

29645/07



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

RSPe
620.110
Tit
a-1
2007

TUGAS AKHIR - LK 1347

ANALISA KEKUATAN TARIK DAN KELENTURAN KOMPOSIT FIBERGLASS TERHADAP PERUBAHAN KOMPOSISI SERAT GELAS

TIAR IDO KRISNA TITARA
NRP. 4103 109 601

Dosen Pembimbing
Ir. Soeweify, M.Eng

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	2 - 7 - 2007
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	228205

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KEKUATAN TARIK DAN KELENTURAN KOMPOSIT FIBERGLASS TERHADAP PERUBAHAN KOMPOSISI SERAT GELAS

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Konstruksi Dan Kekuatan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

TIAR IDO KRISNA TITARA
Nrp. 4103 109 601

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Soewefy, M.Eng.



Surabaya, 14 Januari 2007

**ANALISA KEKUATAN TARIK DAN KELENTURAN KOMPOSIT FIBERGLASS
TERHADAP PERUBAHAN KOMPOSISI SERAT GELAS**

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil sidang Tugas Akhir

Tanggal 28 Januari 2007

Bidang Studi Konstruksi Dan Kekuatan

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

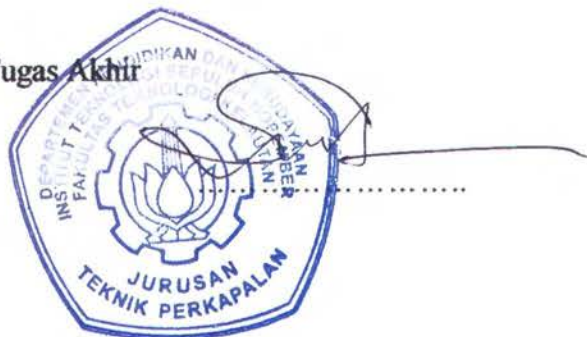
Oleh

Tiar Ido Krisna Titara

Nrp. 4103 109 601

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

1. Ir. Soewefy, M.Eng



Surabaya, 20 Maret 2007

ABSTRAK

ANALISA KEKUATAN TARIK DAN KELENTURAN KOMPOSIT FIBERGLASS TERHADAP PERUBAHAN KOMPOSISI SERAT GELAS

Nama : Tiar Ido Krisna Titara
Nrp : 4103 109 601
Dosen Pembimbing : Ir. Soeweify, M.Eng.
Nip : 130 368 597

Pada penelitian ini mencoba menggali karakteristik dari serat gelas yang mempunyai sifat – sifat mekanik material komposit yang terbuat dari serat gelas polyester resin.

Sifat material komposit yang ringan tahan terhadap korosi menjadikan material ini dijadikan sebagai alternatif pengganti baja pada pembangunan kapal. Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) adalah salah satu jenis material komposit yang biasa digunakan.

Langkah awal yang dilakukan adalah analisis sifat material dari komposit yang diuji secara mikromekanik dan makromekanik. Selanjutnya dilakukan pengujian bending dan pengujian tarik, dalam pengujian ini menggunakan standart pengujian ASTM D 3039 M, 1993 dan ASTM D 638M – 84.

Kata kunci : Komposisi, Fiberglass Material, Kekuatan, Kelenturan, Komposit.

ABSTRACT

TENSILE AND COMPOSITE BENDING ANALYSIS OF FIBERGLASS TO CHANGE COMPOSITION OF GLASS FIBER

Name : Tiar Ido Krisna Titara
Nrp : 4103 109 601
Under Supervision : Ir. Soeweify, M.Eng.
Nip : 130 368 597

This research tried to delve the characteristic from glass fiber. Having the nature of made composite material mechanic from fiberglass of polyester resin.

The Characteristic of composite material which are light in weight ad good resistance on corrosion is the reason why this material is chosen as an alternative substitute for steel on shipbuilding. Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) is one of composite material that is usually used.

The early step were taken is analysis of material characteristic from composite that was tested by micromechanics and macro mechanics. is hereinafter conducted by examination of interesting bending examination, this examination use the standard examination of ASTM D 3039 M, 1993 and ASTM D 638M – 84.

Keyword : Composition, Fiberglass Material, Tensile, Bending, Composite.

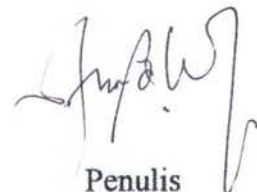
KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dimana penulisan ini merupakan salah satu untuk memenuhi persyaratan akademis bagi kelulusan sarjana pada Program Studi S1 Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, dimana Tugas Akhir ini memiliki beban sebanyak 4 SKS dan diselesaikan maksimal selama 2 semester. Tugas Akhir ini dengan judul “ANALISA KEKUATAN TARIK DAN KELENTURAN KOMPOSIT FIBERGLASS TERHADAP PERUBAHAN KOMPOSISI SERAT GELAS”.

Perencanaan dan penyusunan Tugas Akhir ini berdasarkan literatur kepustakaan yang ada di Program Study S1 Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan literatur-literatur lain yang berkaitan dengan fiberglass. Dalam penyusunannya, data-data pengujian yang diperoleh, penulis merencanakan tahap demi tahap yang pada akhirnya menjadi sebuah buku, dimana urutan pembuatannya diterangkan pada bab-bab berikutnya.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, untuk itu penyusun mengharapkan kritik dan saran. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi kita semua dan semoga dicatat sebagai amal yang diridloi oleh Allah SWT. Amin.

Surabaya, 14 Januari 2007



Penulis

Ucapan Terima Kasih

Dalam kesempatan ini pula, dengan kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. ﷻ swt yang telah memberikan nikmat Iman dan Islam dalam diri saya untuk berusaha sepenuh hati, istiqomah sepenuh hati di jalan-Nya.
2. Bapak Ir. TriWilasWandiyo WP. M,sc. selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Bapak Dr. Ir Wasis Dwi Aryawan M,sc. selaku Sekretaris Jurusan Fakultas Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Bapak Ir. Soeweify, M.eng. selaku pembimbing Tugas Akhir.
5. Seluruh staf dan pengajar jurusan Teknik Perkapalan FT. Kelautan ITS
6. Kedua Orang Tuaku, Ayahanda Djurdjani Sp.d dan Ibunda Sri hartini Sp.d yang telah memberi dukungan moral, spiritual dan material pada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Kedua Adikku yang tercinta dan tersayang Adinda Yosar HG Am.d, Dita NNR, Betty Rahmawati ST. You're My Spirit.
8. The Best Friend Roni Putra S. yang banyak membantu dalam memberikan solusi tentang Judul Tugas Akhir.
9. My friend in ngagel camp juang Prityo B, Hamdan, pak Adit yang telah membantu membuat spesiment. Thanks awfully.
10. Gebang Wetan No 25 C. Bapak Jupri (having kost) Eka, Andi (Tegal club) Fatir, Riscal, Junt (Sulawesi club) Arip, Bry (Gresik club) Ari, Darwis, Edy, Koko (medan club) Andre (ngawi club) Rama (Palembang club) Iwan (porong) semangat yo rek.
11. Segenap rekan-rekan senasib sepenanggungan, terutama yang telah banyak membantu hingga selesainya Tugas Akhir ini.
12. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat penyusun sebutkan disini.

DAFTAR ISI

Abstrak	ii
Kata Pengantar	iii
Ucapan Terima Kasih	iv
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	viii
Daftar tabel	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.2.1 Pokok Permasalahan	1
1.2.2 Hipotesa	1
1.2.3 Batasan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan	2
1.3.1 Maksud	2
1.3.2 Tujuan	2
1.3.3 Manfaat Hasil Tugas Akhir	2
1.4. Metode Penelitian	2
1.5. Sistematika Penulisan	3



BAB II DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Umum	5
2.2. Komposit Pada Kapal	6
2.3. Serat Gelas	8
2.3.1. Matrik	8

2.3.2	Proses Manufaktur	9
2.3.3	Material Penguat (Reinforced Material)	9
2.3.4	Bahan Pendukung	12

BAB III METODE PENELITIAN

3.1.	Umum	14
3.2.	Flowchart Pengujian	15
3.3.	Bahan Baku Komposit	16
3.4.	Peralatan Penunjang	17
3.5.	Penentuan Ketebalan Lapisan Komposit	18
3.6.	Perhitungan Komposisi Campuran	18
3.7.	Proses Pembuatan	19
3.7.1	Komposisi Campuran	22
3.8.	Proses Pengerjaan Spesimen (Hand Lay Up)	22
3.9.	Perencanaan Dimensi Spesimen Uji	23
3.9.1	Pengujian Tarik (Tensile Test)	23
3.9.2	Pengujian Tekuk (Bending Test)	24
3.10.	Prosedur Pengujian Spesimen	26
3.10.1	Pelaksanaan Pengujian	27
3.10.2	Perhitungan Hasil Pengujian	27
3.10.3	Hasil Pengujian Tarik	28
3.10.4	Hasil Pngujian Tekuk	28

BAB IV ANALISA TEKNIS

4.1. Umum	30
4.2. Gambar Dimensi Spesimen Hasil Pengujian	31
4.3. Hasil Pengujian Dan Perhitungan spesimen	32
4.4. Analisa Kekuatan Tarik Laminat (σ)	41
4.5. Analisa Kekuatan Tekuk Laminat (S)	42
4.6. Analisa Modulus Elastisitas Laminat (E)	44

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	45
5.2. Saran	46

Daftar Pustaka

Lampiran – Lampiran

Biodata

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Fiberglass Woven Roving, Polyester Resin, Wax (Type PVA), Catalis	16
Gambar 3.2. Peralatan Penunjang Selama Pembuatan Spesimen	17
Gambar 3.3. Spesimen Yang Dibuat Untuk Pengujian	19
Gambar 3.4. Laminated Composites	21
Gambar 3.5. Ukuran Spesimen Uji Tarik	23
Gambar 3.6. Prinsip Pengujian Tekuk	24
Gambar 3.7. Dimensi Material Uji	25
Gambar 3.8. Spesimen Uji	25
Gambar 3.9. Mesin Uji Yang Digunakan	26
Gambar 4.1. Tensile Test	31
Gambar 4.2. Bending Test	31
Gambar 4.3. Grafik Kekuatan Tarik	41
Gambar 4.4. Grafik Kekuatan Tekuk	42
Gambar 4.5. Grafik Modulus Elastisitas Laminate	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Karakteristik Serat Penguat	11
Tabel 3.1.	Ukuran Spesimen Uji Tarik Sesuai ASTM D 638M - 84	24
Tabel 4.1.	Hasil Uji Tarik (Tensile Test)	32
Tabel 4.2.	Perhitungan Uji Tarik (Tensile Test)	33
Tabel 4.3.	Hasil Uji Tekuk (Bending Test)	34
Tabel 4.4.	Perhitungan Uji Tekuk (Bending Test)	35

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Dengan perkembangan dibidang industri sekarang ini, dibutuhkan suatu material yang mempunyai sifat diantaranya adalah kaku, tahan korosi, kuat dan ringan sehingga ditemukan suatu material yaitu material komposit yang mempunyai sifat-sifat tersebut.

Bahan komposit merupakan penggabungan dua atau lebih bahan yang digabung menjadi suatu bahan secara makropis. Pengertian makropis berbeda dengan paduan atau alloy yang penggabungannya secara mikrokopis. Bahan pembentuk komposit masih terlihat seperti aslinya, sehingga bahan komposit memiliki sifat yang berbeda dengan bahan konvensional pada umumnya. Salah satu sifat utama dari bahan komposit adalah nonhomogen dan anisotrop. Material nonhomogen artinya materil tersebut mempunyai sifat yang tidak sama disemua tempat. Sedangkan anisotrop artinya material tersebut mempunyai sifat yang tidak sama dalam segala arah.

Oleh karena sifat-sifat tersebut bahan komposit dipelajari dari dua sudut pandang yang berbeda, yaitu mikromekanik dan makromekanik. Mikromekanik adalah sifat bahan yang dipelajari berdasarkan pengaruh antara serat penguat dan matriknya, aliran pemindahan tegangan dari serat penguat kedalam matrik, penentuan modulus elastisitas dari bahan pembentuknya. Makromekanik adalah sifat bahan komposit yang dipelajari berdasarkan anggapan bahan komposit bersifat homogen dimana pengaruh bahan pembentuknya dianalisa berdasarkan sifat-sifat yang tampak secara keseluruhan.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

1.2.1 Pokok Permasalahan

Kekuatan komposit dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya adalah komposisi serat gelas. Sehingga bagaimana pengaruh komposisi serat gelas terhadap sifat-sifat mekanik material komposit yang terbuat dari fiberglass dengan polyester resin.

1.2.2 Hipotesa

1. Material yang diuji adalah bidireksional
2. Dengan kenaikan komposisi serat gelas maka kekuatan tariknya akan semakin besar.
3. Laminat tersusun dari tumpukan unidireksional yang saling tegak lurus secara simetri, tetapi lapisan serat dipotong membentuk sudut 10° , 30° , 60° , 90°
4. Hasil pengujian sama dengan hasil perhitungan teoritis.

1.2.3 Batasan masalah

1. Serat gelas yang dipakai adalah woving roven.
2. Ketebalan disetiap lapisan dianggap sama.
3. Komposisi antara serat berlawanan dan matrik disetiap lapisan dianggap sama
4. Orientasi serat disetiap posisi dianggap searah.
5. Tidak membahas reaksi kimia yang terjadi pada proses pembuatan material.
6. Distribusi serat didalam matrik disetiap lapisan dianggap merata.
7. Spesiment yang dihasilkan dianggap sempurna (tebal sama disetiap posisi, permukaan spesiment yang dihasilkan rata, komposisi yang ada sesuai dengan yang direncanakan, tidak ada ruang kosong dalam spesiment).

1.3 MAKSUD DAN TUJUAN

1.3.1 Maksud

Dalam penelitian ini penulis memberikan penjelasan tentang sifat-sifat fisik dan mekanik bahan dari serat penguat dan serat glass setelah melakukan pengujian yaitu dengan pengujian kekuatan tarik serta kekuatan tekuk.

1.3.2 Tujuan

1. Mengetahui pengaruh komposisi serat gelas terhadap sifat mekanik komposit.
2. Memperkirakan tebal dari komposit yang akan dibuat.
3. Mengetahui perbedaan terjadinya penyimpangan antara hasil perhitungan teoritis dan hasil pengujian.

1.3.3 Manfaat Hasil Tugas Akhir

Manfaat dari hasil penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil yang nyata dari pengaruh komposisi serat gelas terhadap sifat mekanik dari material komposit laminate dengan material pembentuk lamina fiberglass melalui perhitungan teoritis dan hasil pengujian. Dan dapat merencanakan ketebalan dari material fiberglass yang akan dibuat.

1.4 METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah

- Studi literatur awal mengenai material komposit, FRP (*Fiberglass Reinforced Plastic*) dan komposisi serat gelas.

Mempelajari tentang karakteristik material komposit, konfigurasi material FRP dan jenis-jenis serat gelas beserta pemanfaatannya dari buku atau jurnal ilmiah.

- Mempelajari konstruksi serta menyusun konfigurasi laminasi kedua material.
- Pembuatan spesimen uji
Spesimen uji dibuat berdasarkan standart pengujian ASTM D 3039 1993 dan ASTM D 638M – 84.
- Melakukan pengujian di laboratorium
Berdasarkan pada konfigurasi material dan konstruksi yang telah dibuat kemudian dibuat dalam bentuk dan jumlah spesimen tertentu dilakukan pengujian untuk mendapatkan data tentang pengaruh komposisi serat gelas terhadap sifat mekanik komposit, antara lain adalah pengujian kekuatan tarik serta kekuatan tekuk.
- Melakukan perbandingan
Dilakukan perbandingan atau empat jenis material dalam pembuatan suatu konstruksi dari semua aspek yang ditinjau.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Dalam penulisan Tugas Akhir ini dibagi menjadi beberapa bab dan beberapa bab dibagi menjadi beberapa sub bab. Secara garis besar sistematikanya sebagai berikut :

BAB. 1 PENDAHULUAN

Berisi : Latar Belakang, Perumusan Masalah, Pokok Permasalahan, Hipotesa, Batasan Masalah, Maksud dan Tujuan, Metode Penelitian, Sistematika Penulisan.

BAB. 2 DASAR TEORI

Berisi : Tinjauan Umum, Komposit Pada Kapal, Serat Gelas, Matrik, Proses Manufaktur, Material Penguat, Bahan Pendukung.

BAB. 3 METODE PENELITIAN

Berisi : Umum, Bahan Baku Komposit, Peralatan Penunjang, Penentuan Ketebalan Lapisan Komposit, Perhitungan Komposisi Campuran, Proses Pembuatan, Komposisi Campuran, Proses Pengerjaan Spesimen, Perencanaan Dimensi Spesimen Uji, Pengujian Tarik, Pengujian Tekuk, Prosedur Pengujian Spesimen, Pelaksanaan Pengujian, Perhitungan Hasil Pengujian, Hasil Pengujian Tarik, Hasil Pengujian Tekuk.

BAB. 4 ANALISA DATA DAN PERHITUNGAN

Berisi : Umum, Hasil Pengujian Test Dilaboratorium, Analisa Kekuatan Tarik Laminate, Analisa Kekuatan Tekuk Laminate, Analisa Modulus Elastisitas Laminate.

BAB. 5 KESIMPULAN

LAMPIRAN.

DAFTAR PUSTAKA.

- Melakukan penelitian
- Melakukan penelitian
- Melakukan penelitian

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Dalam penulisan tesis, penulis harus memperhatikan beberapa hal dan urutan yang dibantu dengan beberapa hal yang akan memudahkan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab I ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian.

BAB II DASAR TEORI

Bab II ini membahas tentang konsep-konsep pada bab ini yang akan menjadi dasar dalam penulisan tesis.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab III ini membahas tentang metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi jenis penelitian, lokasi penelitian, waktu penelitian, dan sumber data.

BAB IV HASIL DATA DAN PEMBAHASAN

Bab IV ini membahas tentang hasil penelitian yang diperoleh dan pembahasan mengenai hasil tersebut.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN UMUM

Komposite didefinisikan sebagai bentuk kombinasi dari dua bahan atau lebih, dimana sifat mekaniknya dari masing-masing material pembentuknya berbeda-beda. Dengan mengkombinasikan bahan atau material-material tertentu maka akan mendapatkan suatu bahan yang lain dengan sifat yang lebih baik dari masing-masing bahan asalnya, dari masing-masing bahan diambil sifat baiknya. Kombinasi tersebut harus sedemikian rupa sehingga akan saling menghilangkan sifat buruk dari bahan asalnya yang lain (Wahid Suherman, 1987).

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

1. Fibrous composite, yaitu suatu material komposit yang hanya terdiri dari satu lamina (lapisan) dan bahan penguatnya berupa fiber atau whiskers. Dimana dimensi fiber mempunyai perbandingan antara panjang dan diameter sangat tinggi sampai ribuan, sedangkan whiskers mempunyai perbandingan panjang terhadap diameter hanya dalam hitungan ratusan.
2. Laminated composite, yaitu komposit yang tersusun atas dua atau lebih lapisan dari bahan yang berbeda.
3. Partikulat composite, yaitu komposit yang mengandung satu atau lebih partikel dalam matrik.

Pada umumnya komposit dibentuk dari 2 jenis material yang berbeda yaitu :

1. Matrik, umumnya lebih ductile tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah.
2. Elemen penguat (reinforcement), umumnya berbentuk serat yang mempunyai sifat kurang ductile tetapi lebih rigid serta lebih kuat.

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

1. Tinjauan secara mikromekanik.

Dalam tinjauan secara mikromekanik, yang dilihat adalah komposit merupakan material yang tersusun atas matrik dan serat sehingga analisa kekuatan komposit didasarkan pada kekuatan matriks dan serat yang membentuknya.

2. Tinjauan secara makromekanik

Sedangkan tinjauan secara makromekanik, yang dilihat adalah komposit sebagai suatu material yang utuh sehingga analisa kekuatan komposit didasarkan pada kekuatan tiap lamina lapisan yang membentuknya.

2.2 KOMPOSIT PADA KAPAL

Pada kapal-kapal kecil glass tetap mendominasi sebagai bahan pembuatannya, sedangkan *high performance craft* yang menuntut kekakuan yang lebih besar serat berat yang lebih ringan dipakai carbon dan aramid fiber [Rudling, 1984]. Dari tiga macam tipe serat yang ada, E glass telah digunakan dengan hasil yang baik di industri maritime [salama, 1987]. Keunggulan E glass adalah memiliki sifat yang tahan korosi bukan penghantar listrik dan panas, serta harganya relatif murah bila dibandingkan dengan tipe glass yang lain. Penggunaan R dan S glass cenderung dibatasi untuk *high performance craft* saja. R glass terbukti tahan terhadap banyak senyawa kimia. Namun harga R glass dapat mencapai 7 – 10 kali harga E glass sedangkan S glass dapat sampai 20 kali E glass [Smith, 1990].

Teknik yang paling cepat untuk komposit adalah dengan cara Hybrid. Dengan campuran tertentu akan sangat dimungkinkan diperoleh sifat mekanik bahan yang sesuai dengan kebutuhan dan harganya lebih rendah. Sebagai contoh Kevlar dan carbon digunakan secara hybrid sehingga keunggulan sifat-sifat tiap material akan mengisi kelemahan masing-masing sifat material yang lain.

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

Pemakaian fiberglass sebagai material bangunan kapal masih terbatas pada kapal-kapal kecil seperti lifeboat, speed boat, kapal inspeksi, kapal pesiar dan kapal-kapal ikan kecil. Fiberglass sebagai material bangunan kapal, mempunyai beberapa keuntungan :

- Daya serap air kecil.
- Tidak berkarat
- Pemeliharaannya sangat mudah dan murah jika terjadi kebocoran, perbaikannya mudah sekali dan dalam waktu singkat.

- Tidak memerlukan pengecatan, karena zat warna yang telah dicampurkan pada bahan. Untuk displacement yang sama, fiberglass konstruksinya lebih ringan dari baja dan kayu.

Sifat-sifat dari fiberglass :

- Tensile strength yang tinggi. Kira-kira 300 kg/mm^2 (lebih tinggi dari tali piano $150 - 200 \text{ kg/mm}^2$)
- Penyerapan air rendah. Glassnya sendiri tidak mengisap, tetapi telah terbentuk tenun lembaran akan meresap air dan lembab diantara celah-celah tenunan atau lembaran.
- Tahan suhu yang tinggi.
- Kestabilan ukuran luar biasa baik.
- Tidak mudah terbakar.
- Sifat-sifat aliran listrik yang baik sekali.
- Tidak akan membusuk, menjamur dan berkurang kualitasnya.
- Tahan minyak, asam dan hama yang merusak.
- Elongation yang tinggi pada elastis limit, yield point dan break point sama.

Adapun prinsip material pada dasarnya adalah sebagai berikut :

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

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

1. FRP Single Skin

Yaitu salah satu jenis konstruksi FRP dimana tersusun atas lamina serat penguat bercampur resin dengan susunan yang bervariasi baik bentuk maupun konfigurasinya, untuk mendapatkan keuntungan dari sifat masing-masing serat. Biasanya digunakan campuran antara Chopped Straind Mat dan Woven Roving.

2. FRP Sandwich

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

2.3 SERAT GELAS

Bahan berkekuatan tinggi khususnya dengan perbandingan kekuatan terhadap berat (σ / ρ), dapat dibuat dengan mencampurkan serat halus kedalam matrik. Serat halus memiliki modulus elastisitas yang tinggi sedangkan matrik arus ulet. Beberapa bentuk serat gelas yaitu : [Dwi Sunaryanto, 1995]

1. *Roving* merupakan serat gelas yang berbentuk kumpulan benang kontinu.
2. *Woven roving* merupakan roving yang ditunen membentuk arah serat yang saling tegak lurus.
3. *Chopped roving* merupakan jenis roving yang dapat dipotong-potong kecil dengan panjang kurang lebih 10 cm sebagai bahan dasar chopped strand mat.
4. *Chopped strand mat* serat gelas yang ditunen dari potongan-potongan roving dengan panjang tertentu dan tersusun secara acak.
5. *Yarns* merupakan serat gelas berbentuk benang yang panjang dan kontinu dipakai sebagai pengikat atau pelapis.
6. *Surface tissue* merupakan serat gelas seperti lembaran kertas tipis yang berfungsi melindungi bagian dalam lapisan terhadap bahan-bahan kimia.

2.3.1 Matrik

Matrik merupakan bahan yang diperkuat oleh elemen penguat, yang berfungsi mengikat penguat yang satu dengan yang lainnya. Bahan yang umumnya dipakai sebagai matrik adalah logam atau polymer. Jenis-jenis polymer yang dipergunakan sebagai berikut:

1. *Polyester resin.*

Merupakan polyester yang tidak jenuh, dibuat dengan reaksi kimia antara asam organik dengan dihidric glycol, resin yang tidak jenuh adalah monomer solvent dan styrene. Sebagai pencairnya pada proses pelapisan ditambahkan katalisator untuk mempercepat pengeringan (curing proses).

2. *Exposy resin.*

Jenis ini diperoleh dengan cara mengkondensasikan ephyclorhydrin dengan senyawa pdyhidroxy.

3. *Silicon resin.*

Senyawa organik yang merupakan ikatan antara silicon dengan atom oksigen.

4. *Phenolic resin.*

Diperoleh dengan proses kondensasi phenol dengan aldehyde umumnya formaldehyde.

2.3.2 *Proses Manufaktur*

Bahan komposit dengan penguat serat gelas sebagai penguat dalam proses pembuatannya memiliki dua tahap yang paling utama yaitu proses lay up dan proses curing. Pada proses lay up dilakukan pelapisan pada cetakan dengan menggunakan matrik dan serat sampai pada ketebalan yang diinginkan. Sedangkan pada proses curing terjadi proses pengeringan atau proses polymerisasi antara metrik dan serat untuk membentuk ikatan yang permanen.

Pada proses lay up secara manual (*hand lay up*) sangat dibutuhkan keterampilan dari pekerja agar komposit yang terjadi dapat rigid dan tidak keropos, dimana hal ini sering terjadi pada konstruksi yang rumit. Selain itu proses pengerjaannya harus tepat waktu agar tidak terjadi proses curing sebelum proses *hand lay up* selesai. Diantara proses lay up ada 3 prinsip dasar yaitu :

1. *Winding dan laying.*

Pengaturan dan penyusunan arah serat dengan cara menempatkan serat penguat yang mengandung cairan resin yang akan melapisi cetakan. Serat itu sendiri memiliki arah yang berbeda-beda disetiap lamina dalam laminate tergantung pada arah penguatan yang kita inginkan.

2. *Molding*

Cetakan dan proses pelapisan pada cetakan terbuat dari fiberglass, kayu atau logam untuk menempatkan serat penguat dan resin. Permukaan cetakan harus halus untuk memudahkan pengambilan bahan komposit setelah terjadi pengerasan.

3. *Continous lamination.*

Proses pelurusan dan kontinuitas arah susunan sudut serat serta perataan peresapan matrik umumnya dengan roll penekan sebelum dan saat kondisi gel berlangsung, diharapkan arah dan susunan serat sesuai dengan orientasinya, harus kontinu dan matrik akan tersebar merata pada laminate.

2.3.3 *Material Penguat (Reinforced Material)*

Material penguat tidak selalu dalam bentuk serat yang panjang, tetapi dapat juga berbentuk serat pendek, *Whiskers*, partikel atau berbentuk lembaran anyaman. Serat dikarakteristikan secara geometri memiliki perbandingan panjang dengan diameter mendekati Kristal, *whiskers* pada dasarnya sama dengan serat tapi umumnya sangat pendek dan tumpul sedangkan partikel secara geometri bentuknya sangat kecil dan mempunyai prosentase total volume yang sangat kecil.

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

Komposit berpenguat serat dapat dibagi dalam dua jenis :

- Komposit serat pendek
- Komposit serat panjang

1. Komposit serat pendek

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

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

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

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

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

2. Komposit serat panjang

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

Serat penguat (reinforcement) yang paling sering digunakan untuk material komposit umumnya adalah serat gelas karena memiliki modulus elastisitas yang cukup tinggi. Untuk bahan serat yang lain yang sering digunakan dalam struktur komposit dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut [Dwi Sunaryanto, 1995] :

Tabel 2.1 Karakteristik serat penguat

Type	Manufacture	Tensile Strength Mpa (ksi)	Modulus Gpa (Msi)	Density (g/cm ³)
E-glass	Corning	3.450 (500)	72.5 (10.5)	2.54
S-glass	Corning	4.480 (650)	85.6 (12.4)	2.49
Cellulose	Cutting	300-500	10	1.2
Carbon				
AS4	Hercules	3.730 (540)	235 (34)	1.81
T300	Union Carbide	2.760-3.450 (400-500)	228 (33)	1.76
IITS	Hercules	2.830 (410)	248 (36)	1.82
IM-6	Hercules	4.480 (650)	290 (42)	1.80
IM-7	Hercules	5.170 (750)	290 (42)	1.80
Graphite				
T-50	Union Carbide	2.070 (300)	393 (57)	1.67
GY-70	Celanese	1.725 (250)	517 (75)	1.86
Pitch type P	Union Carbide	1.725 (250)	345 (50)	2.02
Boron	AVCO	3.280-3.660 (475-530)	365-414 (53-60)	2.1-3.0
Kevlar (aramid)	Dupont	3.800 (550)	131 (19)	1.45
Silicone carbide				
5.6 mil/C (SCS-2)	Textron	4.140 (600)	400 (58)	3.05
Nicalon	Nippon Carbon	2.070 (300)	172 (25)	2.60
Alumina				
FP-2	Dupont	1.725 (250)	380 (55)	3.70
Saphikon	Saphikon	3.100 (450)	380 (55)	3.80
Silika	-	5.800 (840)	72.5 (10.5)	2.19
Tungsten	-	4.140 (600)	414 (60)	19.30

Dari tabel diatas terlihat bahwa serat S-galss mempunyai kekuatan tarik dan modulus elasticity yang lebih tinggi (4.480 Mpa dan 85.6 Gpa) dibanding dengan serat E-glass (3.450 Mpa dan 72.5 Gpa) maupun serat yang berbasis Cellulose (300 Mpa dan 10 Gpa). Serat penguat dari bahan kaca (*fiberglass*) sangat banyak digunakan adalah karena sifat kaca yang sangat lembam, tidak menyerap air, tidak mengembang, atau membusuk memiliki daya tahan terhadap panas yang tinggi dan tidak dapat terbakar, serta tahan terhadap zat-zat kimia.

Fungsi lain serat penguat antara lain :

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

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

Beberapa jenis serat gelas yang sering digunakan pada proses pembentukan komposit antara lain [Dwi Sunaryanto, 1995].

1. Serat E Glass

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

2. Serat C Glass

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

3. Serat S dan R Glass

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

2.3.4 **Bahan Pendukung**

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

- Katalis (*Catalyst*), adalah bahan pendukung yang berfungsi untuk memulai proses perubahan bentuk resin dari cair menjadi padat (*olymerization*) pada temperature kamar (27° Celcius). Umumnya pemberian katalis ini adalah 0.5 – 4 % dari fraksi volume resin. Misalnya pada pemberian katalis 2 % maka resin akan mengalami proses perubahan bentuk dari cair ke bentuk agar (gel) dalam waktu 15 menit pada suhu 27° Celcius. Katalis yang umum dipakai untuk polyester resin adalah *methyl ethyl ketone peroxide*.
- Promoter (*Accelerator*), adalah bahan pendukung yang berfungsi supaya katalis dan resin dapat berpolimerisasi pada suhu kamar dalam kurun waktu yang relative cepat. Bahan ini berbentuk cairan dengan warna biru keunguan, penambahan promoter paling tinggi 1 % dari fraksi volume resin polyester. Promoter yang sering digunakan adalah *cobalt naphthenat*. Promoter biasanya sudah langsung dicampur pada resin oleh produsen resin (resin polyester SHCP 268 BQTN dan Yukalac157 BQTN-EX).
- Sterin (*Styrene Monomer*), adalah bahan pendukung yang berfungsi untuk mengecerkkan resin. Berbentuk cairan bening encer yang tidak berwarna, penambahannya adalah 35 – 40 % dari fraksi volume.
- *Gel Coat*, berfungsi sebagai lapisan pelindung laminate dari goresan. Bahan ini termasuk salah satu jenis resin polyester yang bersifat keras dan memiliki ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh cuaca. Lapisan ini menjadi lapisan terluar dari laminate kulit dan diberi zat pewarna (*pigment*), dimana campuran zat pewarna tidak boleh lebih dari 15 % dari gel coat dengan ketebalan maksimum 15μ .
 - Lapisan pelepas (*Mold Release*), merupakan lapisan yang berfungsi untuk mencegah laminate agar tidak lengket dengan cetakan. Bahan yang umum digunakan adalah *Wax* (misalnya *mirror glaze*) dan PVA (*Polyvinyl Alcohol*).



BAB III

METODE PENELITIAN

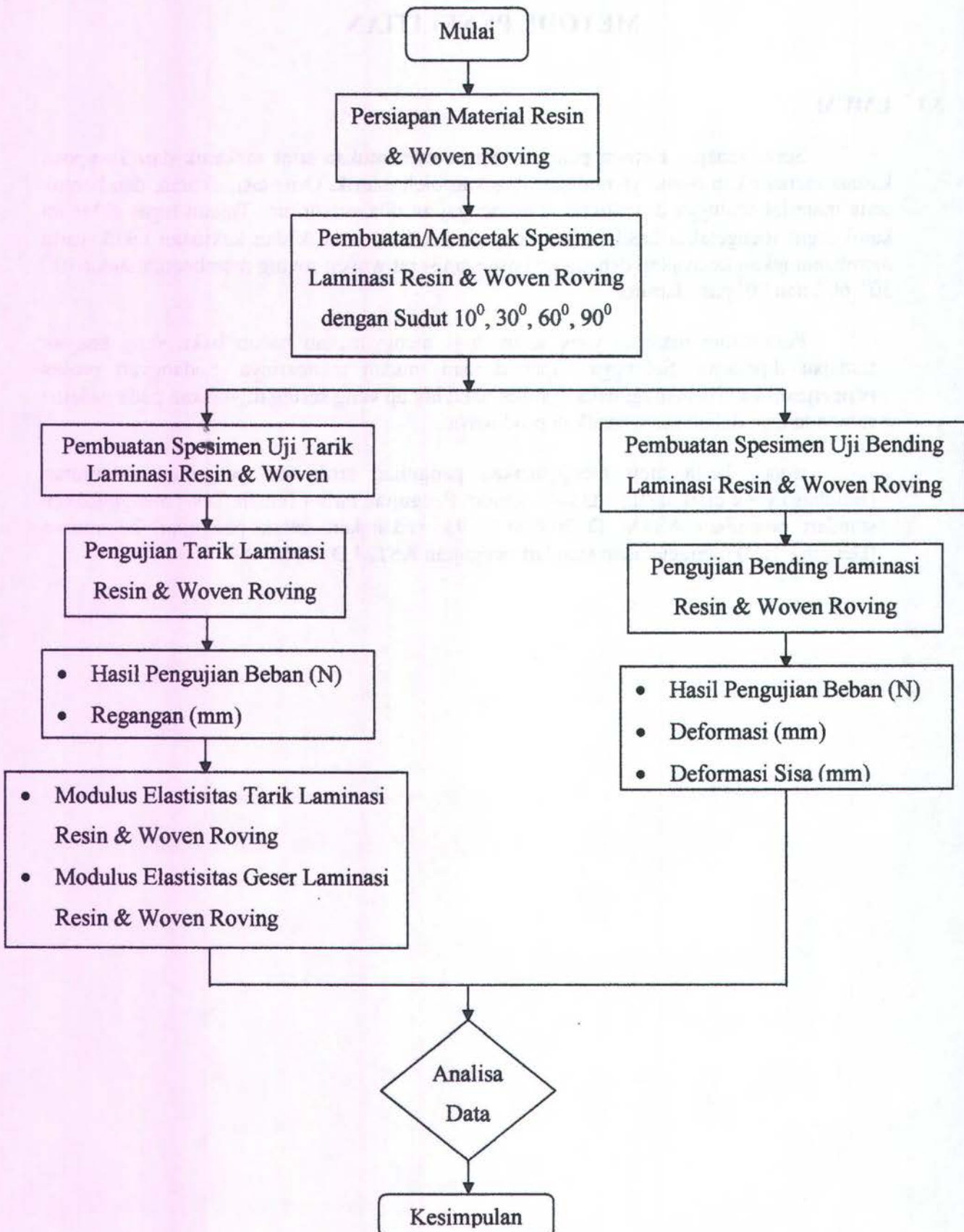
3.1 UMUM

Serat sebagai elemen penguat sangat menentukan sifat mekanik dari komposit karena meneruskan beban yang didistribusikan oleh matrik. Orientasi, ukuran, dan bentuk serta material sehingga diperlukan suatu pengujian dilaboratorium. Tujuan tugas akhir ini kami ingin mengetahui hasil proses pengujian kekuatan tarik dan kekuatan tekuk yaitu membandingkan kelayakan dengan pemasangan serat woven roving membentuk sudut 10° , 30° , 60° , dan 90° pada lamina.

Pembuatan material yang akan diuji menggunakan bahan baku yang banyak terdapat dipasaran. Sehingga dapat dengan mudah mencarinya. Sedangkan proses pengerjaannya kita menggunakan proses hand lay up yang sering digunakan pada industri rumah tangga dalam menghasilkan produknya.

Benda kerja diuji menggunakan pengujian tarik dan pengujian kelenturan (Bending) yang dilakukan pada suhu kamar. Pengujian tarik (Tensile Test) menggunakan standart pengujian ASTM D 3039M - 93, sedangkan untuk pengujian kelenturan (Bending Test) menggunakan standart pengujian ASTM D 638M - 84

3.2 FLOWCHART PENGUJIAN



3.3 BAHAN BAKU KOMPOSIT

Bahan baku yang dipergunakan untuk membuat spesimen adalah sebagai berikut :

1) *Matrik*

Untuk matriknya dipilih dari jenis resin polyester SHCP 268 BQTN dan Yukalac157 BQTN-EX. Yang sering dipakai oleh industri kecil dan banyak dijual dipasaran.

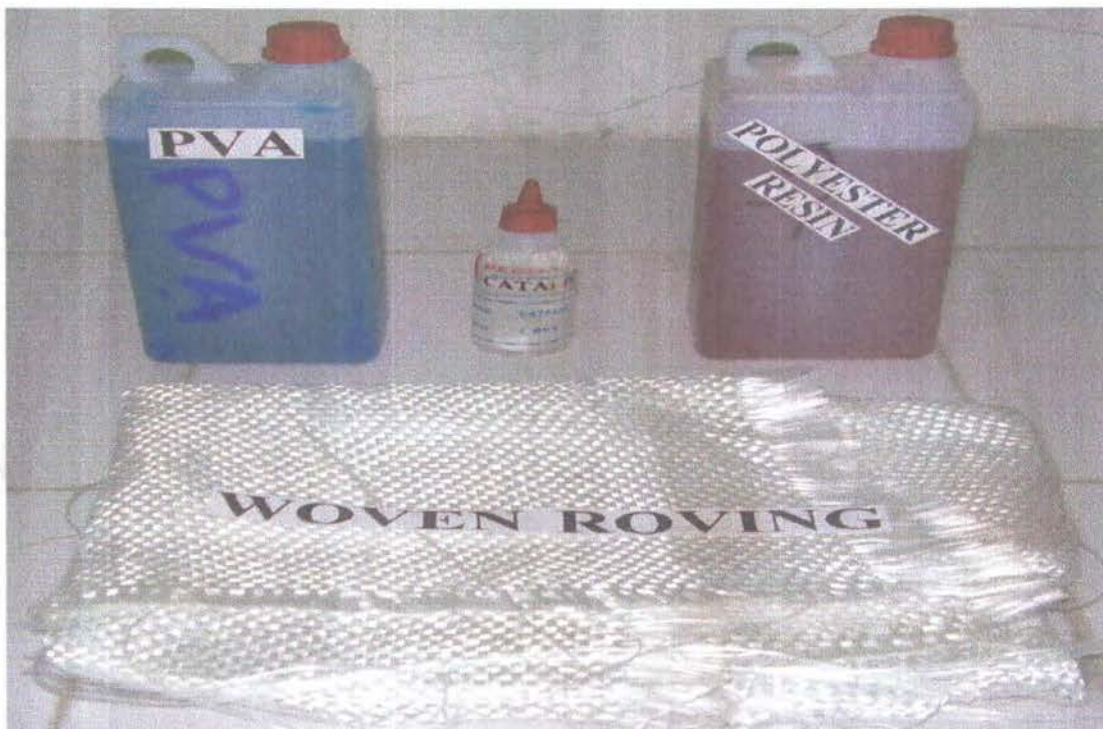
2) *Serat penguat*

Untuk serat penguat dipilih bahan baku dari serat gelas dengan type Woven Roving 800.

3) *Bahan pendukung*

Bahan pendukung ini komposisinya sangat kecil sekali pada material komposit, sehingga pengaruhnya pada kekuatan material komposisi sangat kecil sekali atau hampir tidak ada. Akan tetapi bahan pendukung ini sangat diperlukan agar proses pengerjaan dapat dipermudah. Bahan pendukung tersebut antara lain :

- *Wax* : berfungsi untuk melapisi cetakan, sehingga setelah proses curing komposisi tidak melekat pada cetakan sehingga mempermudah pengambilan laminate, dengan Wax disini kami memakai type PVA (*Polyvinyl Alcohol*).
- *Katalis* : berfungsi untuk mempercepat proses curing atau pengeringan pada laminate.(% berat resin).



Gbr 3.1 Fiberglass Woven Roving, Polyester Resin, Wax (Type PVA), Catalis.

3.4 PERALATAN PENUNJANG

Peralatan yang digunakan selama pembuatan spesiment sampai pengujian adalah sebagai berikut.

1. Cetakan dari kayu lapis dengan ukuran (200 x 120 x 12.5 mm)
2. Tutup yang berfungsi untuk menutup cetakan agar permukaan rata dan tebal sesuai.
3. Gergaji, Gunting, Cutter sebagai alat potong
4. Kuas berfungsi untuk meratakan serat dalam matrik pada proses hand lay up
5. Penggaris
6. Timbangan berfungsi untuk menimbang berat serat, resin dan lain-lain
7. Jangka sorong dan Gelas ukur



Gambar 3.2 Peralatan Penunjang Selama Pembuatan Spesimen

3.5 PENENTUAN KETEBALAN LAPISAN KOMPOSIT

Hal penting yang perlu diketahui dalam proses perancangan dan pembuatan material komposit serat E glass dan matrik resin adalah pemilihan ketebalan laminate yang sesuai dengan arah dan besarnya beban yang bekerja pada laminate tersebut. Dan mengetahui berat jenis bahan-bahan pembentuk komposit, maka ketebalan laminate tiap Kg/m^2 dapat dihitung :

$$T = 1 / \rho$$

Dimana :

T = ketebalan konstan lamina dari bahan-bahan pembentuk komposit dalam (mm) tiap Kg/m^2

ρ = density dari seat atau resin dan bahan lain (Mg/m^2).

Ketebalan total laminate didapatkan dengan persamaan

$$T_k = T_f + T_m$$

Dimana :

T_f = ketebalan konstan fiber (mm)

T_m = ketebalan konsan matrik (mm)

3.6 PERHITUNGAN KOMPOSISI CAMPURAN

Umumnya perhitungan komposit didasarkan atas fraksi volume. Tetapi dikalangan industri dan manufaktur komposit sering kali perhitungannya didasarkan pada fraksi berat. Hal ini perlu adanya konversi antara fraksi volume dan fraksi berat dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

a. Kandungan massa reinforced (f) dan matriks (m),

$$M_f = \frac{\text{Massapenguat}}{\text{Massakomposit}}$$

$$M_m = \frac{\text{Massamatrik}}{\text{massakomposit}} \quad ; M_m = 1 - M_f$$

b. Kandungan volume reinforced (f) dan matriks (m),

$$V_f = \frac{\text{volumepenguat}}{\text{volumekomposit}}$$

$$V_m = \frac{\text{volumematrik}}{\text{volumekomposit}} ; V_m = 1 - V_f$$

c. Hubungan antara fraksi berat dan volume :

$$V_f = \frac{M_f \times \rho_f}{(M_f \times \rho_f) + (M_m \times \rho_m)}$$

$$V_m = \frac{M_m \times \rho_m}{(M_f \times \rho_f) + (M_m \times \rho_m)}$$

d. Density komposit dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

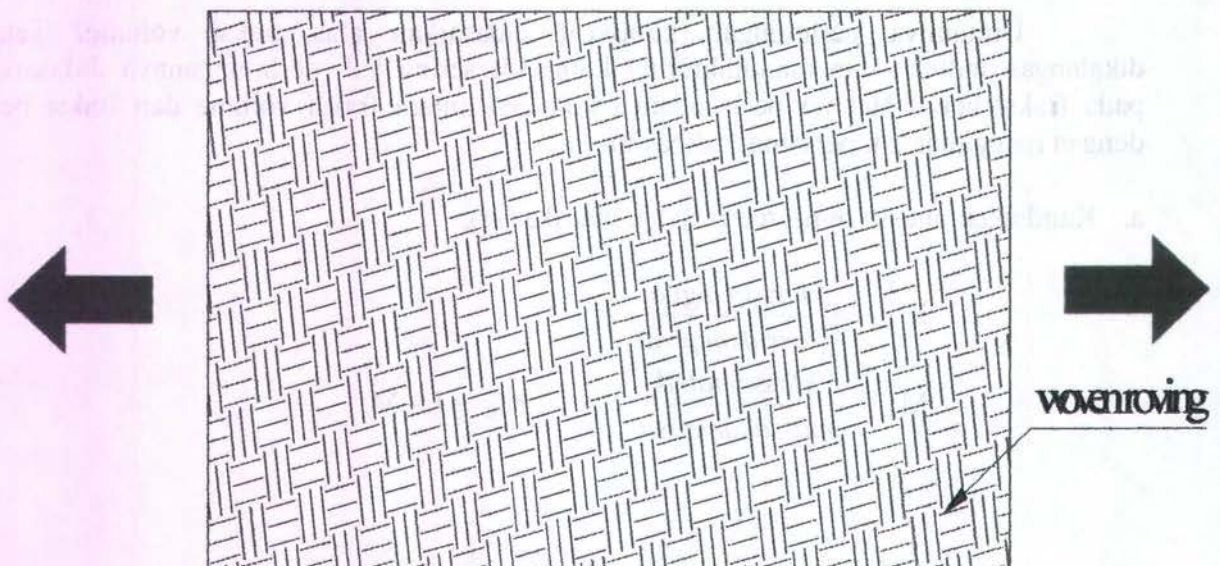
$$\rho_c = (\rho_f \times V_f) + (\rho_m \times V_m)$$

3.7 PROSES PEMBUATAN

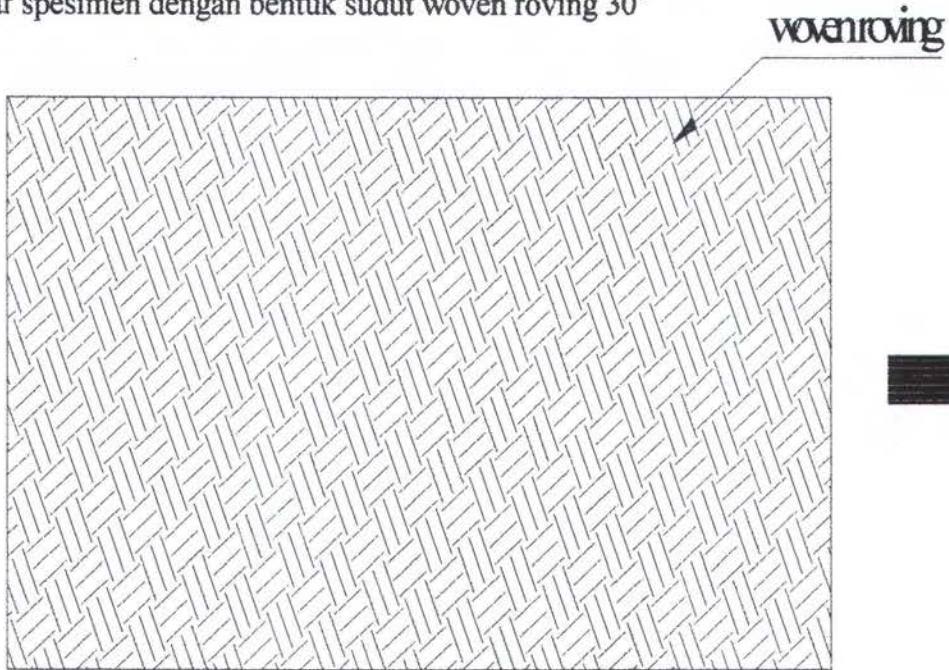
Serat gelas woven roving dibentuk terlebih dahulu dengan membentuk sudut 10° , 30° , 60° , dan 90° sesuai dengan ukuran cetakan ($200 \times 120 \times 12$) lalu dipotong dengan menggunakan gunting. Mempersiapkan campuran resin dengan katalis. Banyaknya katalis yang diberikan adalah 1 % dari berat resin.

❖ Gambar 3.3 Spesimen Yang Dibuat Untuk Pengujian

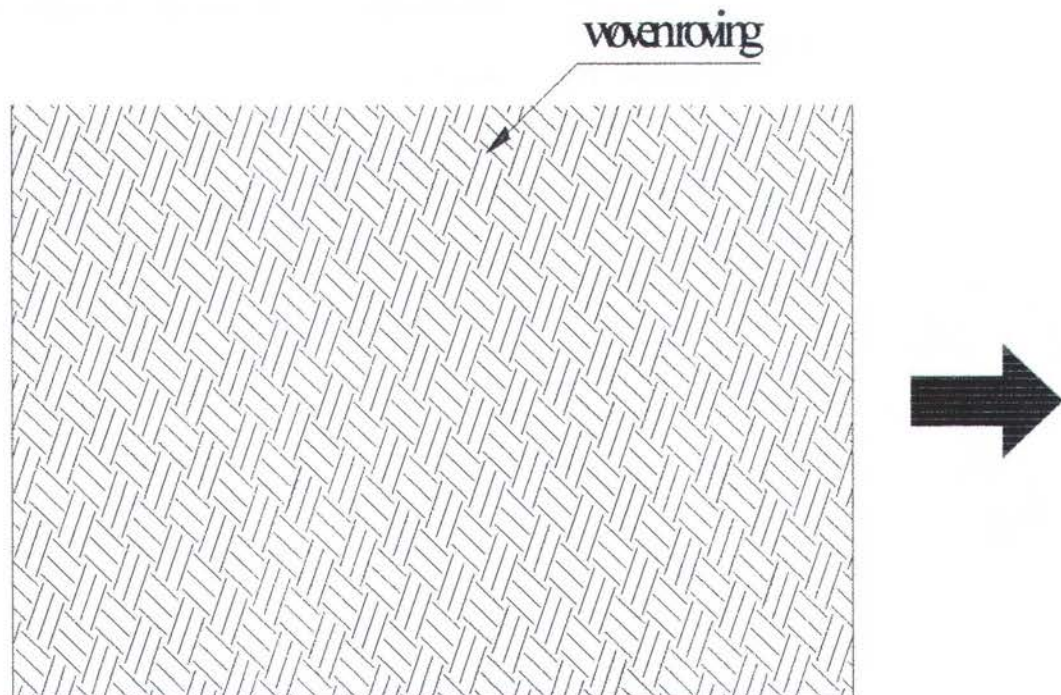
- Gambar spesimen dengan bentuk sudut woven roving 10°



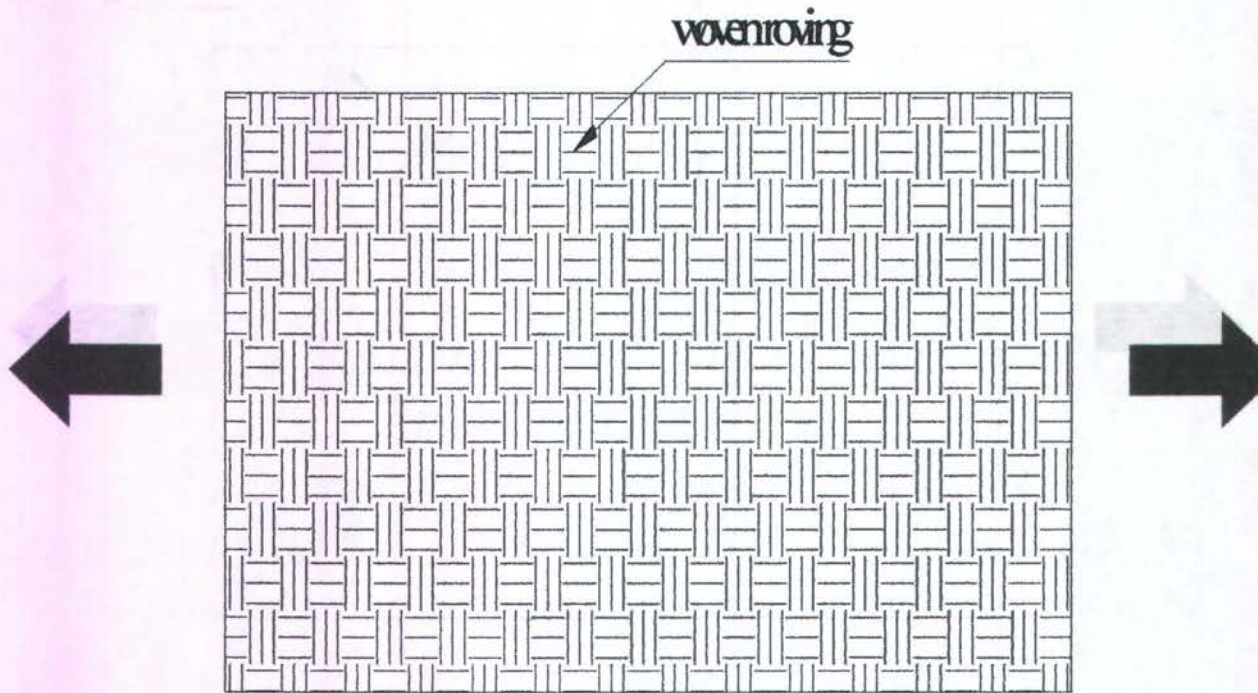
- Gambar spesimen dengan bentuk sudut woven roving 30°



- Gambar spesimen dengan bentuk sudut woven roving 60°

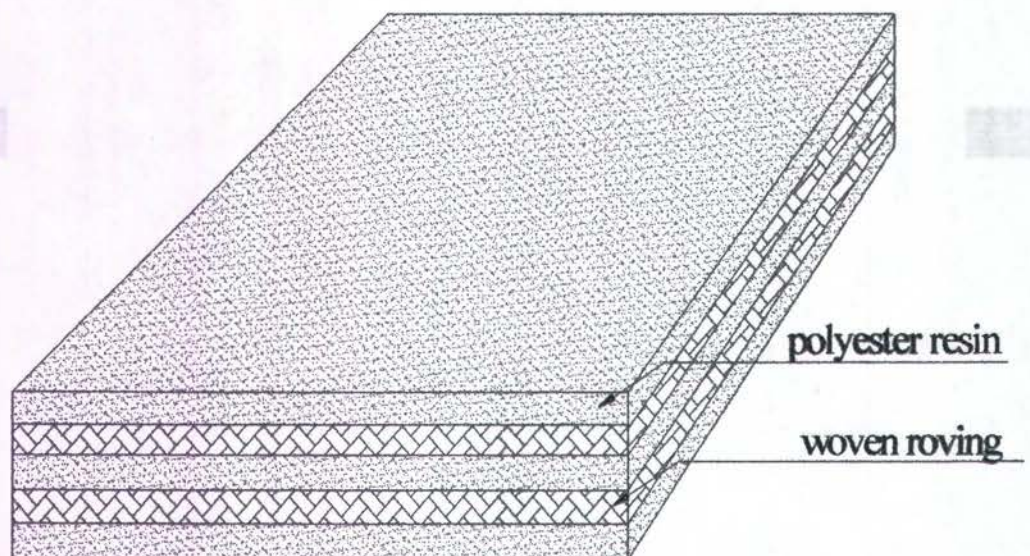


- Gambar spesimen dengan bentuk sudut woven roving 90°



❖ **Laminated Composites (komposit laminat)**

Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.



Gambar 3.4 Laminated Composites

3.7.1 Komposisi Campuran

A. Diketahui $\rho_{\text{resin}} = 1215 \text{ Kg/m}^3$ dan $\rho_{\text{WR}} = 600 \text{ Kg/m}^3$, maka fraksi berat resin : Woven roving didapat 60 : 40

- Serat Woven Roving

$$\begin{aligned} W_{\text{WR}} &= \rho \times V \\ &= 600 \text{ Kg/m}^3 \times (150 \times 120 \times 0.5) \text{ mm}^3 \\ W_{\text{WR}} &= 54.00000 \text{ gr} \sim 0.0054 \text{ Kg} \\ L_{\text{WR}} &= 150 \times 120 = 18.000 \text{ mm}^2 \\ W_f / L_f &= 0.0054 / 18.000 = 3 \times 10^{-7} \text{ Kg/mm}^2 \\ &= 0.3 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_c &= 1 / \rho = 1 / 600 \text{ Kg/m}^3 \\ &= 1.67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_f &= T_c \times W_{\text{fiber}} / L_{\text{fiber}} \\ &= 1.67 \times 10^{-3} \times 0.3 \\ &= 5.01 \times 10^{-4} \text{ m} \\ &= 0.501 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$T_{\text{total}} = 0.50 \times 14 \text{ layer} = 7.01 \text{ mm}$$

- Massa resin per 1 m² fiber = massa fiber per 1 m² x (60 : 40)
= 0.3 Kg/m² x (60 : 40)

$$\text{massa resin per 1 m}^2 \text{ fiber} = 0.45 \text{ Kg/m}^2$$

$$\rho_{\text{matrik}} = 1.2 \text{ g/cm}^3 \rightarrow 1.2 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} T_c &= 1 / \rho = 1 / 1.2 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3 \\ &= 0.892 \text{ m}^3/\text{Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{matrik}} &= T_c \times W_{\text{matrik}} / L_{\text{matrik}} \\ &= 0.892 \times 0.45 \\ &= 0.401 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$T_{\text{total}} = 0.40 \times 14 \text{ layer} = 5.6 \text{ mm}$$

$$\text{Jadi tebal laminate total} = 7.01 + 5.6 = 12.6 \text{ mm}$$

3.8 PROSES Pengerjaan Spesimen (*Hand Lay Up*)

Prosedur pelaksanaan sebagai berikut :

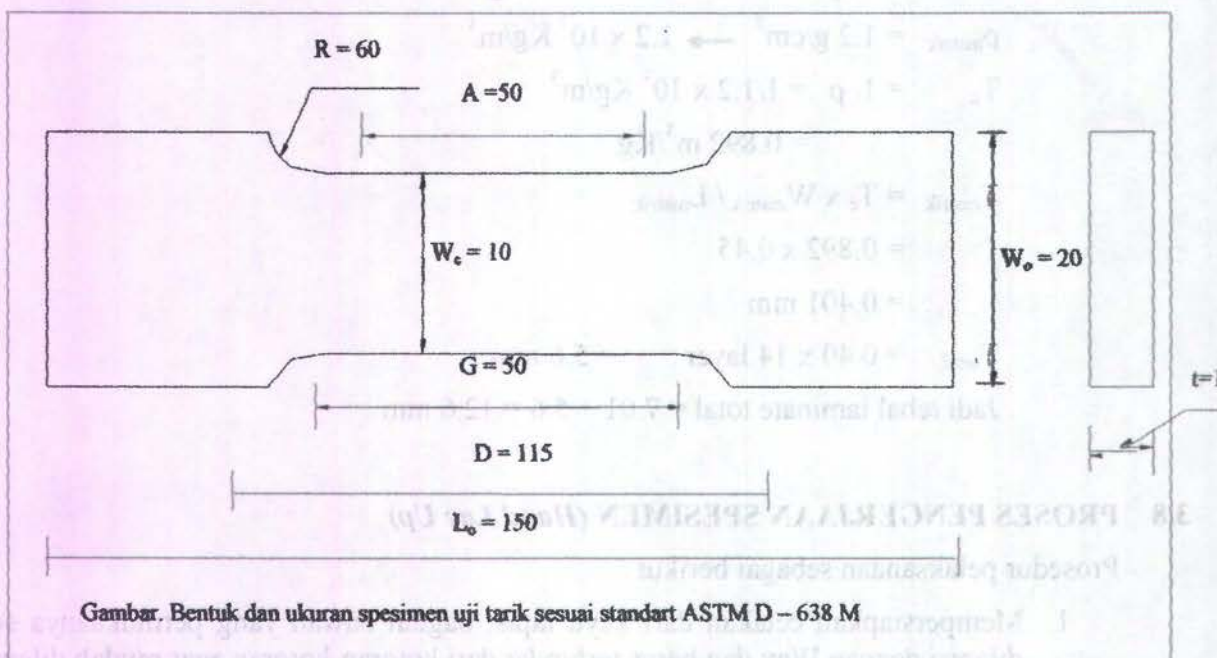
1. Mempersiapkan cetakan dari kayu lapis, bagian bawah yang permukaannya sudah dilapisi dengan Wax dan harus terhindar dari kotoran-kotoran agar mudah dilepas.
2. Mengukur volume resin sesuai dengan perbandingan volume serat penguat

3. Katalis dicampurkan sebanyak 1 % dari volume resin, diaduk merata agar katalis dan resin mencampur.
4. Menuangkan campuran resin dan katalis kedalam cetakan sebanyak 2/3 dari total campuran tiap lamina lalu diratakan dengan kuas.
5. Meletakkan lembar pertama serat diatas cairan resin, kemudian ditekan-tekan pakai kuas atau dirol untuk menghilangkan gelembung udara yang terperangkap.
6. Membuat campuran resin dan katalis seperti langkah-langkah sebelumnya untuk serat kedua.
7. Menuangkan campuran katalis dan resin diatas lamina pertama dan ratakan dengan kuas.
8. langkah selanjutnya dalam menyusun setiap lamina adalah sama, sesuai dengan komposisi serat yang dipakai. Setelah lamina yang terakhir dan dirol, letakkan penutup kayu lapis diatasnya agar kedua permukaan atas dan bawah menjadi rata.
9. Setelah spesiment kering (24 jam) kemudian dipotong, sesuai dengan ukuran spesiment uji.

3.9 PERENCANAAN DIMENSI SPESIMEN UJI

3.9.1 Pengujian Tarik (Tensile Test)

Sebuah proses pembuatan material komposit selesai maka material dipotong-potong untuk membentuk spesiment dibawah ini. Berdasarkan standart pengujian ASTM D 638M – 84, dimensi untuk pengujian tarik ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.5 Ukuran Spesimen Uji Tarik

Ukuran spesimen uji tarik dapat dilihat dalam spesimen dibawah ini :

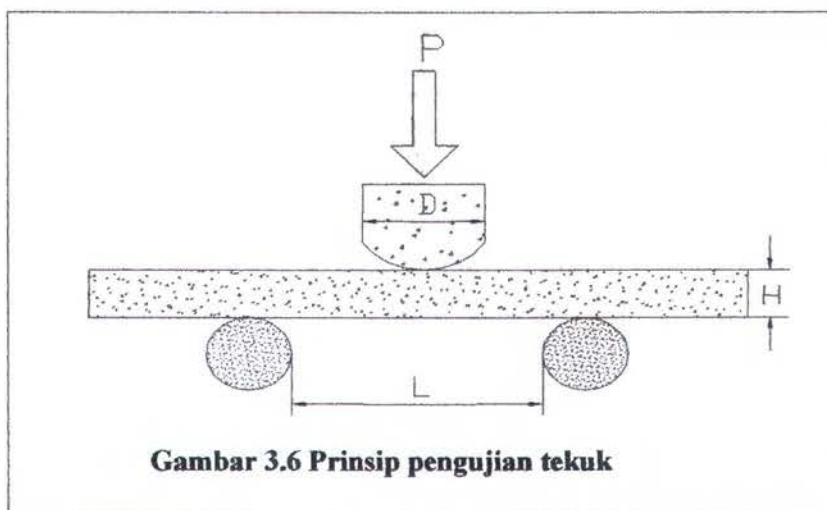
Tabel 3.1. Ukuran Spesimen Uji Tarik Sesuai ASTM D 638M – 84

Dimensions	10 or Under	4 or Under		Tolerances
	Type M-I	Type M-II	Type M- III	
W – Width of narrow section	10	6	2.5	± 0.5
L – Length of narrow section	60	33	10	± 0.5
WO – Width of overall	20	25	10	± 0.5
LO – Length overall	150	115	60	no max
G – Gage length	50	-	7.5	± 0.25
G – gage length	-	25	-	± 0.5
D – Distance between grips	115	80	25	± 5
R – Radius of fillet	60	14	15	± 1
RO – Outer radius (Type II)	-	25	-	± 1

3.9.2 Pengujian Tekuk (Bending Test)

Pengujian tekuk dapat dilakukan pada raw material maupun sambungan las. Pada raw material, pengujian tekuk digunakan untuk

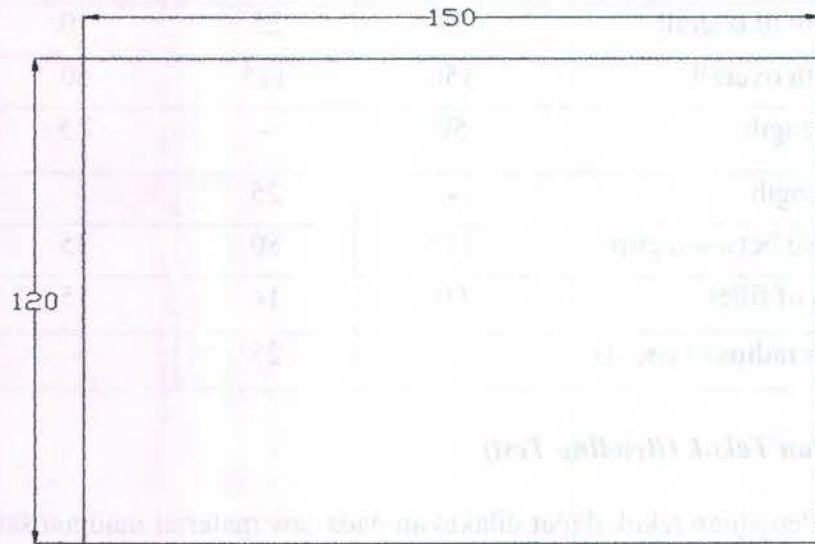
mengevaluasi kekuatan tekuk atau kekenyalan suatu material. Kekuatan tekuk merupakan sifat mekanis material yang penting terutama untuk perencanaan konstruksi maupun pengerjaan material tersebut namun tidak dapat dipakai sebagai metoda kuantitatif untuk memprediksi service performance dalam bending operation. Berdasarkan standart pengujian ASTM D D 638M – 84



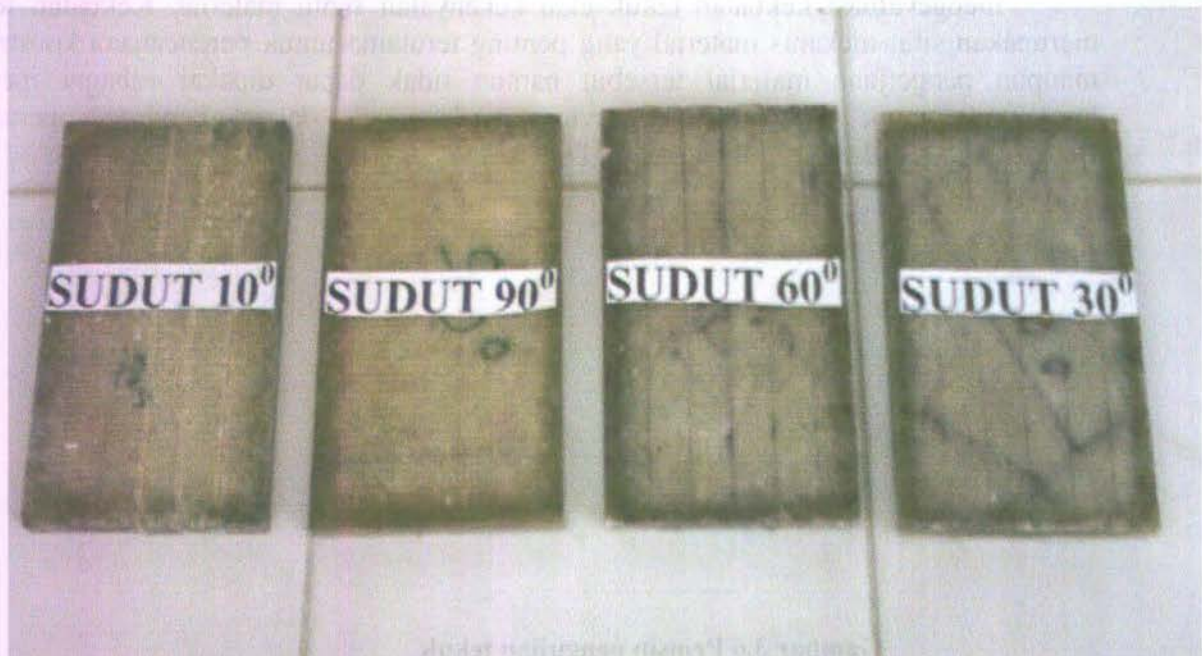
Dimana :

- P = beban
- D = diameter mandrel
- H = tebal specimen
- L = jarak tumpu

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



Gambar 3.7 Dimensi Material Uji



Gambar 3.8 Spesimen Uji

3.10 PROSEDUR PENGUJIAN SPESIMEN

Standard pengujian material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Standart Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, D 3039M – 93 dan Standart Test Method for Flexural Properties of Unreinforced Plastics and Electrical Insulating Materials (Metric), D 638M - 84, ASTM Standart and Literature References for Composite Materials, American Society For Testing and Materials, Philadelphia, PA 1994. dalam pengujian mengenai kekuatan tarik dan tekuk material nanti dilakukan variasi orientasi serat yaitu dengan sudut 10° , 30° , 60° , 90° .

Pengujian dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Adapun data mesin yang digunakan adalah :

Nama Alat : Universal Testing Machine

Merk / th : MFL / UPD. 20 – 1979

No Seri : 8877

Kapasitas Max : 200 kN

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



Gambar 3.9 Mesin Uji Yang Digunakan

Adapun prosedur pengujian yang harus dilakukan adalah :

- Mencatat dimensi dari spesimen uji, dalam hal ini untuk uji tarik kita catat panjang (pada daerah uji), lebar dan tebal spesiment sedangkan pada uji tekuk dimensi yang dicatat adalah panjang (support span), lebar dan tinggi spesiment. Dimensi dicatat dalam satu mm atau inchi.
- Mengatur kecepatan pengujian, dimana pengaturan kecepatan ini harus dapat menyebabkan spesimen uji patah atau retak dalam waktu 1 – 10 menit. Dalam pengujian ini kecepatan uji diatur dengan kecepatan 15 – 20 mm/menit.

3.10.1 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian tarik dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Periksa kondisi spesimen yang hendak diuji dengan mengacu pada standart.
2. Ukur dimensi specimen seteliti mungkin.
3. Atur skala pembebanan.
4. Pasang kertas grafik dan pena pada roll pencatat.
5. Pasang spesimen uji pada mesin, untuk uji tarik spesimen dipasangkan pada penjepit. Sedangkan pada uji tekuk, spesimen diletakkan pada penyangga dengan jarak sesuai pada support span yang dihitung sesuai dengan standart ASTM.
6. Atur pembebanan dengan laju yang konstan.
7. Perhatikan perubahan yang terjadi pada spesimen dan grafik selama pengujian berlangsung.
8. setelah patah, lepas specimen dari penjepit.
9. Gabungkan kedua bagian spesimen yang patah dan ukur gauge length. Jika specimen uji berbentuk segi empat, ukur lebar dan tebal terkecil pada bagian yang patah, sedangkan jika specimen uji berbentuk round bar, ukur diameter terkecilnya pada bagian yang patah.

3.10.2 Perhitungan Hasil Pengujian

Sesuai dengan rumus yang terdapat pada standart ASTM serta data yang diperoleh dari spesiment dan hasil percobaan kita dapat menghitung kekuatan tarik dan tekuk dari material. Semua kondisi selama percobaan yang berkaitan dengan specimen dan hasil uji hendaknya diberi catatan sebagai bahan analisa hasil uji.

3.10.3 Hasil Pengujian Tarik

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

- **Kekuatan tarik** $\sigma = \frac{W}{A_0} (N/mm^2)$
- **Elongation** $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} (mm/mm)$

Dimana :

- W – beban maksimal sampai spesimen patah (N)
- A_0 = luasan penampang melintang spesimen (mm^2)
- L = panjang awal specimen (mm)
- ΔL = pertambahan panjang (mm)

3.10.4 Hasil Pengujian Tekuk

Tujuan dari perhitungan hasil pengujian tekuk adalah :

- a) Mengetahui kekuatan tekuk laminate kulit yang kita uji.
- b) Mengetahui defleksi maksimal yang terjadi pada laminate.
- c) Mengetahui besar modulus tangensial atau modulus elastis laminate.

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

- **Kekuatan Tekuk** $S = \frac{3xWxL}{2xbxd^2}$

Dimana :

- S = kekuatan tekuk spesimen (N/mm^2)
- W = beban maksimal sampai dengan serat terluar spesimen patah (N)
- L = panjang support span (mm)

b = lebar spesimen uji (mm)

d = tebal spesimen uji (mm)

▪ **Modulus elastisitas**
$$E = \frac{L^3 xm}{4xbxd^3} (N/mm^2)$$

Dimana :

L = panjang support span (mm)

m = slope garis singgung pada titik tertinggi kurva load – deflection (N/mm)

b = lebar spesimen uji (mm)

d = tebal spesimen uji (mm)

▪ **Perhitungan Maximal Strain**
$$r = \frac{6xwx d}{L^2} (Mpa)$$

Dimana :

r = max strain (Mpa)

w = defleksi maksimum pada spesimen (mm)

d = tebal spesimen uji (mm)

L = panjang support span (mm)

BAB IV

ANALISA TEKNIS

4.1 UMUM

Dalam penulisan tugas akhir ini karena konstruksi FRP merupakan konstruksi single skin. Sehingga pada bab ini analisa teknis hanya dilakukan untuk konstruksi FRP. Dalam konstruksi FRP tersebut antara lain adalah kekuatan bahan, tebal laminate, serta berat laminate kulit. Untuk perhitungan tebal serta berat laminate kulit digunakan data-data kapal dari penelitian sebelumnya (Dwi Sunaryanto, Tugas akhir, 1995) :

- Length Over (Loa) = 12 meter
- Water line length (L) = 10.8 meter
- Breadth (B) = 3.5 meter
- Water line beam = 3 meter
- Height (H) = 1.55 meter
- Draft (T) = 0.6 meter
- Top speed (V) = 35 knots
- Displacement (Δ) = 8 ton
- Jarak jelajah = 150 miles
- Deadrise angle di LCG = 12°
- Deadrise angle di midship = 12°
- Running trim angle = 5°
- Klasifikasi yang digunakan = Det Norske Veritas

4.2 GAMBAR DIMENSI SPESIMEN HASIL PENGUJIAN



Gambar 4.1. Tensile Test



Gambar 4.2. Bending Test

4.3 HASIL PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN SPESIMEN

▪ *Tabel 4.1. Perhitungan Luasan Penampang Spesimen (A_0) Untuk Uji Tarik.*

No	Sudut Woven Roving (derajat)	Luasan Penampang (mm^2)		Hasil (mm^2)
1	10^0	Lebar	11.5	132.25
		Tebal	11.5	
2	10^0	Lebar	12.5	143.75
		Tebal	11.5	
3	10^0	Lebar	11.5	131.1
		Tebal	11.4	
4	10^0	Lebar	12.5	131.25
		Tebal	10.5	
5	10^0	Lebar	12.5	143.75
		Tebal	11.5	
6	30^0	Lebar	10.5	110.25
		Tebal	10.5	
7	30^0	Lebar	10.5	107.1
		Tebal	10.2	
8	30^0	Lebar	10.5	109.2
		Tebal	10.4	
9	30^0	Lebar	10.5	110.25
		Tebal	10.5	
10	30^0	Lebar	10.5	108.15
		Tebal	10.3	
11	60^0	Lebar	11.5	132.25
		Tebal	11.5	
12	60^0	Lebar	10.5	105
		Tebal	10	
13	60^0	Lebar	11.5	132.25
		Tebal	11.5	
14	60^0	Lebar	11.5	120.75
		Tebal	10.5	
15	60^0	Lebar	11.5	132.25
		Tebal	11.5	
16	90^0	Lebar	12	138
		Tebal	11.5	
17	90^0	Lebar	10.5	105
		Tebal	10	
18	90^0	Lebar	12.5	143.75
		Tebal	11.5	
19	90^0	Lebar	12	138
		Tebal	11.5	
20	90^0	Lebar	12	138
		Tebal	11.5	

▪ **Tabel 4.2. Perhitungan Pertambahan Panjang (ΔL) Uji Tarik (Tensile Test)**

No	Sudut Woven Roving (derajat)	Spesimen Selesai Uji Tarik	Spesimen Sebelum Uji Tarik	ΔL (mm)
1	10 ⁰	68	60	8
2	10 ⁰	69	60	9
3	10 ⁰	70	60	10
4	10 ⁰	69	60	9
5	10 ⁰	68	60	8
6	30 ⁰	65	60	5
7	30 ⁰	69	60	9
8	30 ⁰	68	60	8
9	30 ⁰	68	60	8
10	30 ⁰	69	60	9
11	60 ⁰	70	60	10
12	60 ⁰	70	60	10
13	60 ⁰	70	60	10
14	60 ⁰	70	60	10
15	60 ⁰	68	60	8
16	90 ⁰	69	60	9
17	90 ⁰	68	60	8
18	90 ⁰	68	60	8
19	90 ⁰	69	60	9
20	90 ⁰	67	60	7

▪ **Tabel 4.3. Perhitungan Regangan Maksimum Akibat Uji Bending (Max Strain)**

No	Sudut Woven Roving (derajat)	L (mm)	d (mm)	m (N/mm)	w (mm)	r (Mpa)
1	10 ⁰	60	12.5	10	25	0.520
2	10 ⁰	60	12.5	10	21	0.437
3	10 ⁰	60	12.5	10	23	0.479
4	10 ⁰	60	12.5	10	21.05	0.438
5	10 ⁰	60	12.5	10	23.01	0.479
6	30 ⁰	60	12.5	13	29	0.604
7	30 ⁰	60	12.5	13.08	24	0.5
8	30 ⁰	60	12.5	13	24.02	0.500
9	30 ⁰	60	12.5	13.06	26	0.541
10	30 ⁰	60	12.5	13.08	28.03	0.583
11	60 ⁰	60	12.5	9	33	0.687
12	60 ⁰	60	12.5	10.09	31	0.645
13	60 ⁰	60	12.5	9.02	31.06	0.647
14	60 ⁰	60	12.5	10.07	32	0.667
15	60 ⁰	60	12.5	9	32.08	0.668
16	90 ⁰	60	12.5	10.05	17.05	0.355
17	90 ⁰	60	12.5	11.01	30.2	0.629
18	90 ⁰	60	12.5	10.07	30	0.625
19	90 ⁰	60	12.5	11	28.5	0.593
20	90 ⁰	60	12.5	11.03	28.09	0.585

▪ Tabel 4.4. Perhitungan Kekuatan Tarik.

No	Sudut Woven Roving (derajat)	W (N)	σ (Mpa)
1	10 ⁰	21550	162.948
2	10 ⁰	21460	149.286
3	10 ⁰	21430	163.463
4	10 ⁰	20130	153.371
5	10 ⁰	20150	140.173
6	30 ⁰	12150	110.204
7	30 ⁰	11110	103.734
8	30 ⁰	12180	111.538
9	30 ⁰	10160	92.154
10	30 ⁰	11140	103.005
11	60 ⁰	11080	83.78
12	60 ⁰	11050	105.238
13	60 ⁰	11120	84.083
14	60 ⁰	10130	83.892
15	60 ⁰	10160	76.824
16	90 ⁰	23150	167.753
17	90 ⁰	23100	220
18	90 ⁰	23110	160.765
19	90 ⁰	22240	161.159
20	90 ⁰	22410	162.391

▪ **Tabel 4.5. Perhitungan Elongation Pada Uji Tarik (Tensile Test)**

No	Sudut Woven Roving (derajat)	L (mm)	ΔL (mm)	ϵ (mm/mm)
1	10 ⁰	60	8	0.133
2	10 ⁰	60	9	0.15
3	10 ⁰	60	10	0.167
4	10 ⁰	60	9	0.15
5	10 ⁰	60	8	0.133
6	30 ⁰	60	5	0.083
7	30 ⁰	60	9	0.15
8	30 ⁰	60	8	0.133
9	30 ⁰	60	8	0.133
10	30 ⁰	60	9	0.15
11	60 ⁰	60	10	0.167
12	60 ⁰	60	10	0.167
13	60 ⁰	60	10	0.167
14	60 ⁰	60	10	0.167
15	60 ⁰	60	8	0.133
16	90 ⁰	60	9	0.15
17	90 ⁰	60	8	0.133
18	90 ⁰	60	8	0.133
19	90 ⁰	60	9	0.15
20	90 ⁰	60	7	0.116

▪ **Tabel 4.6. Hasil Uji Tarik (Tensile Test)**

No	Sudut Woven Roving	W
	(Derajat)	kN
1	10 ⁰	21.55
2	10 ⁰	21.46
3	10 ⁰	21.43
4	10 ⁰	20.13
5	10 ⁰	20.15
6	30 ⁰	12.15
7	30 ⁰	11.11
8	30 ⁰	12.18
9	30 ⁰	10.16
10	30 ⁰	11.14
11	60 ⁰	11.08
12	60 ⁰	11.05
13	60 ⁰	11.12
14	60 ⁰	10.13
15	60 ⁰	10.16
16	90 ⁰	23.15
17	90 ⁰	23.10
18	90 ⁰	23.11
19	90 ⁰	22.24
20	90 ⁰	22.41

▪ **Tabel 4.7. Perhitungan Uji Tarik (Tensile Test)**

No	Sudut Woven Roving (Derajat)	Tebal (d) (mm)	ΔL (mm)	σ (N/mm ²)	ϵ (mm/mm)
1	10 ⁰	12.5	8	162.94	0.133
2	10 ⁰	12.5	9	149.28	0.15
3	10 ⁰	12.5	10	163.46	0.167
4	10 ⁰	12.5	9	153.37	0.15
5	10 ⁰	12.5	8	140.17	0.133
6	30 ⁰	12.5	5	110.20	0.083
7	30 ⁰	12.5	9	103.73	0.15
8	30 ⁰	12.5	8	111.53	0.133
9	30 ⁰	12.5	8	92.154	0.133
10	30 ⁰	12.5	9	103.00	0.15
11	60 ⁰	12.5	10	83.780	0.167
12	60 ⁰	12.5	10	105.23	0.167
13	60 ⁰	12.5	10	84.083	0.167
14	60 ⁰	12.5	10	83.892	0.167
15	60 ⁰	12.5	8	76.824	0.133
16	90 ⁰	12.5	9	167.75	0.15
17	90 ⁰	12.5	8	220	0.133
18	90 ⁰	12.5	8	160.76	0.133
19	90 ⁰	12.5	9	161.15	0.15
20	90 ⁰	12.5	7	162.39	0.117

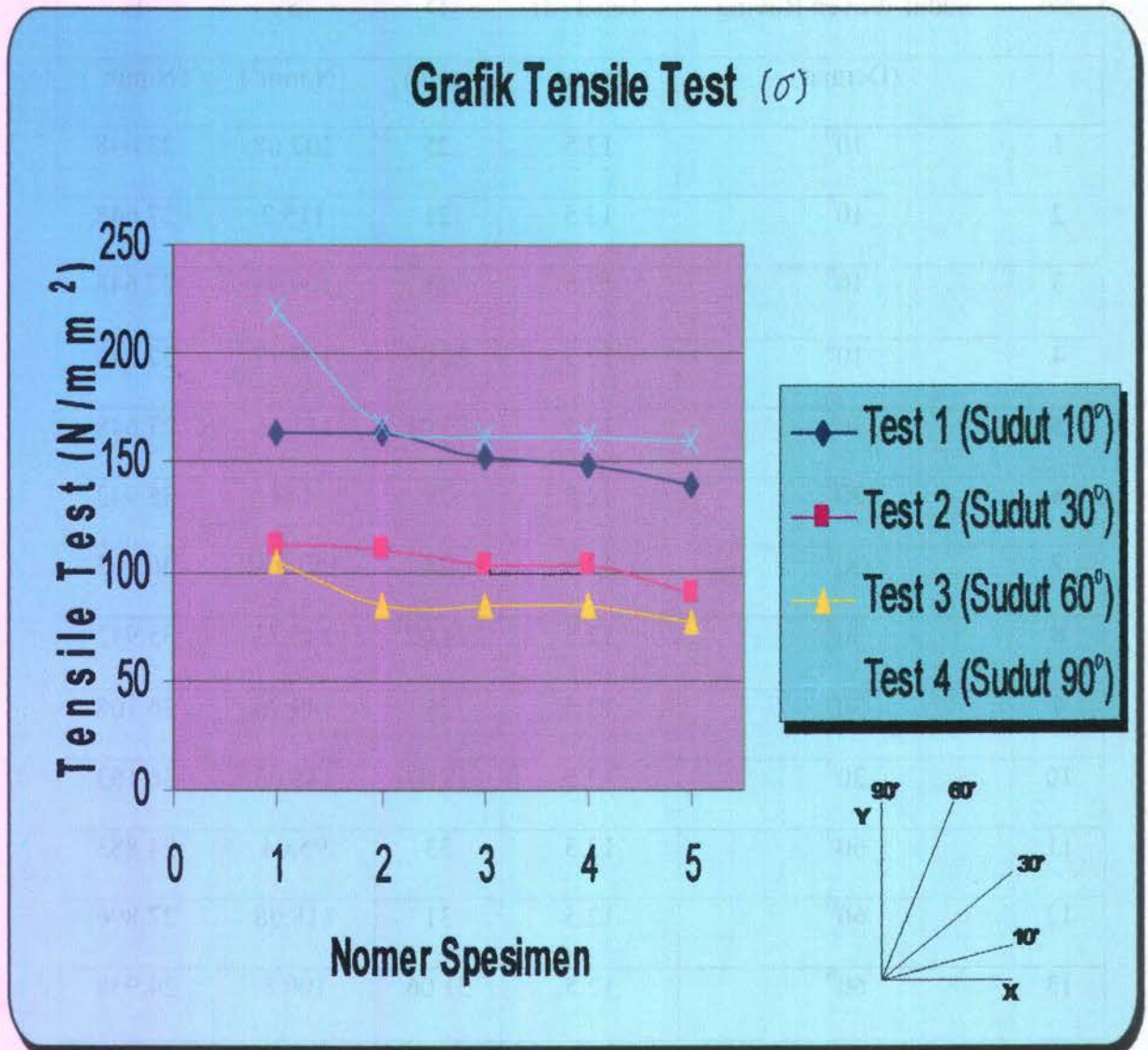
▪ **Tabel 4.8. Hasil Uji Tekuk (Bending Test)**

No	Sudut Woven Roving (Derajat)	W kN
1	10 ⁰	1.8
2	10 ⁰	2
3	10 ⁰	1.9
4	10 ⁰	1.86
5	10 ⁰	1.93
6	30 ⁰	2.5
7	30 ⁰	2.62
8	30 ⁰	2.53
9	30 ⁰	2.6
10	30 ⁰	2.57
11	60 ⁰	1.65
12	60 ⁰	2.05
13	60 ⁰	1.75
14	60 ⁰	2
15	60 ⁰	1.72
16	90 ⁰	2
17	90 ⁰	2.2
18	90 ⁰	1.95
19	90 ⁰	2.02
20	90 ⁰	1.98

▪ **Tabel 4.9. Perhitungan Uji Tekuk (Bending Test)**

No	Sudut Woven Roving (Derajat)	Tebal (d) (mm)	D (mm)	S (N/mm ²)	E (N/mm ²)
1	10 ⁰	12.5	25	103.68	27.648
2	10 ⁰	12.5	21	115.2	27.648
3	10 ⁰	12.5	23	109.44	27.648
4	10 ⁰	12.5	21.05	107.13	27.648
5	10 ⁰	12.5	23.01	111.16	27.648
6	30 ⁰	12.5	29	144	35.942
7	30 ⁰	12.5	24	150.912	36.163
8	30 ⁰	12.5	24.02	145.72	35.942
9	30 ⁰	12.5	26	149.76	36.108
10	30 ⁰	12.5	28.03	148.03	36.163
11	60 ⁰	12.5	33	95.04	24.883
12	60 ⁰	12.5	31	118.08	27.896
13	60 ⁰	12.5	31.06	100.8	24.938
14	60 ⁰	12.5	32	115.2	27.841
15	60 ⁰	12.5	32.08	99.072	24.883
16	90 ⁰	12.5	17.05	115.2	27.786
17	90 ⁰	12.5	30.2	126.72	30.440
18	90 ⁰	12.5	30	112.32	27.841
19	90 ⁰	12.5	28.5	116.35	30.412
20	90 ⁰	12.5	28.09	114.04	30.495

4.4 ANALISA KEKUATAN TARIK LAMINATE (σ)



Gambar 4.3. Grafik Kekuatan Tarik

Pada pengujian yang dilakukan didapatkan data besarnya beban maksimum (F) yang mampu diterima oleh material (KN). Dimensi spesimen uji diukur sebelum dilakukan pengujian untuk memperoleh data penampang melintang material uji. Dari data yang diperoleh besarnya kekuatan tarik dihitung berdasarkan rumus 3.9.3 hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan gambar 4.3.

Berdasarkan gambar 4.1 dapat dianalisa sebagai berikut :

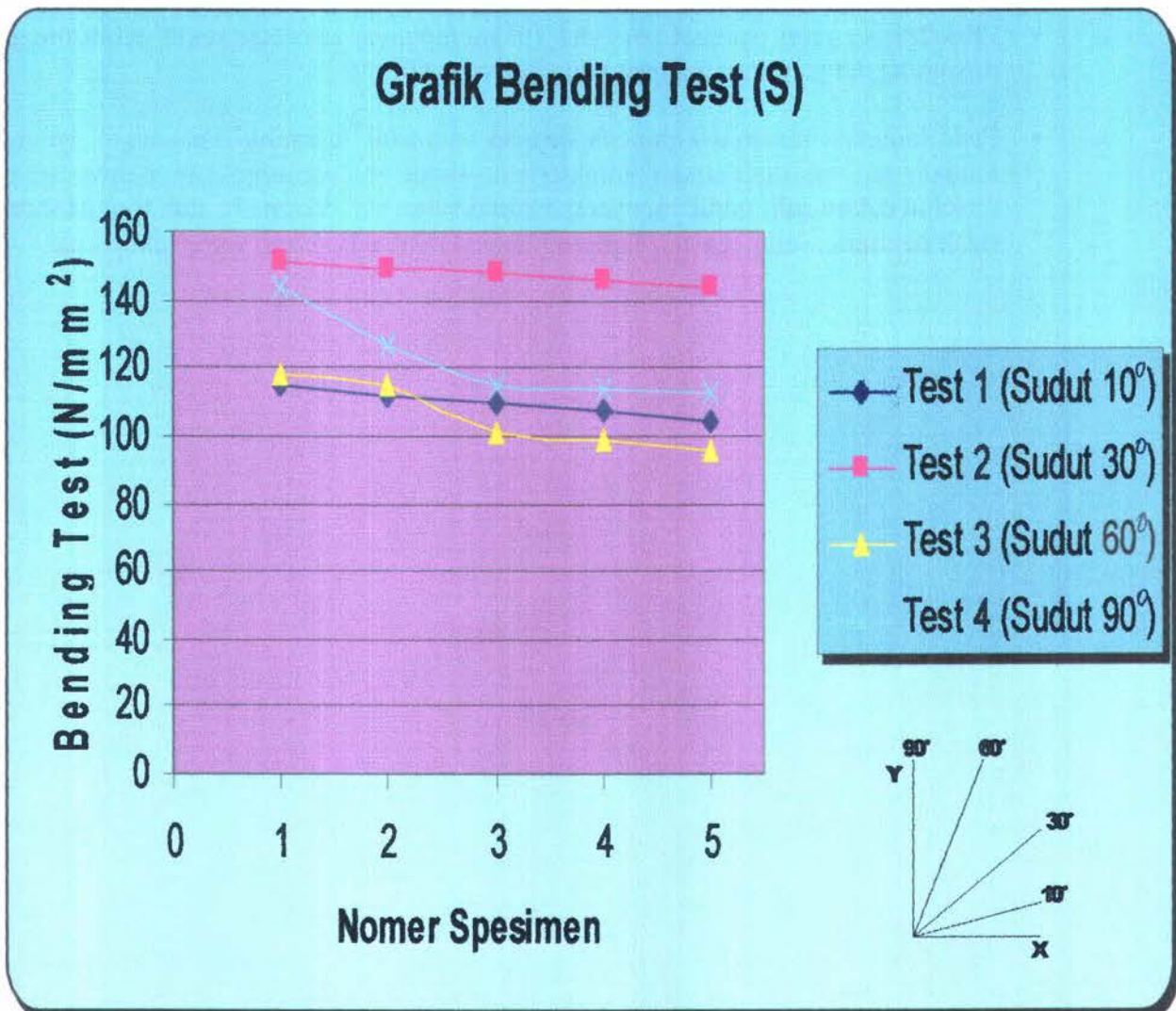
- Kuat tarik tertinggi terjadi pada spesimen 90° dengan serat penguat fiberglass (WR 800) dibandingkan dengan material dengan serat woven roving yang bersudut 10°, 30°, 60° hal ini menunjukkan bahwa kekuatan material komposit ditentukan oleh

kekuatan tarik serat penguatnya. Selain itu penyatuan serat penguat dengan resin juga mempengaruhi kekuatan tarik material komposit.

- FRP dengan serat penguat yang bersudut 10° mempunyai kekuatan tarik lebih tinggi dibanding dengan serat penguat bersudut 30° dan 60° .
- FRP dengan serat penguat yang bersudut 30° mempunyai kekuatan tarik lebih tinggi dibanding dengan serat penguat bersudut 60° .
- Jadi FRP dengan serat penguat bersudut 60° mempunyai kekuatan tarik yang paling rendah dibanding sudut lainnya (10° , 30° , dan 90°)
- Pada spesimen dengan sudut 60° yang mempunyai kekuatan tarik terendah, dari pengamatan menunjukkan bahwa serat tersebut cukup sulit untuk menyatu dengan baik karena bentuk rongga serat tidak beraturan sehingga akan menyebabkan ikatan antar lapisan tidak begitu baik maka laminat mudah patah/robek.



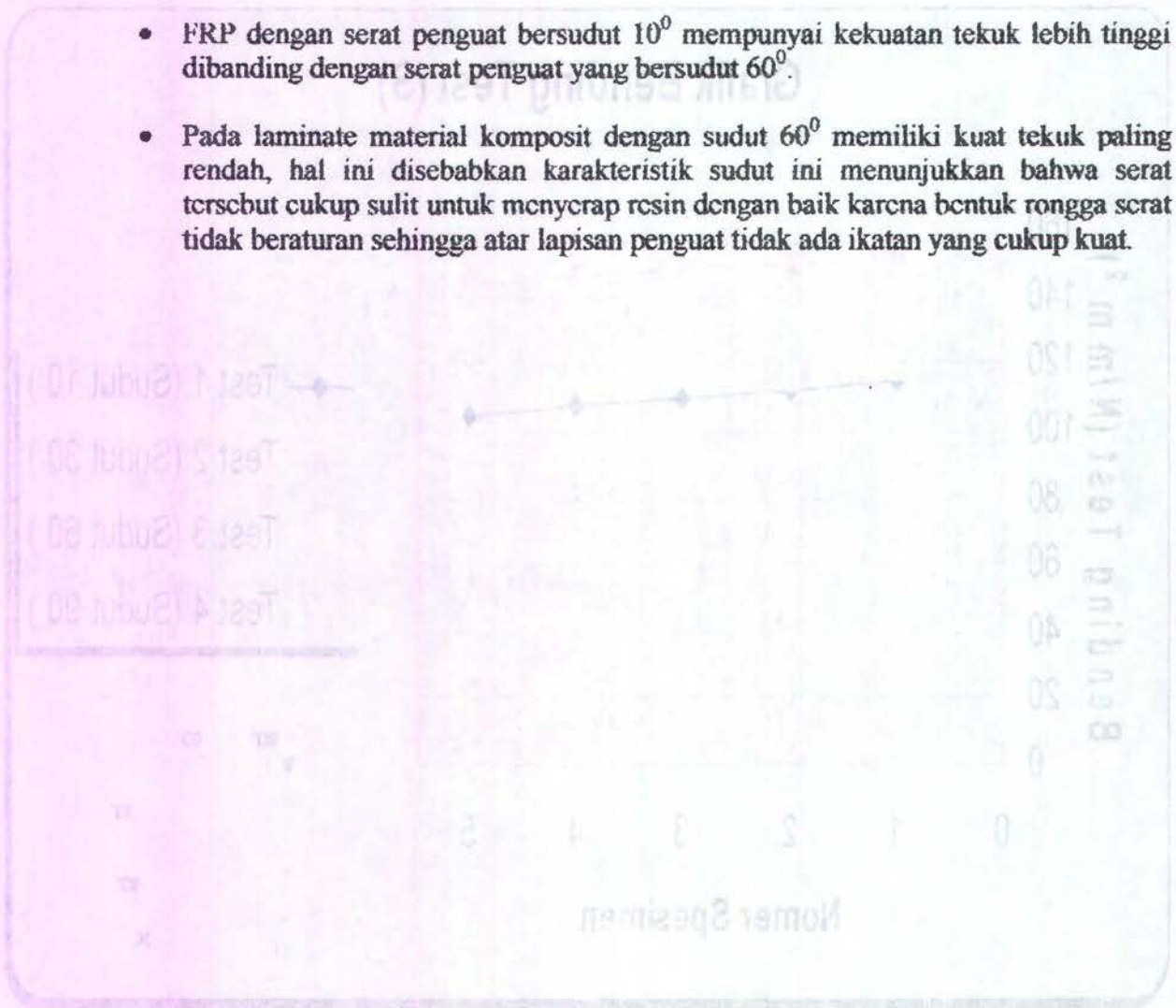
4.5 ANALISA KEKUATAN TEKUK LAMINATE (S)



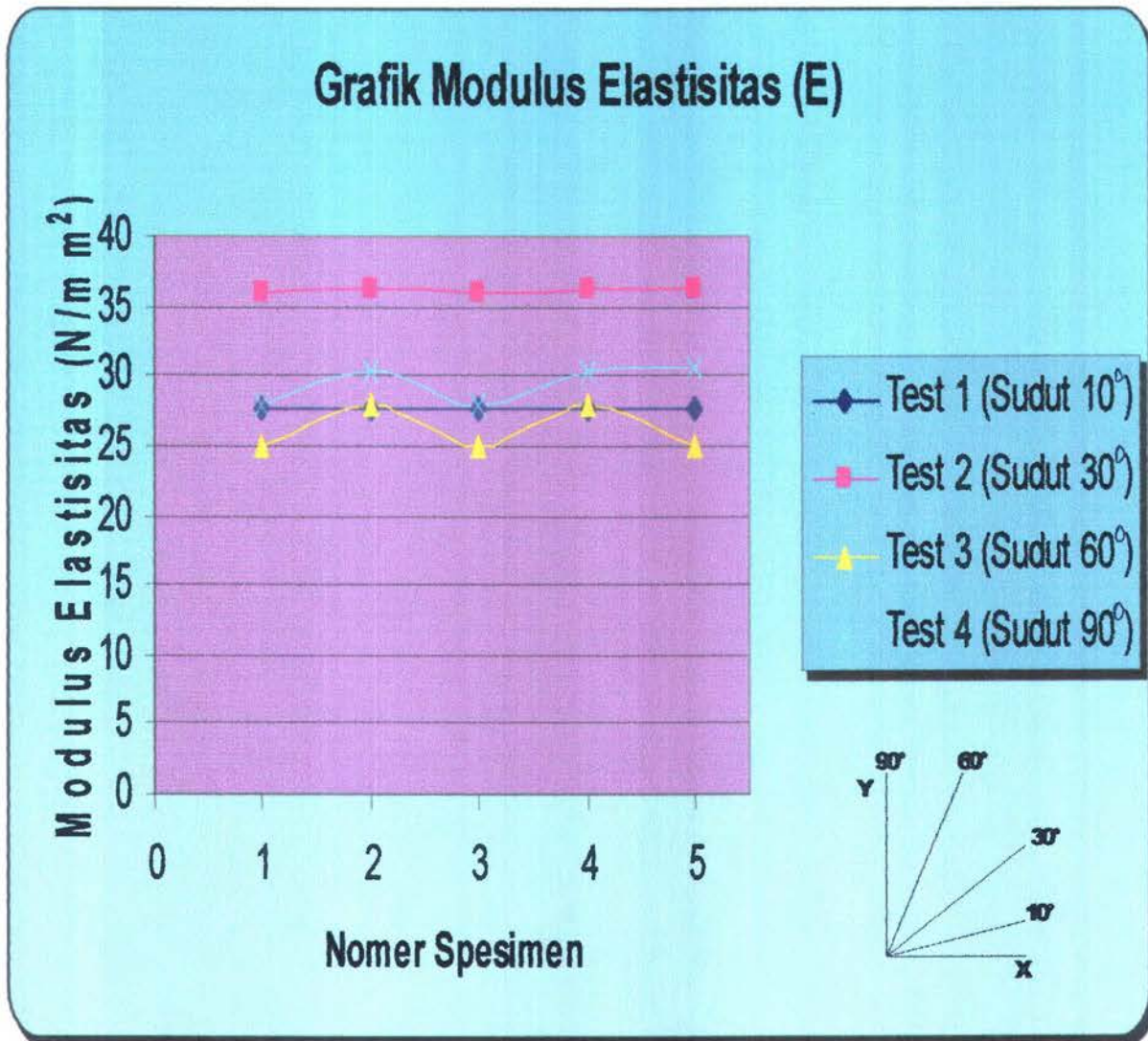
Gambar 4.4. Grafik Kekuatan Tekuk

Dari hasil pengujian tekuk didapatkan besarnya beban maksimum (W) yang mampu diterima oleh spesimen uji, sedangkan tebal, lebar dan support span tiap spesimen diukur dengan jangka sorong sebelum pengujian sesuai standart yang digunakan. Dari data-data tersebut kita dapat menentukan luas penampang melintang spesimen dan kemudian menghitung kekuatan tekuk tiap spesimen yang kita uji dengan menggunakan rumus 3.9.4 pada bab III. Hasil dari perhitungan kekuatan tekuk ditunjukkan seperti pada grafik diatas, dimana dari grafik diatas beberapa hal yang dapat kita analisa antara lain :

- Kuat tekuk laminate dengan serat penguat fiberglass spesimen dengan sudut 30° lebih tinggi dari pada laminate dengan serat penguat spesimen sudut 10° , 60° , dan 90° . Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tekuk laminate material komposit sangat ditentukan oleh kuat tekuk serat penguatnya serta homogenitas serat dan matriks seperti halnya pada hasil uji tarik.
- FRP dengan serat penguat bersudut 90° mempunyai kekuatan tekuk lebih tinggi dibanding dengan serat penguat yang bersudut 10° dan 60° .
- FRP dengan serat penguat bersudut 10° mempunyai kekuatan tekuk lebih tinggi dibanding dengan serat penguat yang bersudut 60° .
- Pada laminate material komposit dengan sudut 60° memiliki kuat tekuk paling rendah, hal ini disebabkan karakteristik sudut ini menunjukkan bahwa serat tersebut cukup sulit untuk menyeras dengan baik karena bentuk rongga serat tidak beraturan sehingga antar lapisan penguat tidak ada ikatan yang cukup kuat.



4.6 ANALISA MODULUS ELASTISITAS LAMINATE (E)



Gambar 4.5. Grafik Modulus Elastisitas Laminate

Dari hasil pengujian tekuk didapatkan kurva beban defleksi yang menunjukkan hubungan besarnya beban yang bekerja dan defleksi yang terjadi dari setiap laminate. Besarnya modulus elastisitas dihitung dengan rumus 3.9.4 dan hasilnya digambarkan dalam grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5. dari grafik tersebut terlihat bahwa modulus elastisitas spesimen yang bersudut 30° (material penguat woven roving 800 gr/m²) memiliki harga yang terbesar hal ini seperti yang tercantum dalam rumus, menunjukkan bahwa faktor yang sangat mempengaruhi besarnya modulus elastisitas adalah besarnya m (slope of the tangent to the initial straight-line portion of the load-deflection curve, N/mm of deflection-ASTM D 638M-84) atau dengan kata lain, besarnya modulus sangat dipengaruhi oleh besarnya kekuatan tekuk per defleksi yang terjadi.

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil analisa telah kita ketahui dapat dilakukan kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin tinggi fraksi volume serat maka :
 - a) Kekuatan tariknya akan semakin meningkat.
 - b) Kekuatan bendungnya juga akan semakin meningkat.
2. Dari hasil analisa yang dilakukan terlihat bahwa material serat penguat fiberglass dengan sudut 90^0 mempunyai kekuatan tarik lebih tinggi dibanding dengan serat penguat fiberglass lainnya. Hal ini disebabkan karena gaya yang bekerja tidak diterima pada kekuatan maksimal serat (sejajar dengan arah serat).
3. sedangkan yang mempunyai kekuatan tarik yang rendah, dari pengamatan menunjukkan bahwa antara serat woven roving dan resin tidak bisa menyatu dengan baik disebabkan karena rongga serat tidak beraturan, sehingga akan menyebabkan ikatan antar lapisan tidak begitu baik dan mudah sekali robek.
4. Dari hasil analisa yang dilakukan pada uji tekuk, dengan serat penguat fiberglass yang mempunyai kekuatan tekuk lebih tinggi yaitu bersudut 30^0 dikarenakan memiliki homogenitas yang lebih baik dibanding dengan serat yang mempunyai sudut lainnya.
5. Penggunaan serat penguat dengan sudut 60^0 perlu dipertimbangkan kembali mengingat dari hasil penelitian yang dilakukan mempunyai sifat fisik dan mekanik yang kurang memenuhi syarat untuk dipergunakan sebagai bahan membuat kapal.

5.2 SARAN

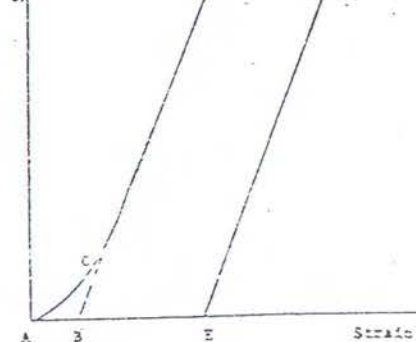
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pemanfaatan serat fiberglass dalam pembangunan kapal cukup potensial untuk dikembangkan, namun untuk mendapatkan kekuatan laminate FRP yang lebih tinggi perlu diperhatikan beberapa hal :

1. Serat FRP mempunyai kekuatan yang bervariasi maka perlu diadakan pemilihan untuk mendapatkan kekuatan serat yang relatif sama. Sementara dalam penelitian ini penggunaan serat dilakukan secara acak dengan variasi sudut 10° , 30° , 60° dan 90° . seperti pada penggunaan serat dengan sudut 10° , 30° , 60° dan 90° ini perlu diadakan pemilihan kualitas serat karena pada tiap-tiap serat ini menghasilkan mutu serat yang berbeda.
2. Konfigurasi anyaman juga perlu diperhatikan, karena bentuk anyaman mempengaruhi berat material penguat persatuan luas. Semakin berat berarti jumlah serat yang dikandung semakin besar.
3. Penyeratan diusahakan menghasilkan serat yang sekecil mungkin. Semakin kecil serat yang dibuat maka homogenitas serat dan matriks akan semakin baik sehingga kekuatan laminate yang dibuat semakin tinggi.
4. Penggunaan proses kimia untuk perlakuan awal pada serat juga perlu diperhatikan, untuk memperoleh permukaan serat yang bisa menyatu pada matriks dengan ikatan yang cukup kuat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jones, R.M., *Mechanics Of Composite Material*, Hemisphere Publising Co., New York, 1975.
2. Quin, J.A., *Design Data – Fiberglass Limited*, St. Helen, Merseyde England.
3. Dwi Sunaryanto, “*Studi Karakteristik Serat Rosela, Serat Pisang, Serat Enceng Gondok Sebagai Substitusi Konstruksi Pelat FRP Pada Pembangunan Kapal*”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2002.
4. “*Analisa Kekuatan Tarik dan Kelenturan Komposit Fiberglass Terhadap Perubahan Fraksi Volume Serat Penguat*”. Tugas Akhir, Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 1997.
5. Wiley Jack, “*The Fiberglass Repair and Construction Handbook*”, United Stated of America, 1982.
6. Gibson, R.F., *Principles Of Composite Material, Mechanics*, McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1984.
7. Tsai, S.W., dan Hahn, H.T., *Introduction to Composite Material*, Technomic Publising Co., Lancaster, P.A., 1980.
8. D 638M-84, “*Standart Test Method for Flexure Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Material*”, ASTM Standart and Literature Referance and Composite Material, American Society for Testing and Material, Philadelphia, P.A., 1990.
9. D 3039-94, “*Standart Test Method for Tensile Properties of Fiber-Resin Composite*”, ASTM Standart and Literature Reference for Composite Material, American Society for testing and Material, Philadelphia, P.A., 1990.
10. Wiley, Jack “*The Fiberglass Repair and Contruction Handbook*”, United Stated of America, 1982.
11. Lukman, Aris., “*Analisa Perbandingan Teknis dan Ekonomis Konstruksi dari Bambu Fiber Reinforced Plastic (BRP) dengan Konstruksi Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) pada pembangunan kapal cepat*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2001.

Stress



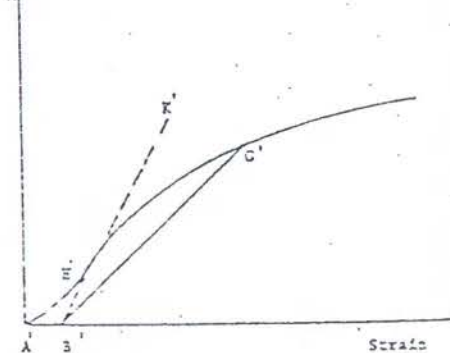
NOTE—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.

FIG. X1.1 Material with Hookean Region

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

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

Stress



NOTE—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.

FIG. X1.2 Material with No Hookean Region

Standard Test Method for TENSILE PROPERTIES OF PLASTICS (METRIC)¹

This standard is issued under the fixed designation D 638M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the tensile properties of plastics in the form of standard dumbbell-shaped test specimens when tested under defined conditions of pretreatment, temperature, humidity, and testing machine speed.

1.2 This test method can be used for testing materials of any thickness up to 10 mm. However, for testing specimens in the form of thin sheeting, including film less than 1.0 mm, Test Methods D 882 is the preferred test method. Materials with a thickness greater than 10 mm must be reduced by machining.

NOTE 1—This test method is the metric counterpart of Test Method D 638.

NOTE 2—This test method may be used for testing phenolic resin molded or laminated materials. However, where these materials are used as electrical insulation, such materials should be tested in accordance with ASTM Method D 229, Testing Rigid Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation,^{2,3} and ASTM Method D 651, Test for Tensile Strength of Molded Electrical Insulating Materials.³

NOTE 3—This test method is not intended to cover precise physical procedures. It is recognized that the constant-rate-of-crosshead-movement type of test leaves much to be desired from a theoretical standpoint, that wide differences may exist between rate of crosshead movement and rate of strain between gage marks on the specimen, and that the testing speeds specified disguise important effects characteristic of materials in the plastic state. Further, it is realized that variations in the thicknesses of test specimens, which are permitted by these procedures, produce variations in the surface-volume ratios of such specimens, and that these variations may influence the test results. Hence, where directly comparable results are desired, all samples should be of equal thickness. Special additional tests should be used where more precise physical data are needed.

1.3 This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of whoever uses this standard to consult and

establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Applicable Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 618 Methods of Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing²
- D 638 Test Method for Tensile Properties of Plastics²
- D 882 Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheetings²
- D 883 Definitions of Terms Relating to Plastics²
- D 4066 Specification for Nylon Injection and Extrusion Materials (PA)⁴
- E 4 Methods of Load Verification of Testing Machines^{4,5}
- E 33 Method of Verification and Classification of Extensometers⁵

3. Significance and Use

3.1 This test method is designed to produce tensile property data for the control and specification of plastic materials. These data are also useful for qualitative characterization purposes and for research and development.

3.2 Tensile properties may vary with specimen preparation and with speed and environment of testing. Consequently, where precise comparative results are desired, these factors must be carefully controlled.

3.2.1 It is realized that a material cannot be

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved July 27, 1984. Published September 1984. Originally published as D 638M-81. Last previous edition D 638M-81.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.03.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

tion of that material. Hence, when comparative

care must be exercised to ensure that all samples are prepared in exactly the same way, unless the test is to include the effects of sample preparation. Similarly, for referee or comparisons within any given series of specimens, care must be taken to secure the maximum degree of uniformity in details of preparation, treatment, and handling.

3.3 Tensile properties may provide useful data for plastics engineering design purposes. However, because of the high degree of sensitivity exhibited by many plastics to rate of straining and environmental conditions, data obtained by this test method cannot be considered valid for applications involving load-time scales or environments widely different from those of this test method. In cases of such dissimilarity, no reliable estimation of the limit of usefulness can be made for most plastics. This sensitivity to rate of straining and environment necessitates testing over a broad load-time scale (including impact and creep) and range of environmental conditions if tensile properties are to suffice for engineering design purposes.

NOTE 4—Since the existence of a true elastic limit in plastics (as in many other organic materials and in many metals) is debatable, the propriety of applying the term "elastic modulus" in its quoted generally accepted definition to describing the "stiffness" or "rigidity" of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are highly dependent on such factors as rate of application of stress, temperature, previous history of specimen, etc. However, stress-strain curves for plastics, determined as described in this test method, almost always show a linear region at low stresses, and a straight line drawn tangent to this portion of the curve permits calculation of an elastic modulus of the usually defined type. Such a constant is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and similar factors are realized.

4. Definitions

4.1 Definitions of terms applying to this test method appear in Definitions D 883 and Annex A1.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—A testing machine of the constant-rate-of-crosshead movement type and comprising essentially the following:

5.1.1 *Fixed Member*—A fixed, essentially stationary member carrying one grip.

5.1.2 *Movable Member*—A movable mem-

5.1.3 *Grips*—Grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member. The grips shall be self-aligning, that is, they shall be attached to the fixed and movable member, respectively, in such a manner that they will move freely into alignment as soon as any load is applied, so that the long axis of the test specimen will coincide with the direction of the applied pull through the center line of the grip assembly. The specimens should be aligned as perfectly as possible with the direction of pull so that no rotary motion that may induce slippage will occur in the grips; there is a limit to the amount of misalignment self-aligning grips will accommodate.

5.1.3.1 The test specimen shall be held in such a way that slippage relative to the grips is prevented insofar as possible. Grip surfaces that are deeply scored or serrated with a pattern similar to those of a coarse single-cut file, serrations about 2.5 mm apart and about 1.5 mm deep, have been found satisfactory for most thermoplastics. Finer serrations have been found to be more satisfactory for harder plastics such as the thermosetting materials. The serrations should be kept clean and sharp. Breaking in the grips may occur at times, even when deep serrations or abraded specimen surfaces are used; other techniques must be used in these cases. Other techniques that have been found useful, particularly with smooth-faced grips, are abrading that portion of the surface of the specimen that will be in the grips, and interposing thin pieces of abrasive cloth, abrasive paper, or plastic or rubber-coated fabric, commonly called hospital sheeting, between the specimen and the grip surface. Number 80 double-sided abrasive paper has been found effective in many cases. An open-mesh fabric, in which the threads are coated with abrasive, has also been effective. Reducing the cross-sectional area of the specimen may also be effective. The use of special types of grips is sometimes necessary to eliminate slippage and breakage in the grips.

5.1.4 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting to the movable member a uniform, controlled velocity with respect to the stationary member, this velocity to be regulated as specified in Section 9.

5.1.5 *Load Indicator*—A suitable load-indicating mechanism capable of showing the total

tensile load applied by the test specimen when held by the grips. This mechanism shall be essentially free from inertia-lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy of $\pm 1\%$ of the indicated value, or better. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Methods E 4.

NOTE 5—Experience has shown that many testing machines now in use are incapable of maintaining accuracy for as long as the periods between inspection recommended in Methods E 4. Hence, it is recommended that each machine be studied individually and verified as often as may be found necessary. It will frequently be necessary to perform this function daily.

5.1.6 The fixed member, movable member, drive mechanism, and grips shall be constructed of such materials and in such proportions that the total elastic longitudinal strain of the system constituted by these parts does not exceed 1% of the total longitudinal strain between the two gage marks on the test specimen at any time during the test and at any load up to the rated capacity of the machine.

5.2 *Extension Indicator*—A suitable instrument for determining the distance between two designated points located within the gage length of the test specimen as the specimen is stretched. It is desirable, but not essential, that this instrument automatically record this distance (or any change in it) as a function of the load on the test specimen, or of the elapsed time from the start of the test, or both. If only the latter is obtained, load-time data must also be taken. This instrument shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing and shall be accurate to $\pm 1\%$ of strain or better.

NOTE 6—Refer to Method E 83.

5.3 *Micrometers*—Suitable micrometers, reading to at least 0.02 mm for measuring the width and thickness of the test specimens. The thickness of nonrigid plastics should be measured with a dial micrometer that exerts a pressure of 25 ± 5 kPa on the specimen and measures the thickness to within 0.02 mm. The anvil of the micrometer shall be at least 30 mm in diameter and parallel to the face of the contact foot.

6. Test Specimens

6.1 *Sheet, Plate, and Molded Plastics*

6.1.1 *Rigid and Semirigid Plastics*—The test specimens shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type M-I specimen is the

preferred specimen and shall be used where sufficient material having a thickness of 10 mm or less is available. The Type M-III specimen shall be used where only limited material having a thickness of 4 mm or less is available for evaluation, or where a large number of specimens are to be exposed in a limited space (thermal and environmental stability tests, etc.). The Type M-II specimen should be used when direct comparisons are required between materials in different rigidity cases (that is, nonrigid and semirigid).

6.1.2 *Nonrigid Plastics*—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type M-II specimen shall be used for testing nonrigid plastics with a thickness of 4 mm or less. The Type M-I specimen must be used for all materials with a thickness greater than 4 mm but not more than 10 mm.

6.1.3 *Preparation*—Test specimens shall be prepared by machining operations, or die cutting, from materials in sheet, plate, slab, or similar form. Materials thicker than 10 mm must be machined to 10 mm for use as Type M-I specimens. Specimens can also be prepared by molding the material to be tested.

NOTE 7—Specimens prepared by injection molding may have different tensile properties than specimens prepared by machining or die-cutting because of the orientation induced. This effect may be more pronounced in specimens with narrow sections.

6.2 All surfaces of the specimen shall be free of visible flaws, scratches, or imperfections. Marks left by coarse machining operations shall be carefully removed with a fine file or abrasive and the filed surfaces shall then be smoothed with abrasive paper (No. 00 or finer). The finishing sanding strokes shall be made in a direction parallel to the long axis of the test specimen. All flash shall be removed from a molded specimen, taking great care not to disturb the molded surfaces. In machining a specimen, undercuts that would exceed the dimensional tolerances shown in Fig. 1 shall be scrupulously avoided. Care shall also be taken to avoid other common machining errors.

6.3 If it is necessary to place gage marks on the specimen, this shall be done with a wax crayon or India ink that will not affect the material being tested. Gage marks shall not be scratched, punched, or impressed on the specimen.

6.4 When testing materials that may be suspected of anisotropy, duplicate sets of test spec-

respectively parallel with, and normal to, the

7. Conditioning

7.1 *Conditioning*—Condition the test specimens at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ and $50 \pm 5\%$ relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Methods D 618, for those tests where conditioning is required. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ and $\pm 2\%$ relative humidity.

7.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as nylons, the material specifications (for example, Specification D 4066) call for testing "dry as-molded specimens". Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

7.2 *Test Conditions*—Conduct tests in the Standard Laboratory Atmosphere of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ and $50 \pm 5\%$ relative humidity, unless otherwise specified in the test methods. In cases of disagreements, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ and $\pm 2\%$ relative humidity.

NOTE 8—The tensile properties of some plastics change rapidly with small changes in temperature. Since heat may be generated as a result of straining the specimen at high rates, conduct tests without forced cooling to ensure uniformity of test conditions. Measure the temperature in the reduced section of the specimen and record it for materials where self-heating is suspected.

8. Number of Test Specimens

8.1 Test at least five specimens for each sample in the case of isotropic materials.

8.2 Test ten specimens, five normal to, and five parallel with the principle axis of anisotropy, for each sample in case of anisotropic materials.

8.3 Discard specimens that break at some obvious fortuitous flaw, or that do not break between the predetermined gage marks, and make retests, unless such flaws constitute a variable to be studied.

NOTE 9—Before testing, all transparent specimens should be inspected in a polariscope. Those which show atypical or concentrated strain patterns should be rejected, unless the effects of these residual strains constitute a variable to be studied.

9. Speed of Testing

9.1 Speed of testing shall be the relative rate of motion of the grips or test fixtures during the

when the testing machine is running idle may be used. It can be shown that the resulting speed of testing is within the limits of variation allowed.

9.2 Choose the speed of testing from Table 1. Determine this chosen speed of testing by the specification for the material being tested, or by agreement between those concerned. When the speed is not specified, use the lowest speed shown in Table 1 for the specimen geometry being used, which gives rupture within $\frac{1}{2}$ to 5 min testing time.

9.3 Modulus determinations may be made at the speed selected for the other tensile properties or as required by the specification.

10. Procedure

10.1 Measure the width and thickness of rigid flat specimens (Fig. 1) with a suitable micrometer to the nearest 0.02 mm at several points along their narrow sections. Measure the thickness of nonrigid specimens (produced by a Type M-II die) in the same manner with the required dial micrometer. Take the width of this specimen as the distance between the cutting edges of the die in the narrow section. Record the minimum values of cross-sectional area so determined.

10.2 Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the specimen and the grips with an imaginary line joining the points of attachment of the grips to the machine. The distance between the ends of the gripping surfaces, when using flat specimens, shall be as indicated in Fig. 1. Tighten the grips evenly and firmly to the degree necessary to prevent slippage of the specimen during the test but not to the point where the specimen would be crushed.

10.3 Attach the extension indicator.

10.4 Set the speed of testing at the proper rate as required in Section 9, and start the machine.

10.5 Record load-extension curve of the specimen.

10.6 Record the load and extension at the yield point (if one exists) and the load and extension at the moment of rupture.

NOTE 10—If it is desired to measure both modulus and failure properties (yield or break, or both), it may be necessary, in the case of highly extensible materials to run two independent tests. The high-magnification extensometer, normally used to determine properties up to the yield point, may not be suitable for tests involving high extensibility. If allowed to remain attached to the specimen, the extensometer could be

permanently damaged. A broad-range incremental extensometer or hand rule technique may be needed when such materials are taken to rupture.

11. Calculations

11.1 *Tensile Strength*—Calculate the tensile strength by dividing the maximum load in newtons by the original minimum cross-sectional area of the specimen in square metres. Express the result in pascals and report it to three significant figures as "Tensile Strength at Yield" or "Tensile Strength at Break," whichever term is applicable. When a nominal yield or break load less than the maximum is present and applicable, it may be desirable also to calculate, in a similar manner, the corresponding "Tensile Stress at Yield" or "Tensile Stress at Break" and report it to three significant figures (Annex Note A1.1).

11.2 *Percent Elongation*—If the specimen gives a yield load that is larger than the load at break, calculate "Percent Elongation at Yield." Otherwise, calculate "Percent Elongation at Break." Do this by reading the extension (change in gage length) at the moment the applicable load is reached. Divide that extension by the original gage length and multiply by 100. Report "Percent Elongation at Yield" or "Percent Elongation at Break" to two significant figures. When a yield or breaking load less than the maximum is present and of interest, it is desirable to calculate and report both "Percent Elongation at Yield" and "Percent Elongation at Break" (Annex Note A1.2).

11.3 *Modulus of Elasticity*—Calculate the modulus of elasticity by extending the initial linear portion of the load-extension curve and dividing the difference in stress corresponding to any segment of section on this straight line by the corresponding difference in strain. Compute all elastic modulus values using the average initial cross-sectional area of the test specimens in the calculations. Express the result in pascals and report to three significant figures.

11.4 For each series of tests, calculate the arithmetic mean of all values obtained and

report it as the "average value" for the particular property in question.

11.5 Calculate the standard deviation (estimated) as follows and report it to two significant figures:

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

where:

s = estimated standard deviation,

X = value of single observation,

n = number of observations, and

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

12. Report

12.1 The report shall include the following:

12.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, principal dimensions, previous history, etc.,

12.1.2 Method of preparing test specimens,

12.1.3 Type of test specimen and dimensions,

12.1.4 Conditioning procedure used,

12.1.5 Atmospheric conditions in test room,

12.1.6 Number of specimens tested,

12.1.7 Speed of testing,

12.1.8 Tensile strength at yield or break, average value, and standard deviation,

12.1.9 Tensile stress at yield or break, if applicable, average value, and standard deviation,

12.1.10 Percent elongation at yield or break (or both as applicable), average value, and standard deviation,

12.1.11 Modulus of elasticity, average value, and standard deviation, and

12.1.12 Date of test.

13. Precision and Bias⁶

13.1 A task group has been formed to develop the precision and bias statement for this test method.

⁶ A report on a limited comparison between Methods D 638 and D 638M are available on loan from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1088.

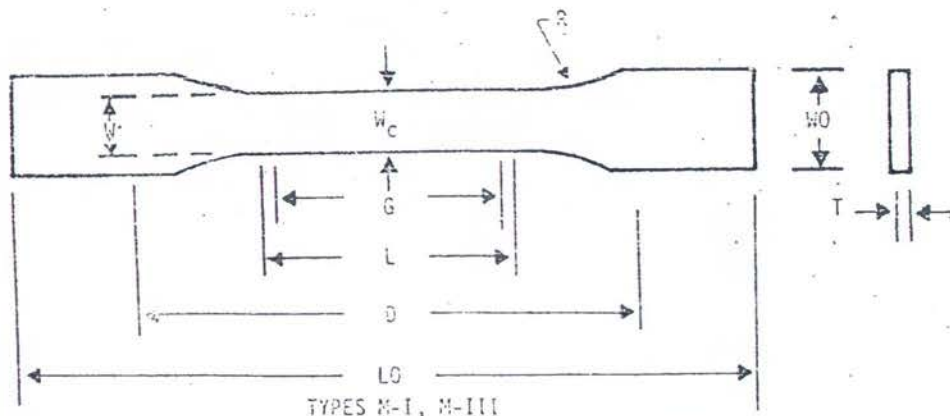
TABLE I Designation for Speed of Testing

Classification ^a	Specimen Type	Speed of Testing, mm./min.	Strain Rate at Start of Test, mm./mm.-min.
Rigid and semirigid	M-I	5 ± 25%	0.1
		50 ± 10%	1
		500 ± 10%	10
	M-II	5 ± 25%	0.15
		50 ± 10%	1.5
		500 ± 10%	15
M-III	1 ± 25%	0.1	
	10 ± 25%	1	
	100 ± 25%	10	
Nonrigid	M-II	50 ± 10%	1.5
		500 ± 10%	15

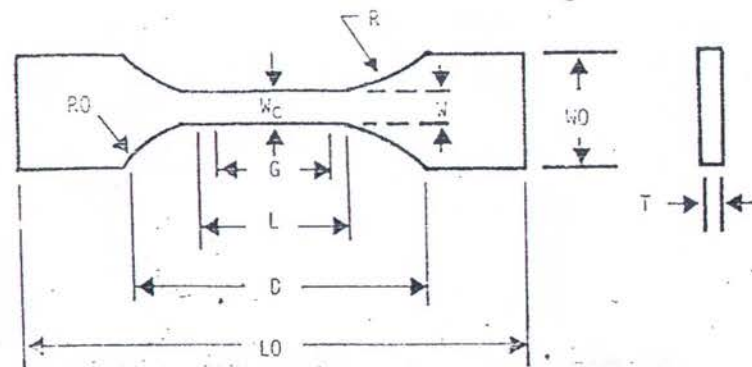
^a Select the lowest speed that produces rupture in ½ to 5 min for the specimen geometry being used (see 9.2).

^b See Definitions D 383 for definitions.

^c The initial rate of straining cannot be calculated exactly for dumbbell-shaped specimens because of extension, both in the reduced section outside the gage length and in the grips. This initial strain rate can be measured from the initial slope of the tensile strain-versus-time diagram.



TYPES M-I, M-III



TYPE M-II

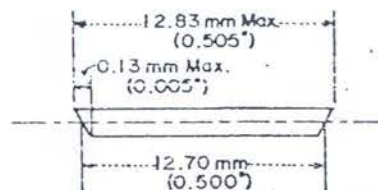
FIG. 1 Tension Test Specimens

Specimen Dimensions for Thickness, T, mm^b

Dimensions (see drawings)	10 or Under		4 or Under		Tolerances
	Type M-I	Type M-II	Type M-III		
W _c —Width of narrow section ^{a,b}	10	6	2.5		±0.5 ^m
L—Length of narrow section	60	33	10		±0.5
W ₀ —Width of overall, min ^f	20	25	10		±0.5
LO—Length overall, min ^g	150	115	60		no max
G—Gage length ^c	50	—	7.5		±0.25
G—Gage length ^c	—	25	—		±0.5
D—Distance between grips	115	50	25		±5
R—Radius of fillet	60	14	15		±1
RO—Outer radius (Type II)	—	25	—		±1

^a The width at the center W_c shall be plus 0.00 mm, minus 0.10 mm compared with width W at other parts of the reduced section. Any reduction in W at the center shall be gradual, equally on each side so that no abrupt changes in dimension result.

^b For molded specimens, a draft of not over 0.15 mm may be allowed for Type M-I, 3 mm in thickness, and this should be taken into account when calculating width of the specimen. Thus a typical section of a molded Type M-I specimen, having the maximum allowable draft, could be as follows:



^c Test marks or initial extensometer span.

^d Thickness, T, shall be 3 ± 0.4 mm for all types of molded specimens where possible. If specimens are machined from sheets or plates, thickness, T, may be the thickness of the sheet or plate provided this does not exceed the range stated for the intended specimen type. For sheets of nominal thickness greater than 10 mm, the specimens shall be machined to 10 ± 0.4 mm in thickness, for use with the Type M-I specimen. For sheets of nominal thickness between 10 and 50 mm approximately equal amounts shall be machined from each surface. For thicker sheets both surfaces of the specimen shall be machined and the location of the specimen with reference to the original thickness of the sheet, shall be noted. Tolerances on thickness less than 10 mm shall be those standard for the grade of material tested.

^e A Type M-I specimen, having an overall width of 20 mm and an overall length of 215 mm is the preferred specimen and shall be used whenever possible.

^f Overall width greater than the minimum indicated may be desirable for some materials in order to avoid breaking in the grips.

^g Overall lengths greater than the minimum indicated may be desirable either to avoid breaking in the grips or to satisfy special test requirements.

^h The Type M-II specimen is intended for nonrigid plastics but may be used for rigid types where desirable.

FIG. 1—Continued.

ANNEX

(Mandatory Information)

A1. DEFINITIONS OF TERMS AND SYMBOLS RELATING TO TENSION TESTING OF PLASTICS

A1.1 *tensile stress (nominal)*—the tensile load per unit area of minimum original cross section, within the gage boundaries, carried by the test specimen at any given moment. It is expressed in force per unit area, usually megapascals.

NOTE A1.1—The expression of tensile properties in terms of the minimum original cross-section is almost universally used in practice. In the case of materials exhibiting high extensibility, or "necking,"

or both (A1.11) nominal stress calculations may not be meaningful beyond the yield point (A1.10) due to the extensive reduction in cross-sectional area that ensues. Under some circumstances it may be desirable to express the tensile properties per unit of minimum prevailing cross section. These properties are called "true" tensile properties (that is, true tensile stress, etc.).

A1.2 *tensile strength (nominal)*—the maximum

during a tension test. When the maximum stress occurs at a yield point (A1.10), it shall be designated "Tensile Strength at Yield." When the maximum stress occurs at break, it shall be designated "Tensile Strength at Break."

A1.3 *gage length*—the original length of that portion of the specimen over which strain or change in length is determined.

A1.4 *elongation*—the increase in length produced in the gage length of the test specimen by a tensile load. It is expressed in units of length, usually millimetres. (Also known as *extension*.)

NOTE A1.2—Elongation and strain values are valid only in cases where uniformity of specimen behavior within the gage length is present. In the case of materials exhibiting "necking phenomena," such values are only of qualitative utility after attainment of "yield" point. This is due to inability to assure that necking will encompass the entire length between the gage marks prior to specimen failure.

A1.5 *percent elongation*—the elongation of a test specimen expressed as a percent of the gage length.

A1.6 *percent elongation at yield and break*:

A1.6.1 *percent elongation at yield*—the percent elongation at the moment the yield point (A1.10) is attained in the test specimen.

A1.6.2 *percent elongation at break*—the percent elongation at the moment of rupture of the test specimen.

A1.7 *strain*—the ratio of the elongation to the gage length of the test specimen, that is, the change in length per unit of original length. It is expressed as a dimensionless ratio.

A1.8 *true strain* (see Fig. A1.1) is defined by the following equation for ϵ_T :

$$\epsilon_T = \int_{L_0}^L dL/L = \ln L/L_0$$

where:

dL = the increment of elongation when the distance between the gage marks is L .

L_0 = the original distance between gage marks, and

L = the distance between gage marks at any time.

A1.9 *tensile stress - strain curve*—a diagram in which values of tensile stress are plotted as ordinates against corresponding values of tensile strain as abscissas.

A1.10 *yield point*—the first point on the stress - strain curve at which an increase in strain occurs without an increase in stress (Fig. A1.2).

NOTE A1.3—Only materials whose stress - strain curves exhibit a point of zero slope may be considered as having a yield point.

NOTE A1.4—Some materials exhibit a distinct "break" or discontinuity in the stress - strain curve in the elastic region. This break is not a yield point by definition. However, this point may prove useful for material characterization in some cases.

A1.11 *necking*—the localized reduction in cross

section which may occur in a material under tensile stress.

A1.12 *yield strength*—the stress at which a material exhibits a specified limiting deviation from the proportionality of stress to strain. Unless otherwise specified, this stress will be the stress at the yield point and when expressed in relation to the Tensile Strength shall be designated either Tensile Strength at Yield or Tensile Stress at Yield as required under A1.2 (Fig. A1.2). (See *offset yield strength*.)

A1.13 *offset yield strength*—the stress at which the strain exceeds by a specified amount (the offset) an extension of the initial proportional portion of the stress - strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals.

NOTE A1.5—This measurement is useful for materials whose stress - strain curve in the yield range is of gradual curvature. The offset yield strength can be derived from a stress - strain curve as follows (Fig. A1.3):

On the strain axis lay off OM equal to the specified offset.

Draw OA tangent to the initial straight-line portion of the stress - strain curve.

Through M draw a line MN parallel to OA and locate the intersection of MN with the stress - strain curve.

The stress at the point of intersection r is the "offset yield strength." The specified value of the offset must be stated as a percent of the original gage length in conjunction with the strength value. Example: 0.1 % offset yield strength = ... MPa, or yield strength at 0.1 % offset = ... MPa.

A1.14 *proportional limit*—the greatest stress which a material is capable of sustaining without any deviation from proportionality of stress to strain (Hooke's law). It is expressed in force per unit area, usually megapascals.

A1.15 *elastic limit*—the greatest stress which a material is capable of sustaining without any permanent strain remaining upon completed release of the stress. It is expressed in force per unit area, usually megapascals.

NOTE A1.6—Measured values of proportional limit and elastic limit vary greatly with the sensitivity and accuracy of the testing equipment, eccentricity of loading, the scale to which the stress - strain diagram is plotted, and other factors. Consequently, these values are usually replaced by yield strength.

A1.16 *modulus of elasticity*—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain below the proportional limit of a material. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (also known as *elastic modulus* or *Young's modulus*).

NOTE A1.7—The stress - strain relations of many plastics do not conform to Hooke's law throughout the elastic range but deviate therefrom even at stresses well below the elastic limit. For such materials the slope of the tangent to the stress - strain curve at a low stress is usually taken as the modulus of elasticity. Since the existence of a true proportional limit in plastics is debatable, the propriety of applying

the term "modulus of elasticity" to describe the stiffness or rigidity of a plastic has been seriously questioned. The exact stress - strain characteristics of plastic materials are very dependent on such factors as rate of stressing, temperature, previous specimen history, etc. However, such a value is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and other factors are realized.

A1.17 *secant modulus*—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain at any specified point on the stress - strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals and reported together with the specified stress or strain.

NOTE A1.8—This measurement is usually employed in place of modulus of elasticity in the case of materials whose stress - strain diagram does not demonstrate proportionality of stress to strain.

A1.18 *percent reduction of area (nominal)*—the difference between the original cross-sectional area measured at the point of rupture after breaking and after all retraction has ceased, expressed as a percent of the original area.

A1.19 *percent reduction of area (true)*—the difference between the original cross-sectional area of the test specimen and the minimum cross-sectional area within the gage boundaries prevailing at the moment of rupture, expressed as a percentage of the original area.

A1.20 *rate of loading*—the change in tensile load carried by the specimen per unit time. It is expressed in force per unit time, usually newtons per minute. The initial rate of loading can be calculated from the initial slope of the load versus time diagram.

A1.21 *rate of stressing (nominal)*—the change in tensile stress (nominal) per unit time. It is expressed in force per unit area per unit time, usually megapascals per minute. The initial rate of stressing can be calculated from the initial slope of the tensile stress (nominal) versus time diagram.

NOTE A1.9—The initial rate of stressing as determined in this manner has only limited physical significance. It does, however, roughly describe the average rate at which the initial stress (nominal) carried by the test specimen is applied. It is affected by the elasticity and flow characteristics of the materials being tested. At the yield point, the rate of stressing (nominal) may become zero, but the rate of stressing (true) may continue to have a positive value if the cross-sectional area is decreasing.

A1.22 *rate of straining*—the change in tensile strain per unit time. It is expressed either as strain per unit time, usually metres per metre minute, or percent elongation per unit time, usually percent elongation per minute. The initial rate of straining can be calculated from the initial slope of the tensile strain-versus-time diagram.

NOTE A1.10—The initial rate of straining is synonymous with the rate of crosshead movement divided by the initial distance between crossheads only in a machine with constant-rate-of-crosshead movement and when the specimen has a uniform original

cross-section, does not "neck down" and does not slip in the jaws.

A1.23 *Symbols*—The following symbols may be used for the above terms:

SYMBOL	TERM
W	Load
ΔW	Increment of load
L	Distance between gage marks at any time
L_0	Original distance between gage marks
L_u	Distance between gage marks at moment of rupture
ΔL	Increment of distance between gage marks = elongation
A	Minimum cross-sectional area at any time
A_0	Original cross-sectional area
ΔA	Increment of cross-sectional area
A_u	Cross-sectional area at point of rupture measured after breaking specimen
A_T	Cross-sectional area at point of rupture, measured at the moment of rupture
t	Time
Δt	Increment of time
σ	Tensile stress
$\Delta \sigma$	Increment of stress
σ_T	True tensile stress
σ_B	Tensile strength at break (nominal)
σ_{BT}	Tensile strength at break (true)
ϵ	Strain
$\Delta \epsilon$	Increment of strain
ϵ_U	Total strain at break
ϵ_T	True strain
$\% El$	Percent elongation
Y.P.	Yield point
E	Modulus of elasticity

A1.23.1 Relations between these various terms may be defined as follows:

$$\sigma = W/A_0$$

$$\sigma_T = W/A$$

$$\sigma_B = W/A_0 \text{ (where } W \text{ is breaking load)}$$

$$\sigma_{BT} = W/A_T \text{ (where } W \text{ is breaking load)}$$

$$\epsilon = \Delta L/L_0 = (L - L_0)/L_0$$

$$\epsilon_U = (L_u - L_0)/L_0$$

$$\epsilon_T = \int_{L_0}^L dL/L = \ln L/L_0$$

$$\% El = [(L - L_0)/L_0] \times 100 = \epsilon \times 100$$

$$\text{Percent reduction of area (nominal)} = [(A_0 - A_u)/A_0] \times 100$$

$$\text{Percent reduction of area (true)} = [(A_0 - A_T)/A_0] \times 100$$

$$\text{Rate of loading} = \Delta W/\Delta t$$

$$\text{Rate of stressing (nominal)} = \Delta \sigma/\Delta t = (\Delta W/A_0)/\Delta t$$

$$\text{Rate of straining} = \Delta \epsilon/\Delta t = (\Delta L/L_0)/\Delta t$$

For the case where the volume of the test specimen does not change during the test, the following three relations hold:

$$\sigma_T = \sigma(1 + \epsilon) = \sigma L/L_0$$

$$\sigma_{BT} = \sigma_B(1 + \epsilon_B) = \sigma_B L_u/L_0$$

$$A = A_0/(1 + \epsilon)$$

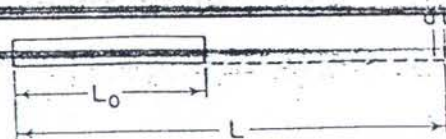
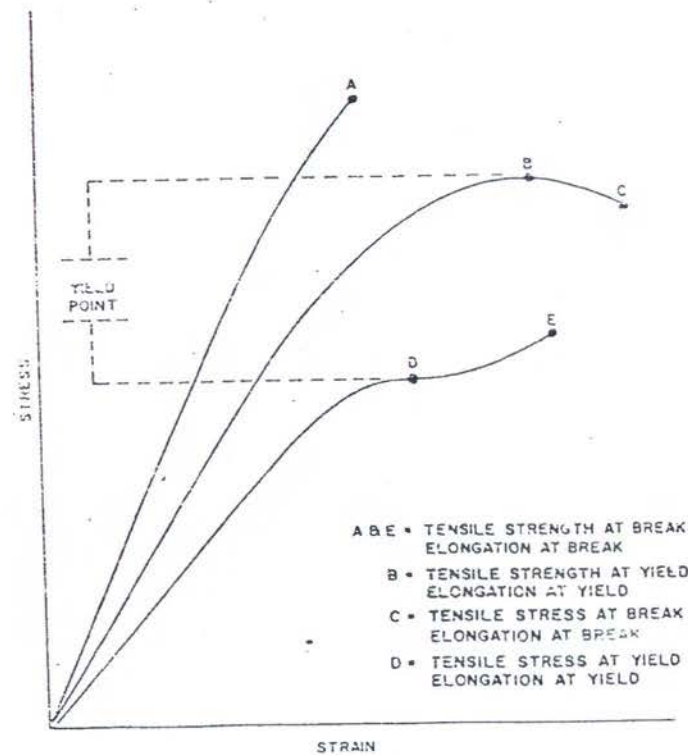


FIG. A1.1 Illustration of True Strain Equation



- A B E • TENSILE STRENGTH AT BREAK
ELONGATION AT BREAK
- B • TENSILE STRENGTH AT YIELD
ELONGATION AT YIELD
- C • TENSILE STRESS AT BREAK
ELONGATION AT BREAK
- D • TENSILE STRESS AT YIELD
ELONGATION AT YIELD

FIG. A1.2 Tensile Designations

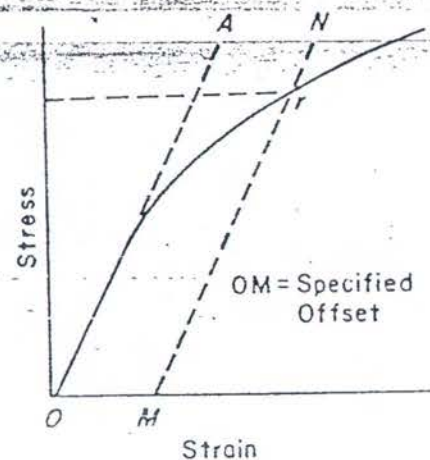


FIG. A1.3 Offset Yield Strength

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. TOE COMPENSATION

X1.1 In a typical stress - strain curve (Fig. X1.1) there is a toe region, AC , which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a takeup of slack, and alignment or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as modulus, strain, and offset yield point, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the strain or extension axis.

X1.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (Fig. X1.1), a continuation of the linear (CD) region of the curve is constructed through the zero-stress axis. This intersection (B) is the corrected zero-strain point from which all extensions or strains must be measured, including the yield offset (BE), if applicable. The elastic modulus can be determined by dividing the stress at any point

along the line CD (or its extension) by the strain at the same point (measured from point B , defined as zero-strain).

X1.3 In the case of a material which does not exhibit any linear region (Fig. X1.2), the same kind of toe correction of the zero-strain point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection point (H). This is extended to intersect the strain axis at point B' , the corrected zero-strain point. Using point B' as zero strain, the stress at any point (G) on the curve can be divided by the strain at that point to obtain a secant modulus (slope of line $B'G$). For these materials with no linear region, any attempt to use the tangent through the inflection point as a basis for determination of an offset yield point may result in unacceptable error.

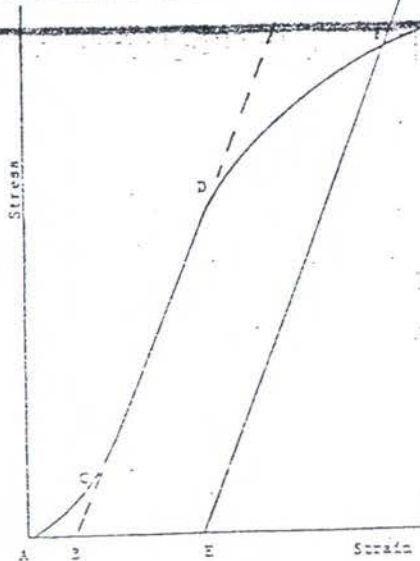


FIG. X1.1 Material with Hookean Region

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

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1919 Race St., Philadelphia, Pa. 19103

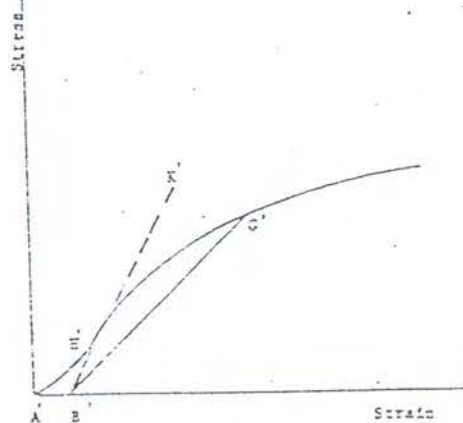


FIG. X1.2 Material with No Hookean Region
(Note that some chart recorders plot the mirror image of these graphs.)

Standard Practice for DESIGN OF MOLDS FOR TEST SPECIMENS OF PLASTIC MOLDING MATERIALS¹

This standard is issued under the fixed designation D 647; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers the design of molds for test specimens of plastic molding materials. The plastic and mold temperatures, pressure, and cycle timing used for any material should conform to the appropriate molding practice, if available, or material specification. If such instructions are not available, the recommendations of the material supplier should be followed.

1.2 Designs shown have been found suitable for a broad range of plastics, but may not be optimum for any given material. Only specimen dimensions are actually standardized.²

NOTE 1—Interlaboratory studies have shown that similar results were obtained with different mold designs when the same specimen geometry was used throughout. See ASTM Recommended Practice D 1897, for Injection Molding Test Specimens of Thermoplastic Molding and Extrusion Materials.³

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

2. Molds for 12.7 by 12.7 by 127-mm ($\frac{1}{2}$ by $\frac{1}{2}$ by 5-in.) and 6.4 by 12.7 by 127-mm ($\frac{1}{4}$ by $\frac{1}{2}$ by 5-in.) Specimens

2.1 Molds for the 12.7 by 12.7 by 127-mm ($\frac{1}{2}$ by $\frac{1}{2}$ by 5-in.) or 12.7 by 12.7 by 64-mm ($\frac{1}{2}$ by $\frac{1}{2}$ by 2 $\frac{1}{2}$ -in.) and 6.4 by 12.7 by 127-mm ($\frac{1}{4}$ by $\frac{1}{2}$ by 5-in.) test specimens may be the single-bar, single-cavity positive mold type and shall conform to the design and dimensions shown in Fig. 1.²

3. Molds for Disk Test Specimens

3.1 Molds for the disk test specimens 51 mm (2 in.) or 102 mm (4 in.) in diameter shall be of the design and dimensions shown in Fig. 2.

4. Molds for Tension Test Specimen

4.1 Molds for the test specimen for determining the tensile strength of molded electrical insulating materials (Note 2) shall be of the design and dimensions shown in Fig. 3.²

NOTE 2—See ASTM Method D 651, Test for Tensile Strength of Molded Electrical Insulating Materials.⁴

4.2 Molds for the test specimen for determining the tensile properties of plastics (Note 3) shall be of the design and dimensions shown in Fig. 6.²

NOTE 3—See ASTM Method D 638, Test for Tensile Properties of Plastics.⁵

5. Mold for Injection Molding of Test Specimens

5.1 Layout—A 4-cavity mold has been designed as a suitable means of preparing frequently used test specimens with most injection molding machines of 55-g or greater capacity. The arrangement shown in Fig. 4 can be adapted to most mold bases 22.5 by 30.0 cm and larger.

5.1.1 The cavities for the 3.2 by 12.7 and 127 mm and 6.4 by 12.7 by 127 mm bars and the tension specimen are parted on the diagonal. This eliminates side draft in the test area and

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D-20.09 on Specimen Preparation.

Current edition approved July 16, 1968. Published September 1968. Originally published as D 647-41. Previous edition D 647-65.

² Blueprints of detailed drawings for the test specimens shown in Figs. 1, 2, 3, 6, 7, 8, and 9 are available for purchase from ASTM Headquarters, Request Form 801, 1919 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 8.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 8.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 8.

Tabel 1. Sifat Resin.

	CURED POLYESTER	CURED EPOXIDE
Specific gravity	1.10-1.46	1.11-1.40
Hardness (Rockwell M)	70-115	80-110
Tensile strength MN/m ²	42-91	28-91
Tensile modulus GN/m ²	2.4-5	2.4
Compressive strength MN/m ²	90-250	100-175
Specific heat calories/g/°C	0.3	0.25
Thermal conductivity W/m °C	0.21	0.21
Coefficient of linear expansion °C	9.9-18 x 10 ⁻⁵	8.1-11.7 x 10 ⁻⁵
Shrinkage	0.004-0.008	0.001-0.004
Water absorption %	0.15-0.60	0.08-0.15

Tabel 2. Sifat Fiber.

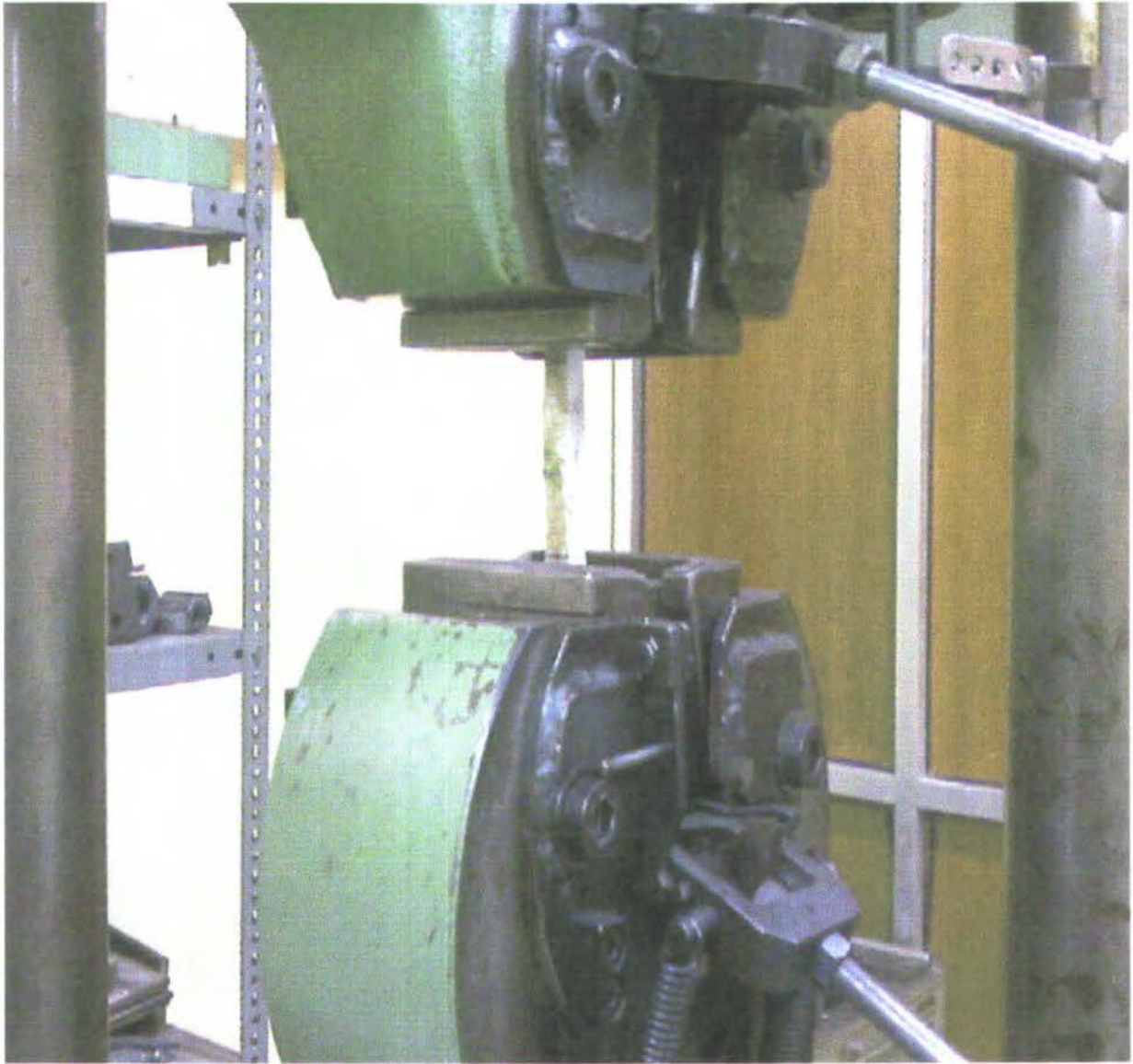
	F	C	S	R
PROPERTY				
Specific gravity	2.56	2.45	2.49	2.58
Single fibre tensile strength GN/m ²	3.6		4.5	4.4
Young's modulus of elasticity GN/m ²	75.9		85.2	84.8
Softening point-°C	1150	690		990
Coefficient of thermal expansion-°C	4.9 x 10 ⁻⁵			
Coefficient of thermal conductivity-W/m °C	1.04			



- **Gambar Bending Test**



- **Gambar Tensile Test**



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Purworejo, 14 Mei 1981, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Nusa Bangsa, Dukuh Salam – Slawi, SDN Dukuh Salam 1 Slawi, SMPN 2 Slawi dan SMUN 2 Slawi – Tegal. Setelah lulus dari SMUN tahun 1999, penulis mengikuti ujian lokal dan diterima di Diploma III Teknik Perkapalan UNDIP Semarang pada tahun 2000 dan lulus tahun 2003, kemudian melanjutkan S-1 di ITS dan diterima di Jurusan Teknik Perkapalan FTK – ITS pada tahun 2003 dan terdaftar dengan NRP. 4103109601. Di Jurusan Teknik Perkapalan ini penulis mengambil Bidang Studi Konstruksi dan Kekuatan.