

**PERBANDINGAN KEKUATAN MEKANIS
KOMPOSIT SERAT PISANG ABAKA DENGAN
PERATURAN KLASIFIKASI UNTUK APLIKASI
BADAN KAPAL**

SKRIPSI

Oleh

EDWIN OLAF JULIAN
04 04 08 0153



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

**PERBANDINGAN KEKUATAN MEKANIS
KOMPOSIT SERAT PISANG ABAKA DENGAN
PERATURAN KLASIFIKASI UNTUK APLIKASI
BADAN KAPAL**

SKRIPSI

Oleh

EDWIN OLAF JULIAN
04 04 08 0153



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

GENAP 2007/2008

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**PERBANDINGAN KEKUATAN MEKANIS KOMPOSIT BERPENGUAT
SERAT PISANG ABAKA DENGAN PERATURAN KLASIFIKASI UNTUK
APLIKASI BADAN KAPAL**

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 10 Juli 2008

Edwin Olaf Julian

NPM.0404080153

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

**PERBANDINGAN KEKUATAN MEKANIS KOMPOSIT SERAT PISANG
ABAKA DENGAN PERATURAN KLASIFIKASI UNTUK APLIKASI
BADAN KAPAL**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian tugas akhir pada tanggal 2 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai tugas akhir pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 10 Juli 2008
Dosen Pembimbing

DR. Ir. Sunaryo

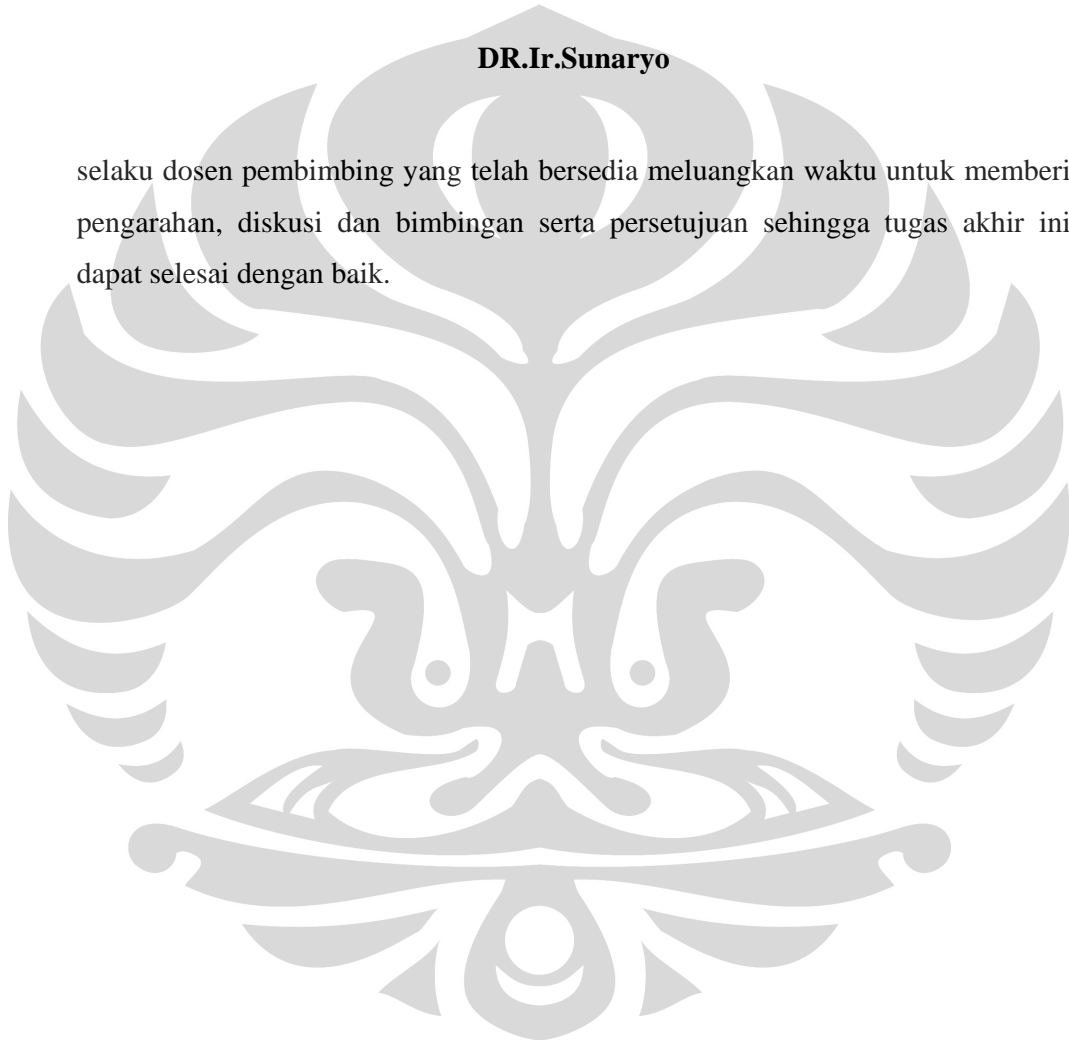
NIP. 131 473 842

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

DR.Ir.Sunaryo

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga tugas akhir ini dapat selesai dengan baik.



Edwin Olaf J
NPM 0404080153
Departemen Teknik Mesin

Dosen Pembimbing
DR.Ir.Sunaryo

**PERBANDINGAN KEKUATAN MEKANIS KOMPOSIT BERPENGUAT
SERAT PISANG ABAKA DENGAN PERATURAN KLASIFIKASI
UNTUK APLIKASI BADAN KAPAL**

ABSTRAK

Riset tentang material alternatif dalam pembangunan badan kapal merupakan topik yang menarik untuk dikaji. Penggunaan material besi atau baja pada pembangunan badan kapal yang telah umum digunakan dapat mengakibatkan terjadinya korosi dalam jangka waktu tertentu serta memiliki biaya pemeliharaan yang cukup tinggi. Salah satu riset yang telah berkembang yaitu penggunaan komposit dalam pembangunan badan kapal menggunakan serat alam. Dengan ketersediaan di alam yang melimpah, dapat diperbaharui, memiliki ketahanan terhadap korosi, dan memiliki biaya pemeliharaan yang rendah diharapkan komposit berpenguat serat alam dapat menjadi bahan alternatif dalam pembangunan badan kapal.

Penelitian kali ini dilakukan untuk melihat karakteristik mekanik dan mengevaluasi penggunaan komposit berpenguat serat alam dengan beberapa lapis (*laminar*). Serangkaian pengujian antara lain uji tarik dan uji lentur untuk mengetahui kekuatan tarik, modulus tarik, kekuatan lentur, dan modulus lenturnya pada komposit 4 lapis dengan orientasi $[0^0/90^0]$ dan 6 lapis dengan orientasi $[-45^0/45^0]$.

Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan antara banyaknya jumlah lapisan dengan modulus young. Hasil dari pengujian juga menunjukkan bahwa komposit abaka dengan beberapa lapisan masih memiliki nilai di bawah standar yang telah ditetapkan oleh peraturan BKI dan Llyod Register.

Kata Kunci : Komposit, Serat alam, Jumlah lapisan

Edwin Olaf J
NPM 0404080153
Mechanical Engineering Dept.

Consellor
DR.Ir.H.Sunaryo

**COMPARISON MECHANICAL PROPERTIES OF ABACA NATURAL
FIBER REINFORCED COMPOSITE DUE TO CLASIFICATION
RULES FOR SHIP HULL APPLICATION**

ABSTRACT

Research of alternative materials for ship hull construction purposes is an interesting subject to study. Application of steel material for ship hull building which commonly usage has a result corrosions in certain time including high maintenance cost. One of the developed research that is application of natural fibre for ship hull construction. Availability in nature with abundant, renewable, and also have a resistant to corrosion with minimum maintenance cost to be expected as a material alternative for ship hull construction.

These research is carried out to observe mechanical characteristic and also to evaluate an application of Abaca natural fibre reinforced composite with several layers. The series tests including tensile and flexural testing to know tensile strength, modulus tensile of elasticity, flexural strength, and modulus flexural of elasticity with 4 (four) layers composite with fibre orientation $[0^0/90^0]$ and 6 (six) layers with fibre orientation $[-45^0/45^0]$.

The results showed, that there are relationship between numbers of layer with Young's Modulus. The results also showed that Abaca Natural Fibre composite with several layers still have the value below the standard of rules of BKI and Llyod Register.

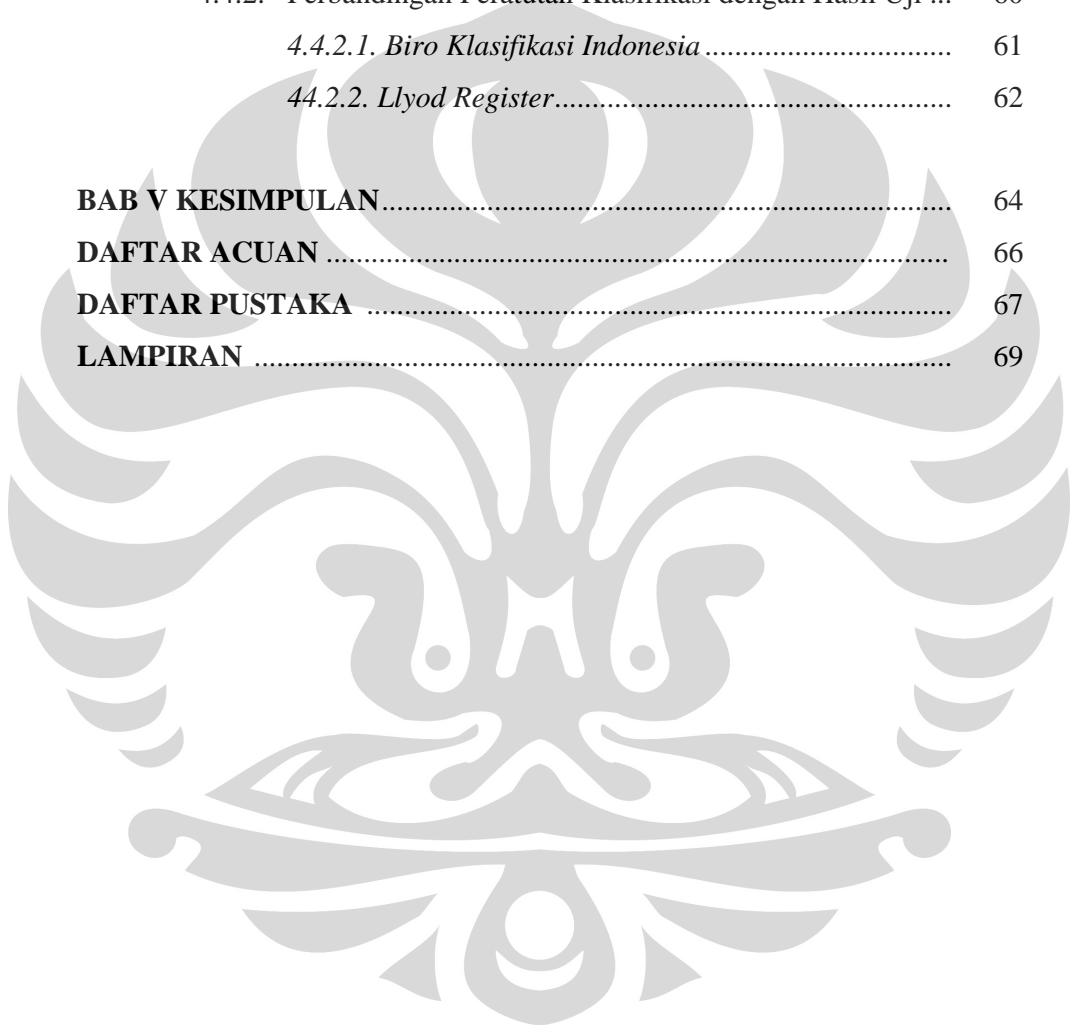
Key words : Composite, Natural Fibre, Number of Layers

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| JUDUL | i |
| PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI | ii |
| PENGESAHAN | iii |
| UCAPAN TERIMA KASIH | iv |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vi |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xii |
| DAFTAR SINGKATAN | xiii |
| | |
| BAB 1 PENDAHULUAN | |
| 1.1. LATAR BELAKANG MASALAH | 1 |
| 1.2. PERMASALAHAN | 2 |
| 1.3. TUJUAN PENELITIAN | 3 |
| 1.4. PEMBatasan MASALAH | 3 |
| 1.5. METODOLOGI PENELITIAN | 4 |
| 1.6. SISTEMATIKA PENULISAN | 5 |
| | |
| BAB II DASAR TEORI | |
| 2.1. KOMPOSIT | 7 |
| 2.2. SERAT (FIBER) | 8 |
| 2.3. MATRIKS RESIN EPOXY | 11 |
| 2.4. TEORI MAKRO DAN MIKROMEKANIKA KOMPOSIT | 13 |
| 2.4.1. Mikromekanika Komposit | 13 |

| | |
|---|----|
| 2.4.1.1. <i>Fraksi massa</i> | 16 |
| 2.4.1.2. <i>Fraksi volume</i> | 17 |
| 2.4.1.3. <i>Densitas</i> | 17 |
| 2.4.1.4. <i>Modulus Young longitudinal</i> | 18 |
| 2.4.1.5. <i>Modulus Young Transversal</i> | 21 |
| 2.4.1.6. <i>Major dan Minor Poisson's Ratio</i> | 23 |
| 2.4.1.7. <i>Modulus Geser</i> | 24 |
| 2.4.2. Makromekanika Komposit | 26 |
| BAB III FABRIKASI KOMPOSIT | |
| 3.1. FABRIKASI KOMPOSIT | 31 |
| 3.2. METODE STANDARISASI PENGUJIAN KOMPOSIT | 33 |
| 3.2.1. Uji Tarik Komposit | 33 |
| 3.2.2. Hasil Uji Tarik Komposit | 35 |
| 3.2.3. Uji Lentur Komposit | 36 |
| 3.2.4. Hasil Uji Lentur Komposit | 38 |
| BAB IV ANALISIS TEORITIS, ANALISIS HASIL UJI, DAN PERBANDINGAN HASIL UJI | |
| 4.1. ANALISIS TEORITIS MIKROMEKANIKA KOMPOSIT | 39 |
| 4.2. ANALISIS TEORITIS MAKROMEKANIKA KOMPOSIT | 46 |
| 4.2.1. Desain Laminat 4 Layer | 46 |
| 4.2.2. Matriks Kekakuan Lamina 4 Layer | 47 |
| 4.2.3. Matriks Kekakuan Laminat 4 Layer | 48 |
| 4.2.4. Penentuan Regangan dan Tegangan Laminat dengan 4 Layer | 49 |
| 4.2.5. Desain Laminat 6 Layer | 52 |
| 4.2.6. Matriks Kekakuan Lamina 6 Layer | 52 |
| 4.2.7. Matriks Kekakuan Laminat 6 Layer | 53 |
| 4.2.8. Penentuan Regangan dan Tegangan Laminat dengan 6 Layer | 55 |
| 4.3. ANALISIS HASIL UJI | 57 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3.1. Analisis Kekuatan Tarik dan Modulus Tarik dari Hasil Uji Tarik..... | 57 |
| 4.3.2. Analisis Kekuatan Lentur dan Modulus Lentur dari Hasil Uji Lentur..... | 58 |
| 4.4. PERBANDINGAN HASIL UJI..... | 60 |
| 4.4.1. Perbandingan Analisis Teoritis dengan Hasil Uji | 60 |
| 4.4.2. Perbandingan Peratutan Klasifikasi dengan Hasil Uji ... | 60 |
| 4.4.2.1. Biro Klasifikasi Indonesia | 61 |
| 4.4.2.2. Llyod Register..... | 62 |
| BAB V KESIMPULAN..... | 64 |
| DAFTAR ACUAN | 66 |
| DAFTAR PUSTAKA | 67 |
| LAMPIRAN | 69 |



DAFTAR GAMBAR

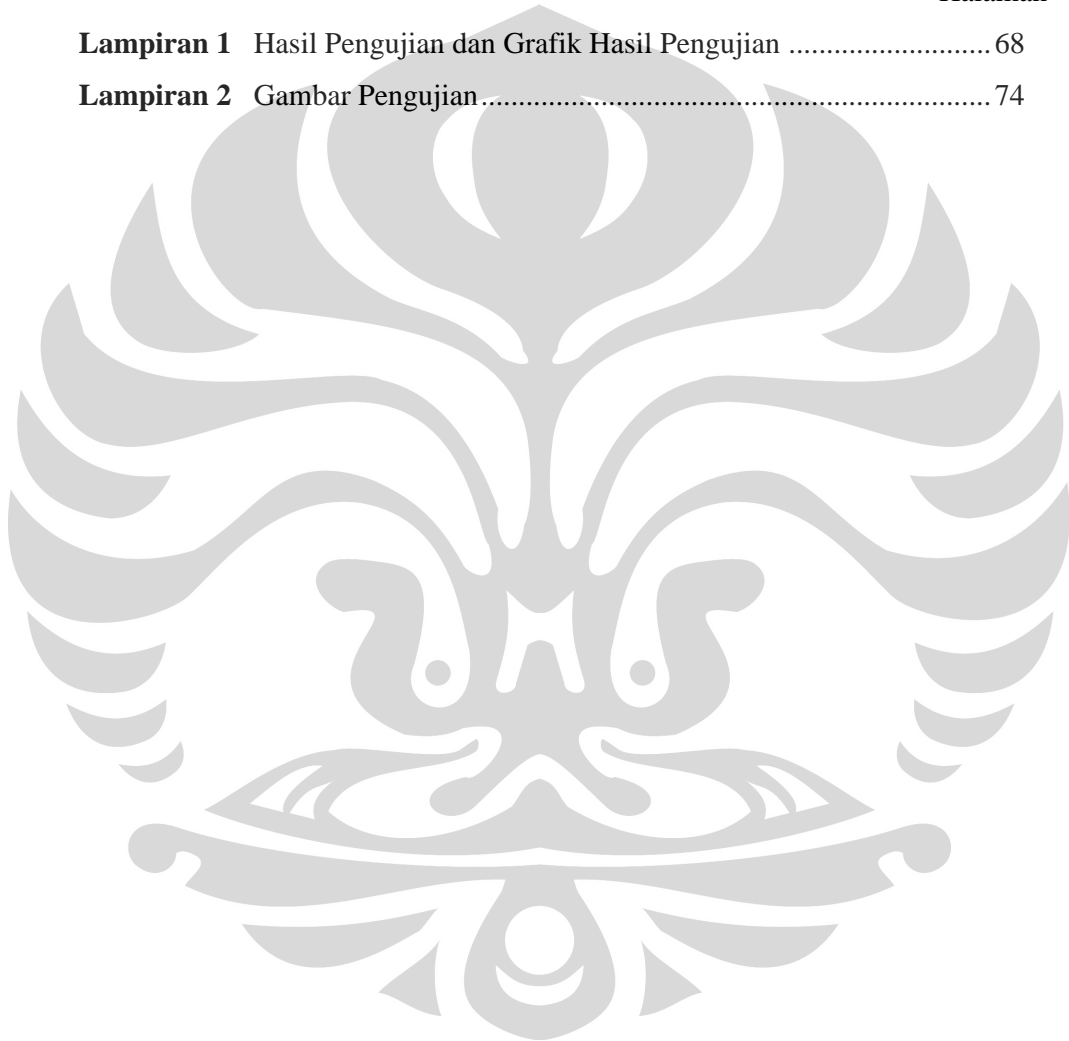
| | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 Ikatan atom resin <i>epoxy</i> | 12 |
| Gambar 2.2 Elemen komposit pembebanan dalam arah longitudinal | 19 |
| Gambar 2.3 Elemen komposit pembebanan dalam arah transversal | 21 |
| Gambar 2.4 Elemen komposit pembebanan dalam arah longitudinal | 24 |
| Gambar 2.5 Pembebanan geser pada komposit | 26 |
| Gambar 2.6 Deformasi yang terjadi pada komposit secara mikroskopik | 24 |
| Gambar 2.7 Susunan lamina | 29 |
| Gambar 3.1 Ilustrasi komposit dengan arah orientasi serat $[0^0/90^0]$ | 32 |
| Gambar 3.2 Ilustrasi komposit dengan arah orientasi serat $[-45^0/45^0]$ | 32 |
| Gambar 4.1 Desain laminat 4 layer | 47 |
| Gambar 4.2 Desain laminat 6 layer | 52 |
| Gambar 4.3 Grafik perbandingan Modulus tarik (Mpa)..... | 57 |
| Gambar 4.4 Grafik perbandingan kekuatan tarik (Mpa)..... | 58 |
| Gambar 4.5 Grafik perbandingan Modulus lentur (Mpa)..... | 59 |
| Gambar 4.6 Grafik perbandingan kekuatan lentur (Mpa)..... | 59 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 2.1 Fungsi dan Contoh antara Serat dan Matriks | 7 |
| Tabel 2.2 Perbandingan Serat Alam dengan Serat Sintetis | 9 |
| Tabel 2.3 Kandungan Kimia Serat Pisang Abaca | 10 |
| Tabel 2.4 Karakteristik Serat Pisang Abaca | 11 |
| Tabel 2.5 Karakteristik Resin <i>Epoxy</i> | 13 |
| Tabel 4.1 Rekapitulasi Analisis Teoritis | 45 |
| Tabel 4.2 Perbandingan Perhitungan Teoritis dengan Hasil Uji | 60 |
| Tabel 4.3 Data Perbandingan Hasil Uji dengan Rules BKI | 61 |
| Tabel 4.4 Karakteristik Mekanika Laminating <i>resins Llyod's Register</i> | 62 |
| Tabel 4.5 Data Perbandingan Hasil Uji dengan Rules Llyod Register | 63 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|--|---------|
| Lampiran 1 Hasil Pengujian dan Grafik Hasil Pengujian | 68 |
| Lampiran 2 Gambar Pengujian..... | 74 |



DAFTAR SINGKATAN



| | |
|------|---|
| ASTM | American Society for Testing and Material |
| BKI | Biro Klasifikasi Indonesia |
| FRP | Fiber Reinforced Plastic |
| GRC | Glass Reinforced Plastic |
| LR | Llyod Register |
| Ult | Ultimate |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Kapal adalah suatu bangunan terapung yang dibangun sebagai sarana atau alat untuk melakukan kegiatan/pekerjaan dilaut sesuai dengan maksud dan tujuan kapal tersebut dirancang dan dibangun. Kapal merupakan alat transportasi yang sangat vital khususnya Indonesia, dimana $\frac{2}{3}$ luas wilayah Indonesia adalah lautan sehingga peranan transportasi laut sangat berperan penting dalam mengangkut suatu barang/penumpang dari satu titik ke titik lainnya. Namun banyak masalah yang dihadapi oleh para pembuat kapal khususnya dalam aspek ekonomis terkait dengan biaya investasi pembangunan kapal yang menggunakan material dengan harga yang relatif tinggi baik dalam pembuatan badan kapal serta alat-alat yang ada di kapal, disamping dengan biaya maintenance yang cukup tinggi. Selain itu, media air laut dapat menyebabkan terjadinya korosi pada lambung kapal. Oleh sebab itu sangat perlu diadakannya riset tentang material alternatif dalam pembangunan kapal yang memiliki harga yang relatif murah dengan biaya pemeliharaan yang rendah pula.

Salah satu hasil riset yang berkembang dalam pengadaan proses pembuatan kapal yaitu penggunaan material komposit sebagai aplikasinya. Saat ini, banyak kapal-kapal yang telah menggunakan komposit berpenguat sintetis dalam proses pembuatannya. Komposit adalah struktur material yang terdiri dari 2 kombinasi atau lebih unsur. Kemudahan dalam memperoleh bahan-bahan, biaya pembuatan yang lebih murah, tahan terhadap air laut, anti korosif dan abrasi air laut, menjadi salah satu alasan tersendiri mengapa material komposit sering digunakan. Akan tetapi komposit berpenguat serat sintetis ini dapat mencemari lingkungan dan menjadi limbah apabila bahan tersebut tidak lagi dipergunakan karena bahan tersebut tidak dapat diurai oleh bakteri pengurai dan komposit berpenguat serat sintetis tersebut tidak dapat diperbaharui lagi.

Sebagai material alternatif dalam pembangunan kapal, serat sintetis ini mungkin dapat digantikan dengan serat alam yang dapat diperbaharui dan lebih ramah lingkungan. Serat alam yang digunakan adalah serat Pisang Abaca. Pisang Abaca (*Musa Textilis*) berasal dari Phillipina, namun tumbuh dengan baik di Kalimantan dan Sumatra. Berbeda dengan kebanyakan jenis pisang lainnya, Pisang Abaca justru dimanfaatkan batangnya. Batang ini bisa menghasilkan serat yang dapat digunakan untuk membuat benang. Pisang Abaca memiliki keuntungan diantara serat pisang pada umumnya karena memiliki karakteristik mekanik di atas serat pisang pada umumnya.

Melalui penelitian komposit berpenguat serat Pisang Abaca ini diharapkan menjadi wacana baru dalam perkembangan komposit sebagai bahan alternatif dalam pengaplikasiannya pada lambung kapal, dengan biaya material yang cukup murah, ketersediaan di alam yang melimpah ruah, dan ramah lingkungan sehingga diharapkan dapat memajukan industri perkapalan di Indonesia.

1.2 PERMASALAHAN

Proses pembuatan komposit berpenguat serat Pisang Abaca dengan metode *Hand Lay-Up* dengan berbagai orientasi sudut serat masih jarang penggunaannya dalam pembuatan lambung kapal. Hal ini disebabkan oleh kurangnya pengetahuan tentang serat Pisang Abaca sebagai bahan alternatif, selain itu dalam proses pembuatan kapal masih banyak yang menggunakan komposit berpenguat serat sintetis yang telah dijual banyak di pasaran. Serat sintetis saat ini masih menjadi primadona dalam pengaplikasiannya pada pembuatan badan kapal karena karakteristik mekanis serat sintetis jauh lebih baik dibandingkan dengan serat alam. Sehingga perlu dilakukan pengujian mekanik apakah komposit berpenguat serat Pisang Abaca layak untuk dijadikan bahan alternatif dalam pembuatan badan kapal yang sesuai dengan peraturan / berbagai acuan Badan Klasifikasi yang berlaku.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

- a) Melakukan pengujian terhadap komposit berpenguat serat Pisang Abaca untuk mendapatkan karakteristik mekanik.
- b) Membandingkan karakteristik kekuatan komposit berpenguat serat Pisang Abaca dengan aturan Badan Klasifikasi Kapal.

1.4 PEMBATASAN MASALAH

Dalam penelitian ini pembatasan masalah dilakukan untuk menghindari hal-hal yang tidak perlu atau di luar lingkup penelitian. Adapun pembatasan masalah yang dilakukan meliputi :

- a) Serat pisang yang digunakan adalah Serat Pisang Abaca
- b) Serat Pisang Abaca yang digunakan adalah sudah dalam bentuk jadi tanpa harus memproses dari bahan awal.
- c) Matriks pengisi yang digunakan adalah Epoxy yang banyak beredar dipasaran dan sering digunakan (Merek : Versamid 140)
- d) Pembuatan komposit dilakukan dengan cara *Hand Lay-Up* dan diuji dengan acuan yang ada untuk mendapatkan karakteristik mekanik kekuatan tarik dan lentur serta karakteristik untuk lambung kapal.
- e) Komposit yang dibuat terdiri dari beberapa lapis (*Laminate*), yaitu 4 lapis dengan arah orientasi sudut $[0^{\circ}/90^{\circ}]$ dan 6 lapis dengan arah orientasi sudut $[-45^{\circ}/+45^{\circ}]$. Analisa dilakukan dengan membandingkan dengan teori perhitungan yang sesuai.
- f) Analisa regangan-tegangan lamina komposit dilakukan dalam arah sejajar, tegak lurus dan miring (*Multidirectional*), dengan mengabaikan efek *thermal* dan *higrothermal*

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan oleh penulis dengan cara menyajikan data yang dikumpulkan, kemudian mengolah data tersebut untuk dilakukan analisa sehingga dapat ditarik kesimpulan. Metode pengumpulan data dilakukan penulis meliputi :

a) Jenis Metode Penelitian

Jenis metode penelitian adalah Metode Experimental Analisis yaitu dengan cara melakukan penelitian dan pengujian untuk mendapatkan data atau hasil yang kemudian dikumpulkan dan diolah serta menarik kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan.

b) Teknik Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data yang diperlukan dalam mendapatkan hasil penelitian ini maka dilakukan hal-hal sebagai berikut :

- Pengujian (testing) yaitu dengan melakukan pengujian terhadap material komposit tersebut.
- Observasi yaitu dengan cara mengumpulkan data melalui pencatatan secara cermat dan sistematis mengenai Serat Abaca, Resin Epoxy dan proses manufaktur dari komposit.
- Buku-buku, bahan kuliah, internet dan literatur lainnya.

c) Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Teknik pengolahan dan analisis data yang digunakan adalah teknik Exploratori kuantitatif yaitu pengolahan data kuantitatif yang diperoleh dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan laporan penelitian ini menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan

masalah, metodologi pemecahan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang teori-teori yang berkaitan dengan penulisan skripsi, yaitu tentang penjelasan komposit, serat alam (Serat Pisang Abaca), analisa mikromekanik komposit dan analisa laminat makromekanik.

BAB III FABRIKASI KOMPOSIT DAN HASIL UJI

Bab ini dijelaskan langkah-langkah dalam pembuatan komposit yang akan diuji di laboratorium sesuai dengan standard yang berlaku serta hasil uji.

BAB IV ANALISIS TEORITIS, ANALISIS HASIL UJI, DAN PERBANDINGAN HASIL UJI

Pada bab ini dijelaskan analisis teoritis mikromekanika dan makromekanika komposit, analisis terhadap hasil uji, perbandingan hasil uji terhadap perhitungan teoritis, dan perbandingan *mechanical properties* dari komposit terhadap standard yang telah ditetapkan oleh Badan Klasifikasi.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini merupakan bagian akhir dari skripsi yang berisi kesimpulan.

BAB II

DASAR TEORI

- KOMPOSIT

Komposit adalah struktur material yang terdiri dari 2 kombinasi atau lebih unsur. Dalam hal ini, terdiri atas matriks (resin *epoxy*) dan serat (Pisang Abaca). Unsur- unsur tersebut membentuk suatu kombinasi yang akan didapat satu sifat baru dari sebuah material.

Skema :

KOMPOSIT = PENGUAT (SERAT) + PENGISI
(Matriks)

Tabel 2.1 Fungsi dan Contoh antara Serat dan Matriks

| | Serat | Matriks |
|--------|-------------------------------------|--|
| Fungsi | Sebagai penguat untuk menahan beban | Menjaga penguat dari kondisi lingkungan luar |
| Contoh | Serat Alam dan Sintetis | Polimer, <i>epoxy</i> , dll |

Penggabungan komposit sangat beragam, ada yang diatur secara memanjang (*unidirectional composites*), ada yang dipotong-potong lalu dicampur secara acak (*random fibers*), ada yang dianyam silang lalu dicelupkan dalam resin (*cross-ply laminae*), dan lainnya. Pada material komposit dikenal istilah lamina dan laminate. Lamina adalah satu lembar komposit dengan satu arah serat tertentu, sedangkan laminate adalah gabungan beberapa lamina. Dibanding dengan material konvensional keunggulan komposit antara lain yaitu memiliki kekuatan yang dapat diatur (*tailorability*), tahanan lelah (*fatigue resistance*) yang baik, tahanan

korosi, dan memiliki kekuatan jenis (rasio kekuatan terhadap berat jenis) yang tinggi. Manfaat utama dari penggunaan komposit adalah untuk mendapatkan kombinasi sifat kekuatan serta kekakuan tinggi dan berat jenis yang ringan. Dengan memilih kombinasi material serat dan matriks yang tepat, kita dapat membuat suatu material komposit dengan sifat yang tepat sama dengan kebutuhan sifat untuk suatu struktur tertentu dan tujuan tertentu pula.

- **SERAT (FIBER)**

Serat berfungsi sebagai penguat untuk menahan beban. Adapun hal-hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan jenis serat yaitu :

- 2 *Spesific gravity*
- 3 *Tensile Strength dan Modulus*
- 4 *Compressive Strength dan Modulus*
- 5 *Fatigue Strength dan Fatigue Failure Mechanism*
- 6 *Electrical dan Thermal Conductivity*
- 7 *Cost*

Serat dapat diklasifikasikan menjadi 2 berdasarkan material pembentuknya yaitu serat alam (*Natural Fiber*) dan serat sintetis (*Synthetic Fiber*). Berikut pada tabel di bawah ini akan disajikan kelebihan serta kekurangan serat alam dan serat sintetis beserta contohnya.

Tabel 2.2 Perbandingan Serat Alam dengan Serat Sintetis

| SERAT ALAM | | SERAT SINTETIS |
|------------|--|----------------|
|------------|--|----------------|

| | | |
|--|--------|---|
| Memiliki cost yang rendah, densitas yang rendah, dapat diperbaharui, dan ramah lingkungan | PLUS | Serat kuat, tahan terhadap korosi, tahan terhadap panas, mudah diproduksi |
| Memiliki kekuatan tarik dan Modulus yang rendah | MINUS | Tidak dapat diperbaharui dan Tidak ramah lingkungan |
| Serat Bulu Domba, serat Pisang Abacca, serat Nenas, serat Rami, serat Pisang Belitung, dll | CONTOH | <i>Glass Fiber, Carbon Fiber, Aramid Fiber, Boron Fiber, Aluminium Oxide Fiber, dll</i> |

Serat alam yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah serat Pisang Abaca. Pisang Abaca (*Musa textilis*) adalah salah satu spesies pisang yang merupakan tumbuhan asli Filipina, namun tumbuhan liar ini tumbuh dengan baik di Kalimantan dan Sumatera. Serat Pisang ini diambil dari batangnya yang dikeringkan. Dari serat ini dapat dibentuk menjadi benang, sehingga pakaian tradisional Filipina dibuat dengan menggunakan serat tanaman ini. Penanaman Pisang Abaca untuk tujuan komersial mulai diminati di Indonesia. Sejumlah investor telah menanamkan modalnya di Jawa Timur dan Sulawesi tengah untuk menanam pisang jenis ini. Bahkan, pada zaman penjajahan Belanda, penanaman Pisang Abaca yang cukup luas pernah diusahakan di Sulawesi Utara, Sumatera Barat, Jawa Timur dan Jawa Tengah. Abaca, khususnya Abaca liar, yang tumbuh tidak beraturan merupakan gulma atau tanaman pengganggu di areal hutan yang hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Dengan demikian tumbuhan tersebut nantinya tidak perlu diberantas, tetapi dibudidayakan dengan pengelolaan yang intensif untuk menghasilkan serat dengan kualitas yang tinggi. Berdasarkan klasifikasinya tanaman Pohon Pisang Abaca ini termasuk ke dalam :

Kerajaan : Plantae

Divisi : Magnoliophyta

Ordo : Zingiberales

Famili : Musaceae

Genus : Musa

Spesies : Musa Textilis

Jenis serat Pisang Abaca ini memiliki kandungan kimia sebagai berikut :

Tabel 2.3 Kandungan Kimia Serat Pisang Abaca

| Kandungan | Persentase |
|--------------------|-------------------|
| Lignin | 9.5-13 % |
| α -Selulosa | 79-90 % |
| Ekstrak larutan | 1 % |
| Air | 2% |
| Abu | 1% |

(Dendy Wahyu Nugroho , 2000)

Pengujian karakteristik Serat Pisang Abaca dengan standar pengujian ASTM D 3379-75(Standardt Test Method Strength amd Young's Modulus for High Single Filament Material) memberikan data sebagai berikut:

Tabel 2.4 Karakteristik Serat Pisang Abaca

| Karakteristik | Nilai |
|---------------------------|-----------------------|
| Ultimate Tensile Strength | 434.654 Mpa |
| Elongation at Break | 0.019375 |
| Tensile Modulus | 22.434 Gpa |
| Density | 550 kg/m ³ |

| | |
|----------|-----------|
| Diameter | 0.2075 mm |
|----------|-----------|

(Dendy Wahyu Nugroho , 2000

- **MATRIKS RESIN EPOXY**

Matriks atau pengisi ruang komposit yang diperkuat dengan serat memegang peranan yang tak kalah penting dalam mentrasfer tegangan antara matriks, melindungi dari kondisi lingkungan luar dan menjaga permukaan serat dari pengikisan (Moncrieff, R.W , 1975). Jenis matriks yang digunakan pada penelitian kali ini adalah matriks *epoxy* Versamid 140, *Unmodified, liquid standard epoxy resin based on Bisphenol-A*. Matriks *epoxy* ini tergolong dalam *Thermoset Polymers* bersama dengan matriks *Phenolic, Polyamides, dan Polyesther*. Golongan matriks yang lainnya adalah *Thermoplastic Polymers, Methalics, dan Ceramics*.

MATRIKS

- 1) ***Thermoset Polimer : Epoxy, Poliesther, Phenolic, dan Polyamides.***
- 2) ***Thermoplastic : Polymers, Methalics, dan Ceramics.***

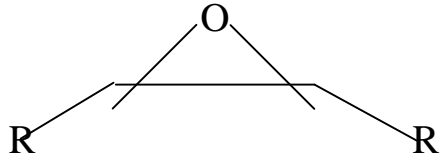
Hal- hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan matriks untuk pengaplikasiannya dalam bidang maritim adalah :

- a) Mampu melindungi serat dari pengaruh lingkungan yang disebabkan oleh abrasi dan absorpsi air, serta kerusakan yang ditimbulkan oleh bahan kimia.
- b) Mampu membungkus dan melekat dengan kuat.
- c) Dapat membasahi serat dengan cepat.
- d) Memiliki ketahanan yang baik.

Resin *epoxy* banyak dipakai untuk membuat komposit atau struktur komposit karena menawarkan sifat-sifat kombinasi yang unik yang tidak diperoleh pada jenis resin *termoset* lainnya. Dalam pengertian umum, resin epoksi dapat didefinisikan sebagai sebuah molekul yang memiliki tiga

buah lingkaran reaktif dari konfigurasi segitiga yang terdiri dari satu atom oksigen dan diikat dengan 2 atom karbon (ASM Handbook, Volume 21).

Ikatan atom resin *epoxy* dapat digambarkan seperti dibawah ini :



Gambar 2.1 Ikatan atom resin *epoxy*

Kelebihan yang dimiliki oleh *epoxy* antara lain memiliki kekuatan yang tinggi, penciutan yang rendah, proses adhesi yang baik ke berbagai substrate, penghambat listrik, tingkat toksik yang rendah, mendistribusikan tegangan yang diterima ke setiap serat, memiliki daya tahan yang baik terhadap pembebanan yang kontinyu dan terjadinya keretakan selama pengeringan relatif kecil (Syuherman, 2003). Kekurangannya adalah waktu pengeringan yang lama, beracun, dan harga relatif lebih mahal.

Resin yang dipakai pada pengujian kali ini memiliki karakteristik sebagai berikut :

Tabel 2.5 Karakteristik Resin *Epoxy*

| Karakteristik | Nilai |
|---------------------------|------------------------|
| Density | 1160 Kg/m ³ |
| Ultimate Tensile Strength | 44.126 Mpa |
| Elongation At Break | 0.038 |
| Modulus Young | 11621.2 Mpa |

(Hasudungan, Gustap Panggabean, 2007)

- TEORI MAKRO DAN MIKROMEKANIKA KOMPOSIT

2.4.1 Mikromekanika Komposit

Analisa mikromekanik menunjukkan hubungan antar sifat mekanik yang dimiliki oleh matriks dan serat dengan komposit yang dibentuknya. Serat dan matriks dianggap sebagai unsur yang terpisah yang saling mengintegrasikan satu dengan yang lainnya yang menjadi sifat komposit tersendiri. Hukum campuran (Law of Mixture) adalah hubungan yang

paling sederhana dan kadang sering cukup akurat untuk menunjukkan hubungan tersebut dan memecahkan masalah yang ada dalam mikromekanik.

"Sifat atau properti dari komposit adalah jumlah dari properti masing-masing pembentuknya dikalikan dengan fraksi volumenya". (law of mixture)

Sedangkan bila dilihat dari sisi makromekanik komposit dipandang secara utuh tanpa melihat hubungan kombinasi bahan-bahan pembentuknya. Hasil yang didapat dari analisa ini ialah nilai sifat-sifat mekanik rata-rata dengan menganggap komposit sebagai sebuah material yang homogen.

Sifat-sifat karakteristik dari komposit didapat melalui uji mekanis yang dilakukan terhadap komposit tersebut. Adapun nilai dari uji mekanik yang dimaksud seperti Tekanan (*stress*), regangan (*strain*) dan *Modulus Young*.

- Tekanan (*Stress*) didefinisikan sebagai intensitas dari pembebanan per luas daerah.

Stress dirumuskan sebagai :

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan: σ = Tekanan (Stress)
P = Besar pembebanan
A = Luas area pembebanan
(K. Kaw, Autar, pp.58, 1997)

- *Regangan (Strain)* didefinisikan sebagai deformasi yang ditimbulkan akibat gaya luar.

Strain dirumuskan sebagai :

$$\varepsilon = (\varepsilon_t - \varepsilon_0) / \varepsilon_0 \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan : ε = Regangan (Strain)
 ε_t = panjang akhir material
 ε_0 = panjang mula- mula material

(K. Kaw, Autar, pp.61, 1997)

- *Modulus young* merupakan perbandingan antar stress dan strain, yang dirumuskan sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :
E = modulus young
 σ = Regangan (strain)
 ε = Tekanan (stress)
(Tsai, Stephen, 1988)

Dalam analisa mikromekanik digunakan untuk memperkirakan karakteristik dari komposit serta karakteristik unsur pembentuknya baik itu serta serat maupun matriks. Keduanya saling mengintegrasikan satu sama lain menjadi sifat komposit tersendiri. Ketika membuat suatu komposit faktor massa, volume dan berat jenis dari serat dan matriks harus dihitung dan dicatat dengan teliti karena ketiga faktor tersebut sangat berpengaruh dalam analisa perhitungan mikromekanika dari komposit.

2.4.4.1 Fraksi massa

Fraksi massa unsur pembentuk ialah perbandingan massa sebuah unsur pembentuk dengan massa keseluruhan.

Dirumuskan :

$$F_w = \frac{w_i}{w_c} \dots\dots\dots(2.4)$$

F_w = Fraksi massa dari unsur pembentuk
 w_i = Massa unsur pembentuk , gr
 w_c = Massa keseluruhan, gr

(K. Kaw, Autar, pp.153, 1997)

Penjumlahan fraksi massa pembentuk komposit sama dengan 1. Fraksi massa dari ruang kosong (void) dianggap nol

Dirumuskan :

$$w_f + w_m = 1 \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan : w_f = Fraksi massa fiber

w_m = Fraksi massa matriks

(K. Kaw, Autar, pp.153, 1997)

2.4.4.2 Fraksi volume

Fraksi volume ialah perbandingan volume sebuah unsur pembentuk dengan volume keseluruhan.

Dirumuskan:

$$F_v = \frac{v_i}{v_c} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

F_v = Fraksi volume dari unsur

v_i = Volume unsur pembentuk, mm³

v_c = Volume komposit, mm³

Penjumlahan fraksi dan fiber, matriks dan ruang kosong (void) sama dengan satu.

Dirumuskan :

$$v_f + v_m + v_v = 1 \dots\dots\dots(2.7)$$

(K. Kaw, Autar, pp.156, 1997)

2.4.1.3 Densitas

Densitas dari komposit dapat ditentukan dari penjumlahan dari perkalian tiap-tiap unsur pembentuk dengan fraksi volumenya.

$$\rho_c = \frac{\rho_f \cdot v_f + \rho_m \cdot v_m}{v_c} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

ρ_c = Densitas komposit, gr/mm³

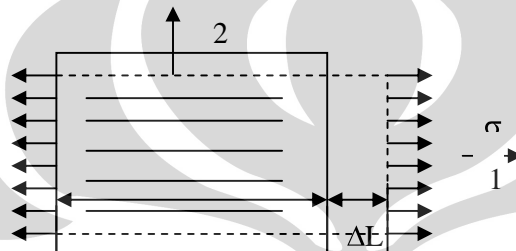
ρ_f = Densitas fiber, gr/mm³

ρ_m = Densitas matriks, gr/mm³

(K. Kaw, Autar, pp.153, 1997)

2.4.1. 4 Modulus Young Longitudinal

Dalam pengujian tarik komposit, bila ditarik dengan arah serat akan menimbulkan tegangan yang sama besarnya diterima oleh serat dan matriks. Regangan yang ditimbulkan pun akan sama jika tidak ada slip antara serat maupun matriks.



(Gambar 2.2, Element komposit pembebanan dalam arah longitudinal)

Gaya yang diterima komposit mengacu pada hukum campuran (*Law of Mixture*) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_c = F_f + F_m \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

F_c = Gaya yang diterima komposit, N

F_f = Gaya yang diterima serat, N

F_m = Gaya yang diterima matriks, N

Mengingat stress sama dengan gaya pembebanan per luas area

maka, $F_c = \sigma_c \cdot A_c$, $F_f = \sigma_f \cdot A_f$ dan $F_m = \sigma_m \cdot A_m$

sehingga dapat dirumuskan :

$$\sigma_c \cdot A_c = \sigma_f \cdot A_f + \sigma_m \cdot A_m$$

$$\sigma_c = \sigma_f \frac{A_f}{A_c} + \sigma_m \frac{A_m}{A_c}$$

karena fraksi area sama dengan fraksi volume maka :

$$\sigma_c = \sigma_f \frac{A_f}{A_c} + \sigma_m \frac{A_m}{A_c}$$

$$E_c \cdot \varepsilon_c = E_f \cdot v_f \cdot \varepsilon_f + E_m \cdot v_m \cdot \varepsilon_m$$

Regangan yang timbul adalah sama antara komposit dengan fiber dan matriks maka :

$$E_c = E_f \cdot v_f + E_m \cdot v_m \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

$E_c = E_1 = \text{Modulus Young Longitudinal, N/mm}^2$

(K. Kaw, Autar, pp.162, 1997)

Kekuatan tarik maksimum longitudinal dari lamina dapat dirumuskan sebagai berikut

$$(\sigma_1^T)^{ult} = (\sigma_f)^{ult} v_f + (\epsilon_f)^{ult} E_m (1 - v_f) \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan

:

$(\sigma_1^T)^{ult} = \text{Ultimate Longitudinal Strength}$

$(\sigma_f)^{ult} = \text{Ultimate Tensile Strength of Fiber}$

$(\epsilon_f)^{ult} = \text{Ultimate Failure Strength of Fiber}$

(K. Kaw, Autar, pp.187, 1997)

Regangan maksimum longitudinal dari lamina dirumuskan sebagai berikut.

$$(\epsilon_1^T)^{ult} = \frac{(\sigma_1^T)^{ult}}{E_1} \dots \dots \dots (2.12)$$

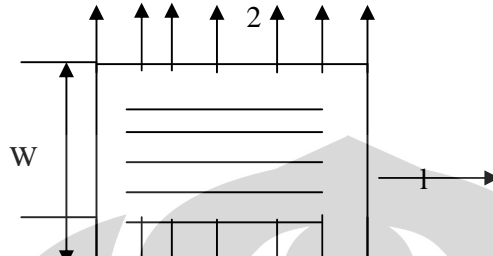
Keterangan :

$(\sigma_1^T)^{ult} = \text{Ultimate Longitudinal Strain}$

(K. Kaw, Autar, pp.189, 1997)

2.4.1.5 Modulus Young Transversal

Pengujian tarik komposit dilakukan pada arah transversal yaitu tegak lurus dari arah serat.



(Gambar 2.3 Element Komposit pembebanan dalam arah transversal)

Strain yang terjadi pada fiber dan serat dituliskan sebagai berikut :

$$\varepsilon_f = \frac{\Delta W_f}{W_f} \rightarrow \Delta W_f = \varepsilon_f \cdot W_f \quad \text{dan} \quad \varepsilon_m = \frac{\Delta W_m}{W_m} \rightarrow \Delta W_m = \varepsilon_m \cdot W_m$$

W_f adalah panjang dari fiber yakni sebesar $V_f \times W$ dan W_m adalah panjang dari matriks yakni sebesar $V_m \times W$.

Perubahan/deformasi panjang pada komposit merupakan pertambahan panjang pada elemen-elemen komposit tersebut sehingga dapat dituliskan:

$$\begin{aligned} \Delta W_2 &= \Delta W_f + \Delta W_m \\ \varepsilon_2 \cdot W &= \varepsilon_f V_f W + \varepsilon_m V_m W \\ \varepsilon_2 &= \varepsilon_f V_f + \varepsilon_m V_m \end{aligned}$$

Stress yang terjadi pada komposit pada arah transversal adalah :

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &= \left(\frac{V_f \varepsilon_f}{E_f} + \frac{V_m \varepsilon_m}{E_m} \right) \sigma_2 \dots \dots \dots (2.13) \\ \sigma_2 &= E_2 \left(\frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m} \right) \sigma_2 \\ \frac{\sigma_2}{\sigma_2} &= E_2 \left(\frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m} \right) \end{aligned}$$

Dalam mencari kekuatan transversal maksimum komposit terdapat faktor konsentrasi tegangan (*Stress Concentration Factor*) dengan persamaan :

$$SCF = \frac{\left\{ \left(1 - v_f \left[1 - \left(\frac{E_m}{E_f} \right) \right] \right) \right\}}{\left\{ 1 - \left(4 \frac{v_f}{\pi} \right)^{1/2} \left[\frac{E_m}{E_f} \right] \right\}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Sehingga kekuatan tarik transversal maksimum dari lamina dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$(\sigma_2^T)_{ult} = \frac{(\sigma_m^T)_{ult}}{SCF} \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan

:

$(\sigma_2^T)_{ult}$ = *Ultimate Transversal Strain*
(Dendy W.N, pp.16, 2000)

Sedangkan nilai dari transversal strain dapat kita tentukan sebagai berikut :

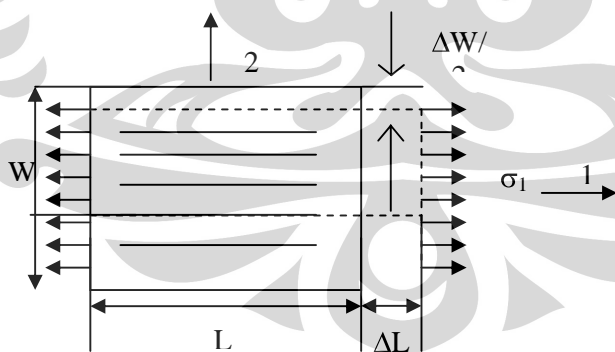
$$(\varepsilon_2^T)_{ult} = \frac{(\sigma_2^T)_{ult}}{E_2} \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan

:

$(\varepsilon_2^T)_{ult}$ = *Ultimate Transversal Strain*
(K. Kaw, Autar, pp.201, 1997)

2.4.1.6 Major Dan Minor Poisson's Ratio



(Gambar 2.4. Element Komposit pembebanan dalam arah longitudinal)

Poisson Ratio Mayor didefinisikan sebagai :

$$\nu_{12} = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \dots \dots \dots (2.18)$$

Poisson Ratio Minor didefinisikan sebagai :

$$\nu_{21} = -\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \dots \dots \dots (2.19)$$

Untuk tegangan ($\sigma_1 = \sigma$ dan semua tegangan selain itu sama dengan nol. Deformasi komposit digambarkan pada gambar diatas. Dan deformasi pada arah transversal adalah $\Delta W = -W\varepsilon_2 = W v_{12} \varepsilon_1$

Sedangkan $\Delta W = \Delta W_m + \Delta W_f$ dengan $\Delta W_m = W V_m v_m \varepsilon_1$ dan $\Delta W_f = W V_f v_f \varepsilon_1$

Substitusi persamaan :

$$\Delta W = \Delta W_m + \Delta W_f$$

$W v_{12} \varepsilon_1 = W V_m v_m \varepsilon_1 + W V_f v_f \varepsilon_1$, maka :

$$v_{12} = V_m v_m + V_f v_f \dots\dots\dots(2.20)$$

2.4.1.7 Modulus geser

Modulus geser pada bidang, G_{12} ditentukan dalam pendekatan mekanika material dengan mengasumsikan bahwa tegangan geser pada fiber dan matriks adalah sama. Pembebanan ditunjukkan dalam gambar 4 dengan berdasarkan atas asumsi :

$$\gamma_m = \frac{\tau}{G_m} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\gamma_f = \frac{\tau}{G_f} \dots\dots\dots(2.22)$$

Sifat khusus non linier *shear stress-shear strain* dari komposit berpenguat iber diabaikan, dalam contoh, sifat tersebut dianggap linier

Pada skala mikroskopik, deformasi ditunjukkan pada gambar 5. total deformasi geser di definisikan: $\Delta = \gamma W$

Deformasi geser yang terjadi pada matriks adalah $\Delta_m = V_m \gamma_m W$ dan pada fiber $\Delta_f = V_f \gamma_f W$ sehingga deformasi geser pada komposit $\Delta = \Delta_m + \Delta_f$ substitusi persamaan menghasilkan :

$$\Delta = \Delta_m + \Delta_f$$

$$\gamma W = V_m \gamma_m W + V_f \gamma_f W$$

$$\gamma = V_m \gamma_m + V_f \gamma_f$$

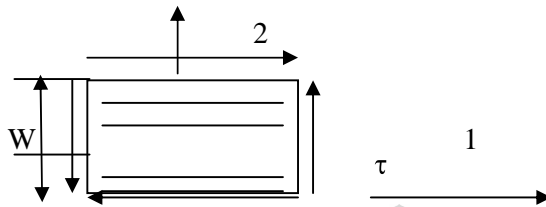
$$\frac{\tau}{G_{12}} = V_m \cdot \frac{\tau}{G_m} + V_f \cdot \frac{\tau}{G_f}$$

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{V_m}{G_m} + \frac{V_f}{G_f} \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan :

G_f = Modulus Geser Fiber, N/mm²

G_m = Modulus Geser Matriks , N/mm²
 (K. Kaw, Autar, pp.I73, 1997)



(Gambar 2.5. Pembebanan geser pada komposit)



(Gambar 2.6. Deformasi yang terjadi pada komposit secara mikroskopik)

2.4.2 Makromekanika Komposit

Lamina yang dibuat dengan serat yang kontinu dapat digolongkan ke dalam lamina Orthotropic, dimana reaksi pembebanan yang terdistribusi secara merata akan mengakibatkan perubahan panjang dan perubahan sudut sisi. Perubahan panjang terjadi jika beban bekerja pada sumbu beban sejajar dengan sisinya. Tegangan yang timbul adalah tegangan normal saja tanpa adanya tegangan geser. Sedangkan beban yang bekerja tidak sejajar dengan sumbu beban maka perubahan yang terjadi ialah perubahan panjang dan sudut sisi, yang diakibatkan adanya tegangan normal dan geser.

Lamina yang disusun secara berlapis dinamakan laminat. Dengan menyusunnya berlapis-lapis dengan orientasi sudut serat yang bervariasi maka dapat dilakukan pendesainan material yang memiliki karakteristik yang kita inginkan sesuai beban kerja yang akan diterima laminat.

Pada tiap lapisan lamina terdapat hubungan matematis antara stress-strain lengkungan bidang tengah (*Midplane Curvatur*, κ), jarak midplane laminat dengan matriks transformasi kekakuan [Q] dapat dirumuskan dalam **matriks stress** laminat sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{16} \\ Q_{12} & Q_{22} & Q_{26} \\ Q_{16} & Q_{26} & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.24)$$

Matriks regangan laminat diatas merupakan penjumlahan matriks regangan bidang tengah (*midplane stress*) matriks lengkungan bidang tengah yang dirumuskan sebagai berikut :

Jika persamaan diatas disubstitusikan dengan matriks stress laminat, maka matriks tersebut menjadi

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{bmatrix} + z \begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{16} \\ Q_{12} & Q_{22} & Q_{26} \\ Q_{16} & Q_{26} & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{bmatrix} + z \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{16} \\ Q_{12} & Q_{22} & Q_{26} \\ Q_{16} & Q_{26} & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.26)$$

Elemen Matriks [Q] masing-masing dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{11} &= Q_{11}\cos^4\theta + Q_{22}\sin^4\theta + 2(Q_{12}+2Q_{66})\sin^2\theta\cos^2\theta \\ Q_{12} &= (Q_{11}+Q_{22}-4Q_{66})\sin^2\theta\cos^2\theta + Q_{12}(\cos^4\theta + \sin^4\theta) \\ Q_{22} &= Q_{11}\sin^4\theta + Q_{22}\cos^4\theta + 2(Q_{12}+2Q_{66})\sin^2\theta\cos^2\theta \\ Q_{16} &= (Q_{11}-Q_{12}-2Q_{66})\cos^3\theta\sin\theta - (Q_{22}-Q_{12}-2Q_{66})\sin^3\theta\cos\theta \\ Q_{26} &= (Q_{11}-Q_{12}-2Q_{66})\cos\theta\sin^3\theta - (Q_{22}-Q_{12}-2Q_{66})\cos^3\theta\sin\theta \\ Q_{66} &= (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12}-2Q_{66})\sin^2\theta\cos^2\theta + Q_{66}(\sin^4\theta + \cos^4\theta) \dots\dots\dots(2.27) \end{aligned}$$

Konstanta Q dalam persamaan diatas memiliki hubungan dengan Modulus Elastisitas lamina dan poisson's ratio, yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{11} &= \frac{E_1}{(1-\nu_{21}\nu_{12})}; Q_{12} = \frac{\nu_{12}E_1}{(1-\nu_{21}\nu_{12})} \\ Q_{22} &= \frac{E_2}{(1-\nu_{21}\nu_{12})}; Q_{66} = G_{12} \dots\dots\dots(2.28) \end{aligned}$$

Pada lamina *Orthotropic* tegangan normal pada arah 1-2 tidak menghasilkan regangan geser, begitu juga sebaliknya tegangan geser tidak menghasilkan regangan normal, maka:

$$Q_{16} = Q_{26} = 0 \dots\dots\dots(2.29)$$

Integrasi setiap tegangan normal tiap lamina memberikan resultan gaya (N) dan momen (M) per unit panjang, dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^n \int_{h_{k-1}}^{h_k} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} dz; \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^n \int_{h_{k-1}}^{h_k} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} z dz \dots\dots\dots(2.30)$$

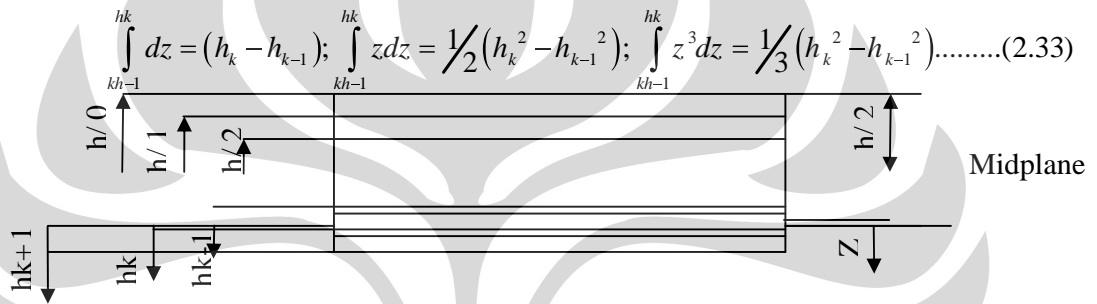
Matriks tegangan normal diatas jika kembali disubtitusikan ke dalam matriks gaya dan momen maka akan didapat matriks sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{bmatrix} = \left\{ \sum_{k=1}^n \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \int_{h_{k-1}}^{h_k} dz \right\} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{bmatrix} + \left\{ \sum_{k=1}^n \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \int_{h_{k-1}}^{h_k} z dz \right\} \begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.31)$$

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} = \left\{ \sum_{k=1}^n \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \int_{h_{k-1}}^{h_k} z dz \right\} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{bmatrix} + \left\{ \sum_{k=1}^n \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \int_{h_{k-1}}^{h_k} z^2 dz \right\} \begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.32)$$

Dimana :

$$\int_{h_{k-1}}^{h_k} dz = (h_k - h_{k-1}); \int_{h_{k-1}}^{h_k} z dz = \frac{1}{2}(h_k^2 - h_{k-1}^2); \int_{h_{k-1}}^{h_k} z^2 dz = \frac{1}{3}(h_k^3 - h_{k-1}^3) \dots\dots\dots(2.33)$$



Gambar 2.7 Susunan Lamina

Subtitusi persamaan diatas menghasilkan matriks [A] *extensional stiffness matrix*, [B] sebagai *coupling stiffness matrix* dan [D] sebagai *bending stiffness matrix* sehingga matriks gaya dan momen per unit panjang menjadi :

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{A}_{11} & \bar{A}_{12} & \bar{A}_{16} \\ \bar{A}_{12} & \bar{A}_{22} & \bar{A}_{26} \\ \bar{A}_{16} & \bar{A}_{26} & \bar{A}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.34)$$

Matriks [A], [B] dan [D] masing-masing ditulis dalam bentuk persamaan matematika menjadi:

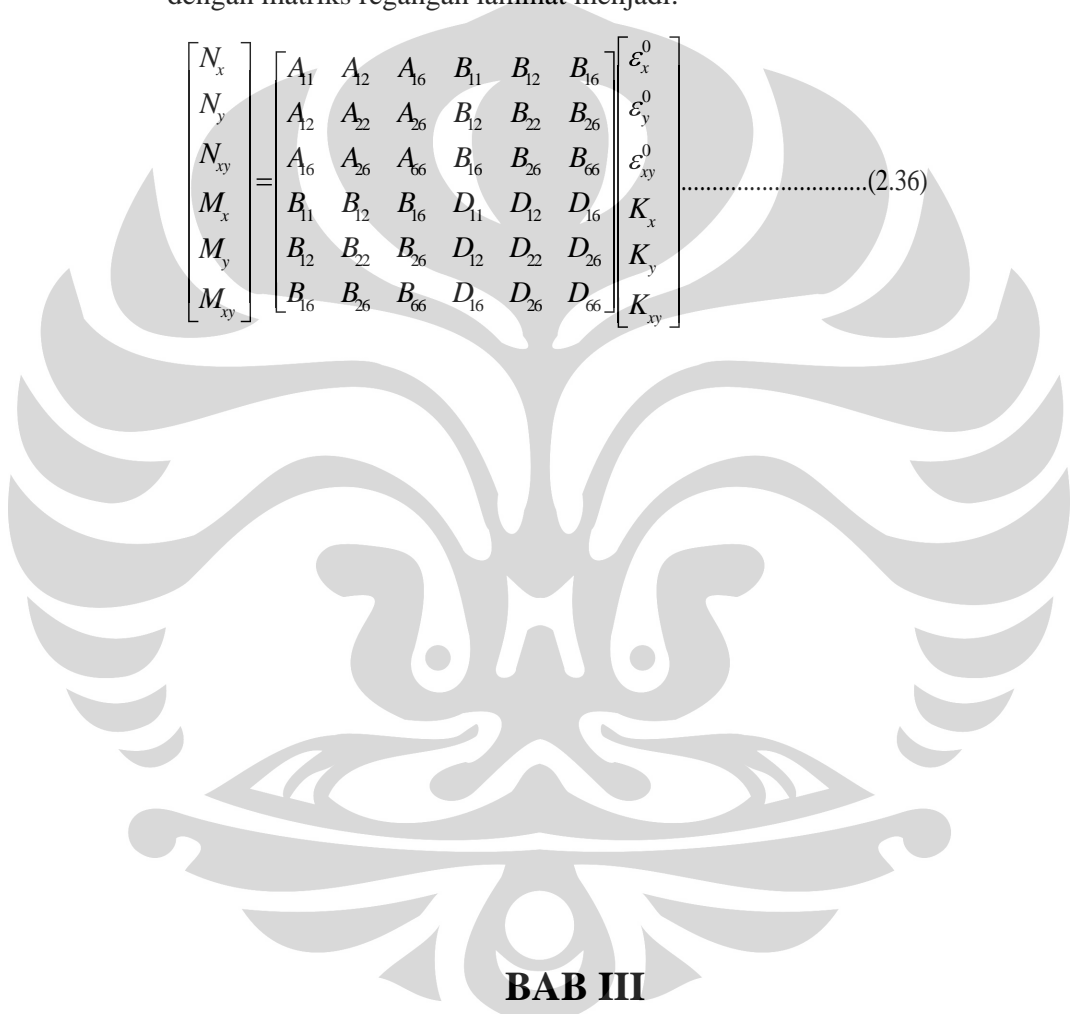
$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n \left[\bar{Q}_{ij} \right]_K = (h_k - h_{k-1}); i = 1, 2, 3 j = 1, 2, 3$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \left[\bar{Q}_{ij} \right]_K = (h_k^2 - h_{k-1}^2); i = 1, 2, 3 j = 1, 2, 3$$

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n \left[\bar{Q}_{ij} \right]_K = (h_k^3 - h_{k-1}^3); i = 1, 2, 3 j = 1, 2, 3 \dots\dots\dots(2.35)$$

Kombinasi antara matriks gaya dan momen, matriks [A], [B] dan [D] dengan matriks regangan laminat menjadi:

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} & B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} & B_{16} & B_{26} & B_{66} \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} & D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} & D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \varepsilon_{xy}^0 \\ K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.36)$$



BAB III

FABRIKASI KOMPOSIT DAN HASIL UJI

3.1 FABRIKASI KOMPOSIT

Pembuatan komposit ini menggunakan metode *Handlay-up*.

Bahan-bahan dan alat yang digunakan dalam pembuatan komposit antara lain :

Bahan yang dipakai :

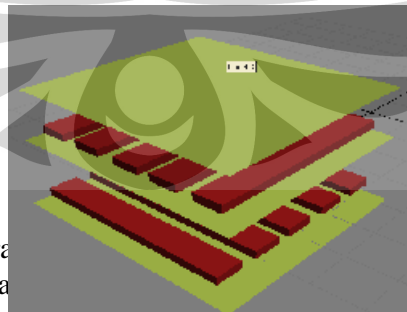
1. Cetakan dengan ukuran 400 x 250 x 15 mm sebanyak 3 buah
2. Alumunium foil
3. Serat (*fiber*)
4. Matriks (*resin epoksi*)

Alat yang dipakai :

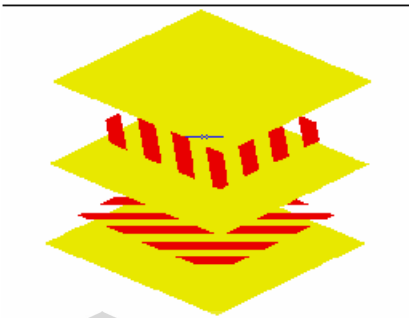
1. Timbangan digital
2. Gunting
3. Penggaris
4. Roll
5. Kuas

Langkah- langkah yang dilakukan dalam fabrikasi komposit antara lain :

1. Membuat tiga cetakan menggunakan bingkai kayu untuk mempermudah proses pembuatan komposit dengan ukuran cetakan 400 x 250 x 150 mm.
2. Membungkus ketiga cetakan dengan alumunium foil.
3. Membuat larutan resin epoksi. Bahan yang digunakan adalah resin epoksi dan pengerasnya (*hardener*) dengan perbandingan 1 : 1. Setelah itu oleskan larutan epoksi tersebut dioleskan secara tipis dengan menggunakan kuas pada ketiga cetakan yang telah dibungkus alumunium foil.
4. Tempelkan serat pisang abaka yang telah disisir rapi, sambil ditekan dengan kuas sesuai dengan arah orientasi yang diinginkan yaitu $0^0/90^0$ derajat sebanyak 4 laminar dan $-45^0/45^0$ derajat sebanyak 6 laminar.



- Gambar 3.1 Ilustrasi susunan serat [$0^0/90^0$]
5. Ratakan bagian atas dan bawah menggunakan kuas, hal ini dimaksudkan agar ketebalan menjadi seragam dan menghindari udara yang terperangkap di lapisan resin seminimal mungkin kemudian oleskan lagi resin diatas permukaan layer dan ratakan.



Gambar 3.2
Ilustrasi
komposit

- dengan arah orientasi serat $[-45^0/45^0]$
6. Keringkan komposit pada temperatur kamar dan tekanan konstan selama 9-12 jam dalam jangka waktu ini akan terjadi proses polimerisasi antara matriks dan serat.
 7. Lepaskan komposit dari cetakan. Lakukan proses ini dengan hati-hati agar bagian pinggir komposit tidak rusak.

3.2 METODE STANDARISASI PENGUJIAN KOMPOSIT

3.2.1 Uji Tarik Komposit (Tensile Test)

Standard Pengujian

ASTM D-3039

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials

Peralatan Uji

Pengujian dilakukan di laboratorium Sentra Teknologi Polimer BPPT PUSPIPTEK, Serpong, Jawa Barat

Peralatan yang digunakan dalam pengujian :

1. Universal Testing Machine A41 Tipe : AGS-10KNG, no seri : 00895-13
2. Jangka sorong

Specimen Uji

Specimen uji yang digunakan berupa pelat berupa laminat-laminat. Proses pembuatan specimen dimulai dengan mencetak komposit dari serat pisang abaca dengan resin epoksi pada cetakan berukuran 400 x 250 x 15 mm. Kemudian specimen difabrikasi untuk mendapatkan dimensi uji tarik yang diinginkan. Jumlah specimen yang disiapkan adalah 3 buah.

Kondisi Pengujian

Pengujian dilakukan pada kondisi standard laboratorium yaitu pada suhu 24°C dengan kelembaban relatif 51 %.

Prosedur Pengujian

1. Lakukan pengukuran dimensi dari specimen uji, baik lebar maupun ketebalannya menggunakan jangka sorong digital ditiga titik yaitu kanan, tengah dan kiri pada bagian gage length. Kemudian diambil rata-ratanya.
2. Lakukan penyettingan kecepatan tarik.
3. Specimen dijepit pada grip/dudukan, periksa kelurusan sumbunya Kencangkan penjepitnya agar tidak terjadi slip.
4. Lakukan penyettingan dengan memasukkan dimensi dari specimen yang akan diuji dan mengatur kecepatan tariknya yaitu 2 mm/menit.
5. Setelah itu tekan tombol on mesin uji mulai melakukan tarikan sampai specimen putus.
6. Pengujian dibaca dari komputer yang telah terhubung dengan mesin uji.
7. Ulangi langkah 2-6 untuk specimen lain.

3.2.2 Hasil Uji Tarik Komposit

Orientasi Fiber [0°/90°] 4 laminar

| No | Dimensi (mm) | A ₀ | F | σ | ε | E |
|----|--------------|----------------|---|---|---|---|
|----|--------------|----------------|---|---|---|---|

| | Lebar | Tebal | (mm ²) | (N) | (N/mm ²) | | (Mpa) |
|------|-------|-------|--------------------|---------|----------------------|------|--------|
| 1 | 14 | 12.10 | 169.4 | 4905 | 28.95 | 2.1 | 1378.5 |
| 2 | 14 | 11.8 | 165.2 | 5310 | 32.14 | 2.0 | 1607 |
| 3 | 14 | 11.53 | 161.4 | 5120 | 31.72 | 2.1 | 1510 |
| Mean | 14 | 11.81 | 165.33 | 5111.67 | 30.93 | 2.07 | 1498.5 |

Dari hasil pengujian didapat rata-rata :

$$\sigma \text{ (Kekuatan tarik)} = 30.93 \text{ N/mm}^2 = 30.93 \text{ Mpa}$$

$$E \text{ (Modulus tarik)} = 1498.5 \text{ Mpa}$$

| No | Dimensi (mm) | | A ₀ (mm ²) | F (N) | σ (N/mm ²) | ε (%) | E (Mpa) |
|------|--------------|-------|--------------------------------------|----------|---------------------------|----------|------------|
| | Lebar | Tebal | | | | | |
| 1 | 14 | 12.4 | 173.6 | 5670 | 32.6 | 1.9 | 1715.7 |
| 2 | 14 | 12.05 | 168.7 | 5760 | 34.1 | 1.9 | 1794.7 |
| 3 | 14 | 12 | 168 | 5660 | 35.37 | 2.1 | 1684.3 |
| Mean | 14 | 36.45 | 170.1 | 5696.33 | 34.02 | 1.97 | 1731.56 |

Dari hasil pengujian didapat rata-rata :

$$\sigma \text{ (Kekuatan tarik)} = 34.02 \text{ N/mm}^2 = 34.02 \text{ Mpa}$$

$$E \text{ (Modulus tarik)} = 1731.56 \text{ Mpa}$$

3.2.3 Uji Lentur Komposit (Flexural Test)

Standard Pengujian

ASTM D-790

Standart Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastic and Electrical Insulating Materials.

Peralatan Uji

Pengujian dilakukan di laboratorium Sentra Teknologi Polimer BPPT PUSPIPTEK, Serpong, Jawa Barat

Peralatan yang digunakan dalam pengujian :

1. Universal Testing Machine A41 Tipe : AGS-10KNG, no seri : 00895-13
2. Jangka sorong

Specimen Uji

Specimen uji yang digunakan berupa pelat berupa laminat-laminat. Proses pembuatan specimen dimulai dengan mencetak komposit dari serat pisang

abaca dengan resin epoksi pada cetakan berukuran 400 x 250 x 15 mm. Kemudian specimen difabrikasi untuk mendapatkan dimensi uji lentur yang diinginkan. Jumlah specimen yang disiapkan adalah 3 buah.

Kondisi Pengujian

Pengujian dilakukan pada kondisi standard laboratorium yaitu pada suhu 24°C dengan kelembaban relatif 51 %.

\

Prosedur Pengujian

1. Lakukan pengukuran dimensi dari specimen uji, baik lebar maupun ketebalannya menggunakan jangka sorong digital ditiga titik yaitu kanan, tengah dan kiri pada bagian gage length. Kemudian ambil rata-ratanya
2. Mensetting jarak tumpuan (*Support Span=L*) dimana $L = 16 \times t$ (*thickness*) dan mengukur kecepatan, dimana $v = 0,01 \times L / 6 d$ (*depth of beam*).
3. Letakkan sample ke tumpuan.
4. Lakukan penyettingan pada mesin sampai pada zero point.
5. Tekan tombol start pada mesin melalui komputer.
6. pengujian dibaca dari komputer yang telah terhubung dengan mesin uji.
7. Ulangi langkah 2-6 untuk specimen lain.

3.2.4 Hasil Uji Lentur Komposit

Orientasi Fiber [$0^0/90^0$] 4 laminar

| No | Dimensi (mm) | | Jarak Tumpuan (mm^2) | Gaya Maksimum (N) | Kekuatan Lentur (Mpa) | Modulus Lentur (Mpa) |
|------|--------------|-------|---------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| | Lebar | Tebal | | | | |
| 1 | 23.85 | 12.25 | 196 | 178 | 14.62 | 7689.4 |
| 2 | 24.11 | 12.17 | 196 | 161 | 13.25 | 6984.67 |
| 3 | 23.67 | 12.08 | 196 | 158 | 13.44 | 7324.45 |
| Mean | 23.87 | 12.17 | 196 | 165.67 | 13.77 | 7332.84 |

Dari hasil pengujian didapat rata-rata :

$$\sigma_f (\text{Kekuatan lentur}) = 13.77 \text{ Mpa}$$

$$E_f (\text{Modulus lentur}) = 7332.84 \text{ Mpa}$$

Orientasi Fiber [$-45^0/45^0$] 6 laminar

| No | Dimensi (mm) | | Jarak Tumpuan (mm^2) | Gaya Maksimum (N) | Kekuatan Lentur (Mpa) | Modulus Lentur (Mpa) |
|------|--------------|-------|---------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| | Lebar | Tebal | | | | |
| 1 | 24.35 | 12.63 | 202.1 | 276 | 21.54 | 11444.02 |
| 2 | 24.2 | 12.02 | 202.1 | 252 | 21.85 | 12896.32 |
| 3 | 23.8 | 12.71 | 202.1 | 302 | 23.5 | 12613.6 |
| Mean | 24.11 | 12.45 | 202.1 | 276.67 | 22.3 | 12317.98 |

Dari hasil pengujian didapat rata-rata :

σ_f (Kekuatan lentur) = 22.3 Mpa

E_f (Modulus lentur) = 12317.98 Mpa

BAB IV

ANALISIS TEORITIS, ANALISIS HASIL UJI, DAN PERBANDINGAN HASIL UJI

4.1 ANALISIS TEORITIS MIKROMEKANIKA KOMPOSIT

Berikut adalah mechanical properties dari serat pisang abaka dan resin epoksi yang diperlukan dalam perhitungan analisis teoritis :

MECHANICAL PROPERTIES FIBRE

1. Ultimate Tensile Strength : 434.654 Mpa
2. Elongation at break : 0.01938
3. Tensile Modulus : 22.34 GPa
4. Density : 550 Kg/m³
5. Diameter : 0.2075
6. Poisson Ratio : 0.2

MECHANICAL PROPERTIES OF EPOXY

1. Ultimate Tensile Strength : 44.126 Mpa
2. Elongation at break : 0.038
3. Tensile Modulus : 1162.2 Mpa
4. Density : 1160 Kg/m³

5. Poisson Ratio : 0.3

Dalam perhitungan teoritis ini terdapat 2 jenis komposit yaitu

1. Komposit berpenguat pisang abaka dengan 4 laminar dengan arah orientasi $[0^0/90^0]$
2. Komposit berpenguat pisang abaka dengan 6 laminar dengan arah orientasi $[-45^0/45^0]$

1. FRAKSI VOLUME DARI SERAT DAN MATRIKS

Untuk komposit 4 laminar dengan arah orientasi $[0^0/90^0]$

Masa Abaca Fiber = 33.18 gram
Masa Matriks = 156.92 gram
Masa Komposit = 190.1 gram

Density Abaca Fiber = 0.55 gr/cm³
Density Matriks = 1.16 gr/cm³
Density Komposit = 0.97 gr/cm³

Volume Abaca Fiber = 60.32 cm³
Volume Matriks = 135.27cm³
Volume Komposit = 195.59 cm³

Persentase Volume Fiber = $60.32 / 195.59 \times 100\%$
= 31% dibulatkan menjadi 30%

Presentase Volume Matriks = $135.27 / 195.59 \times 100\%$
= 69% dibulatkan menjadi 70%

FRAKSI VOLUME FIBER 4 laminar $[0^0/90^0]$ (Vf) = 30%

FRAKSI VOLUME MATRIKS 4 laminar $[0^0/90^0]$ (Vm) = 70%

Untuk 6 laminar dengan arah orientasi $[-45^0/45^0]$

Masa Abaca Fiber = 60 gram

Masa Matriks = 128.5 gram

Masa Komposit = 188.5 gram

Density Abaca Fiber = 0.55 gr/cm³

Density Matriks = 1.16 gr/cm³

Volume Abaca Fiber = 109.1 cm³

Volume Matriks = 110.7cm³

Volume Komposit = 219.8 cm³

Persentase Volume Fiber = $109.1 / 219.8 \times 100\%$

= 49.6% dibulatkan menjadi 50%

Persentase Volume Matriks = $110.7 / 219.8 \times 100\%$

= 50.4% dibulatkan menjadi 50%

FRAKSI VOLUME FIBER 6 laminar $[-45^0/45^0]$ (V_f) = 50%

FRAKSI VOLUME MATRIKS 6 laminar $[-45^0/45^0]$ (V_m) = 50%

Berikut adalah karakteristik mekanis komposit 4 laminar dengan orientasi $[0^0/90^0]$

2. LONGITUDINAL YOUNG MODULUS

$$\begin{aligned} E_1 &= E_f \times V_f + E_m \times V_m \\ &= 22.34 \times 0.3 + 1.162 \times 0.7 \\ &= 7.513 \text{Gpa} = 7513 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

3. TRANSVERSAL YOUNG MODULUS

$$\begin{aligned} \frac{1}{E_2} &= \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m} \\ \frac{1}{E_2} &= \frac{0.3}{22.34} + \frac{0.70}{1.162} \\ E_2 &= 1.625 \text{ Gpa} = 1625 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

4. BIDIRECTIONAL YOUNG MODULUS

$$\begin{aligned} E &= \frac{E_1 + E_2}{2} \\ &= \frac{7513 + 1625}{2} \\ &= 4569 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

5. ULTIMATE LONGITUDINAL TENSILE STRENGTH

$$\begin{aligned} (\sigma_1^T)_{\text{ult}} &= (\sigma_f)_{\text{ult}} v_f + (\varepsilon_f)_{\text{ult}} E_m (1 - v_f) \\ &= 434.6 \times 0.3 + 0.019375 \times 1161.2 \times 0.7 = 146.12 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{SCF} = \frac{\{(1 - v_f[1 - (E_m / E_f)])\}}{\{1 - (4v_f / \pi)^{1/2} [1 - [E_m / E_f]]\}}$$

$$= \frac{\{(1 - 0.3[1 - (1116.2/22434)])\}}{\{1 - (4 \times 0.3/3.14)^{1/2} [1 - [1116.2/22434]]\}} = 1.776$$

6. ULTIMATE TRANSVERSAL TENSILE STRENGTH

$$\begin{aligned} (\sigma_2^T)_{\text{ult}} &= (\sigma_m^T)_{\text{ult}} / \text{SCF} \\ &= 44.126 / 1.776 \\ &= 25.38 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

7. LONGITUDINAL SHEAR MODULUS

$$\begin{aligned} G_f &= E_f / 2(1 + \nu_f) \\ &= 22434 / 2(1 + 0.2) \\ &= 9347.5 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_m &= E_m / 2(1 + \nu_m) \\ &= 1161.2 / 2(1 + 0.3) \\ &= 446.62 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{G_{12}} &= \frac{\nu_m}{G_m} + \frac{\nu_f}{G_f} \\ &= \frac{0.7}{446.62} + \frac{0.3}{9347.5} \\ &= 625.2 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

8. ULTIMATE LONGITUDINAL STRAIN

$$\begin{aligned} (\varepsilon_1^T)_{\text{ult}} &= (\sigma_1^T) / E_1 \\ &= 146.12 / 7513 \\ &= 0.0194 \end{aligned}$$

9. ULTIMATE TRANSVERSAL STRAIN

$$\begin{aligned} (\varepsilon_2^T)_{\text{ult}} &= (\sigma_2^T) / E_2 \\ &= 25.38 / 1625 \\ &= 0.0156 \end{aligned}$$

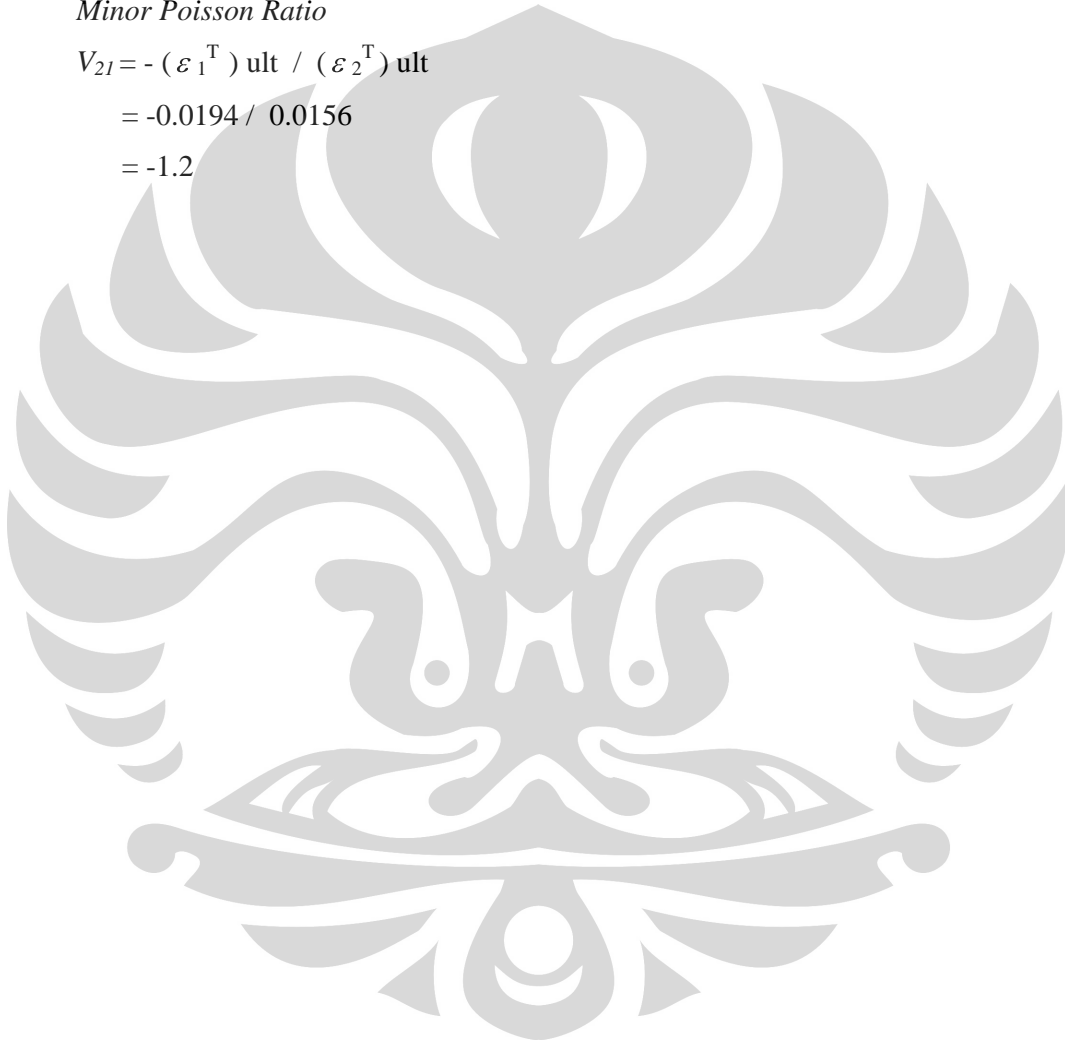
10. POISSON'S RATIO

Major Poisson Ratio

$$\begin{aligned} \nu_{12} &= -(\varepsilon_2^T)_{ult} / (\varepsilon_1^T)_{ult} \\ &= -0.0156 / 0.0194 \\ &= -0.804 \end{aligned}$$

Minor Poisson Ratio

$$\begin{aligned} \nu_{21} &= -(\varepsilon_1^T)_{ult} / (\varepsilon_2^T)_{ult} \\ &= -0.0194 / 0.0156 \\ &= -1.2 \end{aligned}$$



Sebagai Pembanding perhitungan karakteristik komposit $[0^0/90^0]$ dengan 4 layer dengan komposit $[-45^0/45^0]$ dengan 6 layer disajikan dalam bentuk tabel di bawah ini.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Analisis Teoritis

| No | Karakteristik | Komp.[$0^0/90^0$] 4 layer | Komp [$-45^0/45^0$] 6 layer | Satuan |
|----|---|--------------------------------|----------------------------------|--------|
| 1 | Fraksi Volume | 0.3 | 0.5 | - |
| 2 | Longitudinal Young Modulus | 7513 | 11751 | Mpa |
| 3 | Transversal Young Modulus | 1625 | 2211 | Mpa |
| 4 | Bidirectional Young Modulus | 4569 | 6981 | Mpa |
| 5 | Longitudinal Shear Modulus | 625.2 | 731.6 | Mpa |
| 6 | Ultimate Longitudinal Tensile Strength | 146.12 | 228.55 | Mpa |
| 7 | Ultimate Transversal Tensile Strength | 25.38 | 22.28 | Mpa |
| 8 | Ultimate Longitudinal Strain | 0.0194 | 0.0194 | Mpa |
| 9 | Ultimate Transversal Strain | 0.0156 | 0.010 | Mpa |
| 10 | Major Poisson's Ratio | -0.804 | -0.515 | - |
| 11 | Minor Poisson's Ratio | -1.2 | -1.94 | - |

4.2 ANALISIS TEORITIS MAKROMEKANIKA KOMPOSIT

Dalam pengaplikasiannya, lamina tidak dapat dipergunakan secara langsung sebab itu perlu digabungkan beberapa lamina menjadi sebuah laminat dengan orientasi serat yang bervariasi. Dengan menggabungkan dan menumpuk lamina-lamina ini, diharapkan tegangan maupun regangannya menjadi berkali lipat besarnya jika hanya berupa lamina. Analisis makromekanika ini meliputi : ilustrasi laminat, matriks kekakuan sesuai sudut orientasi, matriks kekakuan laminat, dan penentuan tegangan dan regangan laminat.

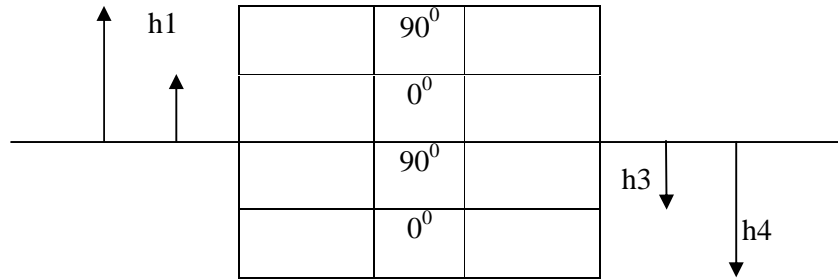
Penyusunan susunan lamina pada orientasi tertentu merupakan kebebasan tersendiri tergantung dari desain yang kita inginkan. Namun kali ini akan dilakukan penyederhanaan dalam analisa laminat dengan mempertimbangkan faktor berikut :

- 1) Nilai *Coupling Stiffness Matrix* [B] dapat dibuat nol dengan cara menempatkan lamina yang identik di atas dan dibawah bidang tengah. Atau dengan kata lain laminat yang dibuat ialah simetri (*Symetric laminat*). Kegunaan penyederhanaan ini untuk memudahkan analisa dan juga menghilangkan *bending* dan *stretching* pada laminat.
- 2) Nilai A_{16} dan A_{26} dapat dibuat nol dengan cara menempatkan lamina orthotropic bersudut θ positif dengan lamina lain yang identik bersudut θ negatif.
- 3) Nilai D_{16} dan D_{26} dapat dibuat nol dengan cara menempatkan lamina bersudut θ positif di atas bidang tengah dan juga menempatkan lamina lain yang identik bersudut θ negatif yang juga diletakkan pada jarak yang sama dari bidang tengah.

4.2.1 Desain Laminat 4 Layer

Dalam mendesain suatu laminat perlu adanya penggabungan dari beberapa lamina dengan orientasi serat. Pada penelitian kali ini, terdapat 2 laminat yaitu : laminat yang terdiri dari 4 lapis dengan arah orientasi $[0^0/90^0]$, dan laminat yang terdiri dari 6 lapis dengan arah orientasi $[-45^0/45^0]$. Ketebalan laminat yang dipilih ialah 12mm. Dengan fraksi fiber 0.3 untuk 4 lapis ,dan fraksi fiber 0.5 untuk 6 lapis. Berikut adalah desain laminat dengan arah orientasi yang berbeda-beda tiap lapisannya.

ho



Gambar 4.1 Desain laminat 4 layer

Dari desain laminat tersebut dapat ditentukan jarak *midplane* ke lamina tiap permukaan (h).

$$h_0 = -6 \text{ mm}$$

$$h_1 = -3 \text{ mm}$$

$$h_2 = 0 \text{ mm (midplane)}$$

$$h_3 = 3 \text{ mm}$$

$$h_4 = 6 \text{ mm}$$

4.2.2 Matriks Kekakuan Lamina 4 Layer

Setiap lamina yang tersusun dalam laminat memiliki matriks kekakuan [Q] sesuai sudut orientasinya. Untuk memperoleh matriks kekakuan lamina dapat digunakan persamaan (2.28).

$$Q_{11} = 7513 / 1 - (-1.2)(-0.804) = 213.4 \text{ Gpa}$$

$$Q_{12} = 0.804 \times 1625 / 1 - (-1.2)(-0.804) = 37.116 \text{ Gpa}$$

$$Q_{22} = 1625 / 1 - (-1.2)(-0.804) = 46.164 \text{ Gpa}$$

$$Q_{66} = 0.674 \text{ Gpa}$$

Sehingga diperoleh matriks kekakuan lamina adalah sebagai berikut

$$[Q] = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{16} \\ Q_{12} & Q_{22} & Q_{26} \\ Q_{16} & Q_{26} & Q_{66} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 213.4 & 37.11 & 0 \\ 37.11 & 46.16 & 0 \\ 0 & 0 & 0.62 \end{bmatrix} \times 10^9 \text{ Pa}$$

Untuk mendapatkan matriks kekakuan rata-rata dari lamina dengan sudut orientasi tertentu digunakan persamaan (2.27)

$$[Q]_0^0 = \begin{bmatrix} 213.4 & 37.11 & 0 \\ 37.11 & 46.16 & 0 \\ 0 & 0 & 0.62 \end{bmatrix} \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$[Q]_{90}^0 = \begin{bmatrix} 46.16 & 37.11 & 0 \\ 37.11 & 213.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0.62 \end{bmatrix} \times 10^9 \text{ Pa}$$

4.2.3 Matriks Kekakuan Laminat 4 Layer

Matriks kekakuan laminat terdiri dari matriks [A] *extensional stiffness matrix*, [B] *coupling stiffness matrix*, dan [D] *bending stiffness matrix*. Untuk mendapatkan ketiga matriks tersebut digunakan persamaan (2.35)

$$A_{ij} = \{ [Q]_{90}^0 (-0.003 - (-0.006)) + [Q]_0^0 (0 - (-0.003)) + [Q]_{90}^0 (0.003 - 0) + [Q]_0^0 (0.006 - (0.003)) \}$$

$$[A] = \begin{bmatrix} 1557 & 444 & 0 \\ 444 & 1557 & 0 \\ 0 & 0 & 7.5 \end{bmatrix} \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$[B] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[D] = 1/3 \{ [Q]_{90}^0 ((-0.003)^3 - (-0.006)^3) + [Q]_0^0 (0^3 - (-0.003)^3) + [Q]_{90}^0 (0.003)^3 - 0^3 + [Q]_0^0 (0.006)^3 - (0.003)^3 \}$$

$$[D] = \begin{bmatrix} 5223.76 & 5343.84 & 0 \\ 5343.84 & 18688.32 & 0 \\ 0 & 0 & 89.28 \end{bmatrix} \times \text{Pa}$$

Untuk mendapatkan persamaan laminat maka matriks tersebut harus diinvers

$$[A^{-1}] = \begin{bmatrix} 647 & -18.2 & 0 \\ -185 & 647.48 & 0 \\ 0 & 0 & 133333 \end{bmatrix} \times \text{Pa}$$

$$[D^{-1}] = \begin{bmatrix} 27 & -7.7 & 0 \\ -7.7 & 7.5 & 0 \\ 0 & 0 & 1120 \end{bmatrix} \times 10^{-5} \text{ Pa}$$

4.2.4 Penentuan Regangan dan Tegangan Laminat Dengan 4 Layer

Analisa laminat tiap lapisan penyusunnya bertujuan untuk melihat seberapa besar pengaruh beban aplikasi terhadap regangan lapisannya. Tekanan beban pada laminat diberi notasi N_x untuk arah gaya pada sumbu x, N_y untuk arah sumbu y dan N_{xy} untuk arah sumbu x-y. Momen yang terjadi pada sumbu x ialah M_x , sumbu y untuk M_y dan x-y untuk M_{xy} , diasumsikan nol. Untuk regangan *off axis* dan lengkungan bidang tengah $[\kappa]$ pelat dengan terlebih dahulu matriks $[A]$, $[B]$, dan $[D]$ diinverskan, sehingga diperoleh :

$$[N] = [A] \times [\varepsilon] + [B] \times [\kappa]$$

$$[M] = [B] \times [\varepsilon] + [D] \times [\kappa] \text{ karena } [B] = 0, \text{ maka}$$

$$[\varepsilon] = [A^{-1}] [N]$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x 0 \\ \varepsilon_y 0 \\ \gamma_{xy} 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 647 & -18.2 & 0 \\ -185 & 647.48 & 0 \\ 0 & 0 & 133333 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} N_x \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 647 \\ -185 \\ 0 \end{bmatrix} \times \text{Pa}$$

karena $[M] = 0$, maka $[\kappa] = 0$

Selanjutnya dapat ditentukan matriks di atas untuk tiap lamina dengan sudut orientasi sesuai dengan desain yang telah ditentukan, dimana matriks transformasi $[T]$ ialah sebagai berikut :

$$[T]_{\theta} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 2 \sin \theta \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -2 \sin \theta \cos \theta \\ -\sin \theta \cos \theta & \sin \theta \cos \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix}$$

Kemudian dapat ditentukan variasi tegangan dan regangan pada sumbu *off axis* disepanjang ketebalan laminat dengan menggunakan persamaan :

$$[\varepsilon]_{\text{off axis}} = [\varepsilon]_{\text{on axis}} \text{ atau } \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$$

Hal di atas berarti regangan *off axis* pada tiap lapisan lamina seragam. Untuk tegangan *off axis*, tegangan *on axis* dan regangan *on axis* dapat dirumuskan sebagai berikut

$$[\sigma]_{\text{off axis}} = [Q]_{\theta} [\varepsilon]_{\text{off axis}}$$

$$[\sigma]_{\text{on axis}} = [T]_{\theta} [\sigma]_{\text{off axis}}$$

$$[\varepsilon]_{\text{on axis}} = [T]_{\theta} [\varepsilon]_{\text{off axis}}$$

Berikut merupakan analisa tegangan dan regangan untuk tiap lapisan lamina.

Lapisan 1 dan lapisan 3 (sudut orientasi 90⁰)

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 46.16 & 37.11 & 0 \\ 37.11 & 213.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0.62 \end{bmatrix} \times 10^9 \text{ Pa} \begin{bmatrix} 647 \\ -185 \\ 0 \end{bmatrix} \times N_x = \begin{bmatrix} 22989.07 \\ -15468.8 \\ 0 \end{bmatrix} N_x \text{ Pa}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 22989.07 \\ -15468.8 \\ 0 \end{bmatrix} N_x \text{ Pa} = \begin{bmatrix} -15468.8 \\ 22989.07 \\ 0 \end{bmatrix} N_x \text{ Pa}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 647 \\ -185 \\ 0 \end{bmatrix} N_x \text{ Pa} = \begin{bmatrix} -185 \\ 647 \\ 0 \end{bmatrix} N_x \text{ Pa}$$

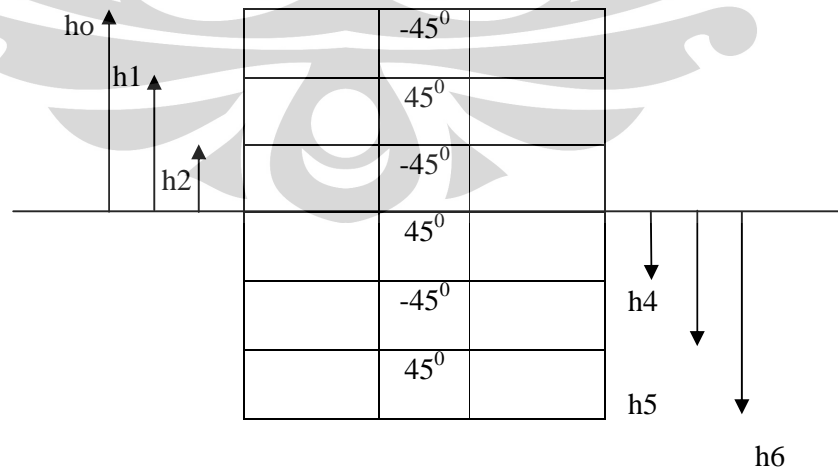
Lapisan 2 dan lapisan 4 (sudut orientasi 0⁰)

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 213.4 & 37.11 & 0 \\ 37.11 & 46.16 & 0 \\ 0 & 0 & 0.62 \end{bmatrix} \times 10^9 \text{ Pa} \begin{bmatrix} 647 \\ -185 \\ 0 \end{bmatrix} N_x = \begin{bmatrix} 131204.5 \\ 15470.57 \\ 0 \end{bmatrix} N_x \text{ Pa}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 131204.5 \\ 15470.57 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ Nx Pa} = \begin{bmatrix} 131204.5 \\ 15470.57 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 647 \\ -185 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ Nx} = \begin{bmatrix} 647 \\ -185 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ Nx Pa}$$

4.2.5 Desain Laminat 6 Layer



Gambar 4.2 Desain laminat 6 layer

Dari desain laminat tersebut dapat ditentukan jarak *midplane* ke lamina tiap permukaan (h).

$$h_0 = -6 \text{ mm}$$

$$h_1 = -4 \text{ mm}$$

$$h_2 = -2 \text{ mm}$$

$$h_3 = 0 \text{ mm (midplane)}$$

$$h_4 = 2 \text{ mm}$$

$$h_5 = 4 \text{ mm}$$

$$h_6 = 6 \text{ mm}$$

4.2.6 Matriks Kekakuan Lamina 6 Layer

Setiap lamina yang tersusun dalam laminat memiliki matriks kekakuan [Q] sesuai sudut orientasinya. Untuk memperoleh matriks kekakuan lamina dapat digunakan persamaan (2.28).

$$Q_{11} = 11751 / 1 - (-1.94)(-0.515) = 13056.66 \text{ Gpa}$$

$$Q_{12} = 0.515 \times 2211 / 1 - (-1.94)(-0.515) = 1265.1 \text{ Gpa}$$

$$Q_{22} = 2211 / 1 - (-1.94)(-0.515) = 2456.67 \text{ Gpa}$$

$$Q_{66} = 0.731 \text{ Gpa}$$

Sehingga diperoleh matriks kekakuan lamina adalah sebagai berikut

$$[Q] = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{16} \\ Q_{12} & Q_{22} & Q_{26} \\ Q_{16} & Q_{26} & Q_{66} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 13056.66 & 1256.1 & 0 \\ 1265.1 & 2456.67 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7316 \end{bmatrix} \times 10^9 \text{ Pa}$$

Untuk mendapatkan matriks kekakuan rata-rata dari lamina dengan sudut orientasi tertentu digunakan persamaan (2.27)

$$[Q]_{45}^0 = \begin{bmatrix} 4511.61 & 4510.15 & 2618.18 \\ 4510.15 & 4511.61 & 2618.18 \\ 2618.18 & 2618.18 & 3245.78 \end{bmatrix} \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$[Q]_{-45^0} = \begin{bmatrix} 4511.61 & 4510.15 & -2618.18 \\ 4510.15 & 4511.61 & -2618.18 \\ -2618.18 & -2618.18 & 3245.78 \end{bmatrix} \times 10^9 \text{ Pa}$$

4.2.7 Matriks Kekakuan Laminat 6 Layer

Matriks kekakuan laminat terdiri dari matriks [A] *extensional stiffness matrix*, [B] *coupling stiffness matrix*, dan [D] *bending stiffness matrix*. Untuk mendapatkan ketiga matriks tersebut digunakan persamaan (2.35)

$$A_{ij} = \{ [Q]_{-45^0} (-0.004 - (-0.006)) + [Q]_{45^0} (-0.002 - (-0.004)) + [Q]_{-45^0} (0 - (-0.002)) + [Q]_{45^0} (0.002 - (0)) + [Q]_{-45^0} (0.004 - (0.002)) + [Q]_{45^0} (0.006 - (0.004)) \}$$

$$[A] = \begin{bmatrix} 54.14 & 54.12 & 0 \\ 54.12 & 54.14 & 0 \\ 0 & 0 & 39 \end{bmatrix} \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$[B] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[D] = 1/3 \{ [Q]_{-45^0} ((-0.004)^3 - (-0.006)^3) + [Q]_{45^0} ((-0.002)^3 - (-0.004)^3) + [Q]_{-45^0} (0^3 - (-0.002)^3) + [Q]_{45^0} (0.002^3 - 0^3) + [Q]_{-45^0} ((0.004)^3 - (0.002)^3) + [Q]_{45^0} ((0.006)^3 - (0.004)^3) \}$$

$$[D] = \begin{bmatrix} 649671.84 & 2164872 & 0 \\ 2164872 & 649671.84 & 0 \\ 0 & 0 & 467392.32 \end{bmatrix} \times \text{Pa}$$

Untuk mendapatkan persamaan laminat maka matriks tersebut harus diinvers

$$[A^{-1}] = \begin{bmatrix} 25 & -25 & 0 \\ -25 & 25 & 0 \\ 0 & 0 & 0.025 \end{bmatrix} \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$[D^{-1}] = \begin{bmatrix} -1.52 & 5.07 & 0 \\ 5.07 & -1.52 & 0 \\ 0 & 0 & 21.4 \end{bmatrix} \times 10^{-7} \text{ Pa}$$

4.2.8 Penentuan Regangan dan Tegangan Laminat Dengan 6 Layer

Analisa laminat tiap lapisan penyusunnya bertujuan untuk melihat seberapa besar pengaruh beban aplikasi terhadap regangan lapisannya. Tekanan beban pada laminat diberi notasi N_x untuk arah gaya pada sumbu x, N_y untuk arah sumbu y dan N_{xy} untuk arah sumbu x-y. Momen yang terjadi pada sumbu x ialah M_x , sumbu y untuk M_y dan x-y untuk M_{xy} , diasumsikan nol. Untuk regangan *off axis* dan lengkungan bidang tengah $[\kappa]$ pelat dapat digunakan persamaan (2.5.11) dengan terlebih dahulu matriks [A], [B], dan [D] diinverskan, sehingga diperoleh :

$$[N] = [A] \times [\varepsilon] + [B] \times [\kappa]$$

$$[M] = [B] \times [\varepsilon] + [D] \times [\kappa] \text{ karena } [B] = 0, \text{ maka}$$

$$[\varepsilon] = [A^{-1}] [N]$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x 0 \\ \varepsilon_y 0 \\ \gamma_{xy} 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 25 & -25 & 0 \\ -25 & 25 & 0 \\ 0 & 0 & 0.025 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} N_x \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 25 \\ -25 \\ 0 \end{bmatrix} \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\text{karena } [M] = 0, \text{ maka } [\kappa] = 0$$

Selanjutnya dapat ditentukan matriks di atas untuk tiap lamina dengan sudut orientasi sesuai dengan desain yang telah ditentukan, dimana matriks transformasi [T] ialah sebagai berikut :

$$[T]_{\theta} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 2 \sin \theta \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -2 \sin \theta \cos \theta \\ -\sin \theta \cos \theta & \sin \theta \cos \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix}$$

Kemudian dapat ditentukan variasi tegangan dan regangan pada sumbu *off axis* disepanjang ketebalan laminat dengan menggunakan persamaan :

$$[\varepsilon]_{\text{off axis}} = [\varepsilon]_{\text{on axis}} \text{ atau } \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$$

Hal di atas berarti regangan *off axis* pada tiap lapisan lamina seragam. Untuk tegangan *off axis*, tegangan *on axis* dan regangan *on axis* dapat dirumuskan sebagai berikut

$$[\sigma]_{\text{off axis}} = [Q]_{\theta} [\varepsilon]_{\text{off axis}}$$

$$[\sigma]_{\text{on axis}} = [T]_{\theta} [\sigma]_{\text{off axis}}$$

$$[\varepsilon]_{\text{on axis}} = [T]_{\theta} [\varepsilon]_{\text{off axis}}$$

Berikut merupakan analisa tegangan dan regangan untuk tiap lapisan lamina.

Lapisan 1 , 3, dan 5 (sudut orientasi -45°)

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4511.61 & 4510.15 & -2618.18 \\ 4510.15 & 4511.61 & -2618.18 \\ -2618.18 & -2618.18 & 3245.78 \end{bmatrix} \times 10^9 \text{ Pa} \begin{bmatrix} 25 \\ -25 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ N}_x 10^6 =$$

$$\begin{bmatrix} 36.5 \\ -36.5 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ N}_x 10^{15} \text{ Pa}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & -1 \\ 0.5 & 0.5 & 1 \\ 0.5 & -0.5 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 36.5 \\ -36.5 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ N}_x 10^{15} \text{ Pa} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 36.5 \end{bmatrix} 10^{15} \text{ N}_x \text{ Pa}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & -1 \\ 0.5 & 0.5 & 1 \\ 0.5 & -0.5 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 25 \\ -25 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ N}_x \text{ Pa} \times 10^6 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 25 \end{bmatrix} 10^6 \text{ N}_x \text{ Pa}$$

Lapisan 2, 4, dan 6 (sudut orientasi 45⁰)

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4511.61 & 4510.15 & 2618.18 \\ 4510.15 & 4511.61 & 2618.18 \\ 2618.18 & 2618.18 & 3245.78 \end{bmatrix} \times 10^9 \text{ Pa} \begin{bmatrix} 25 \\ -25 \\ 0 \end{bmatrix} 10^6 N_x = \begin{bmatrix} 36.5 \\ -36.5 \\ 0 \end{bmatrix} 10^{15}$$

$N_x \text{ Pa}$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & -1 \\ -0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 36.5 \\ -36.5 \\ 0 \end{bmatrix} N_x 10^{15} \text{ Pa} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 36.5 \end{bmatrix} N_x 10^{15} \text{ Pa}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & -1 \\ -0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 25 \\ -25 \\ 0 \end{bmatrix} N_x \text{ Pa} \times 10^6 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 25 \end{bmatrix} N_x \text{ Pa} \times 10^6$$

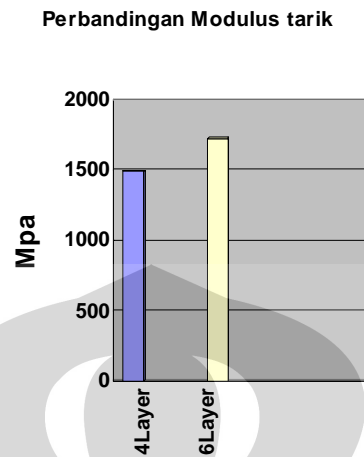
4.3 ANALISIS HASIL UJI

Pada bagian ini akan dikaji pengaruh jumlah lapisan-lapisan komposit berdasarkan hasil uji tarik dan uji lentur yang mencakup kekuatan tarik, modulus tarik, kekuatan lentur, juga modulus lentur.

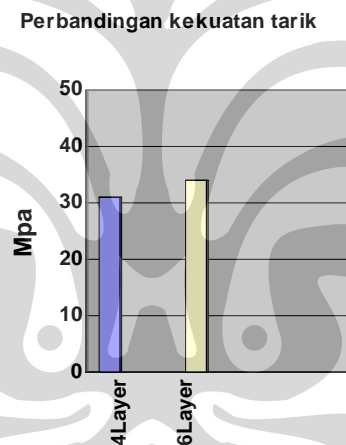
4.3.1 Analisis Kekuatan Tarik dan Modulus Tarik dari Hasil Uji Tarik

Pada bagian ini akan dibandingkan komposit 4 (empat) lapis dengan komposit 6 (enam) lapis. Pada hasil percobaan dapat dilihat komposit dengan 4 (empat) lapis memiliki kekuatan tarik sebesar 30.93 Mpa dan Modulus tarik sebesar 1498.5 Mpa, sedangkan komposit dengan 6 (enam) lapis memiliki kekuatan tarik sebesar 34.02 Mpa dan Modulus tarik sebesar 1731.56 Mpa. Dari grafik di bawah dapat dilihat bahwa seiring dengan semakin banyaknya lapisan maka kekuatan tarik dan modulus tariknya juga bertambah. Hal ini dapat terjadi karena semakin banyaknya lapisan, maka fraksi volume dari pada fiber juga meningkat. Komposit dengan 4 (empat) lapis memiliki fraksi fiber 0.3, sedangkan komposit dengan 6 (enam) lapis memiliki fraksi fiber 0.5. Sehingga semakin tinggi fraksi volume daripada fiber tersebut, maka semakin tinggi pula kekuatan tarik dan modulus tariknya. Hal ini disebabkan beban yang diberikan terdistribusi merata ke serat yang memiliki orientasi searah dengan arah pembebanan.

Gambar 4.3 Grafik perbandingan modulus tarik (Mpa)



Gambar 4.4 Grafik perbandingan kekuatan tarik (Mpa)

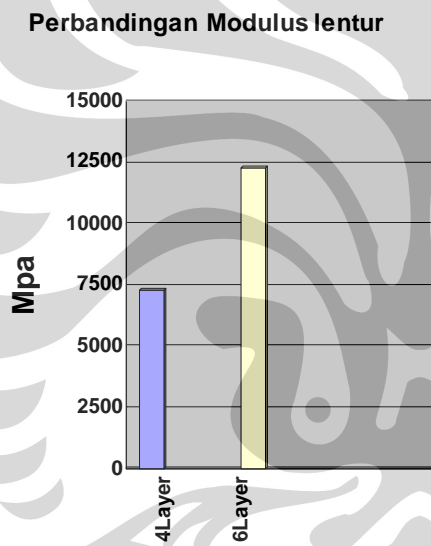


4.3.2 Analisis Kekuatan Lentur dan Modulus Lentur dari Hasil Uji Lentur

Pada bagian ini akan dibandingkan kekuatan lentur serta Modulus lentur komposit 4 (empat) lapis dengan komposit 6 (enam) lapis dari data hasil percobaan uji lentur dapat dilihat bahwa komposit dengan 4 (empat) lapis memiliki kekuatan lentur sebesar 13.77 Mpa dan Modulus lentur sebesar 7332.84 sedangkan komposit dengan 6 (enam) lapis memiliki kekuatan lentur sebesar 22.3 Mpa dan Modulus lentur sebesar 12317.98 Mpa. Dari grafik di bawah dapat dilihat seiring dengan penambahan jumlah lapisan, maka kekuatan lentur juga modulus lenturnya juga bertambah. Hal ini dapat disebabkan karena dengan bertambahnya

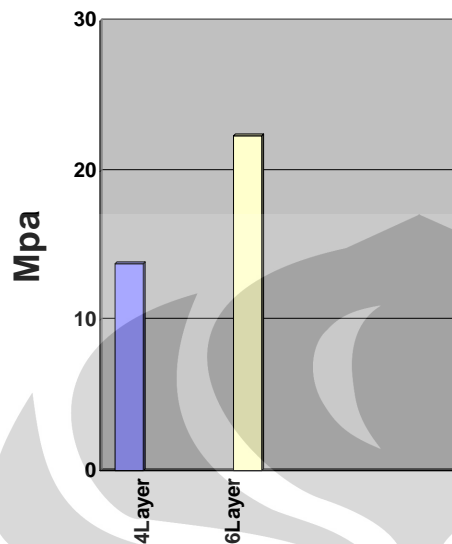
jumlah lapisan, maka komposit dengan lapisan yang lebih banyak memiliki ketebalan yang besar sehingga mampu menahan beban yang lebih besar.

Gambar 4.5 Grafik perbandingan modulus lentur (Mpa)



Gambar 4.6 Grafik perbandingan kekuatan lentur (Mpa)

Perbandingan kekuatan lentur



4.4 PERBANDINGAN HASIL UJI

4.4.1 Perbandingan Analisis Teoritis dengan Hasil uji

Tabel 4.2 Perbandingan Perhitungan Teoritis dan Hasil Pengujian

| Properties | Perhitungan teoritis (Mpa) | | Hasil Pengujian (Mpa) | | Ratio Hasil Uji (Mpa) | |
|-----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
| | 4 Layer | 6 Layer | 4 Layer | 6 Layer | 4 Layer | 6 Layer |
| Tensile Strength | 146.2 | 228.55 | 30.93 | 34.02 | 21 % | 14.8 % |
| Modulus of Tensile Strength | 7513 | 11751 | 1498.5 | 1731.46 | 19.95 % | 14.7 % |

Dari tabel terlihat bahwa kekuatan tarik komposit 4 layer hasil uji hanya 21 % dari kekuatan tarik dengan perhitungan secara teoritis, dan 14.8 % pada komposit

dengan 6 layer. Hal ini juga berlaku pada modulus young dimana modulus young pada komposit 4 layer hanya 19.95 % dari modulus young dengan perhitungan secara teoritis, dan 14.7 % dengan 6 layer.

4.4.2 Perbandingan Peraturan Klasifikasi dengan Hasil Uji

Membandingkan hasil mechanical properties material komposit berpenguat serat pisang abaka dengan peraturan klasifikasi dimaksudkan untuk mengetahui apakah material komposit berpenguat serat alam sesuai dengan peraturan biro klasifikasi dan mengetahui seberapa besar nilai properties dari hasil uji bila dibandingkan dengan nilai mechanical properties dari yang telah ditentukan oleh rules. Nilai mechanical properties yang akan dibandingkan adalah komposit dengan 6 (enam) layer. Biro klasifikasi yang digunakan sebagai pembanding adalah Biro Klasifikasi Indonesia dan Llyod Register.

4.4.2.1. Biro Klasifikasi Indonesia

Rules dan regulasi yang digunakan dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) adalah rules untuk Fiberglass Reinforced Plastic Ship terdapat pada Section 1 : *General* dan terletak pada bagian C. *General Rules for Hull Construction and Equipment* pada point yang ke 4. *Scantling*.

Spesifikasi kekuatan menurut rules Biro Klasifikasi Indonesia adalah:

1. Tensile strength : 10 kg/mm²
2. Modulus of tensile elasticity : 700 kg/mm²
3. Bending Strength : 15 kg/mm²
4. Modulus of bending elasticity : 700 kg/mm²

Tabel 4.3 Data Perbandingan Hasil Pengujian dengan Rules BKI

| PROPERTIES | BKI (kg/mm²) | Hasil Uji (kg/mm²) | Kondisi | Ratio Hasil Uji |
|-----------------------------|------------------------------------|--|---------------------------|----------------------------|
| Tensile Strength | 10 | 3.47 | Tidak memenuhi | 34.7 % |

| | | | | |
|--------------------------------------|------------|----------------|-----------------------|----------------|
| Modulus of tensile elasticity | 700 | 176.68 | Tidak memenuhi | 25.24 % |
| Bending Strength | 15 | 2.27 | Tidak memenuhi | 15.17 % |
| Modulus of Bending Strength | 700 | 1256.93 | Memenuhi | 179.5 % |

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa kekuatan tarik dari komposit dengan 6(enam) lapis hanya memenuhi 34.7 %, modulus tarik 25.24 %, kekuatan lentur 15.7 %, Namun Modulus lentur memenuhi yang telah disyaratkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia.

4.4.2.2 Lloyd Register

Peraturan dari Lloyd Register adalah peraturan yang diambil dari *Lloyd's Register Rules and Regulation – Rules for the Manufacture, Testing and Certification of Materials, July 2005 – Control of material quality for composite construction. Section 5 Control of material quality for composite construction. Section 5 Control of material quality for composite construction* Data diambil dari Tabel 14.5.4 *Laminating resins, minimum values for properties for CSM laminate at 0,3 glass fraction by weight.*

Tabel 4.4 Karakteristik mekanika laminating resins Lloyd's Register

| Properties | Min. Values | Units |
|---|--------------------|--------------------|
| Tensile Strength (Stress at maximum load) | 90 | N/mm ² |
| Secant Modulus at 0,25% & 0,5 % strain respectively | 6,9 | kN/mm ² |
| Compressive Strength (stress at maximum load) | 125 | N/mm ² |
| Compressive Modulus | 6,4 | kN/mm ² |
| Flexural Strength (stress at maximum load) | 160 | N/mm ² |
| Modulus of elasticity in flexure | 5,7 | kN/mm ² |

| | | |
|-----------------------------|--|--------------------|
| Apparent interlaminar shear | 18 | N/mm ² |
| Strength | See note | kN/mm ² |
| Fiber Content | As Measure (0,3) | |
| Water absorption | 70 mg (max) | |
| Note | Applicable only to the special test for environment control resins | |

Tabel 4.5 Data Perbandingan Hasil Uji dengan Rules Llyod Register

| PROPERTIES | LLOYD REGISTER (N/mm²) | HASIL UJI (N/mm²) | KONDISI | RATIO HASIL UJI |
|---|--|---|-----------------------|--------------------------------|
| Tensile Strength | 90 | 34.02 | Tidak memenuhi | 37.8 % |
| Flexural strength | 160 | 22.3 | Tidak memenuhi | 13.93 % |
| Modulus of Elasticity in flexure | 5700 | 12317.98 | Memenuhi | 216 % |

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa kekuatan tarik dari komposit dengan 6(enam) lapis hanya memenuhi 37.8 %, kekuatan lentur 13.93 %, Namun Modulus lentur memenuhi yang telah disyaratkan oleh Llyod Register.

BAB V

KESIMPULAN

Dari hasil analisis, serta hasil uji komposit berpenguat serat Pisang Abaka maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari hasil pengujian didapat :

Komposit berpenguat serat pisang abaka 4 (empat) layer dengan orientasi $[0^0/90^0]$

$$\sigma \text{ (Kekuatan tarik)} = 30.93 \text{ N/mm}^2 = 30.93 \text{ Mpa}$$

$$E \text{ (Modulus tarik)} = 1498.5 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_f \text{ (Kekuatan lentur)} = 13.77 \text{ Mpa}$$

$$E_f \text{ (Modulus lentur)} = 7332.84 \text{ Mpa}$$

Komposit berpenguat serat pisang abaka 6 (enam) layer dengan orientasi $[-45^0/45^0]$

$$\sigma \text{ (Kekuatan tarik)} = 34.02 \text{ N/mm}^2 = 34.02 \text{ Mpa}$$

$$E \text{ (Modulus tarik)} = 1731.56 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_f \text{ (Kekuatan lentur)} = 22.3 \text{ Mpa}$$

$$E_f \text{ (Modulus lentur)} = 12317.98 \text{ Mpa}$$

2. Dengan menambah jumlah lapisan pada komposit berpenguat serat Pisang Abaka, maka akan menambah kekuatan tarik, modulus tarik, kekuatan lentur, dan Modulus lenturnya.

3. Dari hasil perbandingan rules yang ada pada klasifikasi kapal ternyata masih belum memenuhi standard mechanical properties yang terdapat pada rules.

4. Dari hasil perbandingan teoritis juga masih belum memenuhi dan masih jauh dibawah standard dari hasil perhitungan secara teoritis.

5. Komposit berkuat serat pisang abaka dengan beberapa lapis ternyata belum dapat menggantikan material besi dan baja dalam pembangunan badan kapal.



DAFTAR ACUAN

- [1] Fathur Rahman. “*Analisa Kekuatan Serat Alam Untuk Penyiapan Pembuatan komposit*” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2000, hal.32
- [2] Gustap Hasudungan Panggabean. ”*Analisa Kekuatan Material Komposit Serat Pisang Abaca Pada Arah Orientasi [0/90/45] Untuk Aplikasi Badan Kapal*” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007, hal13
- [2] American Society for Testing and Material , *Annual Book of ASTM Standarts Volume 15.03, D3039/ D3038\9M-00 Standart Test Method for Tensile Properties of Polimer Matrix Composite Materials* (Easton : MD , 2003). Hal 105-117
- [3]American Society for Testing and Material , *Annual Book of ASTM Standarts, D790 Standart Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastic and Electrical Insulating Materials* (Easton: MD,2003)
- [4]Biro Klasifikasi Indonesia , *Rules and Regulation for The Classification and Construction of Ship (Fiberglass Reinforced Plastics Ships)* (Jakarta : Biro Klasifikasi Indonesia , 1996)
- [5]Llyod’s Register Rules and Regulation , *Rules for the Manufacture, Testing And Certification of Materials – Plastics Materials – Control of material quality for composite construction. Section 5 Control of material quality for composite construction* (Llyod’s Register , 1995)

DAFTAR PUSTAKA

American Society for Testing and Material , *Annual Book of ASTM Standarts Volume 15.03,D3039M-00 Standart Test Method for Tensile Properties of Polimer Matrix Composite Materials* (Easton : MD,2003)

American Society for Testing and Material , *Annual Book of ASTM Standarts D790 Standart Test Method for Flexural Properties of Unreinforced And Reinforced Plastic and Electrical Insulating Materials* (Easton : MD,2003)

Biro Klasifikasi Indonesia , *Rules and Regulation for The Classification and Construction of Ship (Fiberglass Reinforced Plastics Ships)* (Jakarta : Biro Klasifikasi Indonesia . , 1996)

Panggabean, Gustap Hasudungan. ”*Analisis Kekuatan Material Komposit Serat Pisang Abaca Pada Arah Orientasi [0/90/45] Untuk Aplikasi Badan Kapal*”, Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007

K. Kaw, Autar , *mechanics of Composite Material* (New York: CRC Press ., 1997)

Llyod’s Register Rules and Regulations. , *Rules for Manufacture, Testing and Certification of Materials – Plastics Materials – Control of material quality for composite construction. Section 5 Control of material quality for composite construction* (1995)

Moncrieff, R.W , *Man Made Fibers* (London : Butterworth & Co ., 1975)

Nugroho, Dendi Wahyu. ”*Komposit dengan Serat Pisang Sebagai Material Alternatif*

Dalam Pembangunan Kapal”, Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2000.

Syuherman, "*Kajian Experimental Dan Prototipe Komposit Berpenguat Serat Alam Pisang Abaca Untuk Aplikasi Interior Otomotif*", Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2003



LAMPIRAN I

HASIL PENGUJIAN DAN GRAFIK HASIL PENGUJIAN



BAGIAN PENGUKURAN DAN PENYERAPAN TEKNOLOGI



INDONESIA TEKNOLOGI POLIMER

TEST CERTIFICATE

Date : 06/06/2008
 Order No. : JIO80233
 Test Std. : ASTM D3039
 Testing Machine : AGS-G

Customer : Bp. Edwin Olaf
 Operator : Ir. Abdurahman
 Object : Specimen
 Material : Composite

TENSILE TEST

Komposit [0°/90°] 4 laminar

| Spesimen Specimen | Dimensi Dimension | | Luas Penampang Cross-sectional Area (mm ²) | Beban Maksimum Maximum Load (KN) | Tegangan pada Beban maks. Stress at Max. Load (Mpa) | Regangan pada beban maks. Strain at Max. Load (%) | Modulus Elastisitas Modulus of Elasticity (MPa) |
|----------------------|----------------------------|------------------------|--|--|--|--|---|
| | Tebal Thickness (mm) | Lebar Width (mm) | | | | | |
| 1 | 12.10 | 14 | 169.4 | 4.905 | 28.95 | 2.1 | 1378.5 |
| 2 | 11.8 | 14 | 165.2 | 5.31 | 32.14 | 2.0 | 1607 |
| 3 | 11.53 | 14 | 161.4 | 5.12 | 31.72 | 2.1 | 1510 |

Komposit [-45°/45°] 6 laminar

| Spesimen Specimen | Dimensi Dimension | | Luas Penampang Cross-sectional Area (mm ²) | Beban Maksimum Maximum Load (KN) | Tegangan pada Beban maks. Stress at Max. Load (Mpa) | Regangan pada beban maks. Strain at Max. Load (%) | Modulus Elastisitas Modulus of Elasticity (MPa) |
|----------------------|----------------------------|------------------------|--|--|--|--|---|
| | Tebal Thickness (mm) | Lebar Width (mm) | | | | | |
| 1 | 12.14 | 14 | 173.6 | 5.67 | 32.6 | 1.9 | 1715.7 |
| 2 | 12.05 | 14 | 168.7 | 5.76 | 34.1 | 1.9 | 1794.7 |
| 3 | 12 | 14 | 168 | 5.66 | 35.37 | 2.1 | 1684.3 |



BADAN PENELITIAN DAN TERAPAN TEKNOLOGI



SENTER TEKNOLOGI POLIMER

TEST CERTIFICATE

Date : 06/06/2008
Order No. : JIO80233
Test Std. : ASTM D790
Testing Machine : AGS-G

Customer : Bp. Edwin Olaf
Operator : Ir. Abdurahman
Object : Specimen
Material : Composite

FLEXURAL TEST

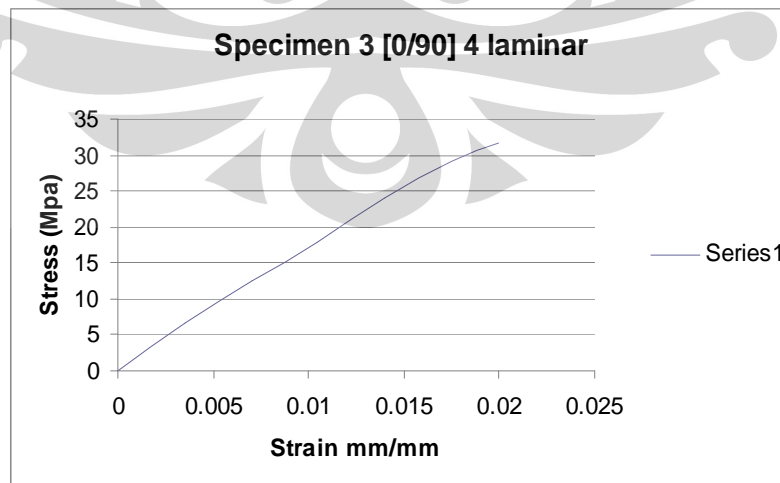
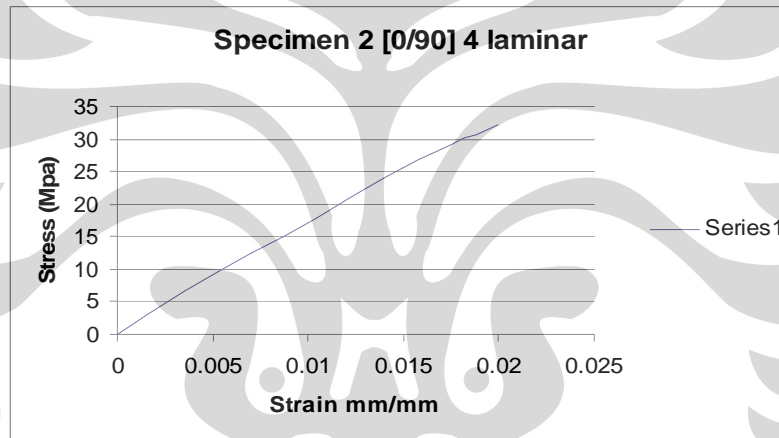
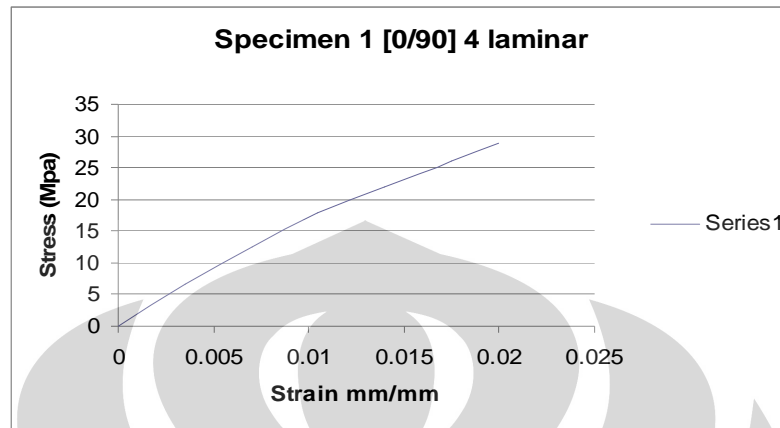
Komposit [0°/90°] 4 laminar

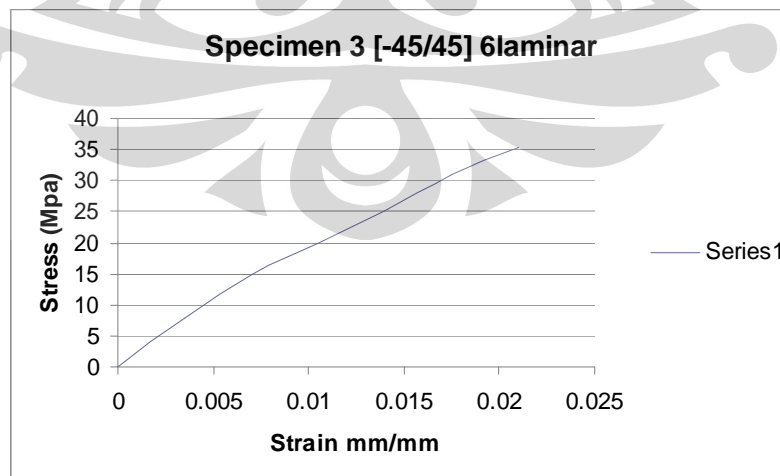
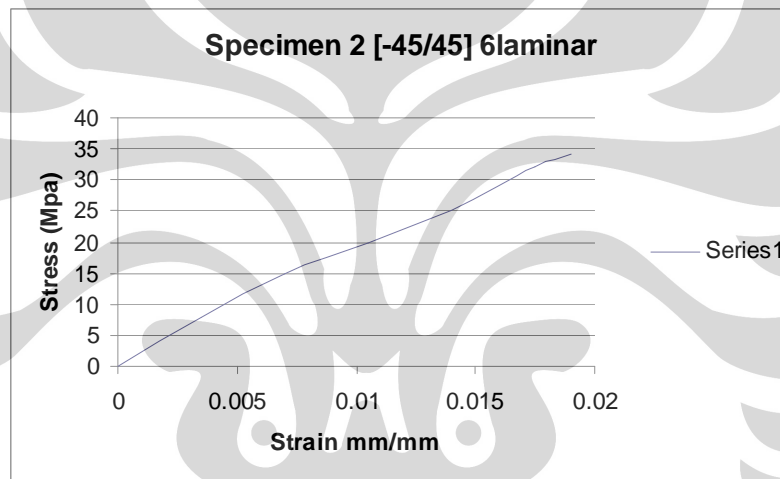
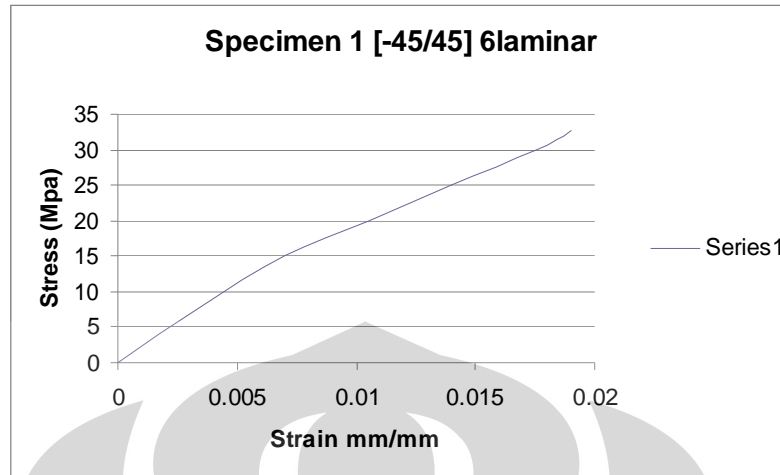
| Spesimen Specimen | Dimensi Dimension | | Jarak Tumpuan Support Span (mm ²) | Beban Maksimum Maximum Load (KN) | Kekuatan Lentur Flexural Strength (MPa) | Modulus Lentur Modulus of Flexural (MPa) |
|----------------------|----------------------------|------------------------|---|---|--|---|
| | Tebal Thickness (mm) | Lebar Width (mm) | | | | |
| 1 | 12.25 | 23.85 | 196 | 0.178 | 14.62 | 7689.4 |
| 2 | 12.17 | 24.11 | 196 | 0.161 | 13.25 | 6984.67 |
| 3 | 12.08 | 23.67 | 196 | 0.158 | 13.44 | 7324.45 |

Komposit [-45°/45°] 6 laminar

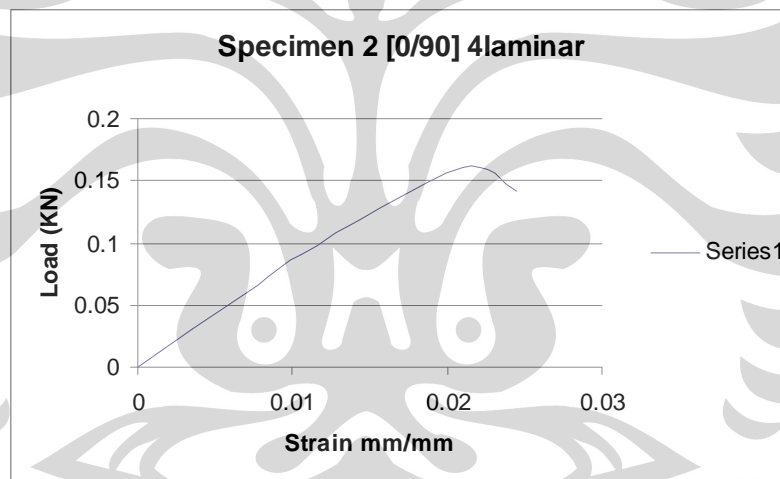
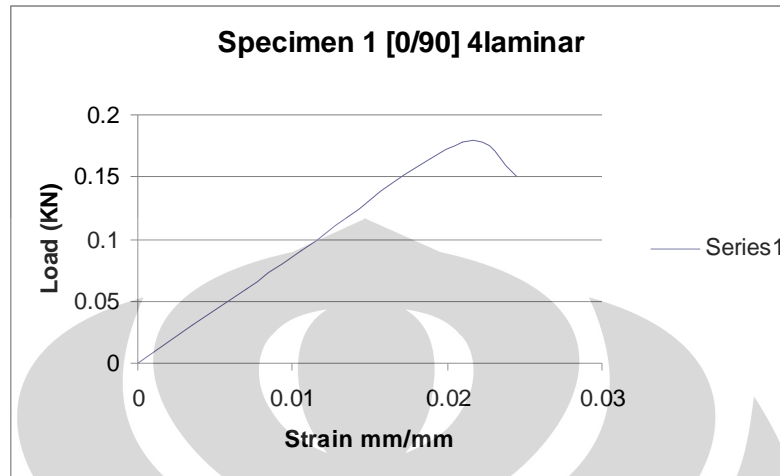
| Spesimen Specimen | Dimensi Dimension | | Jarak Tumpuan Support Span (mm ²) | Beban Maksimum Maximum Load (KN) | Kekuatan Lentur Flexural Strength (MPa) | Modulus Lentur Modulus of Flexural (MPa) |
|----------------------|----------------------------|------------------------|---|---|--|---|
| | Tebal Thickness (mm) | Lebar Width (mm) | | | | |
| 1 | 12.63 | 24.35 | 202.1 | 0.276 | 21.54 | 11444.02 |
| 2 | 12.02 | 24.2 | 202.1 | 0.252 | 21.85 | 12896.02 |
| 3 | 12.71 | 23.8 | 202.1 | 0.302 | 23.5 | 12613.6 |

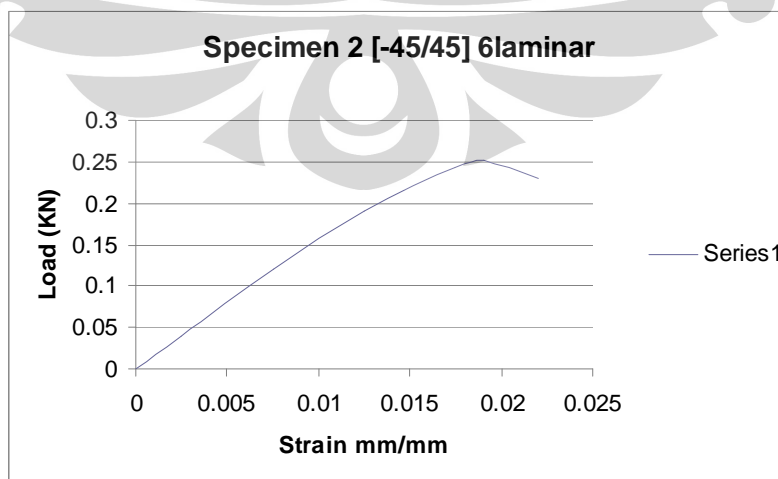
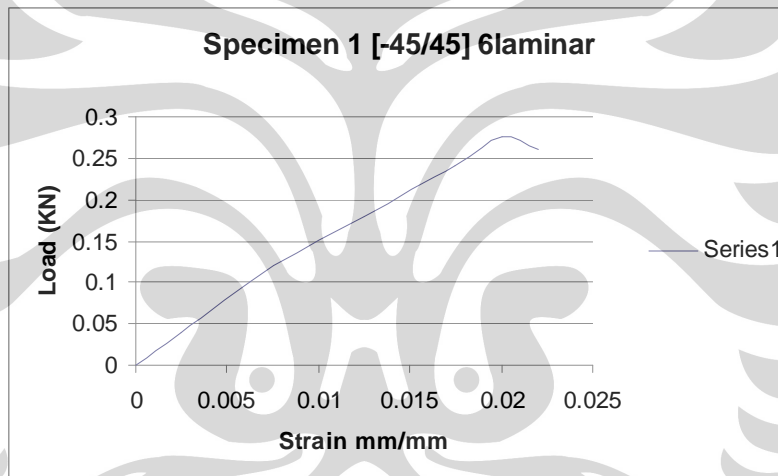
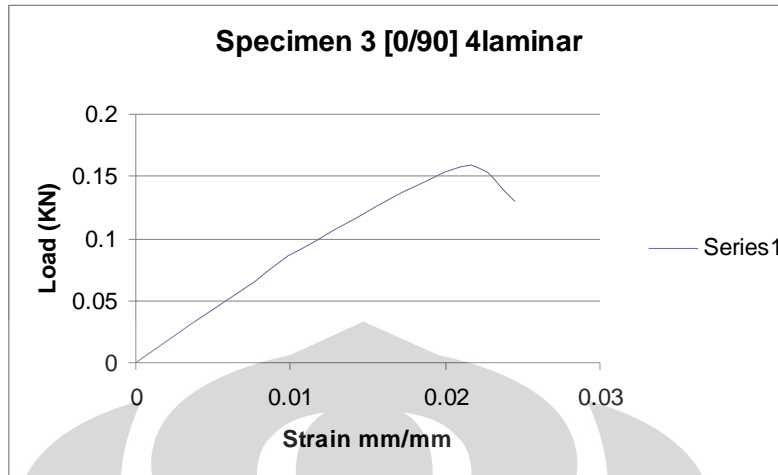
GRAFIK UJI TARIK

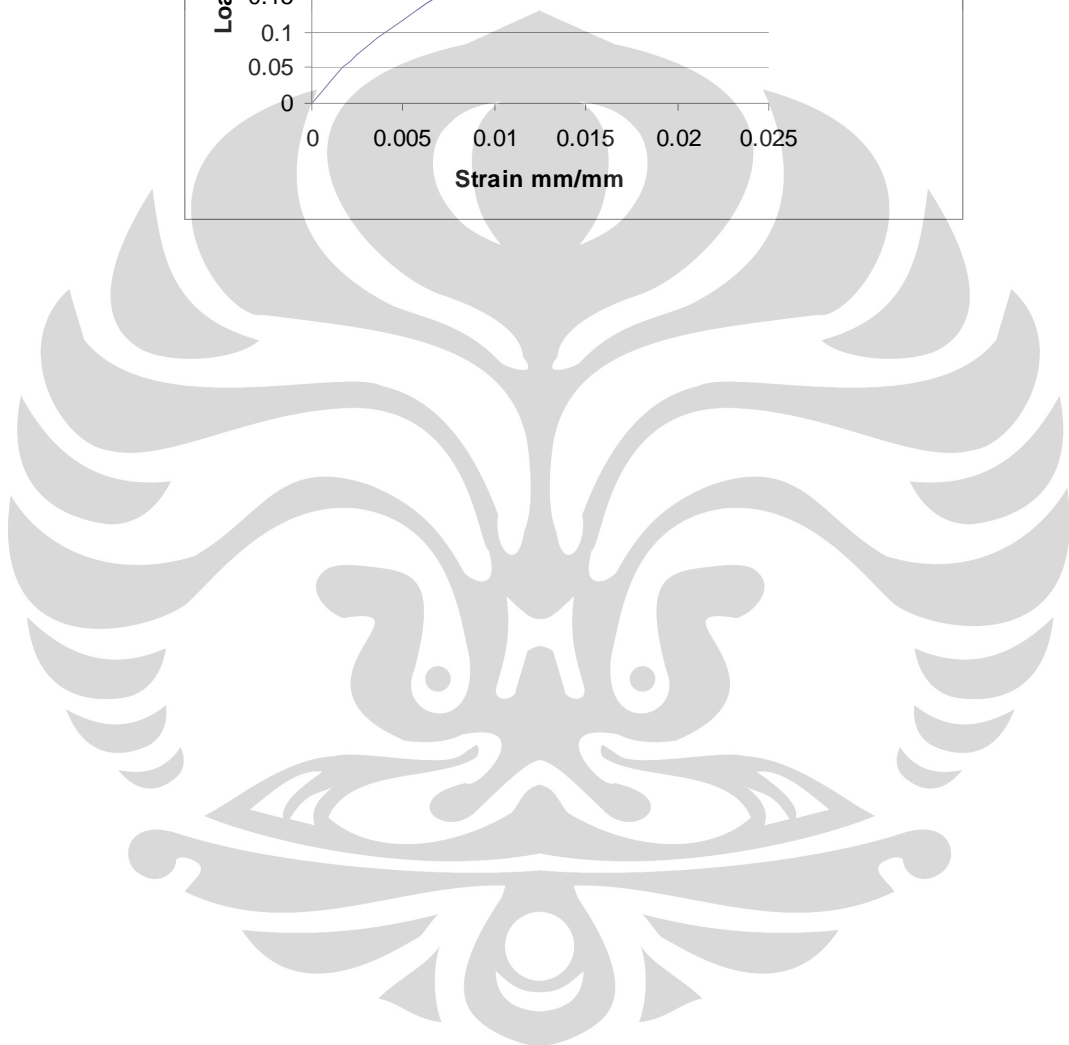
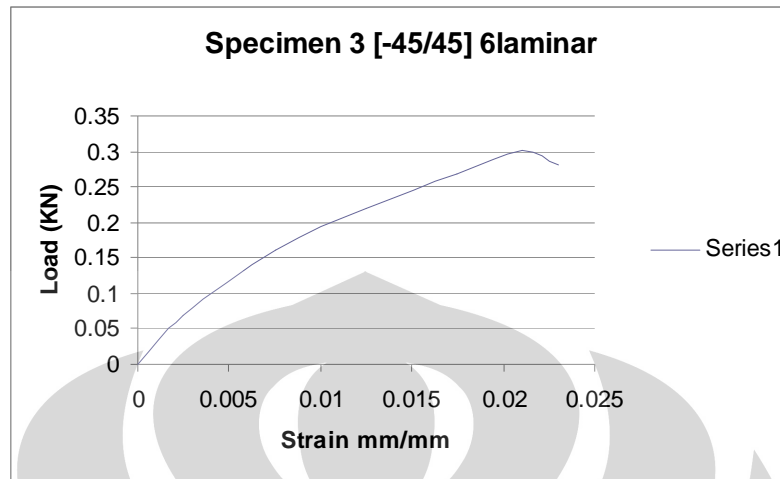




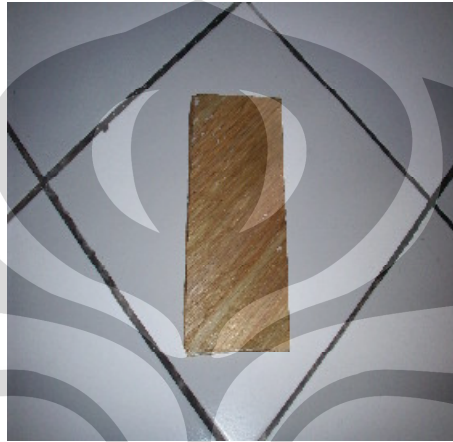
GRAFIK UJI LENTUR







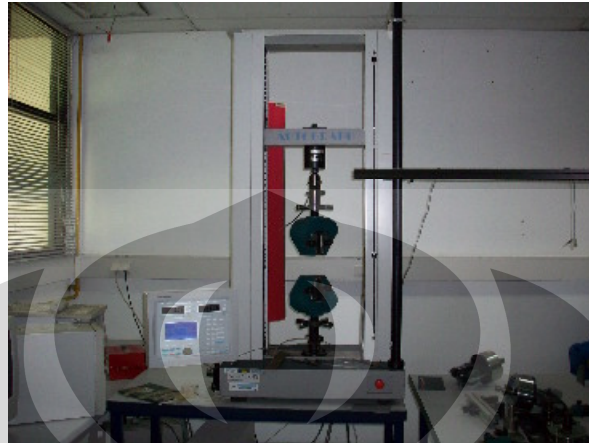
LAMPIRAN II
GAMBAR PENGUJIAN



Komposit Serat Pisang Abaka



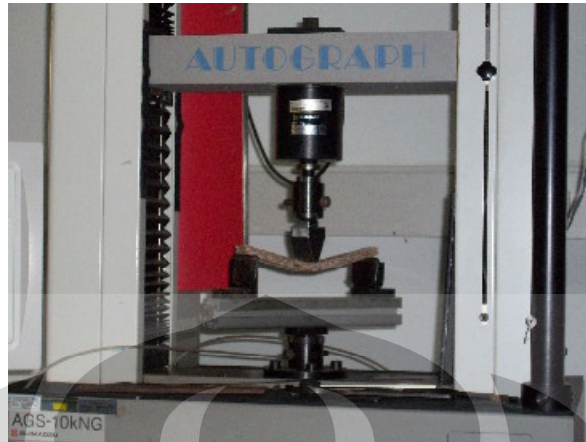
Bentuk Specimen Uji Tarik



Universal Testing Machine AGS-G



Pelaksanaan Uji Tarik



Pelaksanaan Uji Lentur



Bentuk Patahan Specimen Uji tarik

