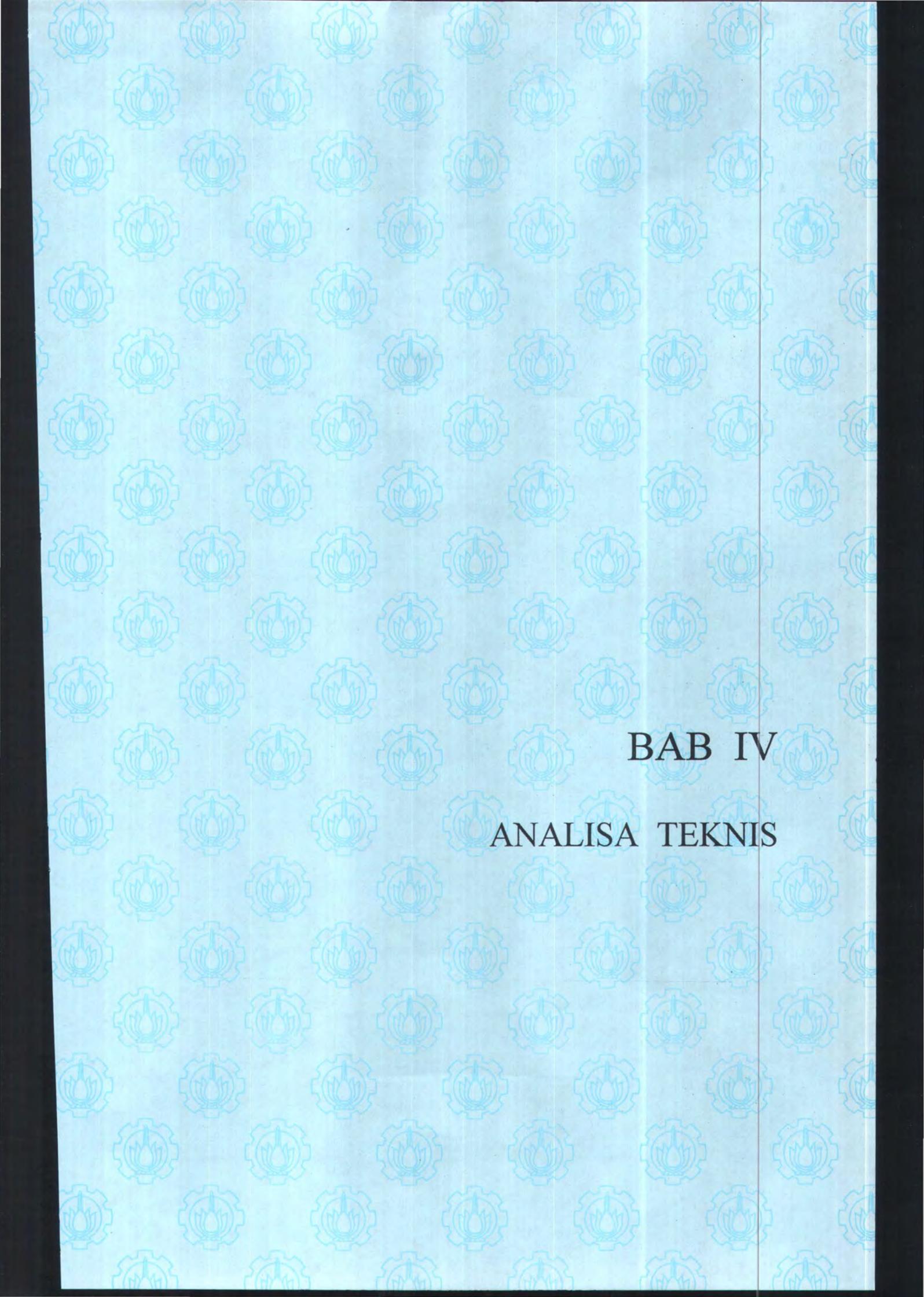
b = Lebar speimen uji (mm)

d = Tebal spesimen uji (mm)

Tabel 3.6. Hasil pengujian tekuk spesimen dengan orientasi serat 0^0 dan 45^0

Laminate	t	tekuk 0^0			tekuk 45^0		
	(mm)	D (mm)	S (MPa)	E (Mpa)	D (mm)	S (MPa)	E (Mpa)
A	9.62	5	201.696	9457.143	5.25	198.122	7910.021
B	8.7	3.7	34.606	2477.929	3.67	33.881	2380.069
C	11.9	5.25	0.794	69.464	5.5	0.818	66.118
D	8.6	4.5	24.365	1410.452	5.7	23.626	1185.135

Dari pengujian tekuk yang telah dilaksanakan diperoleh besar beban maksimal dan panjang defleksi. Besar kuat tekuk spesimen (S) dihitung dengan rumus 3.3 sedang untuk besar modulus elastisitas dihitung dengan menggunakan rumus 3.4.



BAB IV

ANALISA TEKNIS

BAB IV

ANALISA TEKNIS

4.1 Umum

Dalam penelitian tugas akhir ini karena konstruksi FRP dan NRP sama-sama konstruksi *single skin* maka diasumsikan tahapan produksi yang digunakan untuk konstruksi NRP (*Naturalfiber Reinforced Plastics*) yang kita rencanakan adalah sama dengan tahapan produksi untuk kapal FRP. Sehingga pada bab ini analisa teknis hanya dilakukan untuk beberapa perbedaan yang mendasar antara konstruksi FRP dan NRP. Perbedaan tersebut antara lain adalah kekuatan bahan, tebal laminate, serta berat laminate kulit. Untuk perhitungan tebal serta berat laminate kulit digunakan data kapal dari penelitian sebelumnya (Lukman Aris, Tugas akhir, 2001)

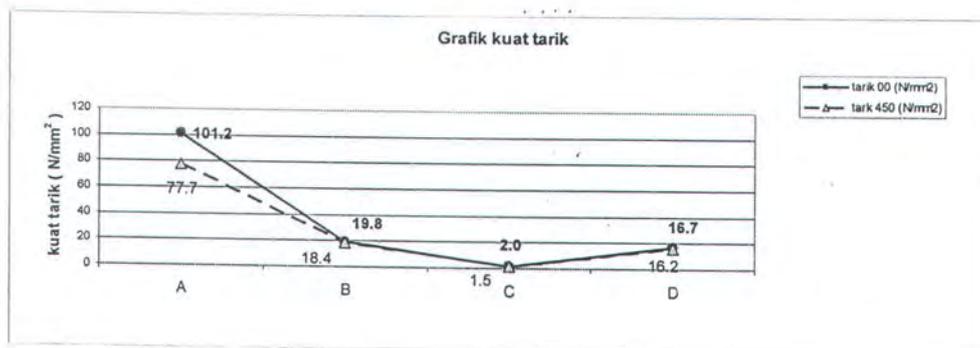
- Length Over All (Loa) = 12 meter
- Water Line Length (L) = 10,8 meter
- Breadth (B) = 3,5 meter
- Water Line Beam (Bwl) = 3 meter
- Height (H) = 1,55 meter
- Draft (T) = 0,6 meter
- Top Speed (V) = 35 knots
- Displacement (∇) = 8 ton

- Jarak Jelajah = 150 miles
- Deadrise Angle di LCG = 12°
- Deadrise Angle di Midship = 12°
- Running Trim Angle = 5°
- klasifikasi yang digunakan = Det Norske Veritas

Dari perhitungan berdasarkan kasifikasi Det Norske Veritas dan gambar perencanaan kapal yang ditinjau didapatkan data sebagai berikut (Lukman Aris, Tugas akhir, 2001):

- Beban pada lambung dasar 19.9 kN/m^2
- Beban pada ambung sisi 11.05 kN/m^2
- Beban pada deck 10.817 kN/m^2
- Jarak frame yang direncanakan 1000 mm
- Luas kulit lambung dasar 35 m^2
- Luas kulit lambung sisi 24 m^2
- Luas deck 11.625 m^2
- Jarak stringer pada lambung dasar 660 mm
- Jarak longitudinal girder pada lambung sisi kapal 640 mm

4.2 Analisa Kekuatan Tarik (σ_{III}) Laminate FRP dan NRP



Gambar 4.1. Grafik Kuat Tarik

Pada pengujian yang dilakukan didapatkan data besarnya beban maksimum (F) yang mampu diterima oleh material (KN). Dimensi specimen uji diukur sebelum dilakukan pengujian untuk memperoleh data penampang melintang material uji. Dari data yang diperoleh besarnya kekuatan tarik dihitung berdasarkan rumus 3.2. Hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan gambar 4.1.

Berdasarkan gambar 4.1 dapat dianalisa beberapa hal:

- ❖ Kuat tarik tertinggi terjadi pada spesimen A dengan serat penguat fiberglass (WR 800) di bandingkan dengan material dengan serat penguat alam hal ini menunjukkan bahwa kekuatan material komposit ditentukan oleh kekuatan tarik serat penguatnya. Selain itu penyatuan serat penguat dengan resin juga mempengaruhi kekuatan tarik material komposit.
- ❖ Pada spesimen C (serat penguat eceng gondok 422 gr/m^2) yang mempunyai kekuatan tarik terendah, dari pengamatan menunjukkan bahwa antara serat eceng gondok dan resin tidak bisa menyatu

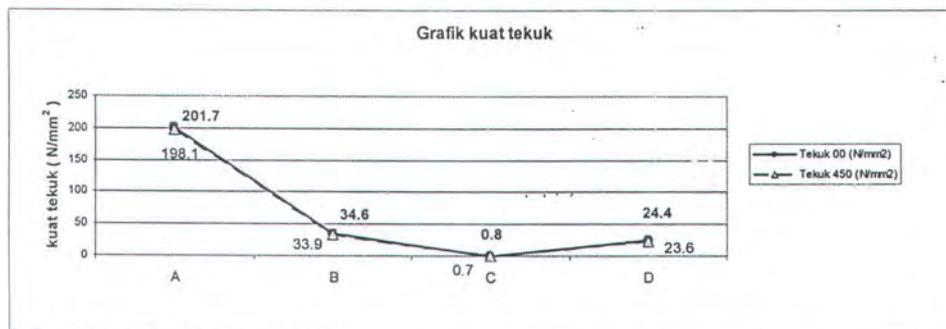
dengan baik selain itu bentuk serat enceng gondok yang mempunyai lapisan gabus pada bagian dalam menyebabkan ikatan antar lapisan tidak begitu baik sehingga mudah sekali robek.

- ❖ Pada gambar 4.1 juga terlihat bahwa pada material dengan serat penguat alami kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh specimen B (serat penguat karung 580 gr/m^2), meskipun serat karung memiliki kuat tarik yang lebih rendah dibanding dengan serat abaka (serat penguat pada spesimen D) tetapi ketika dijadikan material komposit dapat memiliki kuat tarik yang lebih tinggi ini disebabkan penyatuan antara serat penguat dengan resin pada spesimen B (berpenguat serat karung 580 gr/m^2) lebih baik dibanding dengan material D (berpenguat serat abaka 560 gr/m^2), ini disebabkan karena besar serat abaka lebih besar dibanding serat karung (Tabel 2.2, Bab II).
- ❖ Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa kekuatan tarik pada orientasi serat 0° lebih tinggi dibanding dengan kekuatan tarik pada sudut orientasi 45° . Hal ini disebabkan karena gaya yang bekerja tidak diterima pada kekuatan maksimal serat (sejajar dengan arah serat). Pada penelitian sebelumnya dijelaskan bahwa kemampuan serat untuk menahan tegangan tarik semakin kecil seiring pertambahan sudut orientasi (yoyok, 1998).

Table 4.1 Kekuatan tarik laminate.

Laminate	Kuat Tarik 0° (Mpa)	Kuat Tarik 45° (Mpa)	Persentase Selisih (%)
A	101.2187166	77.66952269	23.27
B	19.78369637	18.42635934	6.86
C	2.038660754	1.456277809	28.57
D	16.67643396	16.16945454	3.04

4.3 Kekuatan Tekuk Laminate Kulit FRP dan NRP (σ)



Gambar 4.2. Grafik Kekuatan tekuk laminate

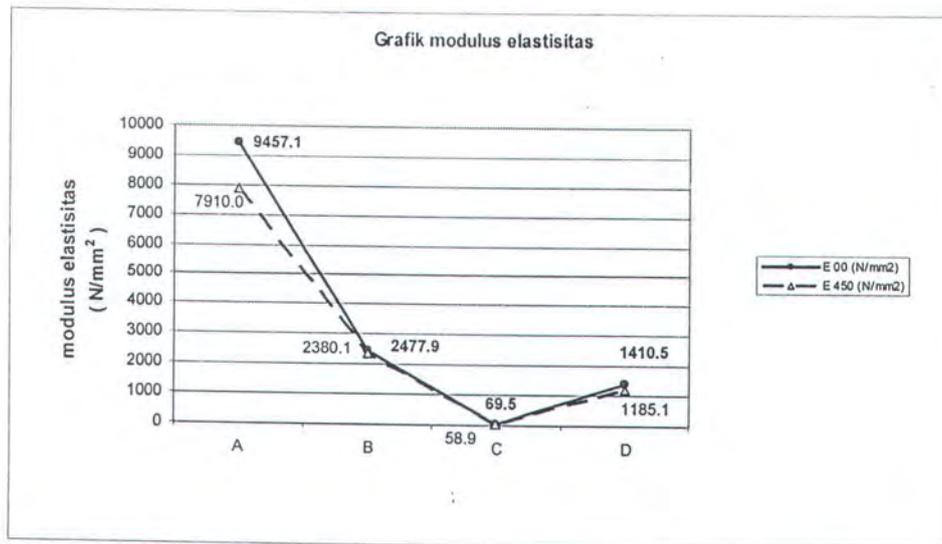
Dari hasil pengujian tekuk didapatkan besarnya beban maksimum (F) yang mampu diterima oleh spesimen uji, sedangkan tebal, lebar dan support span tiap spesimen diukur dengan jangka sorong sebelum pengujian sesuai standar yang digunakan. Dari data-data tersebut kita dapat menentukan luas penampang melintang spesimen dan kemudian menghitung kekuatan tekuk tiap spesimen yang kita uji dengan menggunakan rumus 3.3 pada bab III. Hasil dari perhitungan kekuatan tekuk ditunjukkan seperti pada gambar 4.2, dimana dari gambar itu beberapa hal yang dapat kita analisa antara lain:

- ❖ Kuat tekuk laminate dengan serat penguat *fiberglass* (spesimen A) lebih tinggi dari pada laminate dengan serat penguat serat alam (spesimen B,C, dan D). Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tekuk laminate material komposit sangat ditentukan oleh kuat tekuk serat penguatnya serta homogenitas serat dan matriks seperti halnya pada hasil uji tarik.
- ❖ Pada laminate yang menggunakan serat penguat serat alam kekuatan tekuk tertinggi terjadi pada laminate B (material penguat serat karung 580 gr/m²) yang memiliki homogenitas yang lebih baik dibanding dengan laminate dengan serat penguat serat alam yang lain.(lihat tabel 4.2)
- ❖ Laminate dengan C (material penguat enceng gondok 422 gr/m²) memiliki kuat tekuk paling rendah, hal ini disebabkan karakteristik enceng gondok yang tidak bisa bersatu dengan resin dengan baik. Lapisan gabus yang ada pada enceng gondok tidak bisa menyerap resin sehingga antar lapisan penguat tidak ada ikatan yang cukup kuat.

Table 4.2 Kekuatan tekuk laminate.

Laminate	Kuat Tekuk 0° (Mpa)	Kuat Tekuk 45° (Mpa)	Persentase Selisih (%)
A	201.6964	198.1224	1.7720
B	34.6058	33.8815	2.0930
C	0.7937	0.7401	6.7475
D	24.3652	23.6261	3.0335

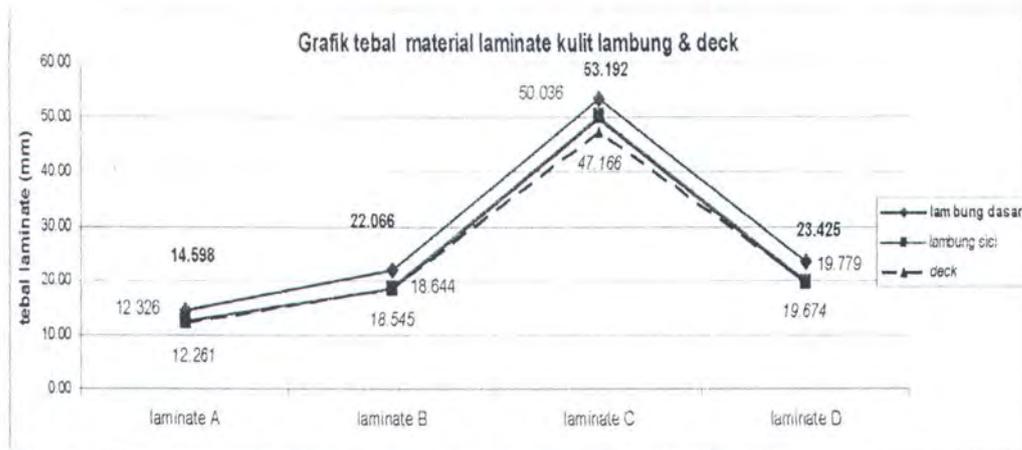
4.4 Modulus Elastisitas Laminate Kulit FRP dan NRP (E)



Gambar 4.3. Grafik Modulus elastisitas Laminate

Dari hasil pengujian tekuk didapatkan kurva beban-defleksi yang menunjukkan hubungan besarnya beban yang bekerja dan defleksi yang terjadi dari setiap laminate. Besarnya modulus elastisitas dihitung dengan rumus 3.4 dan hasilnya digambarkan dalam grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3. Dari grafik tersebut terlihat bahwa modulus elastisitas spesimen A (material penguat WR 800 gr/m²) memiliki harga yang terbesar hal ini seperti yang tercantum dalam rumus, menunjukkan bahwa faktor yang sangat mempengaruhi besarnya modulus elastisitas adalah besarnya m (*slope of the tangent to the initial straight-line portion of the load-deflection curve, N/mm² of deflection-ASTM D790M-86*) atau dengan kata lain, besarnya modulus sangat dipengaruhi oleh besarnya kekuatan tekuk per defleksi yang terjadi.

4.5 Analisa Hasil Perhitungan tebal Laminat Kulit lambung dan deck



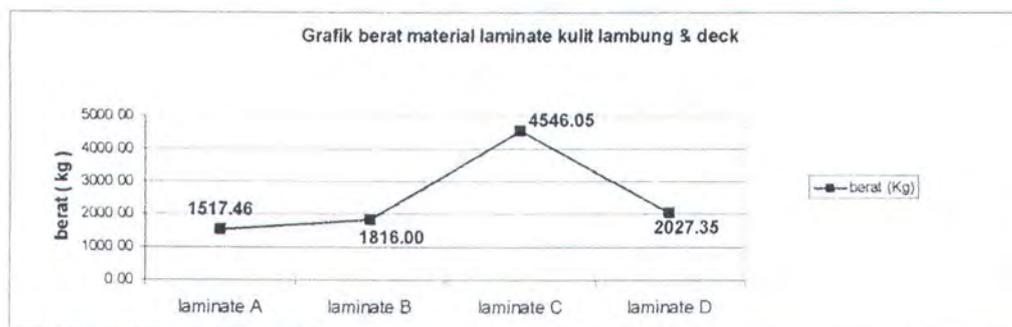
Gambar 4.4. Grafik tebal material laminate kulit untuk konstruksi lambung dan deck

Dari grafik perhitungan tebal laminate pada gambar 4.4 diatas, dilihat bahwa tebal laminate terkecil adalah laminate FRP. Laminat dengan serat penguat serat alam, tebal paling rendah terjadi pada laminate B (material penguat serat karung 580 gr/m^2), dengan selisih 51.2 % dibanding fiberglass, sedang ketebalan terbesar terjadi pada laminate C (serat penguat enceng gondok, 422 m^2) sebesar 264% Untuk lengkapnya lihat tabel 4.4. Hal ini menunjukkan bahwa ketebalan sangat dipengaruhi oleh kekuatan laminate terutama kuat tekuk dan modulus Elastisitasnya.. Semakin kuat laminate berarti semakin besar modulus elastisitasnya dan δ (faktor defleksi) sebagai faktor pembagi (rumus mencari ketebalan laminate kulit, klasifikasi Det Norske Veritas Pt 3, Ch 4, Sec 6, B 201) sehingga ketebalannya semakin kecil. Dari data terlihat bahwa dengan selisih modulus elastisitas 73.8% mengakibatkan perbedaan ketebalan sekitar 51.2% pada laminate C.

Tabel 4.3 Selisih Tebal Laminate FRP dan NRP

Laminate	(KarBi-D 580) (%)	(EncBi-D 422) (%)	(AbaBi-D 560) (%)
Lambung Dasar	51.16	264.4	60.5
Lambung Sisi	51.25	264.6	60.5
Deck	51.25	264.6	60.5

4.6 Analisa Hasil Perhitungan Berat Laminate Kulit FRP dan NRP



Gambar 4.5. Grafik berat material laminate kulit lambung dan deck

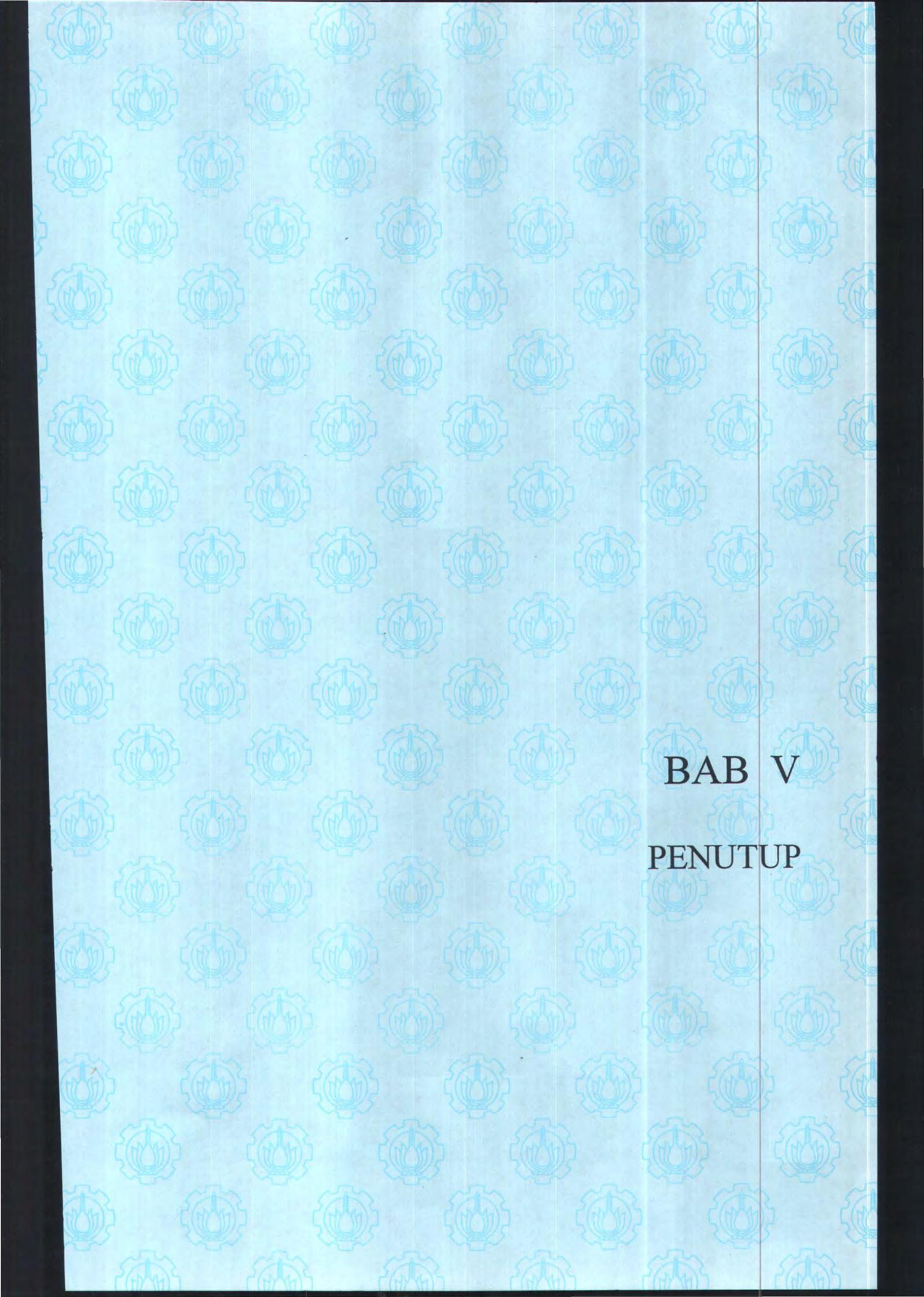
Dari hasil perhitungan berat laminate seperti yang ditunjukkan dalam grafik pada gambar 4.5, dapat diketahui bahwa dibandingkan dengan konstruksi dari *fiberglass* konstruksi NRP relatif lebih berat. Berat terkecil pada NRP terjadi pada laminate B (material penguat Karung 560 gr/m^2), yang mempunyai selisih dengan FRP sebesar 19.67% (lihat tabel 4.5).

Untuk material dengan serat penguat enceng gondok *BiDirectional* 422 gr/m^2 , mempunyai berat terbesar yaitu 199.58% lebih berat dibanding FRP. meskipun mempunyai berat serat penguat yang lebih ringan tetapi kekuatannya jauh lebih kecil dari dibanding serat yang lainnya sehingga untuk mendapatkan kekuatan yang relatif sama dibutuhkan tebal yang lebih besar.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan berat kulit lambung dan deck

Material	Serat Penguat	Dasar (Kg)	Sisi (Kg)	Deck (Kg)	Berat Total (Kg)	Selisih (%)
Specimen A	WR 800	804.34	480.42	232.70	1517.46	0.00
Specimen B	KarBi-D 580	962.02	575.31	278.67	1816.00	-19.67
Specimen C	EncBi-D 422	2339.57	1503.00	703.48	4546.05	-199.58
Specimen D	AbaBi-D 560	1070.55	644.58	312.22	2027.35	-33.60





BAB V
PENUTUP

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Dari analisa yang dilakukan terlihat bahwa material dengan serat penguat fiberglass (FRP) mempunyai sifat mekanik yang lebih baik dibanding dengan material dengan serat penguat yang berasal dari serat alam (NRP). Hal ini disebabkan FRP mempunyai homogenitas yang lebih baik dibanding dengan NRP dan kekuatan mekanik fiberglass lebih tinggi dibanding dengan serat alam.
2. NRP dengan serat penguat serat karung mempunyai kekuatan tarik 18.6 % lebih tinggi dibanding NRP dengan serat penguat abaka dan 870.4 % lebih tinggi dibanding NRP dengan serat penguat enceng gondok.
3. NRP dengan serat penguat serat karung mempunyai kekuatan tekuk 42 % lebih tinggi dibanding NRP dengan serat penguat abaka dan 420 % lebih tinggi dibanding NRP dengan serat penguat enceng gondok.

4. NRP dengan serat penguat serat karung mempunyai modulus elastisitas 75.6 % lebih tinggi dibanding NRP dengan serat penguat abaka dan 346.7 % lebih tinggi dibanding NRP dengan serat penguat enceng gondok.
5. Laminate FRP mempunyai ketebalan paling kecil untuk konstruksi laminate kulit berdasarkan beban yang bekerja dibanding dengan laminate NRP. Untuk laminate NRP kenaikan tebal terkecil dibanding laminate FRP terjadi pada laminate dengan serat penguat serat karung Bi-Directional 580 g/m², yaitu sebesar 51.3 %.
6. Berat konstruksi FRP lebih kecil dibandingkan dengan berat konstruksi NRP. Untuk NRP kenaikan berat terkecil dibanding laminate FRP terjadi pada laminate dengan serat penguat serat karung Bi-Directional 580 g/m², yaitu sebesar 19.67%.
7. Dari data diatas terlihat bahwa NRP dengan serat penguat serat karung mempunyai sifat fisik dan mekanik yang lebih baik dibanding dengan NRP dengan serat penguat yang lain meskipun secara terpisah serat karung mempunyai kekuatan yang lebih kecil dibanding dengan serat abaka. Hal ini juga disebabkan oleh diameter serat karung lebih kecil dibanding dengan serat abaka sehingga ikatan antara resin dan serat penguat menjadi lebih baik (material menjadi lebih homogen).

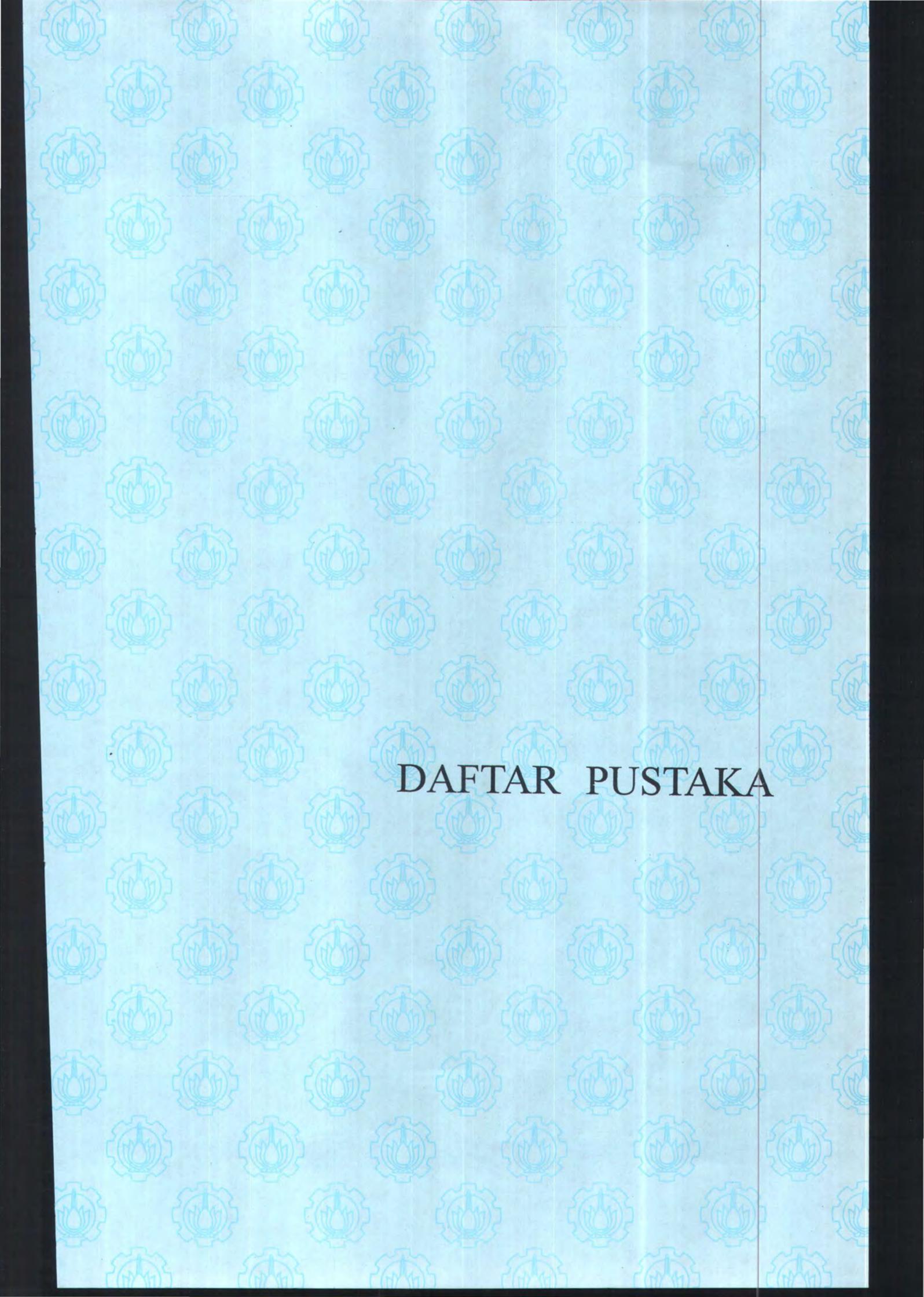
8. Salah satu kelemahan utama konstruksi NRP yang berkaitan dengan sifat mekaniknya adalah kurang sempurnanya pengikatan resin dengan serat penguat. Hal ini bisa disebabkan karena beberapa hal yang salah satunya adalah ukuran dari serat alam yang digunakan, semakin kecil dimensi serat semakin baik pula ikatan resin dengan serat penguat.
9. Penggunaan serat enceng gondok sebagai serat penguat perlu dipertimbangkan kembali mengingat dari hasil penelitian yang dilakukan mempunyai sifat fisik dan mekanik yang kurang memenuhi syarat untuk dipergunakan sebagai bahan membuat kapal.

4.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pemanfaatan serat alam sebagai substitusi fiberglass dalam pembangunan kapal cukup potensial untuk dikembangkan namun untuk mendapatkan kekuatan laminate NRP yang lebih tinggi perlu diperhatikan beberapa hal:

1. Serat alam mempunyai kekuatan yang bervariasi maka perlu diadakan pemilihan untuk mendapatkan kekuatan serat yang relatif sama. Sementara dalam penelitian ini penggunaan serat dilakukan secara acak. Seperti pada penggunaan serat abaka, perlu diadakan pemilihan kualitas serat karena pada tiap pelepah menghasilkan mutu serat yang berbeda.

2. Konfigurasi anyaman juga perlu diperhatikan, karena bentuk anyaman mempengaruhi berat material penguat per satuan luas. Semakin berat berarti jumlah serat yang dikandung semakin besar.
3. Penyeratan diusahakan menghasilkan serat yang sekecil mungkin. Semakin kecil serat yang dibuat maka homogenitas serat dan matriks akan semakin baik sehingga kekuatan lamninate yang dibuat semakin tinggi.
4. Penggunaan proses kimia untuk perlakuan awal pada serat juga perlu dilakukan, untuk memperoleh permukaan serat yang bisa menyatu dengan matriks dengan ikatan yang cukup kuat.
5. Penggunaan serat abaka sebagai penguat cukup potensial untuk dikembangkan, disarankan untuk penelitian lebih lanjut menggunakan bentuk strand yang dipilin seperti pada serat karung untuk meningkatkan kekuatannya. Hal ini terlihat pada pemilihan bentuk strand yang berbeda pada serat karung dan abaka pada penelitian ini, dimana dihasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi pada serat karung meskipun serat karung mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibanding serat abaka.



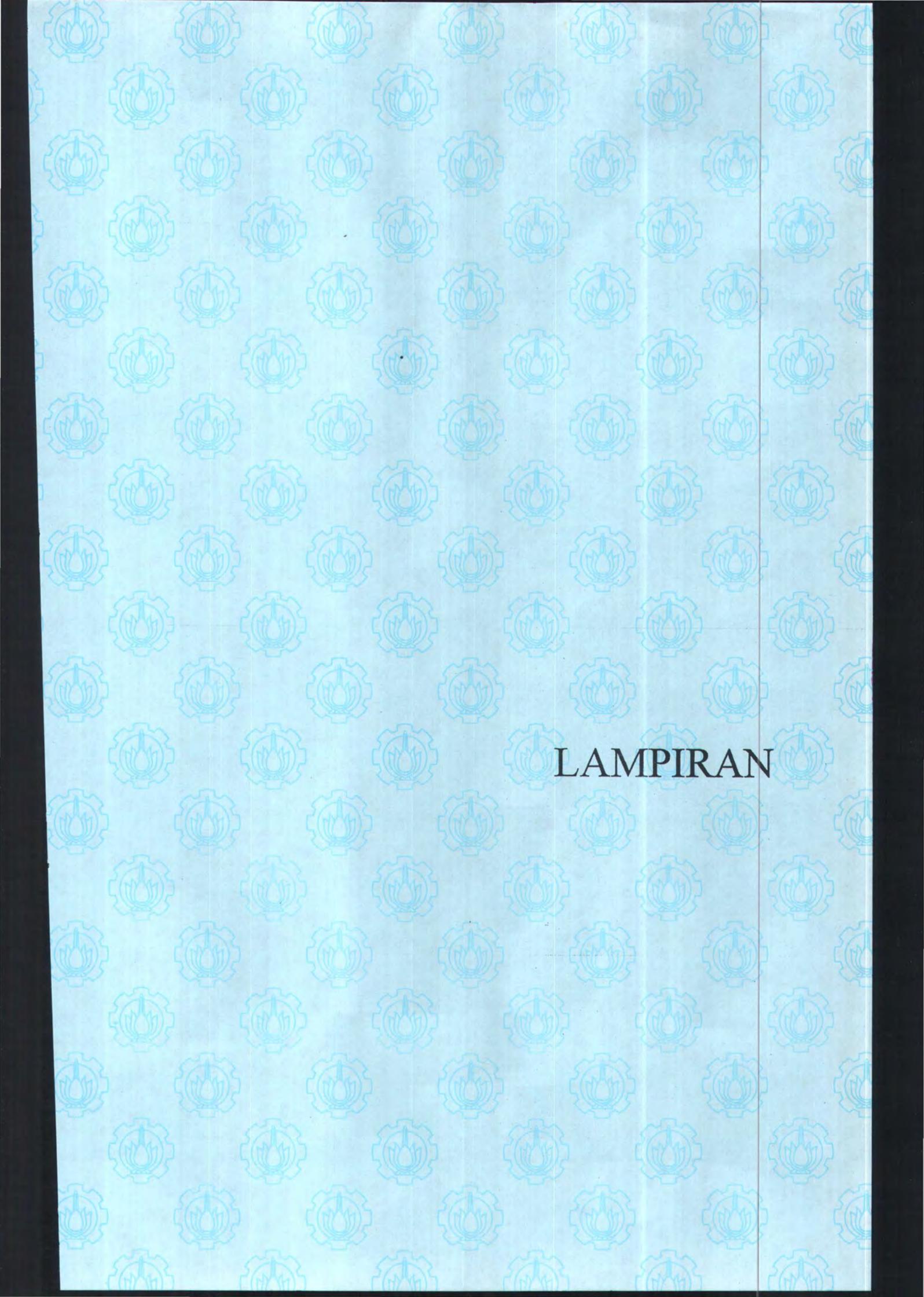
DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. W. D. (Rik) Brouwer, Paper, Delft University, 2001
2. Lukman, Aris. ,”Analisa Perbandingan Teknis dan Ekonomis Kostruksi dari Bambu Fiber Reinforced Plastic (BRP) dengan Konstruksi Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) Pada Pembangunan Kapal Cepat, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2001
3. Yoyok, S.H. ,”Sistem Komposit Serat Bambu (BFRP) dalam Upaya Pencarian Material Wahana Laut Maju, Laporan Penelitian, 1998
4. Wiley, Jack ,”The Fiberglass Repair and Construction Handbook”, United Stated of America, 1982
5. D 3039M – 93, “Standart Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials ’, ASTM standars and Literature References for Composite Materials, American Society For Testing and Materials, Philadelphia, PA 1994.
6. D 790M - 86’ Standart Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulting Materials [Metric]^{1’}, , ASTM standars and Literature References for Composite Materials, American Society For Testing and Materials, Philadelphia, PA 1994

7. Jain S. and Kumar R., " Processing of Bamboo Fiber Reinforced Plastic Composites, Material and Manufacturing Processes ", 1994
8. Salama, M.M., " Lightweight Materials for Deep Water Offshore Structure ", Houston, Texas, 1986
9. Wahid Suherman, Pengetahuan Bahan, Diktat Kuliah, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 1987
10. Handoko T.L, Analisa Tegangan Komposit FRP multi Layer, Tugas Akhir, Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 1998
11. Kline & Company, Oportunities for Natural Fibers in Plastic Composites, Paper, sixth International conference on Woodfiber-Plastic Composites, 2001
12. Terry Seller, Jr, Lignocellulosic-Based Composites Made of Core from Kenaf, an Annual Agricultural Crop, Paper, 1995
13. Dempsey, JM, Long Vegetables Fiber development in south Vietnam and others Asian Countries, 1963.
14., SI-PUK, Bank Indonesia, 2002
15. Leonardo Lareo, Possible utilization of the water hyacinth in nutrition and industry, Division of Agricultural and Food Sciences, Institute of Nutrition of Central America and Panama, Guatemala City, Guatemala, 2001

16. Wijanarko, W., Analisa Pengaruh Sudut Orientasi Serat Penguat terhadap Sifat Mekanik Komposit dengan Material Pembentuk Serat Gelas dan Resin Poliester, Tugas Akhir Teknik Mesin ITS, 1995
17. Joylita,, wawancara, 2002



LAMPIRAN

Tabel Tebal Spesimen

Spesimen A (serat penguat WR 800)

$$(W/m^2)_{mat\ 450} = 0.45 \quad (kg/m^2) \quad \rho_f = 2.55 \quad (g/cm^3)$$

$$(W/m^2)_{WR\ 800} = 0.8 \quad (kg/m^2) \quad \rho_m = 1.23 \quad (g/cm^3)$$

konfigurasi	fraksi berat terhadap serat		tebal teoritis (mm)			faktual
	serat	resin	serat	resin	lamina	
mat 450	1.00	3.00	0.18	1.098	1.27	
WR 800	1.00	1.00	0.31	0.650	0.96	
mat 450	1.00	2.03	0.18	0.743	0.92	
WR 800	1.00	1.00	0.31	0.650	0.96	
mat 450	1.00	2.03	0.18	0.743	0.92	
WR 800	1.00	1.00	0.31	0.650	0.96	
mat 450	1.00	2.03	0.18	0.743	0.92	
WR 800	1.00	1.00	0.31	0.650	0.96	
mat 450	1.00	3.00	0.18	1.098	1.27	
Total =					9.16	9.62

$$\text{persentase penambahan tebal} = -5.00 \%$$

Spesimen B (KarBi-D 422)

$$(W/m^2)_{KarBi-D580} = 0.58 \quad (kg/m^2) \quad \rho_f = 1.2 \quad (g/cm^3)$$

$$\rho_m = 1.23 \quad (g/cm^3)$$

konfigurasi	fraksi berat terhadap serat		tebal teoritis (mm)			faktual
	serat	resin	serat	resin	lamina	
KarBi-D 422	1.00	3.00	0.48	1.415	1.90	
KarBi-D 423	1.00	2.03	0.48	0.957	1.44	
KarBi-D 424	1.00	2.03	0.48	0.957	1.44	
KarBi-D 425	1.00	3.00	0.48	1.415	1.90	
Total =					9.11	8.67

$$\text{persentase pengurangan tebal} = 4.80 \%$$

Keterangan :

- WR 800 = Serat gelas Woven Roving 800 gr/m²
 KarBi-D 580 = Serat Karung Bi-Directional 580 gr/m²
 Serat Eceng gondok Bi-Directional 422 gr/m²
 EncBi-D 422 = gr/m²
 AbaBi-D 560 = Serat Abaka Bi-Directional 560 gr/m²

Lampiran I

Spesimen C (EncBi-D
422)

$$(W/m^2)_{EncBi-D422} = 0.422 \quad (kg/m^2) \quad \rho_f = 1.29 \quad (g/cm^3)$$

$$\rho_m = 1.23 \quad (g/cm^3)$$

konfigurasi	fraksi berat terhadap serat		tebal teoritis (mm)			faktual
	serat	resin	serat	resin	lamina	
EncBi-D 422	1.00	5.70	0.33	1.956	2.28	
EncBi-D 423	1.00	4.00	0.33	1.372	1.70	
EncBi-D 424	1.00	4.00	0.33	1.372	1.70	
EncBi-D 425	1.00	5.70	0.33	1.956	2.28	
Total =					10.48	11.87

persentase penambahan tebal = -13.22 %

Spesimen D (AbaBi-D
560)

$$(W/m^2)_{AbaBi-D560} = 0.56 \quad (kg/m^2) \quad \rho_f = 1.5 \quad (g/cm^3)$$

$$\rho_m = 1.23 \quad (g/cm^3)$$

konfigurasi	fraksi berat terhadap serat		tebal teoritis (mm)			faktual
	serat	resin	serat	resin	lamina	
AbaBi-D 560	1.00	3.00	0.37	1.366	1.74	
AbaBi-D 561	1.00	2.33	0.37	1.061	1.43	
AbaBi-D 562	1.00	2.33	0.37	1.061	1.43	
AbaBi-D 563	1.00	3.00	0.37	1.366	1.74	
Total =					9.08	8.64

persentase pengurangan tebal = 4.81 %

Keterangan :

- WR 800 = Serat gelas Woven Roving 800 gr/m²
- KarBi-D 580 = Serat Karung Bi-Directional 580 gr/m²
- EncBi-D 422 = Serat Eceng gondok Bi-Directional 422 gr/m²
- AbaBi-D 560 = Serat Abaka Bi-Directional 560 gr/m²



Lampiran 2

Perhitungan Kekuatan Tarik Spesimen Pengujian

SPESIMEN A (Tarik 0⁰)

No	depth	width	length	A	Δl	F	σ
Uji	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(N)	(Mpa)
1	9.62	15	150	144.3	6.5	18300	122.7858293
2	9.62	15	150	144.3	10.5	15450	101.2185535
3	9.62	15	150	144.3	0	14300	91.77255808
4	9.62	15	150	144.3	9.5	13300	89.28571429
5	9.62	15	150	144.3	10.5	14700	101.0309278
					7.4		101.2187166

SPESIMEN B (Tarik 0⁰)

No	depth	width	length	A	Δl	F	σ
Uji	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(N)	(Mpa)
1	8.67	15	150	130.05	3	2400	18.699
2	8.67	15	150	130.05	2	2050	15.401
3	8.67	15	150	130.05	3	2750	19.792
4	8.67	15	150	130.05	3	2900	22.154
5	8.67	15	150	130.05	1	3150	22.872
					2.400		19.784

SPESIMEN C (Tarik 0⁰)

No	depth	width	length	A	Δl	F	σ
Uji	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(N)	(Mpa)
1	11.87	15	150	178.05	6	320	1.857
2	11.87	15	150	178.05	10	420	2.472
3	11.87	15	150	178.05	6	350	1.967
4	11.87	15	150	178.05	2	330	1.858
5	11.87	15	150	178.05	6	335	2.040
					6.000		2.039

SPESIMEN D (Tarik 0⁰)

No	depth	width	length	A	Δl	F	σ
Uji	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(N)	(Mpa)
1	8.64	15	150	129.6	5	2300	16.111
2	8.64	15	150	129.6	2	2450	17.894
3	8.64	15	150	129.6	4	2300	16.014
4	8.64	15	150	129.6	2.5	2600	17.833
5	8.64	15	150	129.6	5	1950	15.530
					3.700		16.676

Lampiran 2

SPESIMEN A (Tarik 45⁰)

No	depth	width	length	A	Δl	F	σ
Uji	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(N)	(Mpa)
1	9.62	15	150	144.3	6.5	11200	74.148
2	9.62	15	150	144.3	7	10150	71.640
3	9.62	15	150	144.3	9	10650	76.840
4	9.62	15	150	144.3	7	12950	88.050
5	9.62	15	150	144.3	7.3	11237	77.670
					7.36		77.670

SPESIMEN B (Tarik 45⁰)

No	depth	width	length	A	Δl	F	σ
Uji	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(N)	(Mpa)
1	8.67	15	150	130.05	2.5	2050	15.661
2	8.67	15	150	130.05	3.5	2850	20.697
3	8.67	15	150	130.05	4	2400	18.824
4	8.67	15	150	130.05	2	2000	15.608
5	8.67	15	150	130.05	3	2900	21.342
					3.000		18.426

SPESIMEN C (Tarik 45⁰)

No	depth	width	length	A	Δl	F	σ
Uji	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(N)	(Mpa)
1	11.87	15	150	178.05	13	300	1.586
2	11.87	15	150	178.05	7	250	1.347
3	11.87	15	150	178.05	2	270	1.436
4	11.87	15	150	178.05	7.5	330	1.454
5	11.87	15	150	178.05	7.1	335	1.460
					7.320		1.456

SPESIMEN D (Tarik 45⁰)

No	depth	width	length	A	Δl	F	σ
Uji	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(N)	(Mpa)
1	8.64	15	150	129.6	6	2200	16.089
2	8.64	15	150	129.6	5	2050	15.727
3	8.64	15	150	129.6	2	2150	16.693
4	8.64	15	150	129.6	4.5	2400	16.392
5	8.64	15	150	129.6	4.13	1800	15.947
					4.326		16.169

Lampiran 3

Perhitungan Kekuatan Tekuk Spesimen Pengujian

SPESIMEN A (Tekuk 0⁰)

No Uji	depth (mm)	width (mm)	length (mm)	L (mm)	D (mm)	F (N)	S (Mpa)	r (mm/mm)	D' (mm)	m (N/m)	E (N/mm ²)
1	9.62	10	125	96	5	1030	173.501	0.030	3.000	343.333	9655.723524
2	9.62	10	125	96	4	1540	235.907	0.025	3.000	513.333	12581.69935
3	9.62	10	125	96	6	1540	195.681	0.038	5.000	308.000	6134.005908
4	9.62	10	125	96	5.3	1463	215.365	0.033	5.000	414.531	10098.05642
5	9.62	10	125	96	4.7	1277	188.027	0.028	4.000	361.911	8816.229439
					4.992		201.696	0.051			9457.142926

SPESIMEN B (Tekuk 0⁰)

No Uji	depth (mm)	width (mm)	length (mm)	L (mm)	D (mm)	F (N)	S (Mpa)	r (mm/mm)	D' (mm)	m (N/m)	E (N/mm ²)
1	8.67	10.4	125	96	3	150	31.656	0.016	2.000	75.000	3001.418639
2	8.67	9.7	125	96	4	280	64.948	0.021	3.000	93.333	4156.701031
3	8.67	10.25	125	96	3.5	100	23.091	0.018	2.500	40.000	1818.888284
4	8.67	9.8	125	96	4	110	25.899	0.021	3.000	36.667	1678.486253
5	8.67	9.6	125	96	4.0	120	27.435	0.021	3.000	40.000	1734.152992
					3.700		34.606	0.019			2477.92944

Lampiran 3

SPESIMEN C (Tekuk 0⁰)

No Uji	depth (mm)	width (mm)	length (mm)	L (mm)	D (mm)	F (N)	S (Mpa)	r (mm/mm)	D' (mm)	m (N/m)	E (N/mm ²)
1	11.87	10	200	160	5	5	0.513	0.014	4.000	1.250	47.12884035
2	11.87	10	200	160	5	10	1.037	0.013	4.000	2.500	96.18523172
3	11.87	10	200	160	7	10	1.076	0.019	6.000	1.667	65.37376787
4	11.87	10	200	160	4	5	0.550	0.011	3.000	1.667	69.16991873
5	11.87	10	200	160	5.3	7	0.794	0.014	5.000	1.771	69.46443967
					5.250		0.794	0.014			69.46443967

SPESIMEN D (Tekuk 0⁰)

No Uji	depth (mm)	width (mm)	length (mm)	L (mm)	D (mm)	F (N)	S (Mpa)	r (mm/mm)	D' (mm)	m (N/m)	E (N/mm ²)
1	8.64	10	125	96	4	50	9.060	0.023	3.000	16.667	533.1573498
2	8.64	10	125	96	4	170	29.270	0.023	3.000	56.667	1702.980215
3	8.64	10	125	96	3	110	17.740	0.017	2.000	55.000	1539.507234
4	8.64	10	125	96	7.5	130	24.012	0.042	5.000	26.000	847.8754747
5	8.64	10	125	96	4.0	220	41.744	0.023	3.000	73.333	2428.740091
					4.500		24.365	0.026			1410.452073

Lampiran 3

SPESIMEN A (Tekuk 45⁰)

No Uji	depth (mm)	width (mm)	length (mm)	L (mm)	D (mm ²)	F (N)	S (Mpa)	r (mm/mm)	D' (mm)	m (N/m)	E (N/mm ²)
1	9.62	10	125	96	6	1280	195.309	0.036	5.000	256.000	6521.617505
2	9.62	10	125	96	4	1540	204.340	0.026	3.000	513.333	10675.7035
3	9.62	10	125	96	5	1580	228.124	0.032	4.000	395.000	9030.87301
4	9.62	10	125	96	6	1050	164.717	0.037	5.000	210.000	5411.88888
5	9.62	10	125	96	5.3	1090	198.122	0.032	5.000	343.583	7910.020723
					5.250		198.122	0.040			7910.020723

SPESIMEN B (Tekuk 45⁰)

No Uji	depth (mm)	width (mm)	length (mm)	L (mm)	D (mm ²)	F (N)	S (Mpa)	r (mm/mm)	D' (mm)	m (N/m)	E (N/mm ²)
1	8.67	10.4	125	96	4	240	39.500	0.022	3.000	80.000	2407.598984
2	8.67	9.7	125	96	3	170	30.634	0.016	2.000	85.000	2834.525492
3	8.67	10.25	125	96	4	200	31.511	0.022	3.000	66.667	1898.082767
4	8.67	9.8	125	96	3.8	213	35.422	0.021		80.734	2488.231
5	8.67	9.6	125	96	3.5	194	32.340	0.019		73.709	2271.816991
					3.660	338.889	33.881	0.020		77.22222	2380.069081

Lampiran 3

SPESIMEN C (Tekuk 45⁰)

No Uji	depth (mm)	width (mm)	length (mm)	L (mm)	D (mm ²)	F (N)	S (Mpa)	r (mm/mm)	D' (mm)	m (N/m)	E (N/mm ²)
1	11.87	10	200	160	5	5	0.540	0.014	4.000	1.250	49.69950437
2	11.87	10	200	160	5	7	0.735	0.014	4.000	1.750	66.99832558
3	11.87	10	200	160	7	10	1.178	0.019	6.000	1.667	72.86759978
4	11.87	10	200	160	5	5	0.507	0.014	4.000	1.250	46.19620302
5	11.87	10	200	160	5.5	7	0.740	0.015	6.000	1.125	58.94040819
					5.500		0.740	0.015			58.94040819

SPESIMEN D (Tekuk 45⁰)

No Uji	depth (mm)	width (mm)	length (mm)	L (mm)	D (mm ²)	F (N)	S (Mpa)	r (mm/mm)	D' (mm)	m (N/m)	E (N/mm ²)
1	8.64	10	125	96	7	30	6.618	0.036	6.000	5.000	211.7647059
2	8.64	10	125	96	6	130	28.125	0.031	5.000	26.000	1080
3	8.64	10	125	96	6	70	13.717	0.032	5.000	14.000	520.2458975
4	8.64	10	125	96	4	230	46.044	0.021	3.000	76.667	2928.529945
5	8.64	10	125	96	5.8	152	31.249	0.030	5.000	30.423	1185.132231
					5.750		24.365	0.038			1185.134556

Lampiran 4

Perhitungan Tebal Laminate Kulit

tabel perhitungan tebal laminate kulit pada lambung dasar

$p = 19.9 \text{ kN/m}^2$ $C1 = 11.5$
 $b = 0.66 \text{ m}$ $C2 = 20.3$
 $L = 10.8 \text{ m}$ $C4 = 0.28$
 $t_o = 5$ $\delta_{\max} = 1$
 $k = 0.09$

Laminate	t_1	ω	$\delta (\omega/t_1)$	E	t	σ_c	σ_{nu}	σ_{cmax}	t_{min}
	(mm)	(mm)		(N/mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(mm)
A	9.62	5.00	0.520	9457.143	14.60	16.599	101.219	30.366	7.51
B	8.7	3.70	0.425	2477.929	22.07	8.132	19.784	5.935	16.98
C	11.9	5.25	0.441	69.464	53.19	1.374	2.039	0.612	52.91
D	8.6	4.50	0.523	1410.452	23.42	6.418	16.676	5.003	18.50

tabel perhitungan tebal laminate kulit pada lambung sisi

$p = 11.05 \text{ kN/m}^2$ $C1 = 11$
 $b = 0.64 \text{ m}$ $C2 = 20$
 $L = 10.8 \text{ m}$ $C4 = 0.29$
 $t_o = 5$ $\delta_{\max} = 0.9$
 $k = 0.06$

Laminate	t_1	ω	$\delta (\omega/t_1)$	E	t	σ_c	σ_{nu}	σ_{cmax}	t_{min}
	(mm)	(mm)		(N/mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(mm)
A	9.62	5.00	0.520	9457.143	12.33	12.432	101.219	30.366	7.10
B	8.7	3.70	0.425	2477.929	18.64	6.098	19.784	5.935	16.06
C	11.9	5.25	0.441	69.464	44.94	1.030	2.039	0.612	50.04
D	8.6	4.50	0.523	1410.452	19.78	4.806	16.676	5.003	17.49

tabel perhitungan tebal laminate kulit pada deck kapal

$p = 10.817 \text{ kN/m}^2$ $C1 = 11$
 $b = 0.64 \text{ m}$ $C2 = 20$
 $L = 10.8 \text{ m}$ $C4 = 0.29$
 $t_o = 5$ $\delta_{\max} = 0.9$
 $k = 0.03$

Laminate	t_1	ω	$\delta (\omega/t_1)$	E	t	σ_c	σ_{nu}	σ_{cmax}	t_{min}
	(mm)	(mm)		(N/mm ²)	(mm)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(mm)
A	9.62	5.00	0.520	9457.143	12.26	12.300	101.219	30.366	6.69
B	8.7	3.70	0.425	2477.929	18.54	6.033	19.784	5.935	15.14
C	11.9	5.25	0.441	69.464	44.70	1.019	2.039	0.612	47.17
D	8.6	4.50	0.523	1410.452	19.67	4.756	16.676	5.003	16.49

Lampiran 5

Tabel Perhitungan Jumlah Layer

tabel pendekatan jumlah layer laminate untuk lambung dasar

Laminate	t (mm)	$(W/m^2)_f$	ρ_f	ρ_m	TC_f	TC_m	R/G	N (layer)
A	14.60	0.800	2.55	1.23	0.392	0.813	1.00	15
B	22.07	0.580	1.20	1.23	0.833	0.813	2.03	15
C	53.19	0.422	1.29	1.23	0.775	0.813	4.00	31
D	23.42	0.559	1.50	1.23	0.667	0.813	2.33	16

tabel pendekatan jumlah layer laminate untuk lambung sisi

Laminate	t (mm)	$(W/m^2)_f$	ρ_f	ρ_m	TC_f	TC_m	R/G	N (layer)
A	12.33	0.800	2.55	1.23	0.392	0.813	1.00	13
B	18.64	0.580	1.20	1.23	0.833	0.813	2.03	13
C	50.04	0.422	1.29	1.23	0.775	0.813	4.00	29
D	19.78	0.559	1.50	1.23	0.667	0.813	2.33	14

tabel pendekatan jumlah layer laminate untuk deck kapal

Laminate	t (mm)	$(W/m^2)_f$	ρ_f	ρ_m	TC_f	TC_m	R/G	N (layer)
A	12.26	0.800	2.55	1.23	0.392	0.813	1.00	13
B	18.54	0.580	1.20	1.23	0.833	0.813	2.03	13
C	47.17	0.422	1.29	1.23	0.775	0.813	4.00	28
D	19.67	0.559	1.50	1.23	0.667	0.813	2.33	14



Lampiran 6

Tabel Perhitungan Berat Laminat Kulit

Tabel perhitungan berat material laminat kulit pada lambung dasar

Spesimen A (serat penguat WR 800)

tebal = 14.60 mm (W/m²)mat 450 = 0.45 (kg/m²)
 penguat = 15 layer (W/m²)WR 800 = 0.8 (kg/m²)
 Luas Kulit = 35 m²

Jenis Serat	Serat			Resin			Berat Laminat (Kg/m ²)	Berat Kulit Lambung (Kg)
	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m ²)	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m ²)		
mat 450	1	2	0.900	3	2	2.700	3.600	126
WR 800	1	7	5.60	1	7	5.600	11.200	392
mat 450	1	6	2.700	2.03	6	5.481	8.181	286.335
Total							22.981	804.335

Tabel perhitungan berat material laminat kulit pada lambung dasar

Spesimen B (serat penguat KarBi-D 580)

tebal = 22.07 mm (W/m²)KarBi-D 580 = 0.58 (kg/m²)
 penguat = 15 layer
 Luas Kulit = 35 m²

Jenis Serat	Serat			Resin			Berat Laminat (Kg/m ²)	Berat Kulit Lambung (Kg)
	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m ²)	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg)		
KarBi-D 580	1	2	1.160	3	2	3.480	4.640	162.4
KarBi-D 580	1	13	7.540	2.03	13	15.306	22.846	799.617
Total							27.486	962.017

Lampiran 6

tabel perhitungan berat material laminate kulit pada lambung dasar

Spesimen C (serat penguat EncBi-D 422)

tebal = 53.19 mm (W/m²)EncBi-D 422 = 0.422 (kg/m²)

penguat = 31 layer

Luas Kulit = 35 m²

Jenis Serat	Serat			Resin			Berat Laminate (Kg/m ²)	Berat Kulit Lambung (Kg)
	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m ²)	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg)		
KarBi-D 580	1	2	0.844	5.7	2	4.811	5.655	197.918
KarBi-D 580	1	29	12.238	4	29	48.952	61.190	2141.65
Total							66.845	2339.568

tabel perhitungan berat material laminate kulit pada lambung dasar

Spesimen D (serat penguat AbaBi-D 560)

tebal = 23.42 mm (W/m²)AbaBi-D 560 = 0.56 (kg/m²)

penguat = 16 layer

Luas Kulit = 35 m²

Jenis Serat	Serat			Resin			Berat Laminate (Kg/m ²)	Berat Kulit Lambung (Kg)
	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m ²)	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg)		
KarBi-D 580	1	2	1.120	3	2	3.360	4.480	156.8
KarBi-D 580	1	14	7.840	2.33	14	18.267	26.107	913.752
Total							30.587	1070.552

Lampiran 6

tabel perhitungan berat material laminate kulit pada lambung sisi

Spesimen A (serat penguat WR 800)

tebal = 12.33 mm (W/m²)mat 450 = 0.45 (kg/m²)
 penguat = 13 layer (W/m²)WR 800 = 0.8 (kg/m²)
 Luas Kulit = 24 m²

Jenis Serat	Serat			Resin			Berat Laminate (Kg/m ²)	Berat Kulit Lambung (Kg)
	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m ²)	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m ²)		
mat 450	1	2	0.900	3	2	2.700	3.600	86.4
WR 800	1	6	4.80	1	6	4.800	9.600	230.4
mat 450	1	5	2.250	2.03	5	4.568	6.818	163.62
Total							20.018	480.420

tabel perhitungan berat material laminate kulit pada lambung sisi

Spesimen B (serat penguat KarBi-D 580)

tebal = 18.64 mm (W/m²)KarBi-D 580 = 0.58 (kg/m²)
 penguat = 13 layer
 Luas Kulit = 24 m²

Jenis Serat	Serat			Resin			Berat Laminate (Kg/m ²)	Berat Kulit Lambung (Kg)
	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m ²)	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg)		
KarBi-D 580	1	2	1.160	3	2	3.480	4.640	111.36
KarBi-D 580	1	11	6.380	2.03	11	12.951	19.331	463.9536
Total							23.971	575.314

Lampiran 6

tabel perhitungan berat material laminate kulit pada lambung sisi

Spesimen C (serat penguat EncBi-D 422)

tebal = 50.04 mm (W/m2)EncBi-D 422 = 0.422 (kg/m2)
 penguat = 29 layer
 Luas Kulit = 24 m2

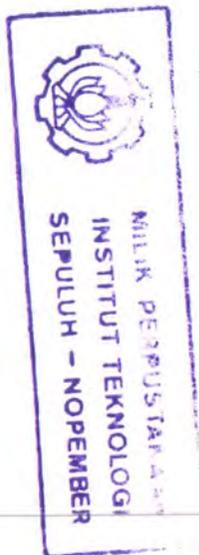
Jenis Serat	Serat			Resin			Berat Laminate (Kg/m2)	Berat Kulit Lambung (Kg)
	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m2)	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg)		
KarBi-D 580	1	2	0.844	5.7	2	4.811	5.655	135.7152
KarBi-D 580	1	27	11.394	4	27	45.576	56.970	1367.28
Total							62.625	1502.995

tabel perhitungan berat material laminate kulit pada lambung sisi

Spesimen D (serat penguat AbaBi-D 560)

tebal = 19.78 mm (W/m2)AbaBi-D 560 = 0.56 (kg/m2)
 penguat = 14 layer
 Luas Kulit = 24 m2

Jenis Serat	Serat			Resin			Berat Laminate (Kg/m2)	Berat Kulit Lambung (Kg)
	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m2)	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg)		
KarBi-D 580	1	2	1.120	3	2	3.360	4.480	107.52
KarBi-D 580	1	12	6.720	2.33	12	15.658	22.378	537.0624
Total							26.858	644.582



Lampiran 6

tabel perhitungan berat material laminate kulit pada deck

Spesimen A (serat penguat WR 800)

tebal = 12.26 mm (W/m²)mat 450 = 0.45 (kg/m²)
 penguat = 13 layer (W/m²)WR 800 = 0.8 (kg/m²)
 Luas Kulit = 11.625 m²

Jenis Serat	Serat			Resin			Berat Laminate (Kg/m ²)	Berat Kulit Deck (Kg)
	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m ²)	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m ²)		
mat 450	1	2	0.900	3	2	2.700	3.600	41.85
WR 800	1	6	4.80	1	6	4.800	9.600	111.6
mat 450	1	5	2.250	2.03	5	4.568	6.818	79.2534375
Total							20.018	232.703

tabel perhitungan berat material laminate kulit pada deck

Spesimen B (serat penguat KarBi-D 580)

tebal = 18.54 mm (W/m²)KarBi-D 580 = 0.58 (kg/m²)
 penguat = 13 layer
 Luas Kulit = 11.625 m²

Jenis Serat	Serat			Resin			Berat Laminate (Kg/m ²)	Berat Kulit Deck (Kg)
	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m ²)	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg)		
KarBi-D 580	1	2	1.160	3	2	3.480	4.640	53.94
KarBi-D 580	1	11	6.380	2.03	11	12.951	19.331	224.727525
Total							23.971	278.668

Lampiran 6

tabel perhitungan berat material laminate kulit pada deck

Spesimen C (serat penguat EncBi-D 422)

tebal = 47.17 mm (W/m2)EncBi-D 422 = 0.422 (kg/m2)

penguat = 28 layer

Luas Kulit = 11.625 m2

Jenis Serat	Serat			Resin			Berat Laminate (Kg/m2)	Berat Kulit Deck (Kg)
	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m2)	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg)		
KarBi-D 580	1	2	0.844	5.7	2	4.811	5.655	65.73705
KarBi-D 580	1	26	10.972	4	26	43.888	54.860	637.7475
Total							60.515	703.485

tabel perhitungan berat material laminate kulit pada deck

Spesimen D (serat penguat AbaBi-D 560)

tebal = 19.67 mm (W/m2)AbaBi-D 560 = 0.56 (kg/m2)

penguat = 14 layer

Luas Kulit = 11.625 m2

Jenis Serat	Serat			Resin			Berat Laminate (Kg/m2)	Berat Kulit Deck (Kg)
	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg/m2)	Fraksi Berat	Jumah Layer	Berat (Kg)		
KarBi-D 580	1	2	1.120	3	2	3.360	4.480	52.08
KarBi-D 580	1	12	6.720	2.33	12	15.658	22.378	260.1396
Total							26.858	312.220

Perhitungan Tebal struktur laminate kulit berdasarkan DNV

Menurut klasifikasi DNV Pt 3, Ch 4, Sec 6, B 201, untuk besarnya beban yang diterima, ketebalan struktur laminate yang disyaratkan berhubungan dengan factor defleksi, $d = w/t_1$. Tebal yang disyaratkan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$t = 178b \left(\frac{P}{\delta E (C_1 + \delta^2 C_2)} \right)^{\frac{1}{4}} (mm)$$

dimana :

t = tebal laminate (mm)

b = sisi terpendek panel single skin yang direncanakan (m)

p = Beban yang direncanakan (kN/m²)

δ = factor defleksi

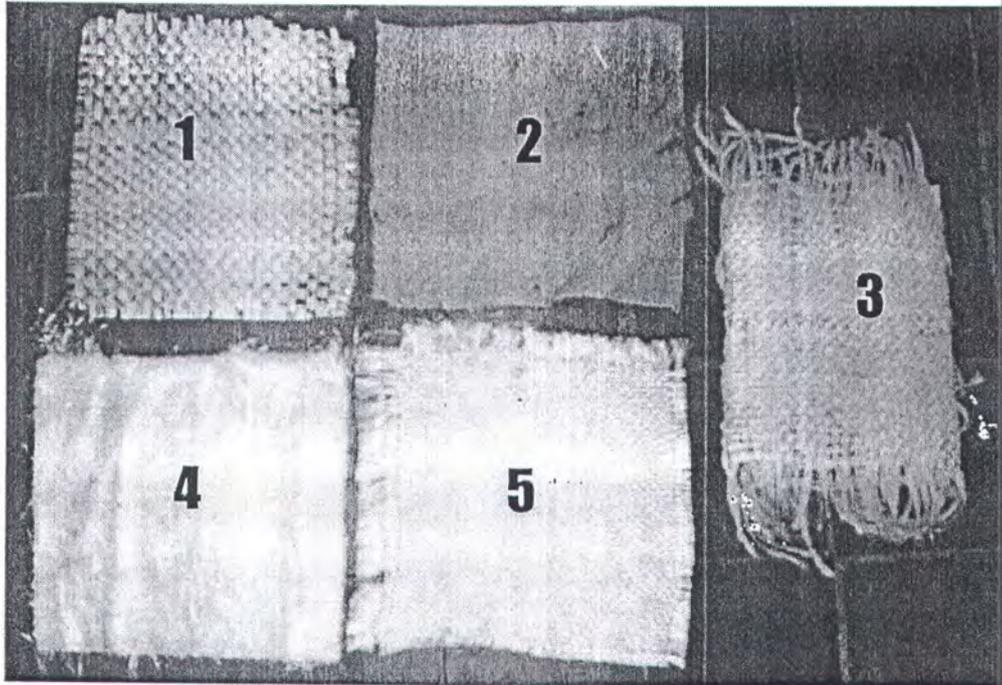
E = Modulus elastisitas laminate (N/mm²)

C_1 & C_2 = factor yang diperoleh pada gambar 1 DNV Pt 3, Ch 4, Sec 6, B 200

w = besar defleksi

t_1 = tebal specimen uji

Gambar material Penguat



Keterangan:

1. Serat Enceng Gondok
2. Serat Karung
3. Serat Abaka
4. Chopped Strand Mat 450
5. Woven Roving 800