

**RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF
WOVEN ROVING FIBER COMPOSITE (E-TYPE) WITH JUSTUS 157 RESIN
AND TWO LAYER OF WOVEN ROVING**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1

Program Studi Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin



Diajukan Oleh :

ANANTA DWI SANTOSO

NIM : 995214045

NIRM : 99005112310120045



Kepada
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA
2004**

TUGAS AKHIR
RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF
WOVEN ROVING FIBER COMPOSITE (E-TYPE)
WITH JUSTUS 157 RESIN AND TWO LAYER OF WOVEN ROVING

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

NAMA : ANANTA DWI SANTOSO

NIM : 995214045

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji

Pada tanggal 11 Oktober 2004

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama



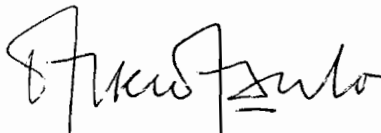
Dr. Ir. Viktor Malau, DEA

Anggota Dewan Penguji

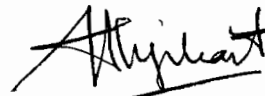


Budi Setyahandana, S.T., M.T.

Pembimbing Kedua



D. Doddy Purwadianto, S.T., M.T.



Budi Sugiharto, S.T., M.T.



Ir. M. Rines Alapan, M.T.

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

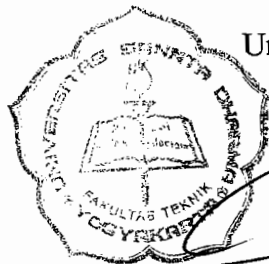
Yogyakarta, 26 Oktober 2004

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Yogyakarta

Dekan



Ir. Greg. Heliarko, SJ., SS., B.ST., MM., M.Sc.



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA
Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman –Yogyakarta
Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email : teknik@staff.usd.ac.id

TUGAS AKHIR/SKRIPSI PROGRAM S-I
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA

No: 420 /FT .USD/TM/ Maret/2004

NAMA : Ananta Dwi Santoso
NIM : 995214045
NIRM : 990051123109120045
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
Judul TGA :
Penelitian Sifat Fisis & Mekanis Komposit Serat Woven Roving (E Type) dengan Resin Justus 157 dan 2 Lapis Woven Roving.

Tanggal dimulai : 23 Februari 2004

Pembimbing II

D.Doddy Purwadianto, S.T., M.T.

Yogyakarta, 29 April 2004
Pembimbing I

Dr. Ir. Viktor Malau, DBA

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, Oktober 2004

Ananta Dwi Santoso
NIM : 995214045

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Kasih atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk dapat mencapai gelar kesarjanaan di Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada beberapa pihak atas bantuan, bimbingan serta nasehat-nasehat yang telah diberikan.

Ucapan terima kasih penulis tujukan kepada :

1. Romo Dr. Paul Suparno, SJ., MST, Rektor Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.
2. Romo Ir. Greg. Heliarko, SJ., SS., B.ST., MM., M.Sc., Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma.
3. Bapak Ir. Yosef Agung Cahyanta, M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.
4. Bapak Dr. Ir. Viktor Malau, DEA, Dosen Pembimbing Utama Tugas Akhir.
5. Bapak D. Doddy Purwadianto, S.T., M.T., Dosen Pembimbing Kedua Tugas Akhir.
6. Bapak I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T., Dosen dan Kepala Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma.
7. Bapak Martono dan Bapak Intan, Laboran Ilmu Logam Tenik Mesin.

8. Keluarga besar Budi Raharjo
9. Teman-teman mahasiswa Teknik Mesin dan semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini belum sempurna, penulis mengharapkan komentar atau saran membangun agar tulisan ini lebih sempurna. Semoga penulisan Tugas Akhir ini dapat berguna dan digunakan dengan baik.

Yogyakarta, Oktober 2004

Penulis

INTISARI

Penelitian ini membahas tentang pengaruh orientasi serat pada bahan komposit berpenguat serat gelas-E. Komposit yang dibuat terdiri atas : serat gelas-E jenis *woven roving* sebagai bahan penguat, resin Justus 157 dan katalis *Metoxene (methyl ethyl ketone peroxide)* sebagai bahan pengikat. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui kekuatan tarik matriks pengikat, kekuatan tarik serat penguat, kekuatan tarik dan faktor kerusakan pada komposit terhadap orientasi serat.

Langkah pertama adalah membuat bahan matriks pengikat dengan ukuran $20 \times 15 \times 0,3$ cm. Kemudian dilakukan pengujian tarik menggunakan standar uji tarik ASTM D 3039. Kedua, menguji serat penguat dengan menggunakan standar uji tarik JIS R 3420. Pengujian tarik yang dilakukan baik pada bahan matriks pengikat maupun serat penguat dilakukan sebanyak 5 kali. Ketiga, membuat bahan komposit yang menggunakan serat sebanyak 2 lapis dengan ukuran $46 \times 36 \times 0,3$ cm. Kemudian bahan komposit tersebut dipotong sesuai standart uji tarik ASTM A 370. Pengujian tarik untuk bahan komposit dilakukan sesuai arah orientasi serat yaitu 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , dan 90° . Setiap arah orientasi serat dilakukan 5 kali pengujian. Seluruh proses pengujian tarik menggunakan alat uji tarik yang terdapat di Laboratorium Ilmu Logam Fakultas Teknik USD. Setelah proses pengujian selesai didapatkan data berupa nilai uji tarik untuk setiap benda uji. Dari nilai uji tarik tersebut diambil nilai rata-rata.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut : pertama, kekuatan tarik serat penguat ternyata lebih besar daripada kekuatan tarik matriks pengikat bahan komposit yaitu sebesar 3722 kg/mm^2 ; kedua, terdapat kemiripan data pada arah orientasi dari serat yang berjenis *woven roving* antara lain : sudut 0° dengan 90° ; sudut 15° dengan 75° ; sudut 30° dengan 60° ; ketiga, arah orientasi serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit.

ABSTRACT

This study discusses about the influence of fiber orientation in composite materials reinforced fiber glass E. The composite used here such as : E fiber glass *woven roving* type as the lasing, Justus resin 157 and *Metoxene* catalyst (*methyle ethyl ketone peroxide*) as the fasten materials. The objective of this study is to find out tensile strength of the matrix, tensile strength of fiber and the effect of fiber orientation on the tensile strength of the composite.

The first step by making matrix materials with the size of $20 \times 15 \times 0,3$ cm. Then it performed tensile test by ASTM D 3039 test standard. Second, both fiber is tested by JIS R 3420 test standard. Tensile test whether in matrix materials or fiber is conducted 5 times. Third, making composite material using double fiber with the size of $46 \times 36 \times 0,3$ cm. Then it is cut according to tensile test of ASTM A 370. Tensile testing for composite materials is conducted to the direction of fiber orientation namely 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , and 90° . For every fiber orientation direction is conducted 5 times testing. Overall tensile test process implementing tensile test instrument which is available in Laboratorium Ilmu Logam Fakultas Teknik USD. After the examination process have been done, as the result it is the data in the form of tensile test value for each test object. By the tensile test value the average value is taken.

Based on the results of this study, it concludes as follows : first, tensile strength of fiber in fact is stronger than the tensile strength of the matrix with composite materials that is equal to 3722 kg/mm^2 ; second, there are similar result in the direction of fiber orientation of *woven roving* type for instance : angle 0° and 90° ; angle 15° and 75° ; angle 30° and 60° ; third, fiber orientation is very effective toward composite tensile strength.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan.....	ii
Halaman Soal	iii
Halaman Pernyataan.....	iv
Kata Pengantar	v
Intisari	vii
Abstract.....	viii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan.....	6
1.3. Tujuan Penelitian.....	7
1.4. Pendekatan dan Pemecahan Masalah	7
1.5. Sistematika Pembahasan	8
BAB II DASAR TEORI	9
2.1. Komposit <i>Fiber Glass Reinforced Plastics</i>	9
2.1.1. Serat Gelas	12
2.1.2. Polyester	14
2.1.3. Bahan-bahan tambahan	15



2.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi kekuatan GFRP	16
2.2.1. Jenis Serat	17
2.2.2. Orientasi Serat.....	17
2.2.3. Komposisi dan bentuk serat	18
2.2.4. Faktor matriks	19
2.2.5. Fase ikatan (<i>bonding Phase</i>).....	19
2.3. Mekanika Komposit	20
2.4. Modus Kegagalan Laminat	21
2.4.1. Modus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal	21
2.4.2. Modus Kegagalan Akibat Beban Tarik Trasversal	23
2.4.3. Modus Kegagalan Mirooskopik	24
BAB III CARA PENELITIAN	26
3.1. Skema Jalan Penelitian.....	26
3.2. Penyiapan Benda Uji.....	27
3.2.1. Alat dan bahan.....	27
3.2.2. Pembuatan cetakan.....	31
3.3. Pembuatan Benda Uji	32
3.3.1. Pembuatan benda uji matriks pengikat.....	32
3.3.2. Pembuatan benda uji komposit.....	34
3.3.3. Cara pemotongan benda uji komposit	38
3.4. Standar dan Ukuran Benda Uji	39
3.4.1. Benda uji serat penguat.....	39
3.4.2. Benda uji matriks pengikat.....	40

3.4.3. Benda uji komposit.....	41
3.5. Metode Penelitian.....	42
3.5.1. Pengujian serat.....	42
3.5.1.1. Pengujian tarik serat.....	42
3.5.2. Pengujian matriks pengikat.....	43
3.5.2.1. Pengujian tarik matriks pengikat.....	43
3.5.2.2. Perhitungan massa jenis matriks pengikat.....	43
3.5.3. Pengujian komposit.....	44
3.5.3.1. Pengujian tarik komposit.....	44
3.5.3.2. Perhitungan massa jenis komposit.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1. Hasil Pengujian Tarik Serat.....	46
4.2. Hasil Pengujian Tarik Matriks.....	47
4.3. Hasil Pengujian Tarik Komposit.....	49
4.4. Model Kerusakan Komposit.....	55
4.5. Analisa Kerusakan Pada Komposit.....	57
BAB V PENUTUP.....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Grafik kekuatan tarik komposit dan komponen penyusunnya	5
Gambar 2.1.	Diagram klasifikasi komposit serat	10
Gambar 2.2	Modus kerusakan pada bahan komposit akibat beban tarik longitudinal.....	22
Gambar 2.3	Modus kerusakan pada bahan komposit akibat beban tarik transversal.....	24
Gambar 3.1.	Skema jalan penelitian	26
Gambar 3.2.	Foto alat yang digunakan untuk pembuatan bahan komposit	28
Gambar 3.3.	Dimensi dari cetakan matriks pengikat.....	32
Gambar 3.4.	Rangkaian kesejajaran serat dalam cetakan komposit	37
Gambar 3.5.	Pemotongan benda uji komposit sesuai dengan arah orientasi serat	39
Gambar 3.6.	Dimensi benda uji tarik serat.....	39
Gambar 3.7.	Foto benda uji tarik serat.....	40
Gambar 3.8.	Dimensi benda uji tarik matriks pengikat.....	40
Gambar 3.9.	Foto benda uji matriks pengikat.....	41
Gambar 3.10.	Dimensi benda uji tarik komposit.....	41
Gambar 3.11.	Foto benda uji tarik komposit pada berbagai arah orientasi serat	42
Gambar 4.1.	Keterangan dari tabel 4.2.....	48
Gambar 4.2.	Foto bentuk patahan matriks pengikat	49

Gambar 4.3. Keterangan dari tabel 4.4.....	51
Gambar 4.4. Grafik hubungan kekuatan tarik dan sudut orientasi serat.....	54
Gambar 4.5. Grafik hubungan <i>elongation</i> dan sudut orientasi serat.....	55
Gambar 4.6. Foto kerusakan komposit	56
Gambar 4.7. Penampang melintang serat gelas-E dan resin	57
Gambar 4.8. Penampang komposit mula-mula	58
Gambar 4.9. Kerusakan <i>debonding</i> pada komposit	59
Gambar 4.10. Retak mikro pada matriks.....	59
Gambar 4.11. <i>Void</i> pada komposit	60
Gambar 4.12. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 0°	60
Gambar 4.13. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 15°	61
Gambar 4.14. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 30°	61
Gambar 4.15. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 45°	62
Gambar 4.16. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 60°	62
Gambar 4.17. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 75°	63
Gambar 4.18. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 90°	63

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Dimensi cetakan matrik pengikat	32
Tabel 4.1. Sifat mekanik serat gelas.....	47
Tabel 4.2. Ukuran lebar dan tebal matriks pengikat	48
Tabel 4.3. Sifat mekanik matriks pengikat	48
Tabel 4.4. Ukuran lebar dan tebal komposit.....	51
Tabel 4.5. Kekuatan komposit serat gelas E terhadap variasi arah orientasi serat	52
Tabel 4.6. Harga rata-rata kekuatan tarik komposit	54
Tabel 4.7. Harga rata-rata <i>elongation</i> (ϵ) komposit	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi akan bahan teknik berkembang sangat pesat. Manusia selalu berusaha menciptakan penemuan baru yang lebih baik dibandingkan penemuan-penemuan terdahulunya. Bahan komposit merupakan salah satu penemuan yang banyak digunakan karena mempunyai sifat-sifat yang unggul, ringan, kuat, kaku serta tahan korosi dan beban lelah (Hadi, B.K., 2000). Industri-industri mulai menggunakan bahan komposit sebagai bahan baru untuk perakitan bagian dari mobil, pesawat udara maupun alat-alat lainnya. Karena itu bahan komposit ini perlu untuk dipelajari dan dikembangkan.

Komposit merupakan penggabungan dua bahan atau lebih yang memiliki fase berbeda, yaitu gabungan antara bahan *matriks* atau pengikat dan *reinforcement* atau bahan penguat. Penggabungan kedua unsur ini dicampur secara makroskopis. Berbeda dengan paduan atau *alloy*, yang penggabungan unsur-unsurnya dilakukan secara mikroskopis. Pada bahan komposit, sifat-sifat unsur pembentuknya masih terlihat jelas, sedang pada paduan sudah tidak terlihat secara nyata. Keunggulan dari bahan komposit ini adalah penggabungan sifat-sifat unggul masing-masing unsur

pembentuknya tersebut. Keunggulan bahan komposit bila dibandingkan dengan bahan logam lainnya (Robert, J. M., 1975) :

- a. Komposit dapat dirancang dengan kekuatan dan kekakuan tinggi, dapat memberikan kekuatan dan kekakuan spesifik yang melebihi atau bahkan beberapa kali lipat dibandingkan dengan baja dan aluminium.
- b. Sifat-sifat fatik (*fatigue*) umumnya lebih baik dari logam biasa dan juga harga *toughness*nya dapat lebih baik.
- c. Komposit dapat dirancang terhindar dari korosi, hal ini sangat menguntungkan pada pemakaian sebagai elemen-elemen tertentu pada kendaraan bermotor.
- d. Kemampuan menghantarkan panas dan listrik yang dapat diatur.
- e. Kemampuan redam bunyi yang baik.
- f. Bahan komposit dapat memberikan penampilan (*appearance*) dan kehalusan permukaan lebih baik.

Bahan komposit dalam penggunaan maupun penggolongannya dapat dijabarkan menjadi sangat luas. Dalam penggunaannya, jenis komposit sering dibedakan menurut bentuk dari bahan penguat yang terdapat pada matriks pengikatnya atau dapat juga dibedakan menurut bahan yang menjadi matriks pengikat

itu sendiri. Bahan penguat untuk komposit dapat berupa jenis serat maupun jenis non serat (partikel dari *flake*). Sedangkan penggolongan untuk komposit menurut jenis matriks yang digunakan dapat dibedakan menjadi komposit bermatriks, pengikat jenis logam, keramik maupun polimer.

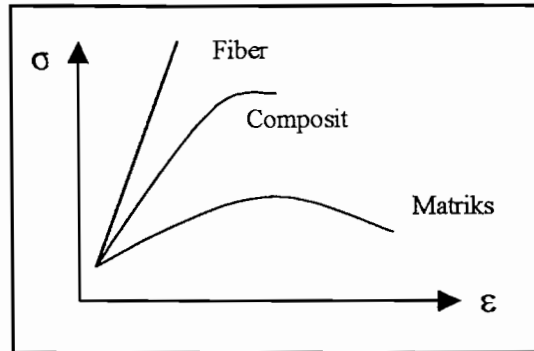
Dalam kehidupan sehari-hari, komposit dengan penguat serat memegang peranan yang sangat penting bila dibandingkan komposit berpenguat lainnya. Walau begitu penggunaan komposit dengan berpenguat bukan serat (*partikel* atau *flake*) juga memegang peranan yang cukup banyak. Selain berpenguat serat ada juga bahan komposit yang berpenguat logam antara lain aluminium, tembaga, magnesium bahkan titanium.

Klasifikasi bahan komposit yang didasarkan pada phase matrik adalah, untuk komposit matrik logam disebut (*Metal Matrix Composit, MMC*), komposit ini berisi campuran logam dan keramik seperti karbida wolfram, sedangkan komposit dengan matrik keramik disebut (*Ceramic Matrix Composite, CMC*). Pada komposit ini dapat digunakan *reinforcement agent* berupa oksida aluminium, karbida silikon dan fiber untuk meningkatkan sifat-sifatnya, khususnya ketahanan terhadap suhu tinggi. Komposit yang mempunyai matrik polimer disebut (*Polimer Matrix Composite, PMC*), matriknya dapat berupa resin thermosetting epoxy dan poliester dengan *reinforcing agent* berupa fiber. Penggunaan *reinforcement agent* serat pada komposit jenis *Polimer Matrix Composite* ini sangat aplikatif, seperti pada produk GFRP (*Fiber Glass Reinforced Plastic*).

Secara garis besar bahan komposit dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu serat sintetik dan serat organik. Serat sintetik atau buatan dapat berupa serat gelas, serat karbon, nilon dan *polyester*. Sedangkan serat organik atau yang dari alam dapat berupa kapas, rami, wol, dan sutera. Untuk komposit yang berpenguat non serat seperti *flakes* dan bahan yang digunakan sebagai *reinforcement agent* dapat berupa serbuk kayu, karbida wolfram, mika mineral, talk, serbuk logam (Murphy, J., 1994).

Komposit serat merupakan perpaduan antara serat sebagai komponen penguat dan matrik sebagai komponen pengikat serat. Serat biasanya mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih besar daripada matriks dan pada umumnya bersifat ortotropik. Pada saat serat dan matriks dipadukan untuk menghasilkan komposit, kedua komponen tersebut tetap mempertahankan sifat-sifat yang dimilikinya dan secara langsung akan berpengaruh terhadap sifat komposit yang dihasilkan.

Secara khusus dapat dikatakan bahwa harga kekuatan maupun kekakuan komposit terletak diantara kekakuan dan kekuatan serat dan matriks yang digunakan. Dalam artian bahwa kemampuan komposit terdapat diantara kemampuan serat dan matrik pengikatnya serta memiliki sifat-sifat dari bahan yang menjadi penyusunnya.



Gambar 1.1. Grafik kekuatan tarik komposit dan komponen penyusunnya (Murphy, J., 1994)

Fiber Glass Reinforced Plastic adalah salah satu jenis komposit yang mempunyai komponen berpenguat serat. Bahan yang kita kenal dengan nama *GFRP* ini, mempunyai komponen bahan berpenguat berupa serat gelas dan matriks pengikat berupa *polimer* (plastik), bahan komposit ini sering diaplikasikan sebagai komponen penunjang dalam produktivitas industri kimia, industri pengolahan kertas, pengolahan air minum dan air limbah, industri makanan dan masih banyak aplikasi yang ditemukan dalam bidang-bidang lain. Dalam industri yang membutuhkan bahan anti korosi, material ini dijumpai dalam bentuk-bentuk seperti tangki air dan pipa-pipa saluran.

Dengan keunggulan-keunggulan sifat dan karakteristik khusus yang dimilikinya, maka bahan komposit banyak digunakan dan terus dikembangkan dalam performasinya untuk aplikasi-aplikasi produk baru.

1.2. Permasalahan

Komposit serat adalah sebuah material yang sangat dipengaruhi oleh sifat dan jenis dari bahan yang menjadi penyusunnya, dalam hal ini khususnya serat sebagai komponen penguat. Serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit.

Untuk mendapatkan karakteristik dari komposit yang baik maka harus memperhatikan faktor-faktor :

- a. Komponen penguat harus memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada komponen matriknya.
- b. Harus ada ikatan permukaan (*interface*) antara komponen penguat dan matrik.
- c. Orientasi, panjang, bentuk dan komposisi dari serat.

Selain memahami kegunaan dan membuat komposit serat secara efisien, juga penting untuk mengerti sifat-sifat mekaniknya dan sifat faktor yang menjadi penyusunnya. Adapun beberapa sifat yang digunakan dalam aplikasi teknik seperti tegangan tarik dan modulus elastisitas.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai setelah melakukan penelitian adalah :

Mengetahui kekuatan tarik dan model bentuk kerusakan pada komposit terhadap fungsi arah serat.

1.4. Pendekatan dan Pemecahan Masalah

Komposit yang akan diteliti adalah komposit serat kontinu dari bahan serat gelas-E dan matrik pengikatnya berupa resin *Justus 157*.

Variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah penyusunan serat secara bertingkat (dua lapis), variasi orientasi pemasangan serat, perbandingan serat / matriks, temperatur dan kelembaban udara dianggap konstan.

Dalam penelitian komposit serat gelas poliester ini akan dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui sifat-sifat dari bahan penyusun komposit dan bahan komposit itu sendiri. Pengujian yang dilakukan antara lain :

- a. Pengujian tarik serat penguat.

Untuk mengetahui kekuatan tarik serat penguat, maka pengujian menggunakan standart uji JIS R 3420.

b. Pengujian tarik matriks pengikat.

Untuk mengetahui kekuatan tarik matriks pengikat, maka pengujian menggunakan standart uji ASTM D 3039.

c. Pengujian tarik komposit.

Untuk mengetahui kekuatan tarik komposit pada arah orientasi serat 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° dan 90° . Pengujian menggunakan standart pengujian ASTM A 370.

1.5. Sistematika Pembahasan

Dalam bab-bab selanjutnya akan diuraikan mengenai komposit berpenguat serat gelas-E, matriks pengikat, bahan-bahan tambahan dan cara pembuatan bahan komposit. Proses pengujian mekanik pada bahan komposit dapat dilihat pada Bab IV. Dan pada bab terakhir akan diberikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

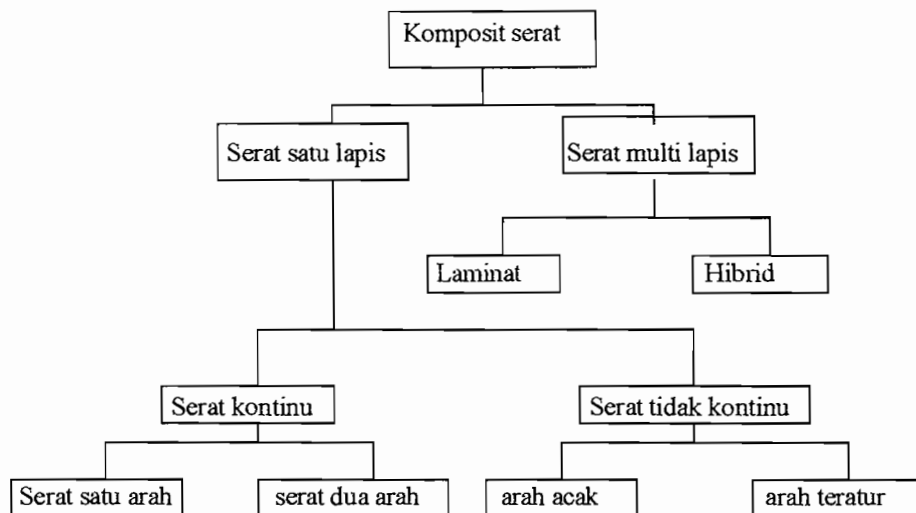
DASAR TEORI

2.1. Komposit Fiber Glass Reinforced Plastics

Pengertian komposit dalam bahan komposit berarti terdiri dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur. Pada umumnya bahan komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat tersebut yang disebut matriks. Unsur utama bahan komposit adalah serat, serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik yang lain. Seratlah yang menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja pada komposit sedang matriks bertugas melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Karena itu untuk bahan serat digunakan bahan yang kuat dan getas, seperti : karbon, gelas dan boron. Sedang bahan matriks dipilih bahan yang lunak seperti plastik dan logam-logam lunak (Hadi, B.K., 2000).

Komposit yang berbahan serat adalah jenis bahan komposit yang banyak dikenal masyarakat umum, paling banyak dipakai dan dibicarakan, karena itu pengertian bahan komposit dalam tulisan ini berarti bahan komposit berpenguat serat. Bahan komposit serat dapat diklasifikasikan kedalam berbagai jenis bergantung pada geometri dan jenis seratnya.

Klasifikasi bahan komposit serat yang umum dikenal ditunjukkan pada Gambar 2.1., yang secara garis besar bahan komposit serat terbagi menjadi dua macam, yaitu serat kontinu (*continuous*) dan serat tidak kontinu (*discontinue*).



Gambar 2.1. Diagram klasifikasi komposit serat (Hadi, B.K., 2000)

Besarnya serat penguat menentukan kemampuan bahan komposit dalam menahan gaya-gaya luar. Semakin panjang ukuran serat, semakin efisien pula dalam menahan gaya dalam arah serat. Serat yang panjang tersebut juga menghilangkan kemungkinan terjadinya retak sepanjang batas pertemuan antar serat dan matriks. Karenanya bahan komposit serat kontinu sangat kuat dan liat (*taugh*) dibandingkan dengan komposit serat tidak kontinu (Hadi, B.K., 2000).

Disamping bahan serat, komposit juga tidak terlepas dari bahan matriks. Tugas utama bahan matriks adalah mengikat serat bersama-sama. Hal ini dapat dimengerti karena sekumpulan serat tanpa matriks tidak dapat menahan gaya dalam arah tekan dan transversal. Matriks juga berguna juga untuk meneruskan gaya dari satu serat ke serat lainnya dengan menggunakan mekanisme tegangan geser.

Pada umumnya matriks terbuat dari bahan-bahan yang lunak dan liat. Polimer plastik merupakan bahan yang biasa digunakan. Polimer termoset adalah bahan matriks yang dapat menerima suhu tinggi / tidak berubah karena panas. Poliester vinilester dan epoksi adalah beberapa jenis bahan polimer termoset yang sejak dahulu telah dipakai sebagai bahan matriks. Untuk bahan matriks termoplastik yang sering dijumpai adalah *PEEK (Poly-Ether-Ether-Ketone)*, *PEI (Poly-Ether-Imide)*, *PES (Poly-Ether-Sulphone)* dan Nilon. Bahan polimer yang paling banyak digunakan adalah bahan polimer termoplastik, karena bahan ini mempunyai keunggulan-keunggulan yaitu lebih liat, lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan, tahan terhadap suhu tinggi serta tidak adanya batas waktu dalam penggunaan (Hadi, B.K., 2000).

Fiber Glass Reinforced Plastics (GFRP) sebagai bahan berbasis plastik juga mulai diaplikasikan dalam pembuatan berbagai produk. Selain ringan, bahan ini juga mempunyai keunggulan dibidang ketangguhan dan perlakuan saat pembuatannya. Oleh sebab sifat-sifat tersebut maka semakin luas dalam kegunaannya sebagai salah satu bahan teknik manufaktur.

Pada tahun 1941 di Amerika Serikat *GFRP* mulai dipergunakan sebagai bahan berbasis plastik berpenguat serat gelas-E. *GFRP* mulai merambah di negara-negara bagian Amerika Serikat dan Eropa sekitar tahun 1946. Pada dekade 50-an antusiasme dari penggunaan material baru ini, mulai memasuki di berbagai bidang industri, sebagai contoh penggunaan komposit dalam bidang industri transportasi adalah pembuatan bodi kapal dan bodi mobil balap. Dan dalam bidang kesehatan adalah berupa alat-alat olah raga. Beberapa contoh diatas menunjukkan bahwa bahan komposit dapat digunakan dalam banyak bidang kehidupan.

2.1.1. Serat Gelas

Serat gelas merupakan material anorganik sintetik yang digunakan sebagai salah satu bahan penguat dalam penggunaan komposit. Serat gelas mempunyai sifat-sifat yaitu kekuatan tinggi, harga yang rendah, tidak mudah terbakar, isolator listrik yang baik dan mempunyai sifat anti korosi, hal ini menyebabkan material ini dapat digunakan dalam pembuatan polymer matrik komposit.

Serat gelas diproduksi dengan cara melebur bahan dasar berupa pasir silika, batu kapur dan bahan tambahan seperti alumunium hidroksida, natrium karbonat dan borax dalam sebuah dapur listrik dengan suhu yang sangat tinggi, kemudian material yang sudah melebur dibentuk menjadi filamen-filamen serat gelas yang dapat dibedakan dalam berbagai jenis antara lain (Murphy, J., 1994) :

a. Serat gelas A

Serat gelas yang digunakan pada awal material ini mempunyai kandungan alkali yang tinggi. Material ini tidak banyak dipakai dalam proses produksi sebagai reinforcement agent.

b. Serat gelas E

Komposisi serat gelas E berupa calcium, aluminium hidroksida, borosilikat, pasir silika, dan memiliki kandungan alkali yang rendah. Serat gelas ini mempunyai kekuatan tarik dan tekan serta geser yang baik sehingga mempunyai sifat isolator atau penghantar listrik yang baik, tetapi merupakan material yang cukup getas.

c. Serat gelas D

Serat ini memiliki karakteristik dielektrik yang baik maka serat gelas D sering dipakai dalam produksi pembuatan peralatan elektronik.

d. Serat gelas R dan S

Serat gelas R dan serat gelas S mempunyai komposisi kimia yang berbeda, tetapi kedua serat ini diperuntukkan sebagai bahan penguat dengan kemampuan tinggi, serat gelas ini diaplikasikan sebagai *reinforcement agent* dalam pembuatan pesawat terbang. Serat gelas yang mempunyai massa jenis yang hampir sama dengan serat gelas E ini masing-masing

diproduksi di Eropa untuk serat gelas R dan Amerika untuk serat gelas S.

2.1.2. Polyester

Resin polyester adalah bahan matriks termoseting yang paling luas dalam penggunaan sebagai matrik pengikat plastik. Dari bagian yang menggunakan proses pengerjaan yang sangat sederhana sampai produk yang dikerjakan dengan proses menggunakan cetakan mesin.

Kemampuan resin polyester termoplastik selain sebagai matrik pengikat serat yang bagus juga mempunyai karakteristik sebagai berikut : titik leleh yang relatif tinggi, permukaan yang halus dan mengkilat, unggul dalam kestabilan dimensi karena serapan airnya rendah, mempunyai kekakuan dan kekuatan mekanik yang tinggi (ketahanan abrasi, ketahanan impact, ketahanan melar, ketahanan retak tegangan, koefisien gesek dan ketahanan cuaca). Bahan ini apabila dicampur dengan serat gelas maka ketahanan panasnya akan lebih baik. Ketahanan kimianya, bahan ini mudah membentuk asam trifluoroasetat, fenol, m-kresol dan tetrakloroetan. Secara khusus terurai baik dalam asam sulfat pekat maupun dalam asam nitrat.

Polyester sebagai resin *termosetting* mempunyai kekuatan mekanis yang cukup bagus, memiliki kemampuan isolator listrik dan ketahanan terhadap bahan kimia, selain itu harganya yang relatif cukup murah. Dalam pengerjaannya, resin ini juga cukup mudah, karena tidak mengalami perubahan dimensi yang disignifikan saat proses curing. Dalam pemakaian resin polyester, untuk mendapatkan hasil sebagai matriks pengikat harus melalui proses curing. Kemampuan proses curing ini dapat

dipercepat dengan mereaksikan resin polyester bersama katalis (sebagai peroksida organik) dan komponen *accelator*. Penggunaan *accelator* sebagai formula untuk mempersingkat proses curing dapat dipakai dalam proses suhu rendah maupun proses curing menggunakan suhu tinggi.

Proses curing dapat dilakukan pada suhu kamar dengan cara mereaksikan peroksida organik atau dapat juga melalui penyinaran ultraviolet sampai suhu 90°C. Agar proses curing dapat berlangsung lebih cepat, resin poliester dapat dicampur dengan katalis sebagai pemicu (peroksida organik). Beberapa polyester yang digunakan sebagai bahan material dalam industri misalnya, *orthophtalic, isophtalic, iso NPG, bispenol* (Murphy, J., 1994).

Bahan polyester banyak digunakan untuk komposit berpenguat serat gelas, film dan botol. Bahan komposit yang berpenguat serat banyak kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari seperti tempat duduk di halte bis, tangki penyimpanan air, pot tanaman dan masih banyak lagi. Sedangkan bahan komposit berpenguat film seperti video, kaset, fotografi, isolasi listrik, film yang digunakan untuk komputer, isolasi panas, bahan pengemas dan sebagainya.

2.1.3. Bahan-bahan tambahan

Bahan tambahan berupa katalis digunakan sebagai pemicu (*initiator*) untuk memulai dan mempersingkat reaksi curing pada temperatur ruang. Pemakaian katalis yang berlebih akan menimbulkan panas saat curing dan hal ini bisa merusak produk yang dibuat. Katalis yang digunakan sebagai proses *curing* dalam pembuatan *GFRP*

berasal dari *organic peroxide* seperti *methyl ethyl ketone peroxide* dan *Acetyl acetone peroxide*. Katalis yang bereaksi dengan resin menimbulkan panas. Panas yang ditimbulkan pada proses pembuatan komposit dengan serat *woven roving* 2 lapis sekitar 80°C. Pada saat proses *curing* penambahan katalisnya adalah 0,5 % dari volume total komposit.

Untuk menghindari lengketnya produk dengan cetakan saat pembuatan komposit, maka harus diadakan proses pelapisan terhadap cetakan dengan menggunakan *release agent*. *Release agent* yang biasa digunakan pada pembuatan komposit biasanya berupa semir (*waxes*), *mirror glass*, *polyvinyls alcohol*, *film forming*, oli.

Bahan tambahan lain untuk memberikan tampilan lebih dari material *GFRP* ini adalah adiktif. Adiktif sebagai penambah kemampuan elektrik, bahan yang dapat meningkatkan kemampuan terhadap suhu tinggi seperti *melamine syanurate*, dan masih banyak lagi bahan yang dapat digunakan.

2.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan GFRP

GFRP merupakan bahan komposit yang diperkuat dengan serat dimana bahan yang berbentuk serat diikat dalam bahan lain yang disebut matrik. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi sifat bahan komposit yang diperkuat dengan serat adalah orientasi, panjang, bentuk, komposisi serat, dan sifat mekanik dari matriks, serta ikatan dalam campuran antara serat dan matriks (*interface* atau *bounding*) (Schwarts, M.M., 1984).

2.2.1 Jenis serat

Dilihat dari susunannya, serat dibedakan menjadi dua jenis yaitu serat kontinu (*continue*) dan serat tidak kontinu (*discontinue*). Secara teori serat panjang akan lebih efektif dalam hal transmisi beban dibandingkan serat pendek. Namun hal tersebut sulit untuk diwujudkan dalam praktek, mengingat faktor manufaktur yang tidak memungkinkan dihasilkannya kekuatan optimum pada seluruh panjang fiber dan pada pembuatan bahan komposit, karena pada pemakaian serat panjang akan terjadi ketimpangan dalam penerimaan beban antara serat, sebagian serat mengalami tegangan sedangkan yang lain dalam posisi bebas dari tegangan. Sehingga jika komposit tersebut dibebani sampai mendekati kekuatan patahnya, sebagian serat akan patah mendahului serat lainnya..

2.2.2. Orientasi serat

Orientasi serat sangat berpengaruh dalam menentukan kekuatan suatu bahan komposit, secara umum penyusunan serat pada komposit dapat dibedakan sebagai berikut :

1. *Unidirectional* : serat disusun secara searah paralel satu sama lain, sehingga didapat kekakuan dan kekuatan optimal pada arah serat, sedangkan kekuatan paling kecil terjadi pada arah tegak lurus serat.
2. *Bidirectional* : serat disusun secara tegak lurus satu sama lain (*ortogonal*). Pada susunan ini kekuatan tertinggi terdapat pada arah pemasangan serat.

3. *Pseudoisotropic* : penyusunan serat dilakukan secara acak, sifat dari susunan ini adalah isotropik yaitu kekuatan pada satu titik pengujian mempunyai kekuatan yang sama.

Kemampuan mekanik dari pemasangan serat dua arah ini adalah jenis yang paling proposional, karena pada pemasangan dua arah serat ini dapat memberikan kontribusi pemakaian serat paling banyak. Hal tersebut disebabkan karena pemasangan serat yang semakin acak, kontribusi serat yang dipasang akan semakin sedikit (fraksi volume kecil) mengakibatkan kekuatan komposit semakin menurun.

2.2.3. Komposisi dan bentuk serat

Jika dilihat dari bentuk, serat penguat mempunyai penampang lingkaran dan bentuk lain misalnya bujur sangkar. Kekuatan serat dapat juga dilihat dari diameter serat, perbandingan antara panjang dan diameter serat harus cukup besar. Hal ini dianjurkan agar tegangan geser yang terjadi pada permukaan antar serat dan matriks kecil. Berdasarkan komposisinya serat yang digunakan sebagai bahan penguat komposit dibedakan atas :

- a. Serat organik : yaitu serat yang berasal dari bahan alam, misalnya wol, sutera, kapas dan rami.
- b. Serat anorganik : yaitu serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik, misalnya gelas dan serat karbon. Adapun serat yang mempunyai kekuatan tinggi dan tahan panas (*hybrid fibre*).

2.2.4. Faktor Matriks

Dalam pembuatan bahan komposit, fungsi dari matriks adalah :

- a. Sebagai transfer dari beban, yaitu mendistribusikan beban ke serat sebagai bahan yang mempunyai modulus kekuatan tinggi.
- b. Sebagai pengikat fase serat pada posisinya, pada proses pembuatan bahan komposit yang diperkuat serat dan diikat oleh matriks, matriks harus mempunyai serat adhesi yang baik terhadap serat untuk menghasilkan struktur komposit yang sempurna karena hal ini berhubungan erat dengan transfer beban. Jika matriks mempunyai sifat adhesi yang kurang baik maka transfer beban tidak sempurna dan menyebabkan kegagalan berupa lepasnya ikatan antara matriks dengan serat (*debonding failure*). Secara garis besar kualitas matriks ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah kemampuan membasahi serat, banyak tidaknya rongga (*void*) saat dituang, temperatur atau tekanan curing dan viskositas
- c. Melindungi permukaan serat penguat dari abrasi yang diakibatkan oleh perlakuan secara mekanik misalnya gesekan antar serat.

2.2.5. Fase ikatan (*Bonding Phase*)

Kemampuan ikatan antara fiber dan matriks dapat ditingkatkan dengan memberikan aplikasi perlakuan permukaan yang disebut dengan *coupling agent*, yang meningkatkan sifat adhesi antara matriks dan fiber. *Coupling agent* diterapkan pada

serat sebagai perlakuan secara kimiawi dalam bentuk *sizing* (perlakuan permukaan ketika serat sedang dibentuk) dan *finishing* (perlakuan yang diterapkan setelah serat diproduksi dalam bentuk benang atau *woven fabric*). Proses *finishing* juga dapat melindungi dan mencegah kerusakan akibat gesekan antar serat sebelum dibuat menjadi struktur komposit.

2.3. Mekanika komposit

Sifat mekanik bahan komposit berbeda dengan bahan teknik konvensional lainnya. Tidak seperti bahan teknik lainnya yang pada umumnya bersifat homogen dan isotropik, komposit bersifat heterogen dan anisotropik dimana sifat pada arah yang lain. Sifat heterogen bahan komposit terjadi karena bahan komposit tersusun atas dua atau lebih bahan yang mempunyai sifat-sifat mekanik yang berbeda sehingga analisis mekanik komposit berbeda dengan bahan teknik konvensional. Sifat mekanik bahan komposit merupakan fungsi dari :

- a. Sifat mekanik komponen penyusunnya
- b. Geometri susunan masing-masing komponen
- c. Penggabungan antar komponen

Mekanika komposit dapat dianalisa dari dua sudut pandang yaitu dengan analisa mikromekanik bahan komposit dengan memperhatikan sifat-sifat mekanik bahan penyusunnya, hubungan anatara komponen penyusun tersebut dan sifat-sifat

akhir dari komposit yang dihasilkan. Sedangkan analisis makromekanik memperlihatkan sifat-sifat bahan komposit secara umum tanpa memperhatikan sifat maupun hubungan antara komponen penyusunnya (Robert, J. M., 1975). Jika komposit laminat diambil sebagai komponen dasar analisis bahan komposit, analisis makro mekanik dari laminat dapat diambil dari tegangan rata-rata, regangan rata-rata, maupun sifat mekanik rata-rata dari bahan homogen yang ekuivalen.

2.4. Modus Kegagalan Laminat

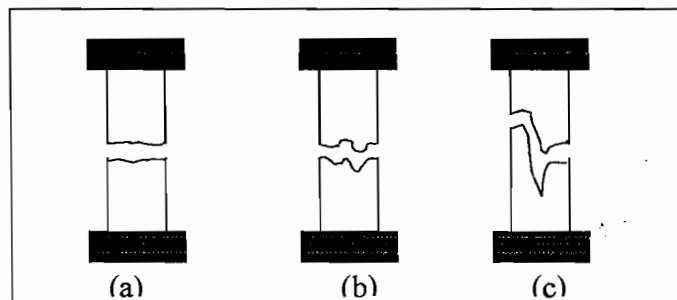
Secara umum ada tiga macam pembebanan yang menyebabkan suatu bahan komposit rusak, yaitu pembebanan tarik baik dalam arah longitudinal maupun transversal, serta geser.

2.4.1. Modus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal

Pada bahan komposit laminat yang diberi beban tarik searah serat, kegagalan bermula dari serat-serat yang patah pada penampang terlemah. Bila beban semakin membesar, akan semakin banyak pula serat yang patah. Jadi pada kebanyakan kasus, serat tidak patah sekaligus pada saat yang bersamaan. Variasi kerusakan serat secara kumulatif berdasarkan percobaan, serat patah pada beban yang relatif kecil, kurang dari 50 % beban maksimum. Pada mulanya, ketika jumlah serat yang patah sedikit matriks masih mampu mengulangi lagi hal tersebut dengan mendistribusikan gaya ke sekitar atau ke serat lainnya.

Bila serat yang patah semakin banyak, maka ada tiga kemungkinan (Hadi, B.K., 2000) :

- a. Bila matriks mampu menahan gaya geser dan meneruskan ke serat sekitar, maka serat yang patah akan semakin banyak sehingga timbul retakan. Bahan komposit akan patah getas (*brittle failure*) seperti tampak pada Gambar 2.2.a.
- b. Bila matriks tidak mampu menahan konsentrasi tegangan geser yang timbul diujung serat dapat terlepas dari matriks (*debonding*) dan komposit rusak searah serat seperti tampak pada Gambar 2.2.b
- c. Kombinasi dari kedua tipe diatas pada kasus ini patah serat yang terjadi disembarang tempat disertai dengan kerusakan matriks. Modus kerusakan berwujud seperti sikat (*brush type*) seperti terlihat pada Gambar 2.2.c



Gambar 2.2. Modus kerusakan pada bahan komposit akibat beban tarik longitudinal

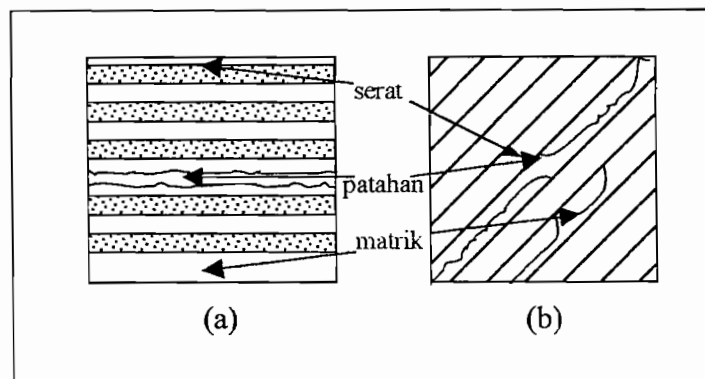
Modus kegagalan diatas dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti kekuatan serat dan matriks, maupun fraksi volume serat dan matriks. Bila fraksi volume serat pada bahan komposit mengecil, modus patahan yang terjadi kebanyakan bertipe getas. Suatu percobaan dengan bahan komposit serat gelas (*fiber glass*) menunjukkan bahwa bila fraksi volume serat, $V_f < 0,40$, modus kegagalan yang terjadi bertipe getas. Pada fraksi volume menengah, $0,40 < V_f < 0,65$, modus yang terjadi adalah patah getas dan debonding, sedang $V_f > 0,65$, menunjukkan patah getas, *debonding*, serat tercabut dari matriks atau bahkan matriks rusak akibat gaya geser. Ini akan terjadi bila kandungan *void* (gelembung udara) pada bahan tersebut diabaikan.

2.4.2. Modus Kegagalan Akibat beban Tarik Transversal

Serat yang tegak lurus arah pembebanan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada interface antara serat dan matriks dan pada matriks itu sendiri karena itu bahan komposit yang mendapat beban transversal akan gagal pada interface antar serat dan matriks meskipun kadang-kadang terjadi juga kegagalan transversal pada serat bila arah serat sangat acak dan lemah dalam arah transversal. Dengan demikian modus kegagalan akibat beban tarik transversal terjadi karena (Hadi, B.K., 2000) :

a. Kegagalan tarik matriks

b. *Debonding* pada *interface* antara serat dan matriks.



Gambar 2.3. Kegagalan pada komposit akibat beban tarik transversal

2.4.3. Modus Kegagalan Internal Mikroskopik

Suatu bahan dikatakan gagal bila struktur tersebut tidak dapat berfungsi dengan baik. Dengan demikian definisi kegagalan berbeda menurut kebutuhan yang berlainan. Untuk penerapan struktur tertentu, deformasi yang kecil barangkali sudah dianggap gagal, sedang pada struktur yang lain hanya kerusakan total dapat dianggap gagal.

Hal ini sangat terlihat pada bahan komposit. Pada bahan ini, kerusakan internal mikroskopik (yang tidak dapat diamati oleh mata) dapat jauh terjadi sebelum kerusakan nyata terlihat. Kerusakan internal mikroskopik ini terjadi dalam beberapa bentuk seperti :

1. Patah pada serat (*fiber breaking*)
2. Retak mikro pada matriks (*matriks micro crack*)
3. Terkelupasnya serat dari matriks (*debonding*)

4. Terpisahnya lamina satu dengan yang lain (*delamination*)

Foto mikrograf menunjukkan jenis-jenis kerusakan internal mikroskopik tersebut. Kerusakan ini sama sekali tidak dapat diamati dengan mata telanjang dan baru dapat terlihat mata bila kerusakan cukup besar ditempat yang sama. Karena itu pada kondisi sebenarnya sangat sulit untuk menentukan kapan suatu bahan komposit dikatakan rusak atau gagal.

Karena rumitnya masalah tersebut pada kebanyakan kasus struktur, bahan komposit dikatakan gagal bila bahan tersebut telah rusak total ketika mendapat beban tertentu atau kurva tegangan-regangan yang ditunjukkan tidak lagi linier. Dan ini berlaku baik untuk lapisan tunggal (lamina) maupun laminat (Hadi, B.K., 2000).

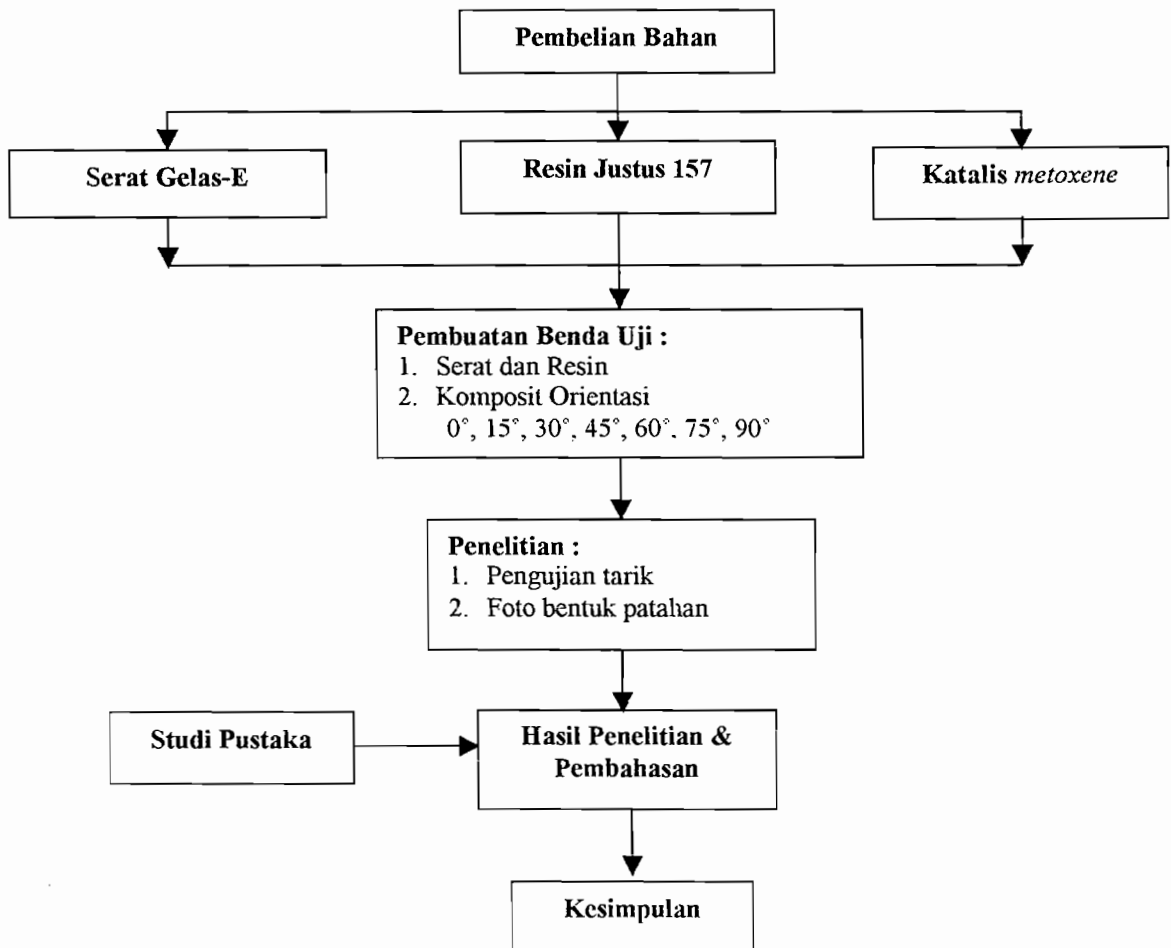


BAB III

CARA PENELITIAN

3.1. Skema Jalan Penelitian

Untuk memperjelas jalannya alur penelitian maka dibuat skema jalannya penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1. berikut :



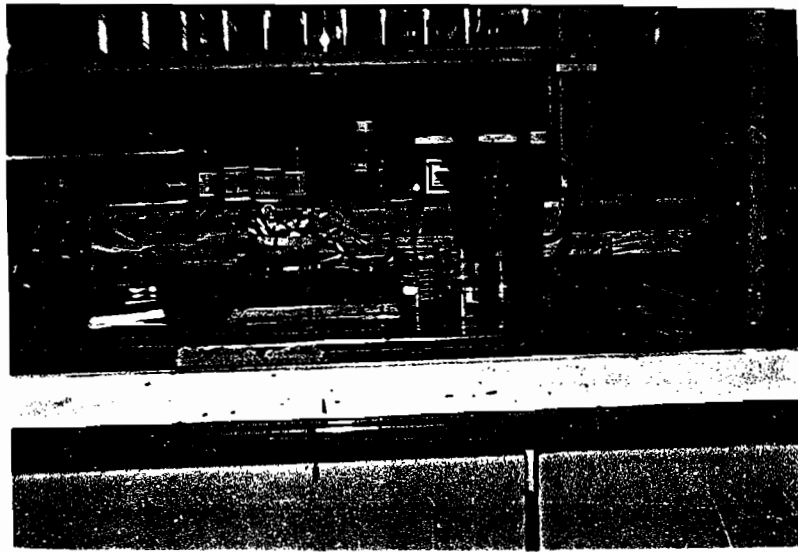
Gambar 3.1. Skema Jalan Penelitian

3.2. Penyiapan Benda Uji

3.2.1. Alat dan Bahan

Alat-alat yang dipergunakan dalam pembuatan komposit serat gelas adalah sebagai berikut :

- a. Bahan pembuat cetakan yaitu kaca dengan ketebalan 0,5 cm dan 0,3 cm dengan ukuran :
 - i. $56 \times 46 \times 0,5$ cm sebanyak dua lembar.
 - ii. $56 \times 5 \times 0,3$ cm sebanyak dua lembar.
 - iii. $35 \times 5 \times 0,3$ cm sebanyak dua lembar.
- b. Alat pemotong (gergaji, pisau, gunting)
- c. Jam dan termometer
- d. Alat ukur (gelas ukur 1000 cc dan 5 cc, neraca, penggaris / meteran, jangka sorong, jangka)
- e. Tempat untuk mengaduk dan mencampur resin. (kaleng / ember, stik pengaduk)
- f. Alat untuk membantu dalam pencetakan. (alat perata, kuas, roler lay-up, scraber)
- g. Alat untuk finishing (gerenda, kertas amplas, kikir)



Gambar 3.2. Foto Alat Yang Digunakan Untuk Pembuatan Bahan Komposit.

Sedangkan bahan-bahan utama yang digunakan untuk membuat komposit serat gelas (GFRP) adalah sebagai berikut :

1. Serat

Pada penelitian komposit ini, serat penguat yang digunakan adalah serat gelas-E yang diproduksi oleh P.T. Asahi Fiber Glass dengan jenis serat berbentuk *woven roving*. Karena serat yang dipakai tidak disertai spesifikasi khusus maka untuk mengetahui sifat-sifat mekaniknya harus dilakukan pengujian secara langsung untuk mengetahui kekuatan tarik dan massa jenis serat secara aktual. Data dan perhitungan dari pengujian serat yang digunakan, selengkapnya ditampilkan dalam lampiran tabel dan perhitungan.

2. Resin

Resin yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah resin yang diproduksi oleh P.T. Justus Sakti Raya Jakarta dengan tipe 157. Ciri-ciri fisik resin ini berwarna kecoklat-coklatan.

Resin yang dipakai dalam penelitian tidak disertai spesifikasi khusus, sehingga untuk mengetahui sifat-sifat mekaniknya dilakukan pengujian tarik terhadap resin pengikat tanpa serat. Demikian pula massa jenis resin dilakukan pengujian secara langsung untuk mengetahui massa jenis aktual dari resin yang digunakan. Hasil serta perhitungan dari pengujian resin selengkapnya disajikan dalam lampiran tabel dan perhitungan.

3. Katalis

Katalis merupakan bahan tambahan dalam pembuatan bahan komposit. Katalis digunakan sebagai pemicu dalam proses curing. Penambahan katalis dengan rasio perbandingan 0,5 % dari volume total, sehingga terjadi reaksi yang bersifat eksoterm. Katalis akan bereaksi dengan resin dan menimbulkan panas yang berkisar antara 60° - 90°C yang cukup untuk mereaksikan resin hingga diperoleh kekuatan maksimal dan bentuk plastik.

Dalam penelitian ini digunakan katalis *metoxene (methyle ethyl ketone peroxide)* untuk mempercepat laju curing komposit. Laju curing komposit ditentukan oleh jumlah katalis yang ditambahkan ke dalam resin, semakin banyak katalis yang ditambahkan semakin cepat laju curing yang dihasilkan. Namun jika

katalis yang digunakan terlalu banyak, matriks komposit yang dihasilkan cenderung bersifat getas, sehingga penggunaan katalis harus disesuaikan dengan kebutuhan. Dengan menggunakan katalis *metoxene* waktu yang dibutuhkan untuk curing berkisar antara 8-12 jam.

4. Release agent

Saat pembuatan komposit pada cetakan, biasanya komposit akan lengket pada cetakan. Untuk menghindari lengketnya komposit pada cetakan maka digunakan *release agent*. Pada pembuatan komposit, pada umumnya menggunakan *mirror glass* sebagai *release agent*. Namun pada pembuatan bahan komposit ini, yang digunakan sebagai anti adesive adalah oli. Oli dipilih karena mempunyai kemampuan yang hampir sama dengan *mirror glass*, selain itu harganya relatif lebih murah dan mudah didapatkan.

Pemakaian oli digunakan dengan cara mengoleskan dan melapisi seluruh cetakan yang akan mengalami kontak langsung dengan resin saat pembuatan. Pelapisan cetakan dengan bahan anti adesive (oli) ini akan mempermudah proses pelepasan produk yang dibuat dari *moulding* / cetakan. Pelapisan oli dilakukan satu kali dalam setiap proses pembuatan, sebab semakin banyak proses pelapisan akan banyak menimbulkan cacat pada permukaan komposit. Usahakan saat pelapisan benar-benar merata.

5. *Acetone*

Acetone dapat digunakan untuk membersihkan resin yang belum mengalami proses pengeringan (*curing* sempurna) dari alat-alat yang kita pergunakan dalam proses pembuatan. Pemakaian *acetone* ini hanya dapat berfungsi sebelum resin menjadi keras dan kering, apabila resin telah mengeras dan kering akan sulit dan lama dalam pembersihannya. Bahan *acetone* tidak dapat digunakan sebagai pengencer dalam pembuatan, walaupun bahan ini mempunyai sifat mengencerkan resin, karena pemakaian bahan ini akan mengakibatkan pengaruh terhadap proses curing dan sifat dari bahan yang dihasilkan.

3.2.2. Pembuatan Cetakan

Untuk membuat bahan komposit ini, dibutuhkan sebuah cetakan yang nantinya bentuk dan dimensi dari cetakan ini akan menjadi bentuk dan dimensi dari produk yang dibuat dalam cetakan tersebut. Langkah untuk membuat cetakan hanya perlu beberapa tahap saja, sebab hanya perlu menyiapkan kaca dengan ukuran sebagai berikut :

- i. $56 \times 46 \times 0,5$ cm sebanyak dua lembar.
- ii. $56 \times 5 \times 0,3$ cm sebanyak dua lembar.
- iii. $35 \times 5 \times 0,3$ cm sebanyak dua lembar.

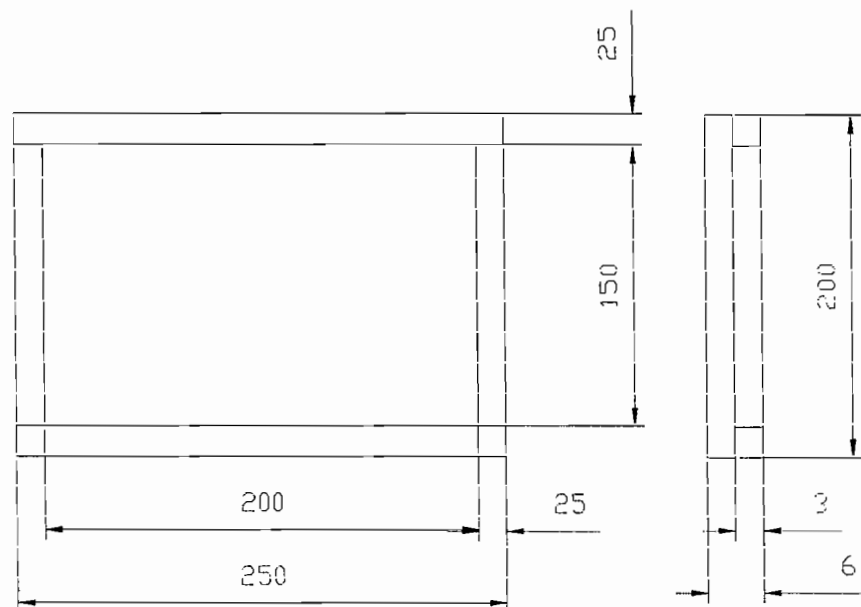
3.3. Pembuatan Benda Uji

3.3.1. Pembuatan Benda Uji Matriks Pengikat

Pembuatan benda uji matriks pengikat dilakukan dengan metode hand lay-up, mengingat proses pencetakan yang relatif sederhana dan hasil yang cukup baik. Cetakan yang digunakan untuk pembuatan matriks pengikat ini mempunyai dimensi 20×15 cm dengan tebal cetakan yang akan dihasilkan 3 mm. Dimensi dari cetakan dibuat berdasarkan dimensi hasil akhir benda yang diharapkan seperti yang dihasilkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Dimensi cetakan matriks pengikat.

Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Volume (cm ³)
200	150	3	90



Gambar 3.3. Dimensi dari cetakan matriks pengikat.

Urutan pencetakan benda uji matriks pengikat adalah sebagai berikut :

- a. Permukaan cetakan dilapisi dengan oli, pelapisan ini dilakukan untuk mempermudah pemisahan produk dari cetakan. Usahakan saat pelapisan oli benar-benar merata.
- b. Resin disiapkan sesuai dengan volume cetakan sebesar 89,55 cc (99,5 %). Kemudian resin yang telah diletakkan pada wadah pencampur ditambahkan katalis dengan perbandingan 0,5 % dari volume total, jadi sebesar 0,45 cc katalis.
- c. Campuran resin dan katalis diaduk hingga rata (gel time 10 – 20 menit). Setelah resin dan katalis tercampur dengan merata, kemudian dituang pada cetakan. Resin yang dituang pada cetakan diusahakan benar-benar rata permukaannya.
- d. Cetakan bagian atas kemudian ditutup dengan kaca yang telah dilapisi oli. Cetakan yang sudah disiapkan kemudian di clamp agar tidak terjadi penggelembungan.
- e. Proses curing berlangsung antara 8 – 12 jam. Cetakan bagian atas (penutup) dilepas dan matriks dikeluarkan dari cetakan dengan bantuan scraber.
- f. Produk selanjutnya dipotong sesuai dengan ukuran spesimen.

Catatan : Untuk membersihkan peralatan dari resin, dapat menggunakan acetone. Pembersihan dilakukan sebelum resin mengering dan menjadi keras.

3.3.2. Pembuatan Benda Uji Komposit

Untuk membuat benda uji komposit, langkah yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah menghitung komposisi serat, resin dan katalis yang digunakan pada pembuatan benda uji komposit agar mendapatkan hasil sesuai yang diharapkan.

Langkah pertama adalah menghitung berat serat yang akan digunakan dengan cara menimbang serat sesuai dengan ukuran cetakan. Berat serat *woven roving* sebanyak dua lapis adalah seberat 271,4 gram.

Langkah kedua adalah menghitung volume serat dengan cara, berat serat yang telah diketahui dimasukkan kedalam persamaan berikut :

$$\rho = 2,54 \text{ g/cm}^3$$

$$2,54 = \frac{271,4}{V_s} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$V_s = 106,85 \text{ cm}^3 = 0,10685 \text{ dm}^3$$

Dari Persamaan (3.1) diketahui bahwa volume serat (V_s) adalah $106,85 \text{ cm}^3 = 0,10685 \text{ dm}^3$.

Langkah ketiga adalah mencari banyaknya resin dan katalis yang digunakan dalam pencetakan komposit. Karena untuk komposisi katalis sudah ditentukan sebanyak 0,5 % dari volume total, maka kebutuhan resin dapat dihitung mengandaikan katalisnya 2,5 cc = 0,0025 dm³. Resin yang digunakan dalam pembuatan komposit sebanyak 390,65 cc = 0,39065 dm³ dan katalis sebanyak 2,5 cc = 0,0025 dm³.

Langkah keempat adalah membuat perbandingan antara volume serat, resin dan katalis. Perbandingan untuk ketiga bahan tersebut dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut :

$$V_S : V_R : V_K = 0,10685 : 0,39065 : 0,0025 \dots\dots\dots (3.2)$$

$$= 42,74 : 156,26 : 1$$

$$V_{\text{tot}} = V_S + V_R + V_K \dots\dots\dots (3.3)$$

$$= 0,10685 + 0,39065 + 0,0025$$

$$= 0,5 \text{ dm}^3 = 500 \text{ cc}$$

Langkah kelima adalah menghitung dalam persentase banyaknya serat, resin dan katalis yang dipergunakan.

$$\text{Serat} = \frac{106,85}{500} = 0,2137 = 21,37 \%$$

$$\text{Resin} = \frac{390,65}{500} = 0,7813 = 78,13 \%$$

$$\text{Katalis} = \frac{1}{500} = 0,005 = 0,5 \%$$

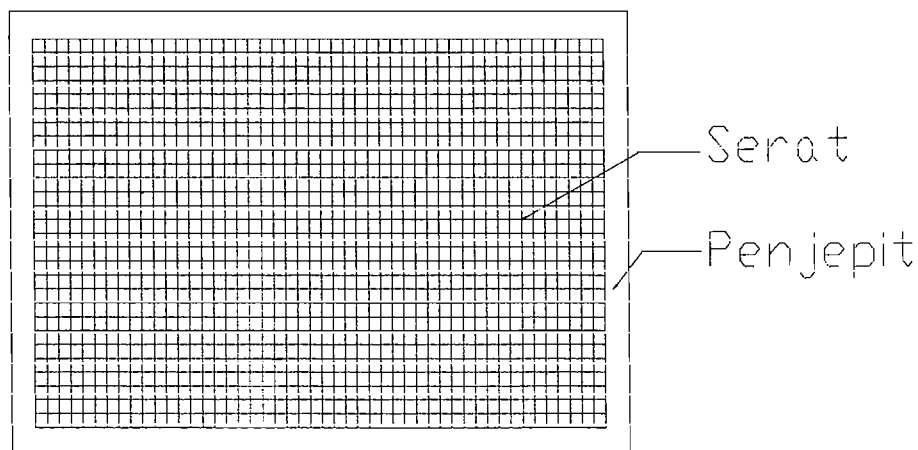
Berdasar perhitungan diatas didapat komposisi untuk bahan komposit sebagai berikut : serat dua lapis dengan berat 271,4 gram (21,37 %), resin 390,65 cc (78,13 %), katalis 2,5 cc (0,5 %).

Selanjutnya benda uji komposit dibuat dengan ketebalan 3 mm sesuai dengan ketebalan pembatas yang digunakan pada cetakan. Untuk benda uji komposit proses pembuatan dan percetakan hampir sama dengan proses percetakan matrik pengikat, namun perlu diperhatikan adanya penambahan serat dalam produk.

Urutan pencetakan benda uji komposit adalah sebagai berikut :

- a. Cetakan yang sudah dipersiapkan dilapisi dengan oli, agar komposit tidak lengket dengan cetakannya.
- b. Serat gelas dalam bentuk *woven roving* yang telah terpotong-potong sesuai dengan ukuran (46 × 36 cm) disiapkan sebanyak 2 lapis. Untuk menghasilkan kesejajaran dan posisi yang tidak berubah-ubah pada waktu proses pembuatan maka di setiap sisi serat perlu dilakukan penjepitan pada keempat sisinya (Gambar 3.3.).
- c. Resin dan katalis sebanyak 390,65 cc (78,13 %) dan 2,5 cc (0,5 %), diaduk hingga benar-benar merata.

- d. Setelah serat diatur kelurusan dan keseajarannya, maka adukan resin dan katalis (390,65 / 2,5 cc) dapat dituangkan ke dalam cetakan, agar resin dapat meresap ke seluruh bagian cetakan dan dapat membasahi serat dengan merata dapat dilakukan dengan sapuan kuas dan roler hand lay-up yang sudah dipersiapkan.
- e. Setelah 2 kali proses penyusunan serat dan ketebalan dari produk telah tercapai maka dilakukan pemasangan cetakan bagian atas dan memberikan penekanan dengan cara menjepit kaca yang terdapat pada setiap sisi cetakan.



Gambar 3.4. Rangkaian kesejajaran serat dalam cetakan komposit.

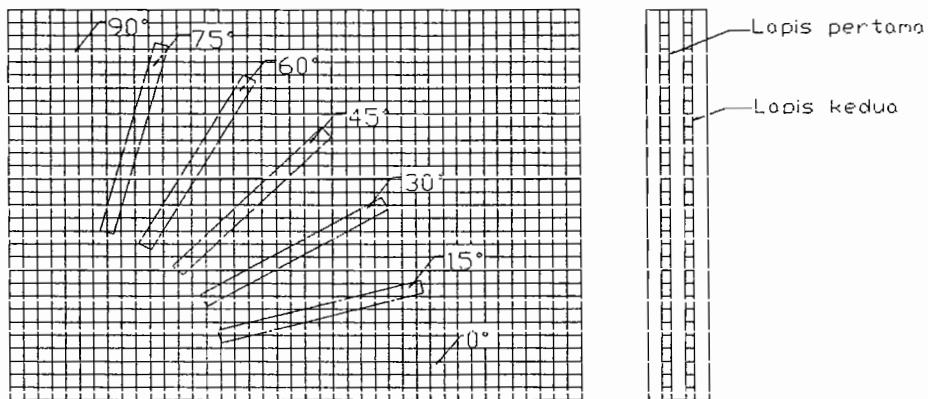
- f. Setelah 8 – 12 jam proses curing selesai, hasil cetakan dapat dilepas dengan bantuan scraber. Hasil cetakan benda uji komposit dipotong sesuai dengan orientasi arah serat yang dibutuhkan.

Catatan: Untuk membersihkan peralatan dari resin, dapat menggunakan acetone. Pembersihan dilakukan sebelum resin mengering dan menjadi keras.

3.3.3. Cara Pemotongan Benda Uji Komposit

Setelah benda uji komposit jadi dalam bentuk lembaran, selanjutnya potong lembaran komposit tersebut dipotong menjadi benda uji sesuai dengan ketentuan sudut orientasi. Langkah-langkah pemotongan lembaran komposit :

- a. Sudut orientasi yang diinginkan dapat ditentukan dengan bantuan busur derajat dan penggaris. Untuk lebih jelas lihat Gambar 3.4.
- b. Lembaran komposit digambar membentuk persegi panjang dengan ukuran $22 \times 2,5$ cm pada orientasi serat yang telah ditentukan.
- c. Lembaran komposit kemudian dipotong sesuai gambar dengan bantuan gergaji.
- d. Untuk pembuatan specimen agar sesuai dengan standart uji ASTM A 370, dibuat menggunakan mesin milling.
- e. Proses terakhir adalah finishing, yaitu menghaluskan sisi-sisi bekas pemotongan menggunakan ampelas.

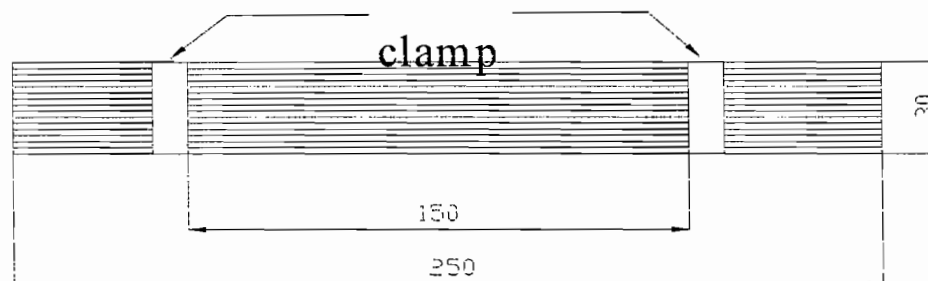


Gambar 3.5. Pemotongan benda uji komposit sesuai dengan arah orientasi serat yang digunakan.

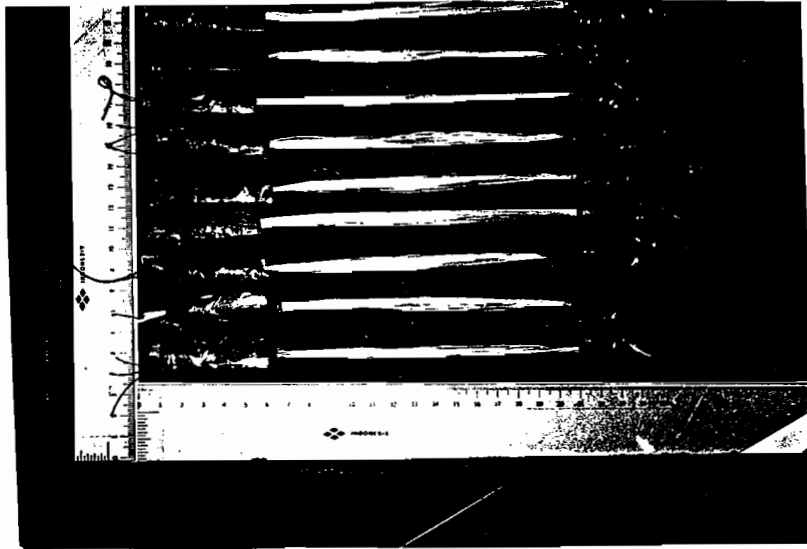
3.4. Standart dan ukuran Benda Uji

3.4.1. Benda uji serat penguat

Pengujian tarik serat penguat berupa serat gelas ini dilakukan dengan standar pengujian JIS R 3420 (*Standart Testing for Textile Glass Product*).



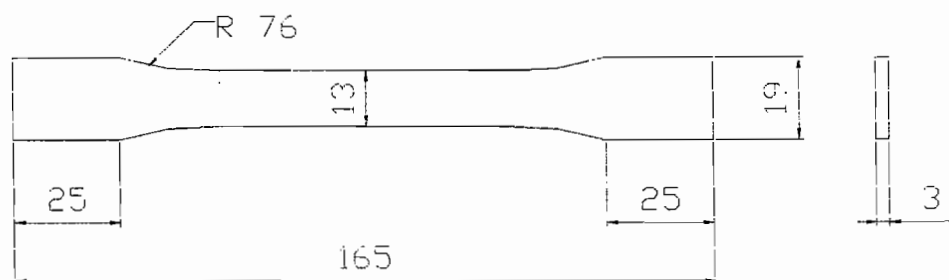
Gambar 3.6. Dimensi Benda Uji Tarik Serat.



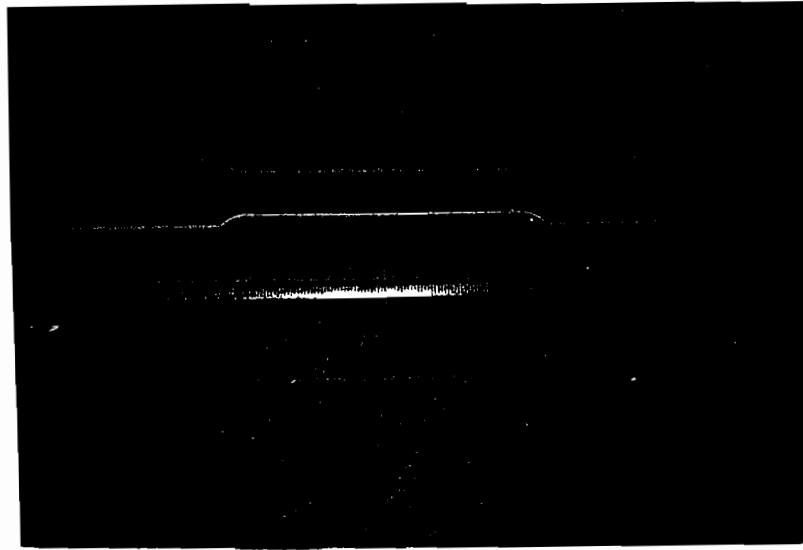
Gambar 3.7. Foto Benda Uji Tarik Serat.

3.4.2. Benda uji matriks pengikat

Untuk mengetahui sifat matriks pengikat dapat dilakukan dengan pengujian ASTM D3039 (*Standart Test Method for Tensile Properties of Plastic*). Sesuai dengan standar pengujian ASTM D3039, ukuran benda uji yang dipergunakan adalah sebagai berikut :



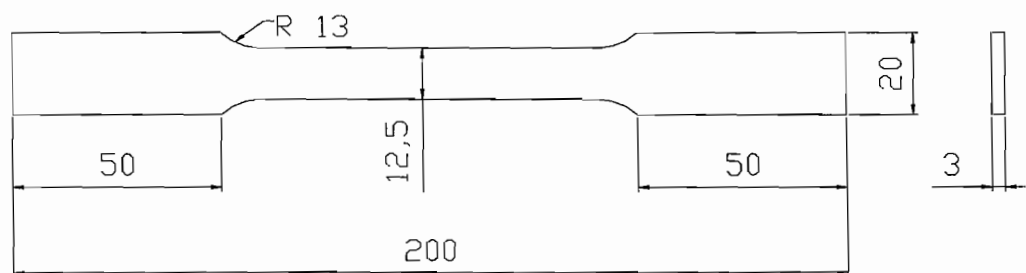
Gambar 3.8. Dimensi benda uji tarik matriks pengikat.



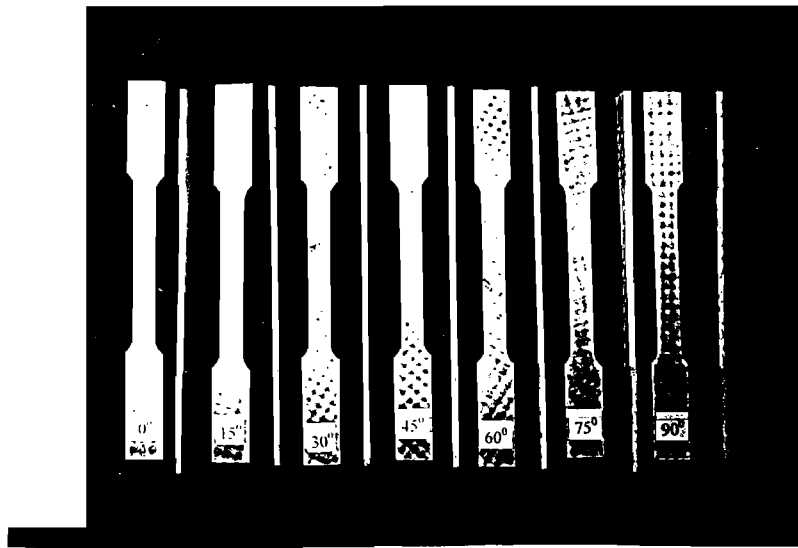
Gambar 3.9. Foto benda uji matriks pengikat.

3.4.3. Benda uji komposit

Pengujian tarik komposit dilakukan dengan standar pengujian ASTM A 370 dengan dimensi benda uji yang dipergunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 3.10. Dimensi benda uji tarik komposit.



Gambar 3.11. Foto benda uji tarik komposit pada berbagai arah orientasi serat.

3.5. Metode Penelitian

3.5.1. Pengujian serat

3.5.1.1. Pengujian tarik serat

Untuk mengetahui sifat-sifat mekanik serat penguat, dilakukan pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik universal.

Untuk mengetahui kekuatan serat digunakan 5 buah benda uji dengan standar *JIS R 3420 for glass*, kelima data tersebut kemudian dirata-rata dan digunakan sebagai data dalam penelitian yang diambil dari pengujian.

Dalam pengujian tarik serat diperoleh print-out berupa data perincian hasil pengujian tarik serat yaitu berupa spesifikasi serat, parameter yang dipakai dalam

pengujian dan data statistik dari hasil pengujian tarik serat beserta grafik beban dalam bentuk regangan dan tegangan yang terjadi selama pengujian.

3.5.2. Pengujian matriks pengikat

3.5.2.1. Pengujian tarik matriks pengikat

Untuk mengetahui sifat-sifat mekanik matriks pengikat secara terpisah dilakukan pengujian tarik dengan menggunakan mesin uji tarik universal. Dalam pengujian tarik matriks pengikat digunakan 5 buah benda uji dengan dimensi benda uji sesuai dengan standar ASTM D3039.

Setelah pengujian ini, dapat diketahui penambahan panjang dan beban yang terjadi selama pengujian berlangsung. Hasil pengujian tarik, berupa print-out grafik hubungan tegangan dan regangan.

3.5.2.2. Perhitungan massa jenis matriks pengikat

Untuk menghitung massa jenis matriks pengikat ditentukan dengan Persamaan (3.1) dengan membuat 5 buah benda uji dengan dimensi tebal 3 mm panjang 165 mm, dengan lebar 19 mm. Seluruh benda uji tersebut ditimbang untuk mengetahui bobotnya dan diukur volume masing-masing benda uji.

Persamaan untuk menghitung massa jenis matriks pengikat :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (3.4)$$

dengan:

v = volume (cm^3)

ρ = massa jenis (gr/cm^3)

m = bobot (gr)

3.5.3. Pengujian komposit

3.5.3.1. Pengujian tarik komposit

Untuk mengetahui sifat komposit dengan arah orientasi serat 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , dan 90° dapat dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik universal.

Pada pengujian tarik komposit digunakan 5 buah benda uji untuk masing-masing sudut orientasi serat dengan dimensi benda uji sesuai dengan standar ASTM A 370. Setelah data kelima benda uji didapat, kemudian dicari harga rata-rata.

Pada pengujian ini diukur pertambahan panjang dan beban yang terjadi selama pengujian berlangsung. Hasil pengujian tarik berupa print-out grafik hubungan regangan dengan tegangan.

3.5.3.2. Perhitungan massa jenis komposit

Untuk mengetahui massa jenis matriks pengikat ditentukan dengan Persamaan (3.1) dengan membuat 5 buah benda uji dengan dimensi tebal 3 mm

panjang 200 mm, dengan lebar 20 mm. Seluruh benda uji tersebut ditimbang untuk mengetahui bobotnya dan diukur volume masing-masing benda uji.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui sifat-sifat mekanik matriks, serat penguat dan komposit yang dihasilkan, maka dilakukan pengujian secara terpisah berupa pengujian kekuatan tarik serat, pengujian tarik matrik dan pengujian tarik komposit. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel hasil analisis dan perhitungan. Sedangkan data selengkapnya mengenai hasil pengujian disajikan dalam lampiran.

4.1. Hasil Pengujian Tarik Serat

Pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik universal menghasilkan grafik prin-out berupa grafik hubungan beban tegangan regangan yang terjadi selama pengujian berlangsung pada kondisi suhu tertentu hingga mencapai beban maksimum (F_{maks}) dan regangan yang terjadi pada saat beban maksimum sehingga hasil pengujian tarik serat perlu dikonversikan dahulu dalam bentuk hubungan tegangan dan regangan. Dari hasil analisis dan perhitungan pengujian tarik serat diperoleh beberapa sifat mekanik serat gelas-E seperti disajikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Sifat mekanik serat gelas.

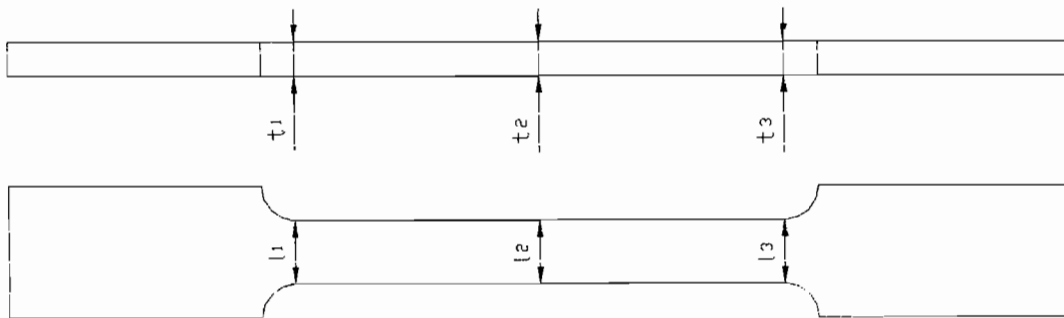
Serat	Luas Penampang (mm ²)	L ₀ (mm)	Beban (kg)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	L (mm)	δ (mm)	ε maks (%)
1	0,0182	150	67,9	3730,77	153,3	3,3	2,2
2	0,0175	150	65,0	3714,29	153,5	3,5	2,3
3	0,0186	150	69,4	3731,18	153,9	3,9	2,6
4	0,0182	150	67,3	3697,80	153,9	3,9	2,6
5	0,0183	150	68,4	3737,70	153,6	3,6	2,4

Dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik serat sebagai serat penguat lebih besar daripada kekuatan tarik resin sebagai matrik pengikat ($\sigma_{f\text{maks}} > \sigma_{m\text{maks}}$).

4.2. Hasil Pengujian Tarik Matriks

Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik menghasilkan grafik print-out berupa grafik hubungan beban dengan pertambahan panjang pada masing-masing arah serat, contoh dapat dilihat pada lampiran. Dengan pembacaan grafik tegangan regangan tersebut diperoleh besar tegangan maksimum dengan regangan pada saat tegangan maksimum.

Metode analisis terhadap pengujian tarik serat dan komposit dapat pula dilakukan seperti metode analisis terhadap pengujian tarik matrik, sehingga dari analisis grafik pengujian dan perhitungan diperoleh beberapa sifat mekanis yang disajikan dalam Tabel 4.1. dan Tabel 4.5.



Gambar 4.1. Keterangan Tabel 4.2.

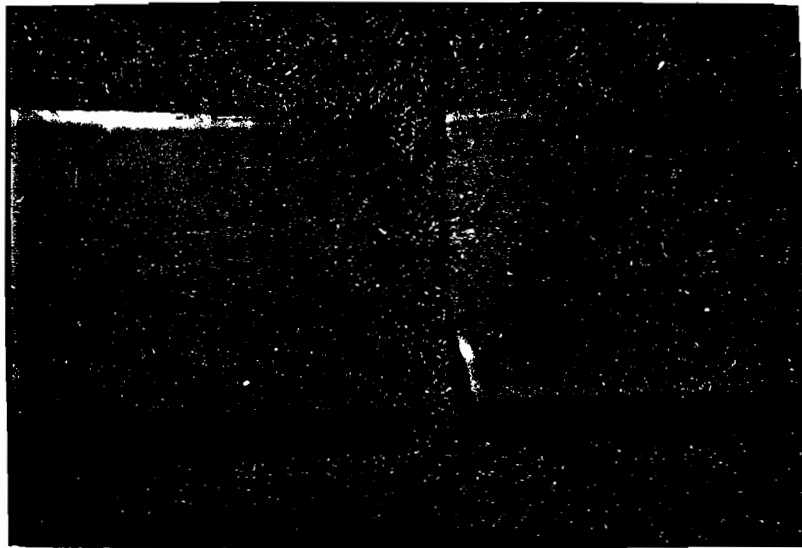
Tabel 4.2. Ukuran lebar dan tebal matriks pengikat.

Matriks	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	t_3 (mm)	l_{rata} (mm)	t_{rata} (mm)
1	12,9	12,9	13	3	2,9	3	12,93	2,97
2	13	12,9	12,8	2,9	3	3	12,9	2,97
3	12,8	13	13	2,8	2,8	3	12,93	2,87
4	13	12,8	12,8	2,9	3	2,8	12,87	2,9
5	12,8	12,8	12,9	2,9	2,9	3	12,83	2,93

Tabel 4.3. Sifat mekanik matriks pengikat.

Matriks	Luas Penampang (mm ²)	L_0 (mm)	Beban (kg)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	L (mm)	δ (mm)	ϵ maks (%)
1	38,4	50	163,58	4,26	50,9	0,9	1,8
2	38,3	50	160,14	4,18	50,9	0,9	1,8
3	37,11	50	134,7	3,63	50,8	0,8	1,6
4	37,32	50	172,05	4,61	51,15	1,15	2,3
5	37,59	50	140,59	3,74	51,0	1,0	2,0

Dari pengujian tarik terhadap matriks pengikat, menunjukkan sifat perpanjangan yang cukup tinggi matrik polimer termoset dalam aplikasi komposit secara umum dikenal dengan sifat regangan yang tinggi jika meninjau model kerusakan matriks yang terjadi, model kerusakan yang terjadi cenderung berupa patah getas seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2 sehingga matriks pengikat yang digunakan bersifat getas.



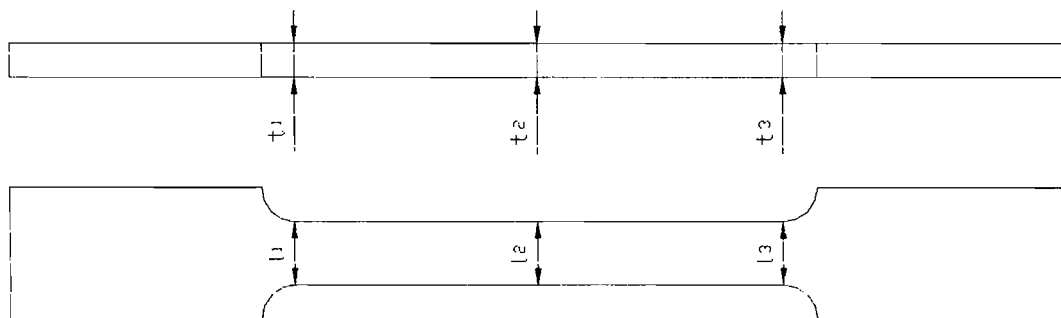
Gambar 4.2. Foto bentuk perpatahan matriks pengikat.

4.3. Hasil Pengujian Tarik Komposit

Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik menghasilkan grafik print-out berupa grafik hubungan tegangan regangan yang disajikan pada lampiran. Dengan pembacaan grafik tegangan regangan pada saat tegangan maksimum. Melalui analisis grafik pengujian tarik, diperoleh beberapa sifat mekanik komposit yang ditunjukkan dalam Tabel 4.5.

Dari pengujian tarik terhadap komposit pada orientasi arah serat, telah diperoleh beberapa sifat mekanik pada setiap orientasi arah serat yang ditentukan. Berdasarkan Tabel 4.5 dapat diambil kesimpulan bahwa serat akan memberikan kekuatan maksimum saat berada dalam orientasi 0° dan 90° , pada saat itu komposit mempunyai harga kekuatan tarik yang terbesar karena hampir semua beban dapat ditanggung oleh serat.





Gambar 4.3. Keterangan dari Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Ukuran lebar dan tebal komposit.

Orientasi	Nama	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	t_3 (mm)	l_{rata} (mm)	t_{rata} (mm)
0°	A ₁	12,5	12,3	12,4	2,9	2,9	3	12,4	2,9
	A ₂	12,3	12,4	12,5	3	2,8	3	12,4	2,9
	A ₃	12,4	12,5	12,3	2,8	3	2,8	12,4	2,9
	A ₄	12,5	12,4	12,3	2,8	2,9	2,8	12,4	2,8
	A ₅	12,3	12,3	12,4	2,9	3	2,9	12,3	2,9
15°	B ₁	12,4	12,3	12,5	3	2,8	3	12,4	2,9
	B ₂	12,5	12,3	12,4	3	2,8	3	12,4	2,9
	B ₃	12,5	12,4	12,3	2,8	2,9	2,8	12,4	2,8
	B ₄	12,4	12,4	12,3	2,8	3	2,9	12,4	2,9
	B ₅	12,4	12,4	12,5	3	2,9	2,8	12,4	2,9
30°	C ₁	12,4	12,5	12,3	2,9	3	3	12,4	2,9
	C ₂	12,5	12,4	12,4	3	2,8	3	12,4	2,9
	C ₃	12,3	12,5	12,4	3	3	2,8	12,4	2,9
	C ₄	12,3	12,5	12,4	2,8	2,8	2,9	12,4	2,8
	C ₅	12,4	12,3	12,5	2,9	2,9	2,8	12,4	2,9
45°	D ₁	12,5	12,4	12,3	3	2,8	2,9	12,4	2,9
	D ₂	12,4	12,3	12,5	3	2,8	2,9	12,4	2,9
	D ₃	12,4	12,4	12,4	2,9	3	2,9	12,4	2,9
	D ₄	12,3	12,5	12,4	2,8	2,8	2,9	12,4	2,8
	D ₅	12,5	12,4	12,3	2,8	2,9	3	12,4	2,9
60°	E ₁	12,4	12,4	12,5	3	2,9	2,8	12,4	2,9
	E ₂	12,5	12,4	12,4	3	3	3	12,4	3
	E ₃	12,3	12,3	12,5	2,9	3	2,8	12,4	2,9
	E ₄	12,3	12,5	12,3	2,9	2,9	3	12,4	2,9
	E ₅	12,4	12,3	12,3	2,9	2,8	3	12,3	2,9
75°	F ₁	12,3	12,3	12,5	3	2,9	2,9	12,4	2,9
	F ₂	12,5	12,4	12,4	2,9	3	3	12,4	2,9
	F ₃	12,4	12,5	12,4	3	2,8	2,8	12,4	2,9
	F ₄	12,5	12,4	12,3	3	2,9	2,9	12,4	2,9
	F ₅	12,4	12,4	12,3	3	3	2,8	12,4	2,9
90°	G ₁	12,3	12,3	12,5	2,8	2,8	3	12,4	2,9
	G ₂	12,5	12,3	12,4	2,9	2,9	3	12,4	2,9
	G ₃	12,3	12,4	12,5	3	2,8	2,8	12,4	2,9
	G ₄	12,4	12,5	12,3	2,8	3	3	12,4	2,9
	G ₅	12,5	12,4	12,3	3	3	2,8	12,4	2,9

Tabel 4.5. Kekuatan komposit serat gelas-E terhadap variasi arah orientasi serat.

Orientasi	Nama	Luas Penampang (mm ²)	L ₀ (mm)	Beban (kg)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	L (mm)	δ (mm)	ε maks (%)
0°	A ₁	35,96	60	466,7	12,99	61,9	1,9	3,2
	A ₂	35,96	60	428,3	11,91	61,9	1,9	3,2
	A ₃	35,96	60	441,9	12,28	61,6	1,6	2,7
	A ₄	34,72	60	401,9	11,58	61,9	1,9	3,2
	A ₅	35,67	60	452,8	12,69	61,8	1,8	3,0
15°	B ₁	35,96	60	268,3	7,46	62	2,0	3,3
	B ₂	35,96	60	287,2	7,98	61,8	1,8	3,0
	B ₃	34,72	60	246,9	7,11	62,1	2,1	3,5
	B ₄	35,96	60	275,1	7,65	62,2	2,2	3,6
	B ₅	35,96	60	283,1	7,87	62,3	2,3	3,8
30°	C ₁	35,96	60	170,5	4,74	62,3	2,3	3,8
	C ₂	35,96	60	163,0	4,53	62,3	2,3	3,8
	C ₃	35,96	60	178,7	4,97	62,1	2,1	3,5
	C ₄	34,72	60	149,2	4,30	61,9	1,9	3,2
	C ₅	35,96	60	185,6	5,16	62,8	2,8	4,6
45°	D ₁	35,96	60	157,3	4,37	63,8	3,8	6,3
	D ₂	35,96	60	149,5	4,16	63,0	3,0	5,0
	D ₃	35,96	60	150,0	4,17	63,5	3,5	5,8
	D ₄	34,72	60	140,2	4,04	62,6	2,6	4,3
	D ₅	35,95	60	150,6	4,19	62,6	2,6	4,3
60°	E ₁	35,96	60	188,2	5,23	63,0	3,0	5,0
	E ₂	37,2	60	199,6	5,36	63,8	3,8	6,3
	E ₃	35,96	60	161,6	4,49	62,3	2,3	3,8
	E ₄	35,96	60	163,7	4,55	62,5	2,5	4,2
	E ₅	35,67	60	167,7	4,66	62,7	2,7	4,5
75°	F ₁	35,96	60	321,2	8,93	62,4	2,4	4,0
	F ₂	35,96	60	306,8	8,53	62,3	2,3	3,8
	F ₃	34,72	60	243,4	7,01	62,2	2,2	3,6
	F ₄	35,96	60	289,0	8,04	62,1	2,1	3,5
	F ₅	35,96	60	259,6	7,23	62,4	2,4	4,0
90°	G ₁	35,96	60	381,4	10,61	61,2	1,6	2,7
	G ₂	35,96	60	438,1	12,18	60,9	2,0	3,3
	G ₃	34,72	60	366,5	10,55	61,2	2,0	3,3
	G ₄	35,96	60	409,2	11,38	61,26	1,8	3,0
	G ₅	35,96	60	477,4	13,27	61,02	2,0	3,3

Namun dengan bertambahnya sudut arah orientasi serat, sifat mekanik komposit terutama kekuatannya akan berkurang (pada arah orientasi 45°), pada arah orientasi ini komposit mencapai harga minimal. Sedang pada arah orientasi 0° dan 90° komposit mencapai harga maksimal. Pada saat itu tegangan tarik yang

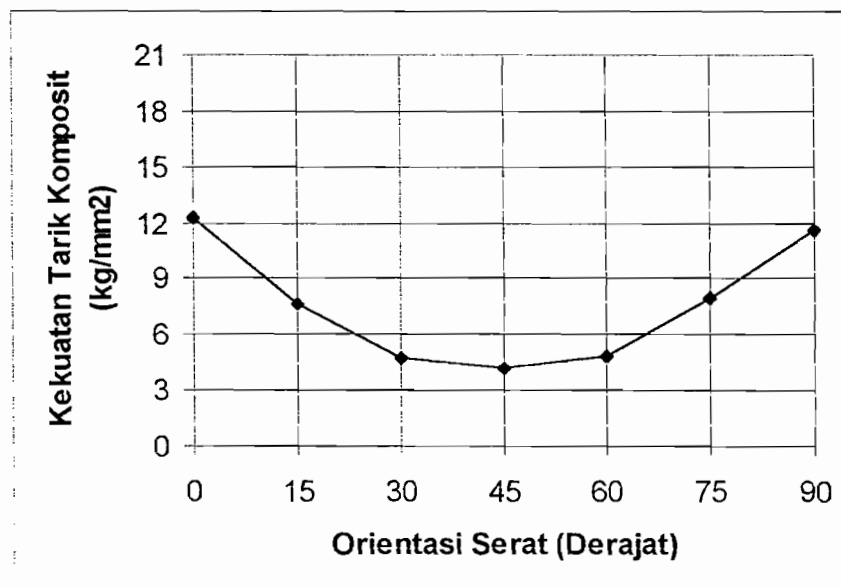
terjadi ditransfer pada serat penguat melalui *interface* antar serat dan matriks pengikat, serat penguat dan matriks pengikat mengalami besar tegangan yang sama, jika kedua komponen tersebut mempunyai sifat mekanik yang berbeda maka masing-masing komponen tersebut mempunyai harga regangan yang berbeda dan regangan total komposit merupakan rata-rata harga regangan kedua komponen penyusunnya.

Harga kekuatan tarik komposit jauh berkurang pada sudut orientasi 45° dapat dikatakan pada sudut orientasi tersebut merupakan sudut orientasi kritis. Dalam perancangan, sudut orientasi kritis harus dihindari sehingga diharapkan struktur komposit dapat menahan beban yang diberikan. Dengan adanya variasi arah orientasi ini pula memungkinkan kekuatan komposit dapat disesuaikan dengan arah pembebanannya dalam perancangan.

Tabel 4.5 dapat pula disajikan dalam bentuk grafik yaitu grafik kekuatan tarik dengan sudut orientasi serat (Gambar 4.4) dan grafik pertambahan panjang dengan orientasi serat (Gambar 4.5). Grafik dicari dengan cara mengambil nilai rata-rata kekuatan tarik dan nilai rata-rata pertambahan panjang.

Tabel 4.6. Harga rata-rata kekuatan tarik komposit.

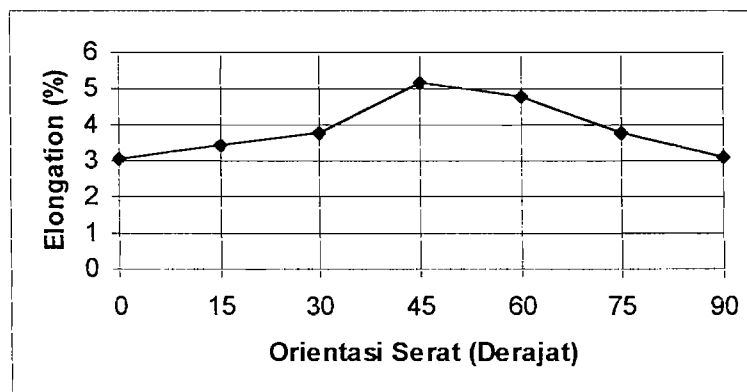
Orientasi	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm ²)
0 ⁰	12,29
15 ⁰	7,61
30 ⁰	4,74
45 ⁰	4,18
60 ⁰	4,86
75 ⁰	7,95
90 ⁰	11,60



Gambar 4.4. Grafik hubungan kekuatan tarik dan sudut orientasi serat.

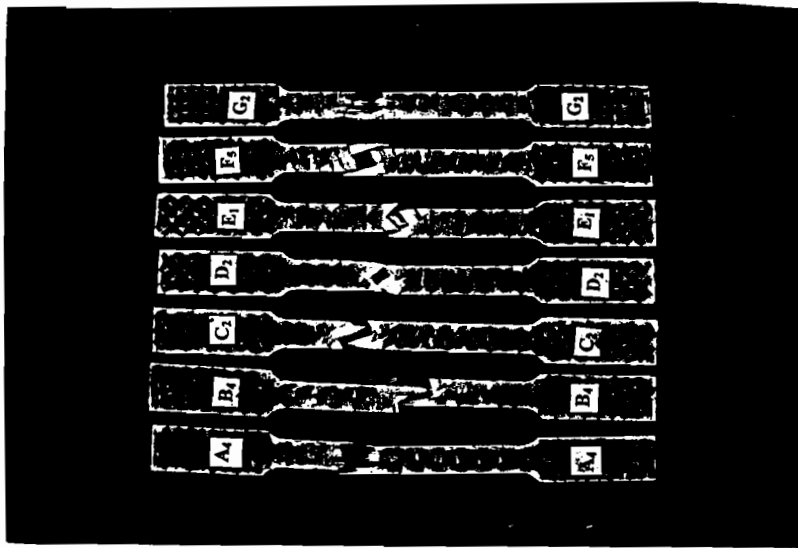
Tabel 4.7. Harga rata-rata elongation (ϵ) komposit.

Orientasi	ϵ maks (%)
0 ⁰	3,06
15 ⁰	3,44
30 ⁰	3,78
45 ⁰	5,14
60 ⁰	4,76
75 ⁰	3,78
90 ⁰	3,12

Gambar 4.5. Grafik hubungan *elongation* dan sudut orientasi serat.

4.4. Model Kerusakan Komposit

Foto kerusakan komposit ditunjukkan oleh Gambar 4.6. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa patahan yang terjadi membentuk sudut yang sesuai dengan sudut pembebanan terhadap arah utama serat.



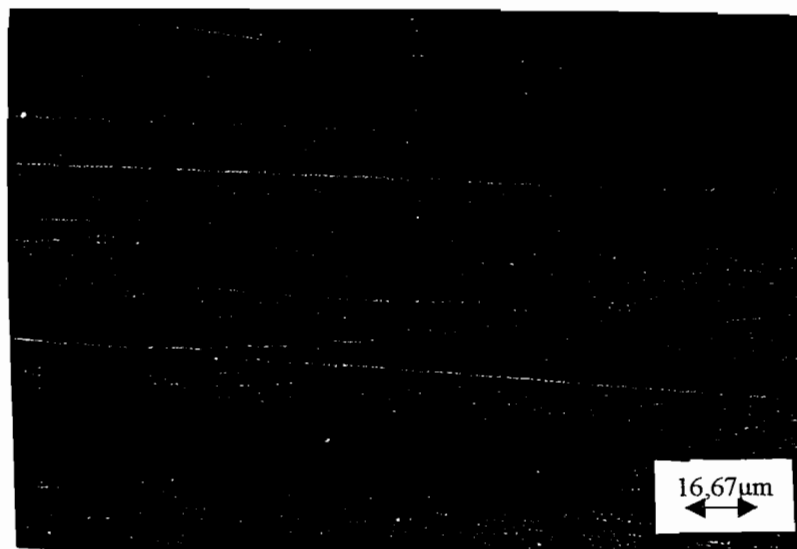
Gambar 4.6. Foto kerusakan komposit.

Model kerusakan yang terjadi pada arah orientasi komposit 0° dan 90° adalah sama dan tergolong kerusakan jenis patah getas karena kekuatan *interface* antar serat dan matriks masih baik, matriks masih mampu mendukung beban yang diterima dengan cara mendistribusikan beban tersebut ke sekitarnya. Apabila matriks masih mampu menahan gaya geser dan meneruskannya ke serat yang lain maka jumlah serat yang putus semakin banyak dan komposit akan mengalami patah getas (*brittle failure*).

Model kerusakan yang terjadi pada komposit dengan sudut arah orientasi serat 15° – 75° disebabkan matriks tidak mampu menahan gaya geser yang terjadi sehingga terjadi *debonding*. Kerusakan yang timbul pada komposit searah dengan arah orientasi serat.

Grafik yang dihasilkan pada sudut pembebanan 15° – 75° menunjukkan bahwa setelah matriks retak kemampuan untuk mendukung beban akan segera berkurang. Namun komposit masih mampu menahan beban walaupun beban yang

mampu ditahan lebih kecil daripada beban maksimum saat matrik retak, beban akan dikonsentrasikan dari komposit ke serat ditempat persinggungan retak. Selanjutnya kemampuan untuk mendukung beban berasal dari serat seiring dengan bertambahnya *deformasi*., serat akan tercabut dari matrik yang mengakibatkan kemampuan untuk mendukung beban semakin kecil, sehingga kerusakan yang terjadi pada komposit searah dengan orientasi serat.



Gambar 4.7. Penampang melintang serat gelas-E dan resin.

4.5. Analisa Kerusakan Pada Komposit

Tujuan dari penelitian kerusakan menurut analisa foto struktur mikro adalah untuk mengetahui seberapa jauh kerusakan pada komposit sebelum atau sesudah mendapatkan perlakuan uji tarik.

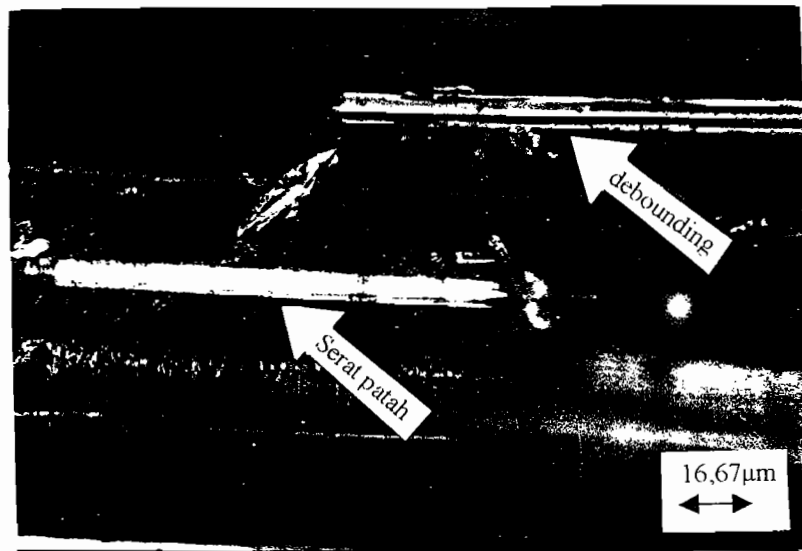
Pada penampang komposit mula yang dapat dilihat dengan bantuan mikroskop setelah komposit dihaluskan dan dipoles dapat menampilkan bentuk penampang serat serta matrik. Dari foto mikro dengan pembesaran 600 \times , yang dapat dilihat pada Gambar 4.8, menampilkan bentuk penampang komposit sebelum mengalami uji tarik.

Setelah mengalami uji tarik, penampang struktur mikro bahan komposit telah mengalami perubahan yaitu kerusakan yang terjadi pada matriks dan penampang serat, penampang matrik dan serat terlihat pecah-pecah dan tidak utuh lagi. Beban tarik pada komposit selain mengakibatkan kerusakan matriks dan serat juga berakibat terhadap lepasnya ikatan matriks-serat (*interface*) yang biasa disebut *debonding* yang terlihat pada Gambar 4.9.

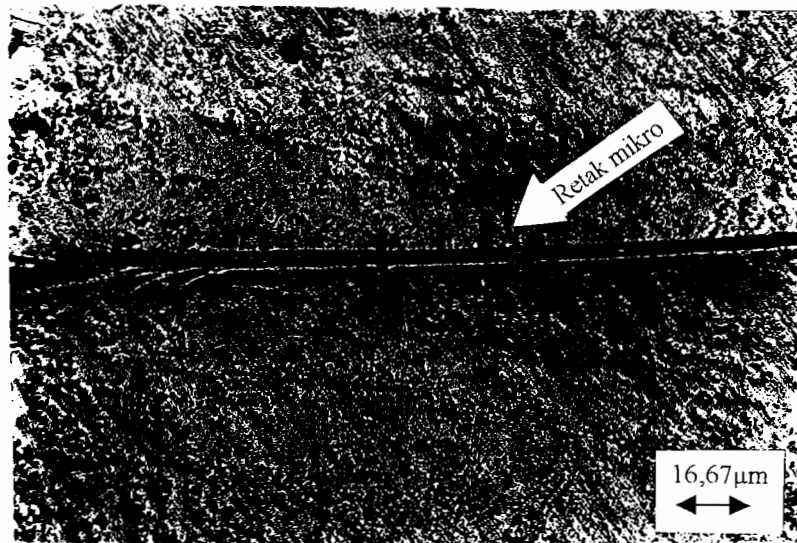
Pada analisa struktur mikro, juga menampilkan beberapa konfigurasi kerusakan internal komposit antara lain kerusakan retak mikro pada matriks, seperti yang terlihat pada Gambar 4.10. kemudian adanya *void* (Gambar 4.11).



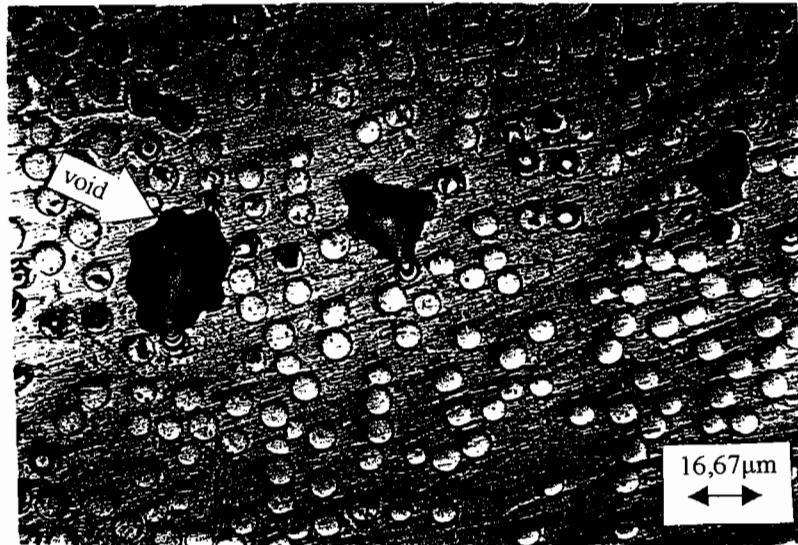
Gambar 4.8. Penampang Komposit Mula.



Gambar 4.9. Kerusakan *debonding* pada Komposit.



Gambar 4.10. Retak Mikro pada Matrik.

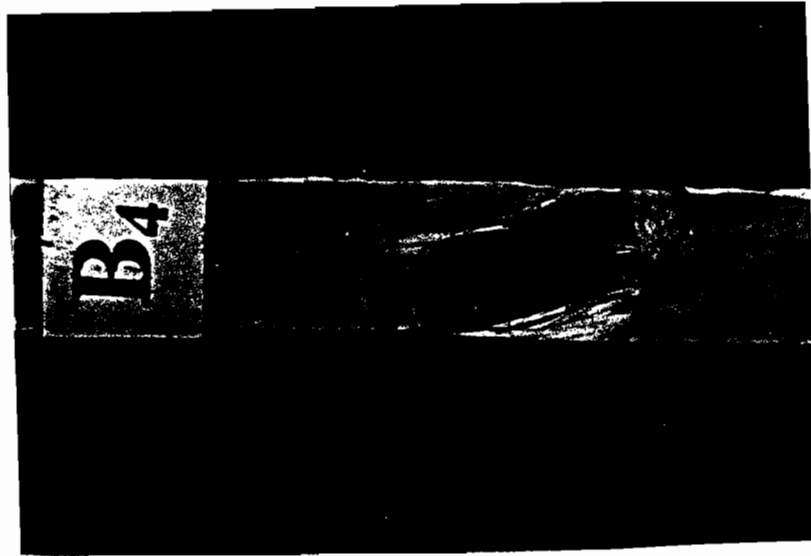


Gambar 4.11. Void pada Komposit.

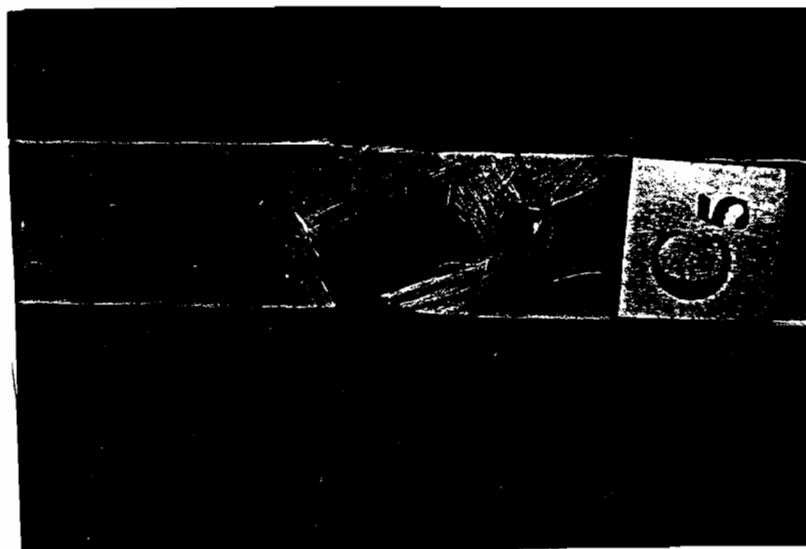


Gambar 4.12. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah

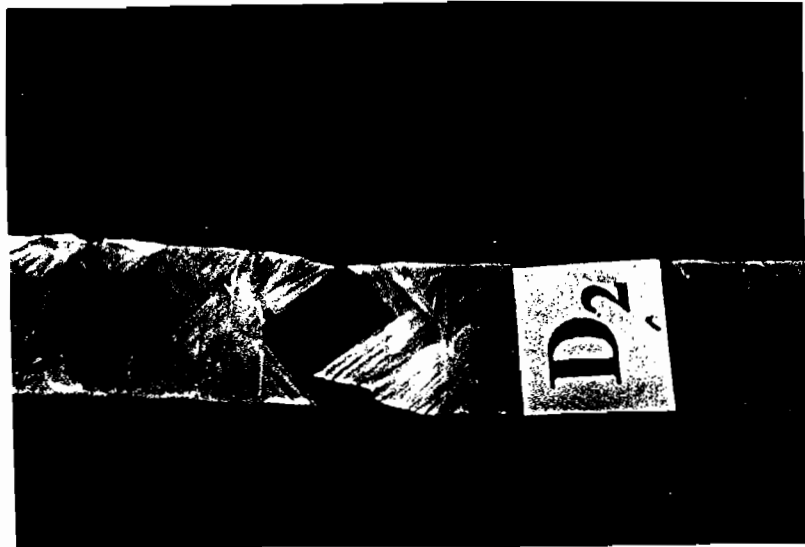
Serat 0°.



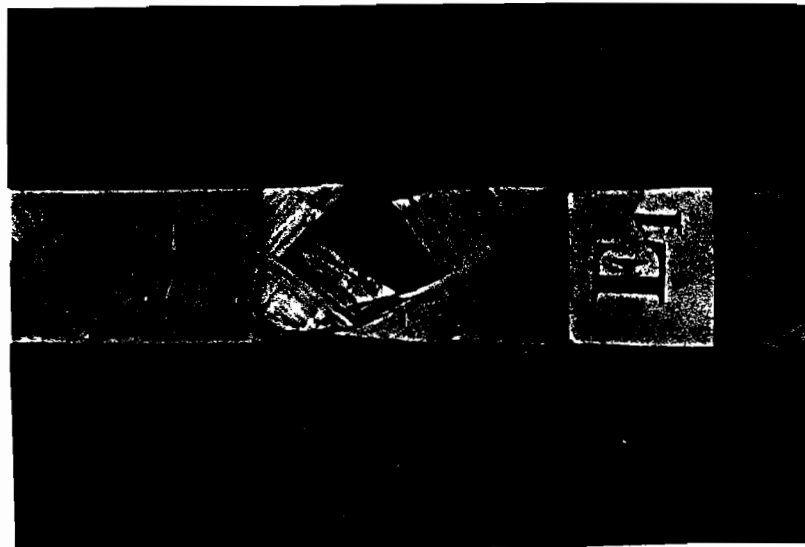
Gambar 4.13. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 15°.



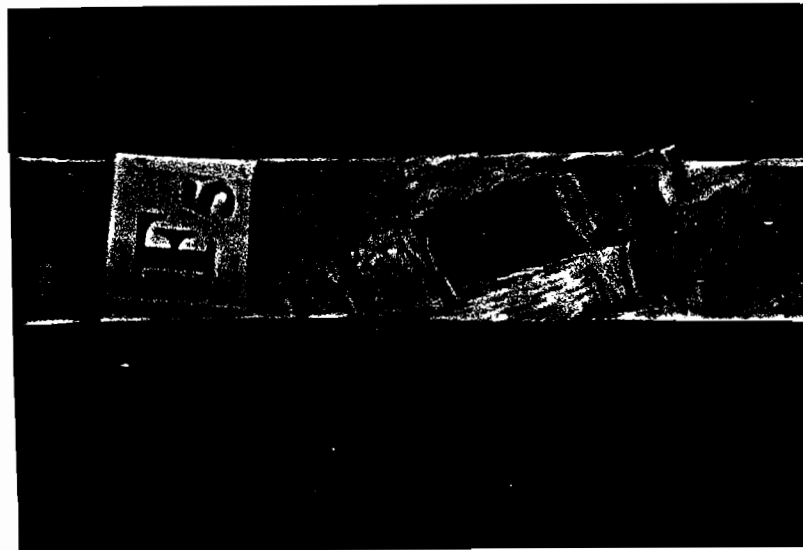
Gambar 4.14. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 30°.



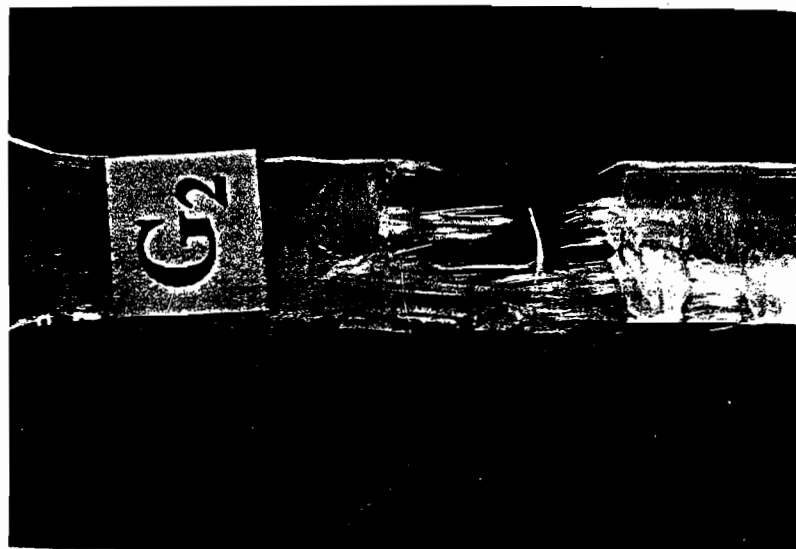
Gambar 4.15. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 45°.



Gambar 4.16. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 60°.



Gambar 4.17. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 75°.



Gambar 4.18. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 90°.

Dari pengujian pada resin dan matriks, dapat diketahui kekuatan tariknya. Kekuatan tarik rata-rata serat sebesar 3722 kg/mm^2 sedangkan kekuatan tarik rata-rata untuk matriks adalah sebesar $4,08 \text{ kg/mm}^2$.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa orientasi serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit. Hal ini ditunjukkan oleh hasil pengujian tarik pada orientasi 0° $\sigma_t \text{ rata-rata} = 12,29 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 15° $\sigma_t \text{ rata-rata} = 7,61 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 30° $\sigma_t \text{ rata-rata} = 4,74 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 45° $\sigma_t \text{ rata-rata} = 4,18 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 60° $\sigma_t \text{ rata-rata} = 4,86 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 75° yaitu memiliki $\sigma_t \text{ rata-rata} = 7,95 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 90° $\sigma_t \text{ rata-rata} = 11,6 \text{ kg/mm}^2$. Bahan komposit yang menggunakan bahan berpenguat serat jenis *woven roving* memperoleh nilai maksimum pada arah orientasi 0° dan 90° , sebab serat dapat berfungsi secara optimal menahan beban yang diberikan pada komposit. Pada arah orientasi 45° memperoleh nilai minimum.

Dari hasil analisa pemotretan dan pengamatan pada makro struktur berbagai bentuk patahan yang berbeda-beda. Perbedaan ini dikarenakan pengujian pada bahan yang mempunyai orientasi serat yang berbeda-beda. Dari Gambar 4.12 sampai Gambar 4.18 dapat dilihat, bahan patah pada beban tertentu dan mengalami perpatahan menurut orientasi seratnya. Penampang komposit yang mempunyai kekuatan tarik tinggi penampang patahannya akan terlihat semakin kasar, karena serat-serat yang tercabut dan patah semakin banyak. Dari hasil pengamatan penampang patahan mempunyai pola atau bentuk perpatahan sesuai dengan orientasi serat yang terdapat pada komposit. Menurut bentuk patahan yang

terjadi pada pengujian tarik komposit merupakan bentuk patah getas. Sedangkan pada pengujian tarik resin, mempunyai variasi bentuk patahan seperti di tunjukkan pada Gambar 4.2. Untuk pengujian tarik resin mempunyai jenis patahan juga berupa patah getas.

BAB V

PENUTUP

Dari hasil penelitian bahan komposit berpenguat serat gelas-E jenis *woven roving* (2 lapis) diperoleh kesimpulan :

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik maksimal terjadi pada orientasi 0° σ_t rata-rata = 12,29 kg/mm², sedangkan kekuatan tarik minimum terjadi pada orientasi 45° σ_t rata-rata = 4,18 kg/mm². Kekuatan tarik menurun sampai minimum pada orientasi 45° . Sedangkan pertambahan panjang (*elongation*), naik sampai pada orientasi 45° . Untuk model patahan komposit berbentuk patah getas.

DAFTAR PUSTAKA

Gibson, R.F., 1994, *Principle of Composite Material Mechanics*, McGraw Hill Book Company.

Hadi, B.K., November 2000, *Mekanika Struktur Komposit*. Departemen Pendidikan Nasional.

Murphy, J., 1994, *Reinforced Plastics Hand Book*, Elsevier Advanced Technology.

Robert, J. M., 1975, *Mechanics of Composite Material*, McGraw Hill, New York.

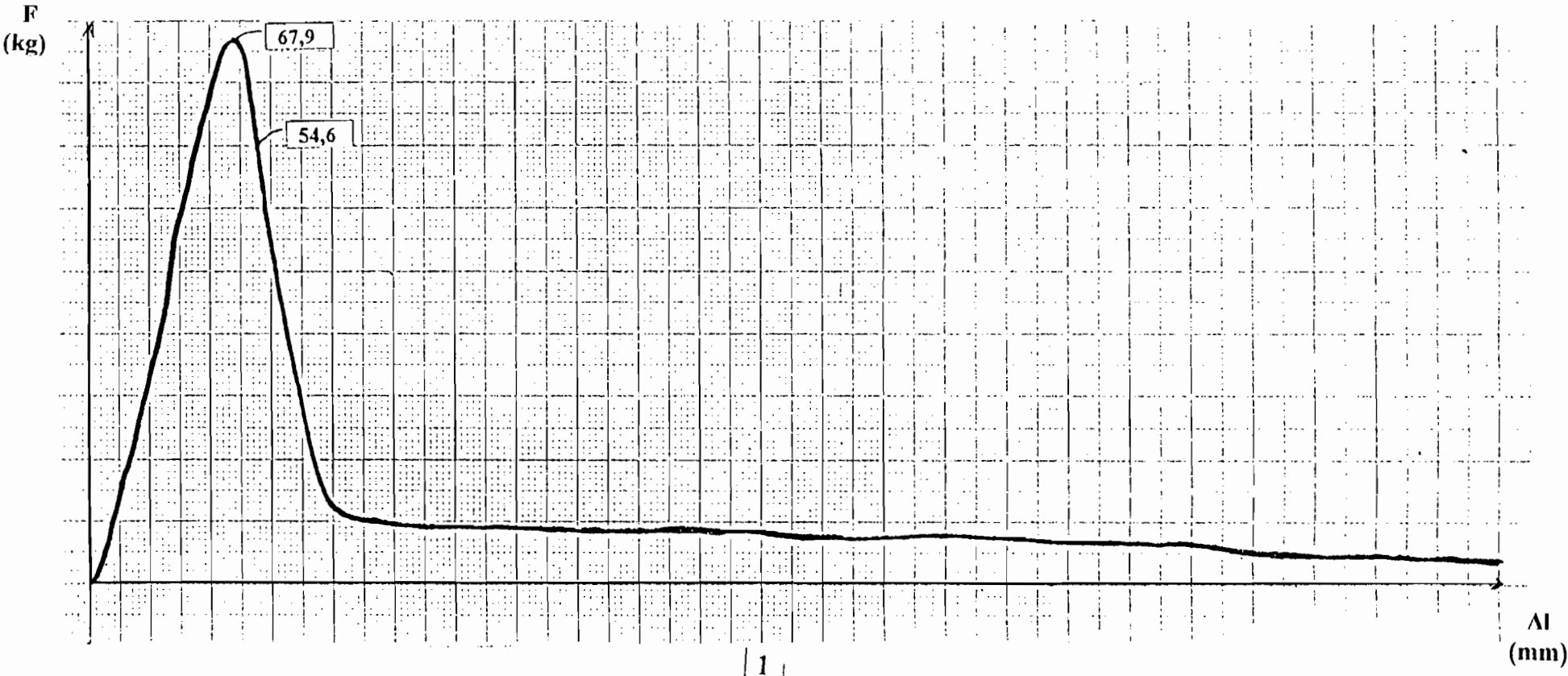
Schwartz, M.M., 1984, *Composites Material Hand Book*, McGraw Hill Book Company.

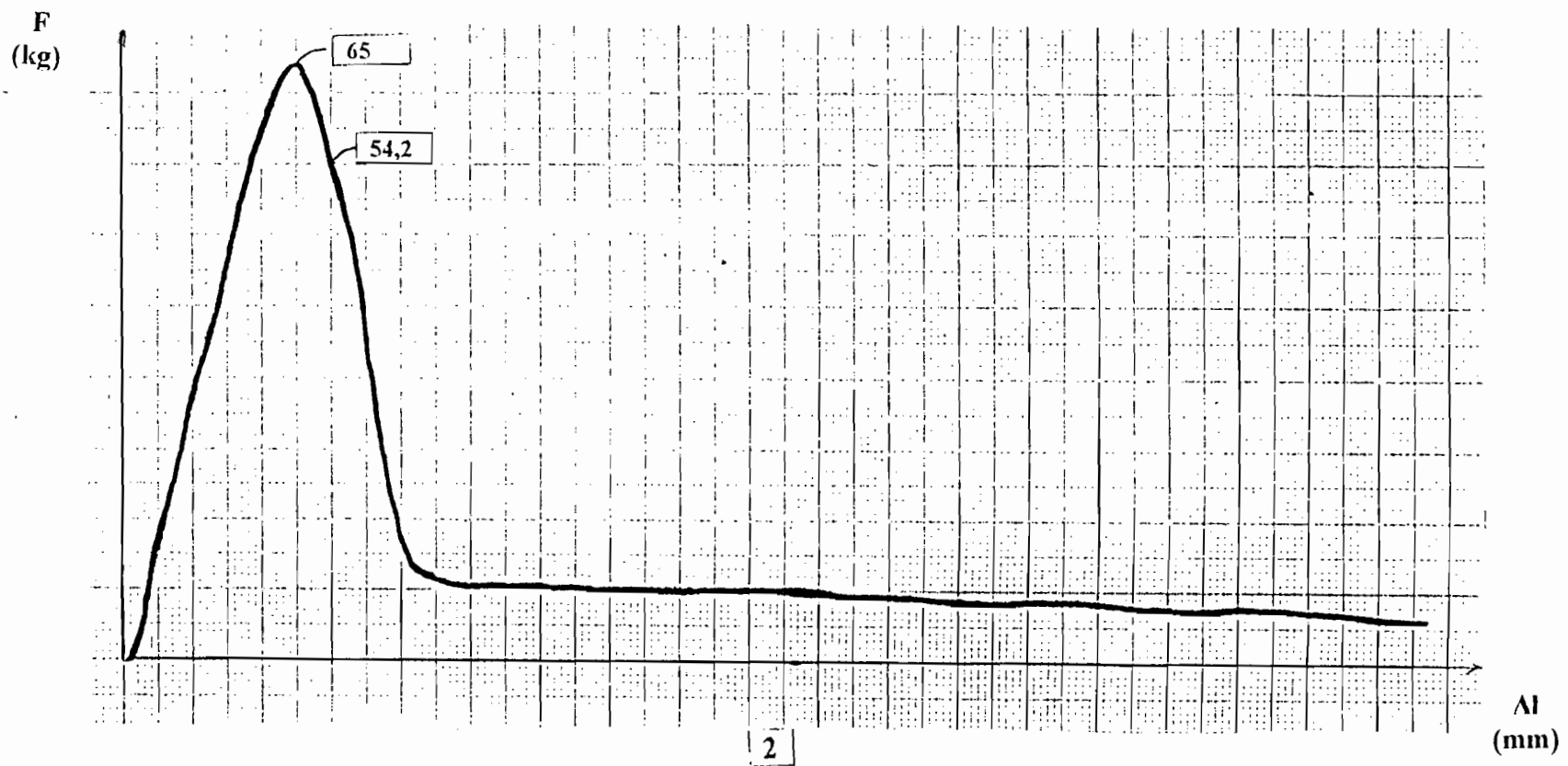
---, *Annual Book of ASTM Standard*, 1985, American Society For Testing Material, Philadelphia PA.

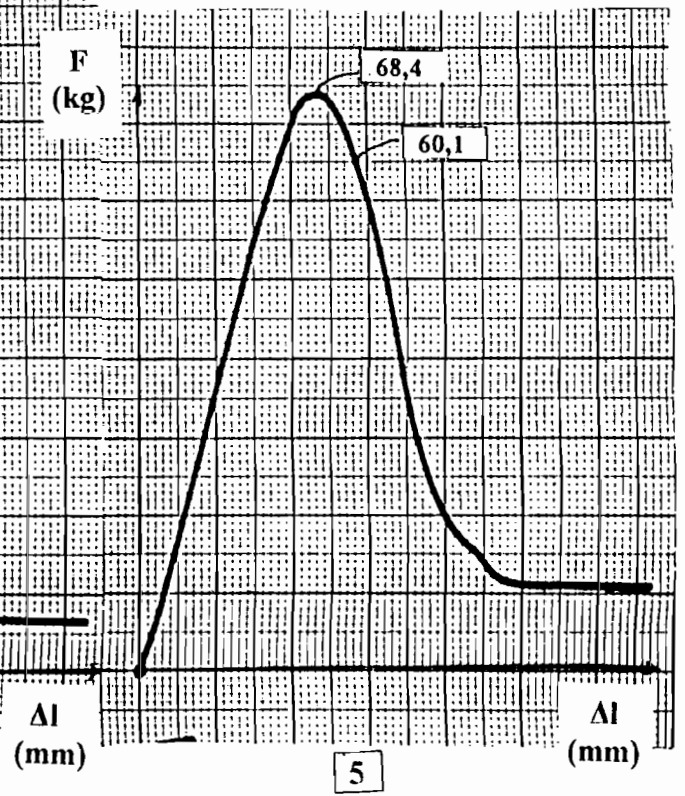
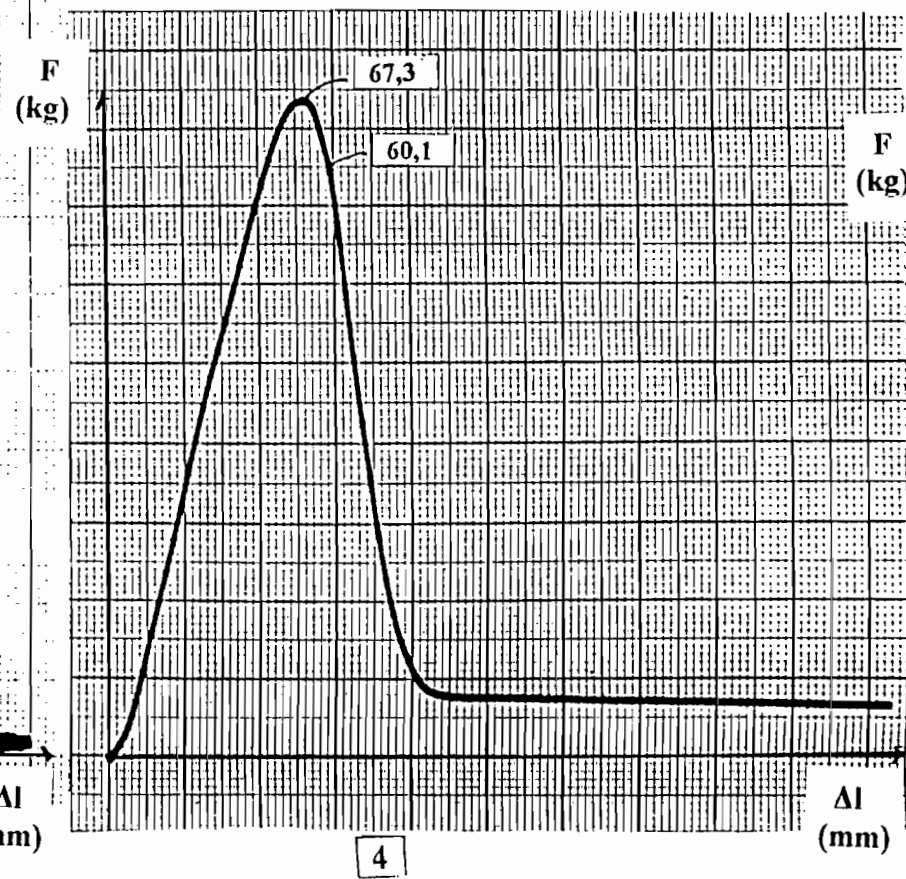
---, *JIS Hand Book Plastics* , 1991, JIS.

LAMPIRAN

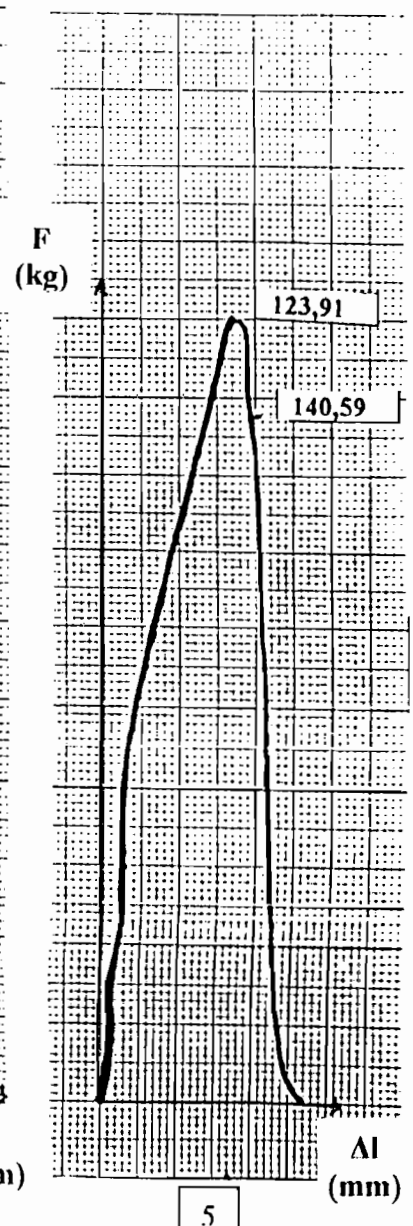
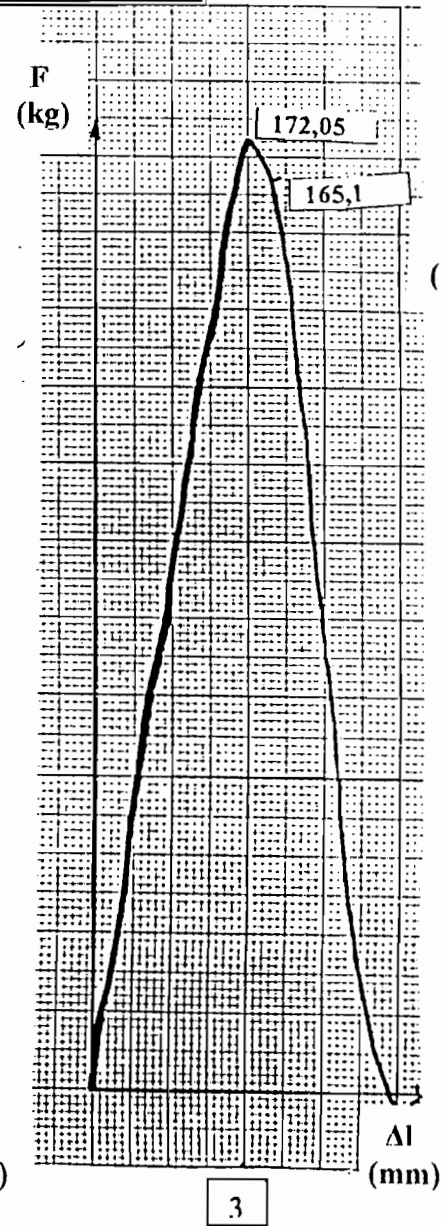
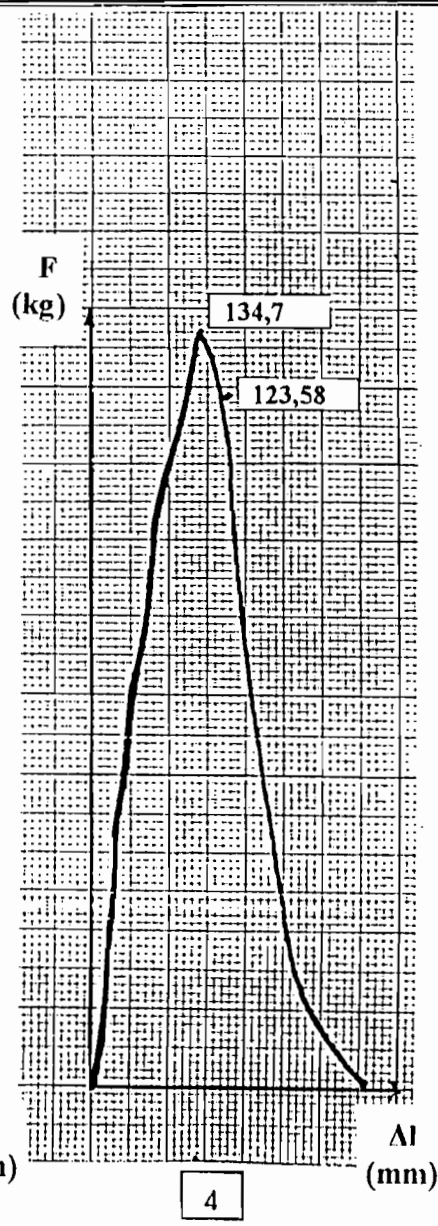
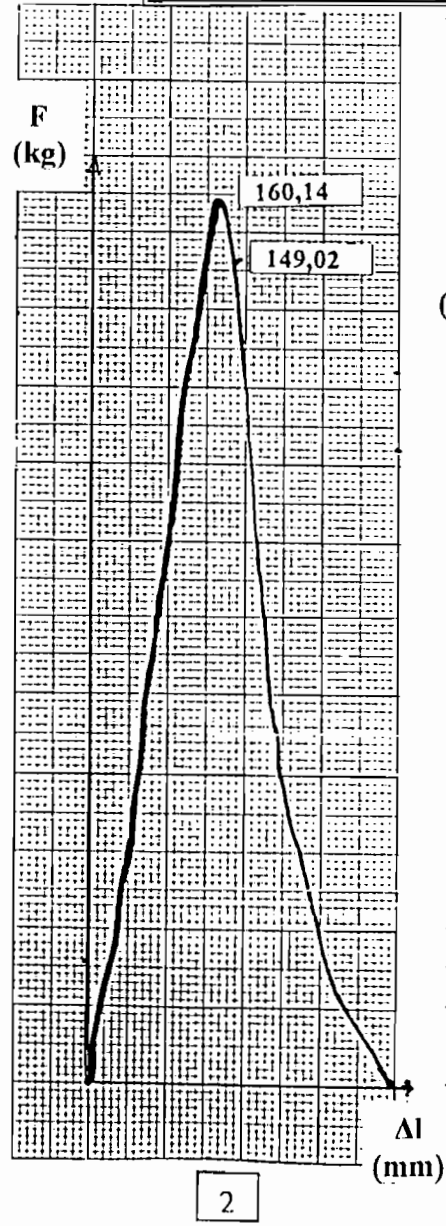
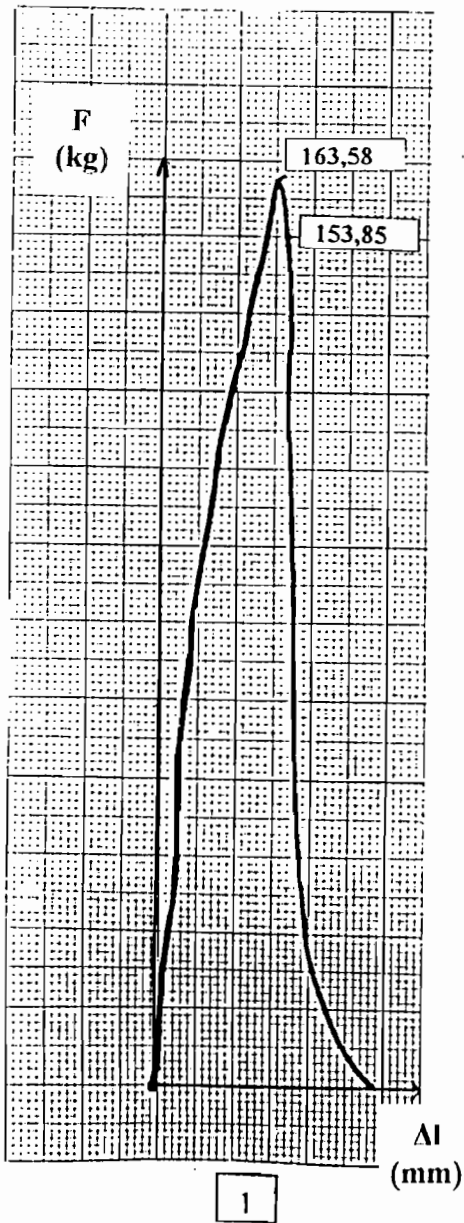
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Serat



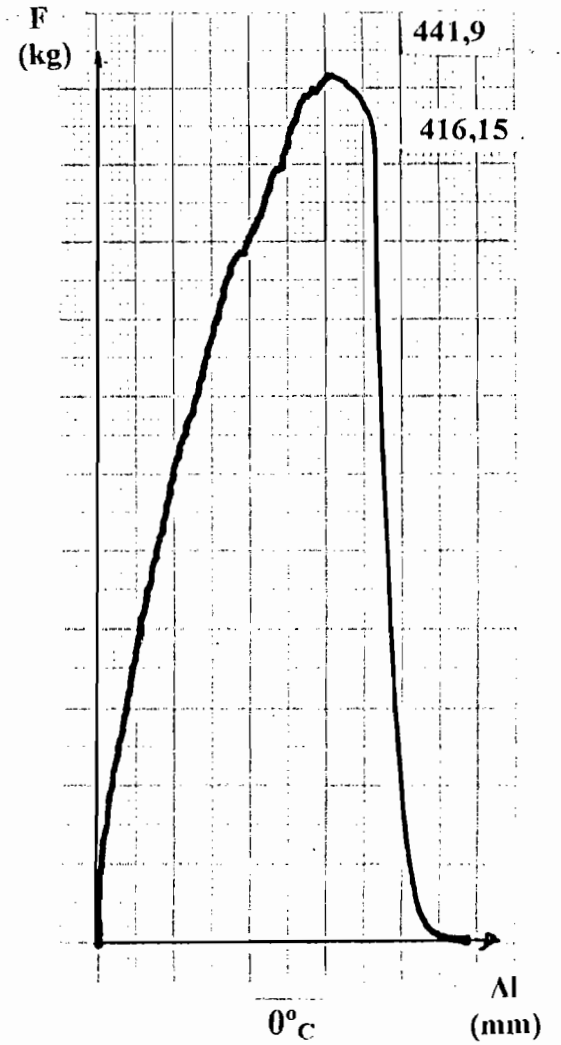
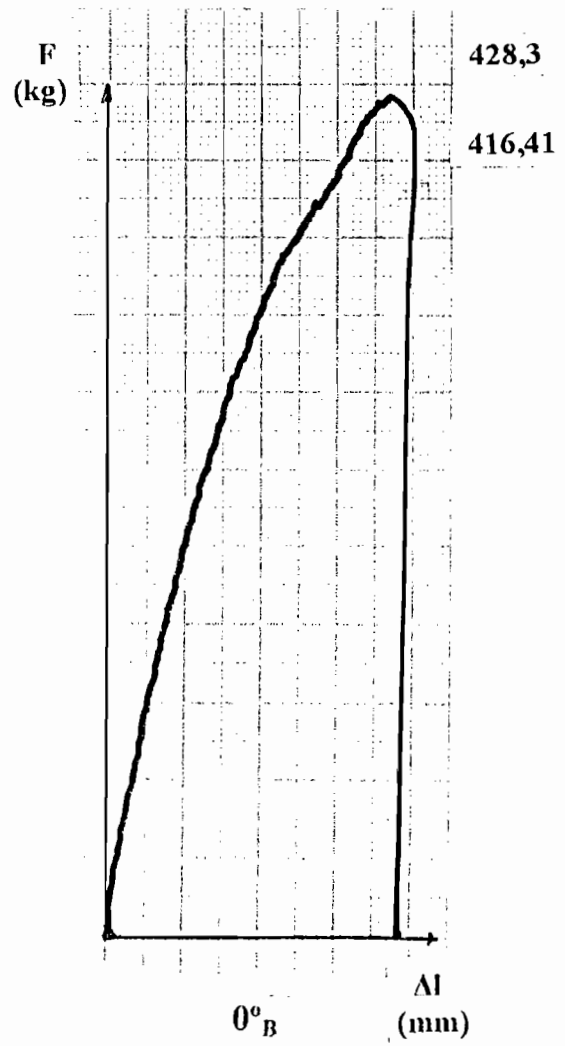
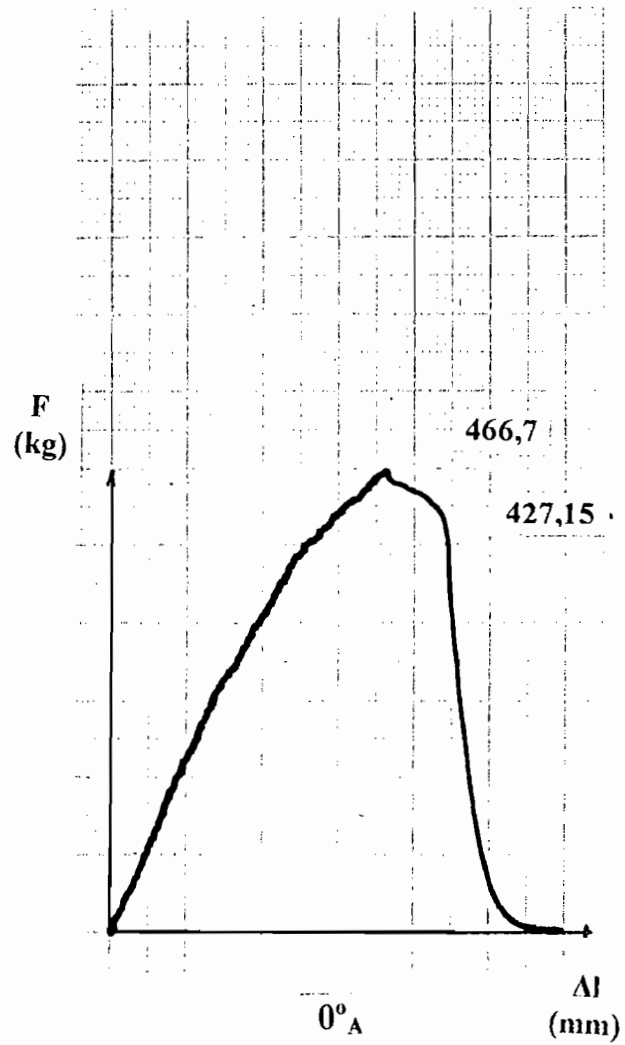




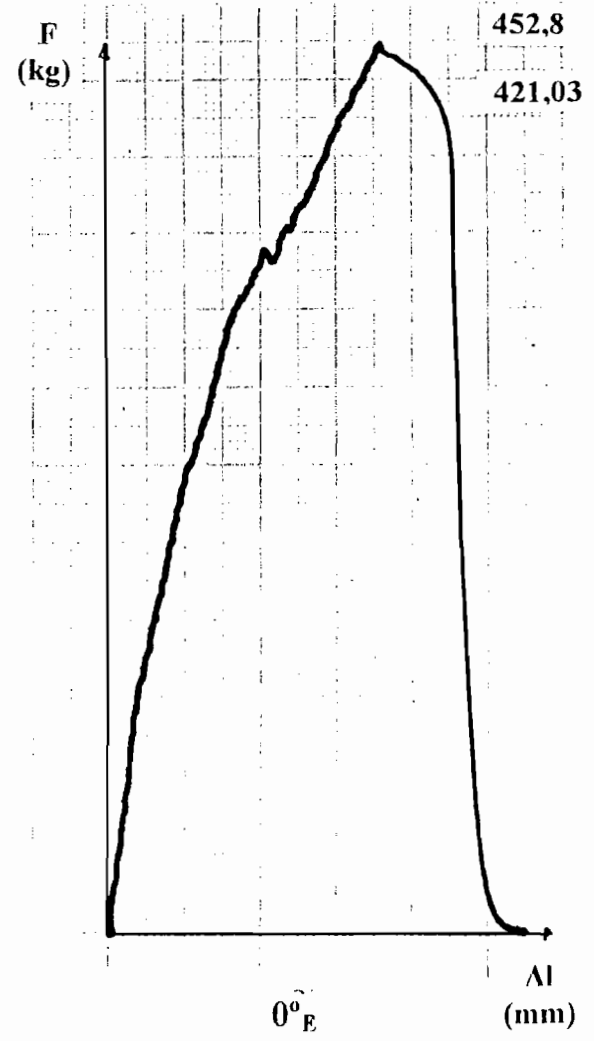
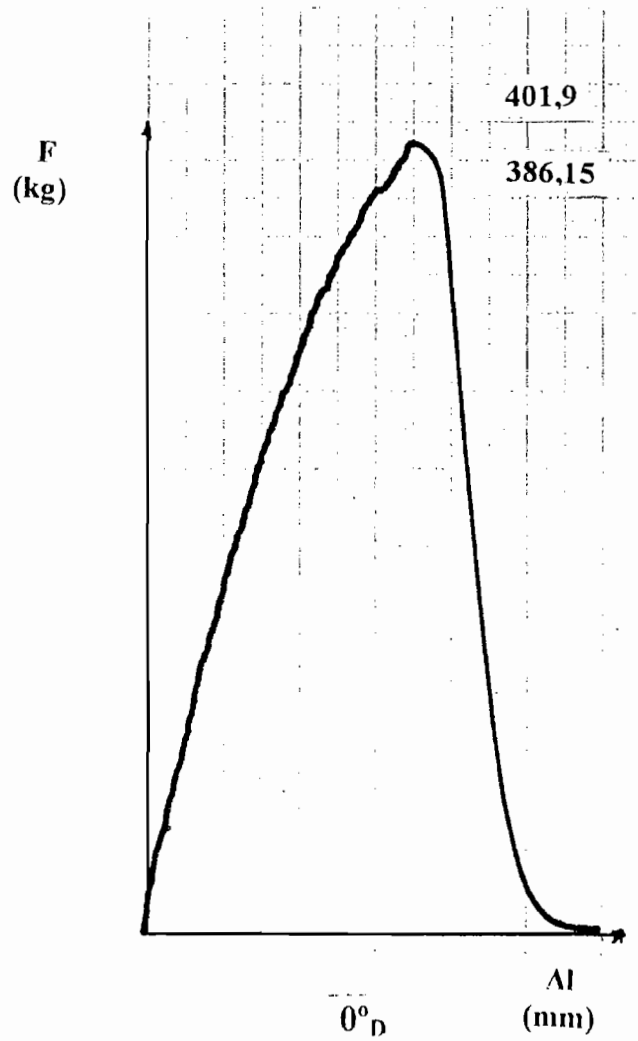
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks

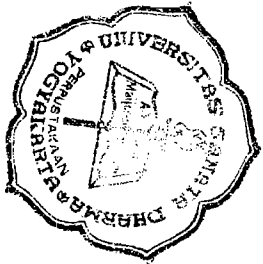


Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks

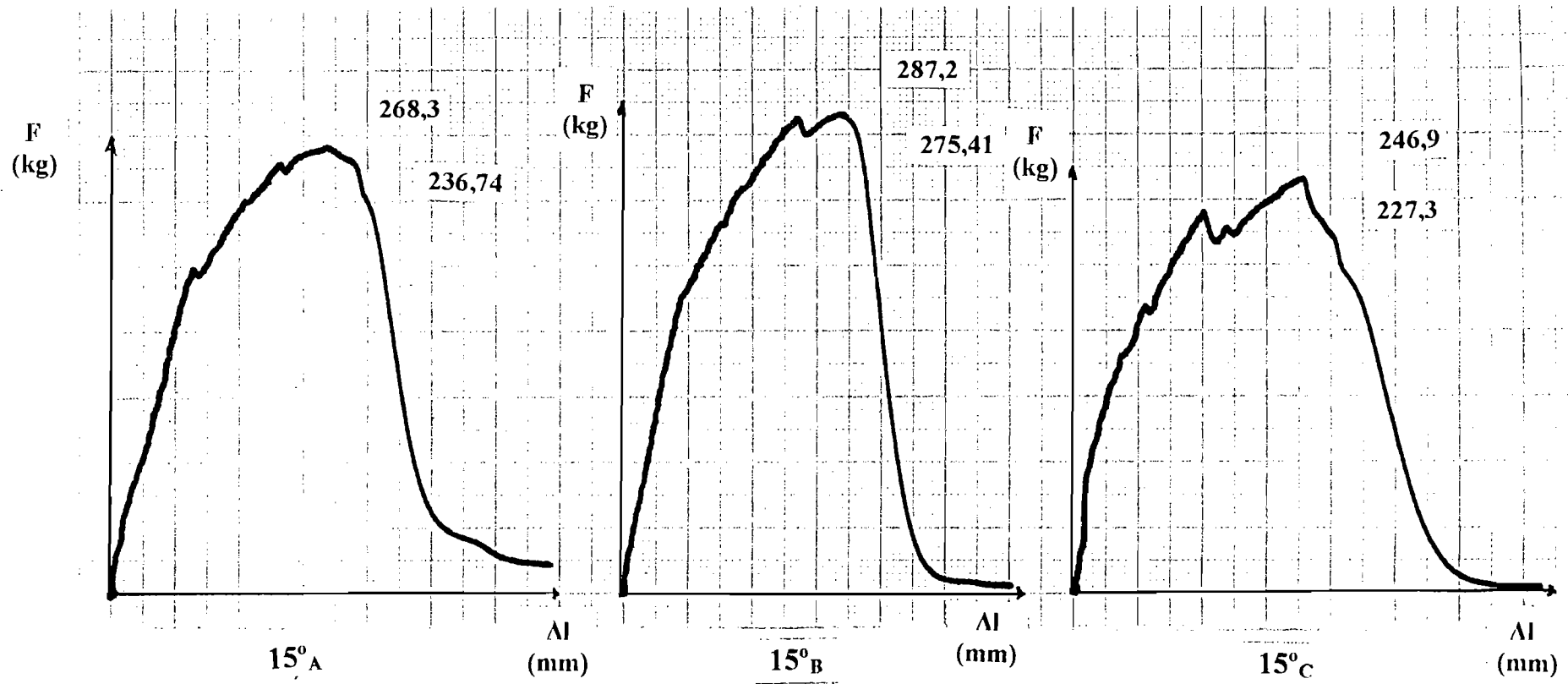


Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks

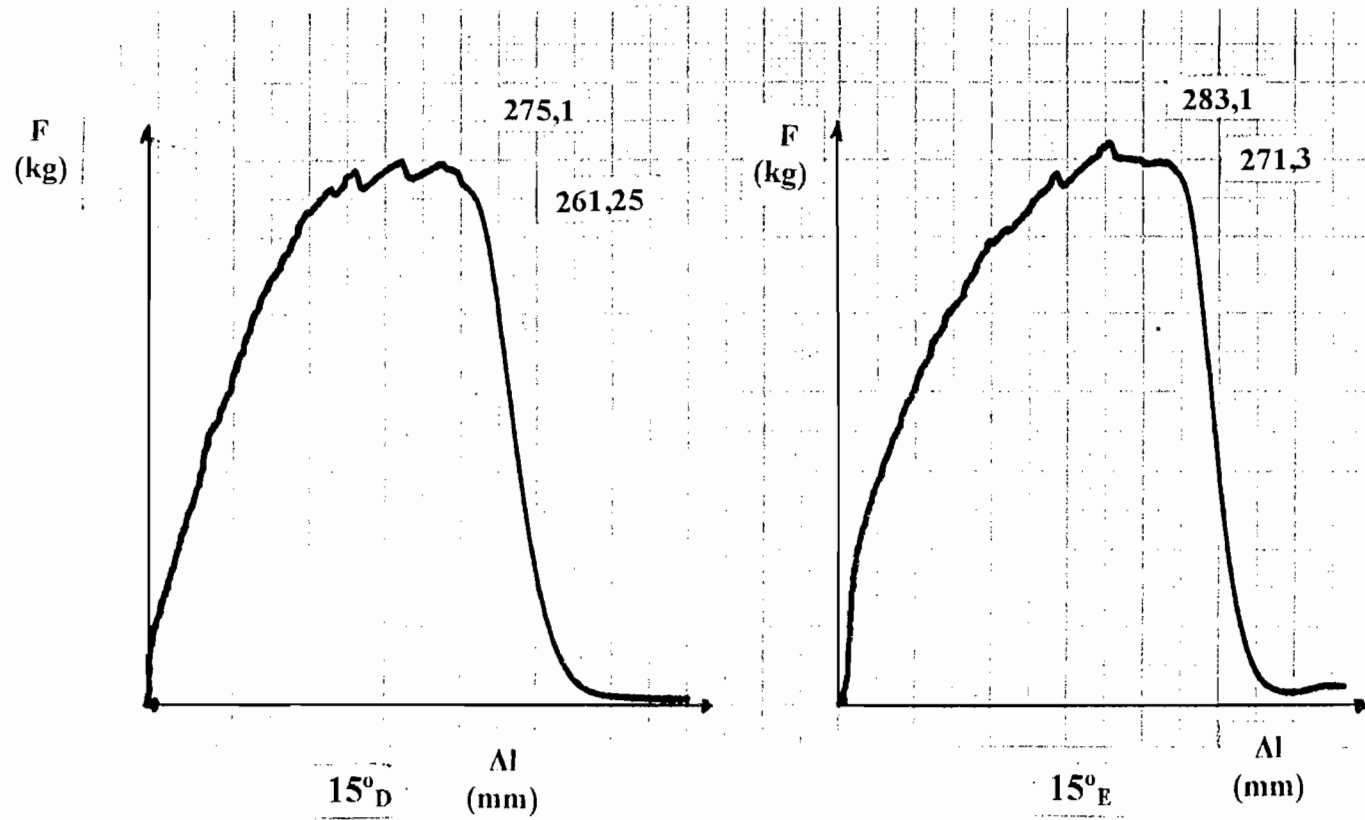




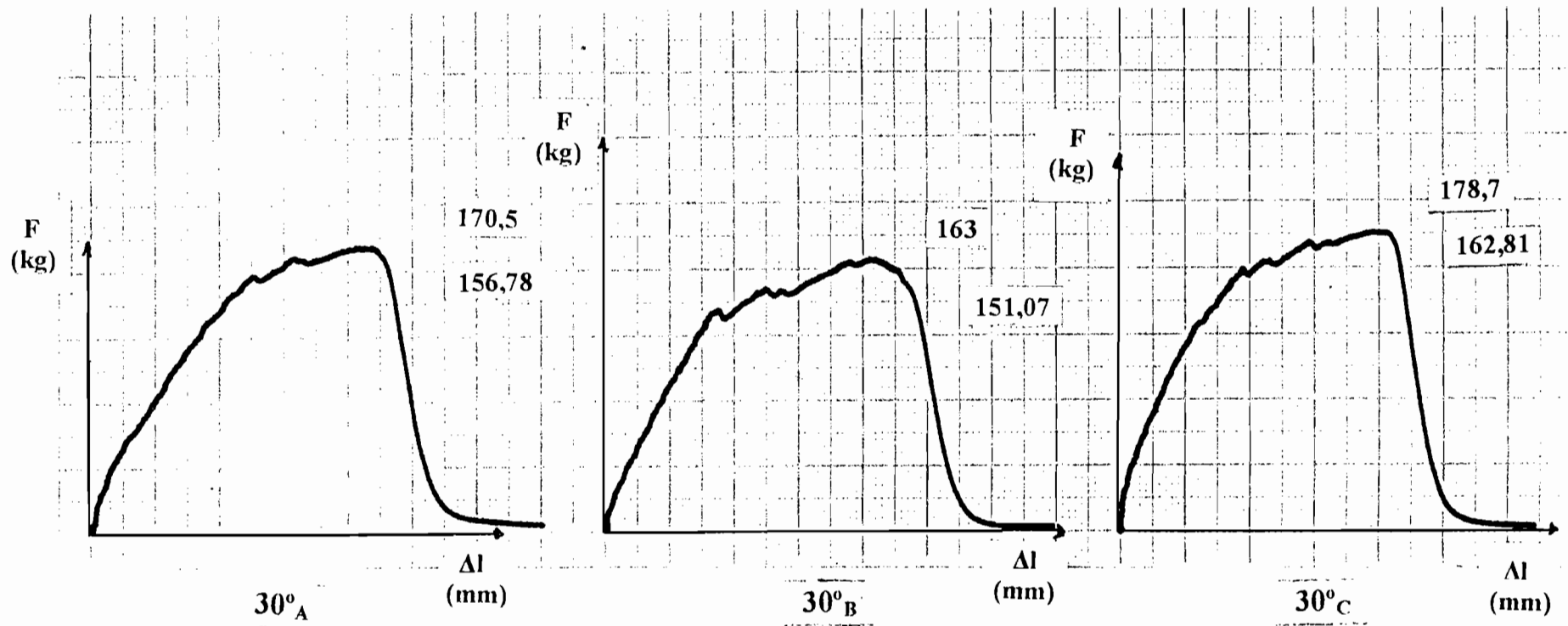
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks



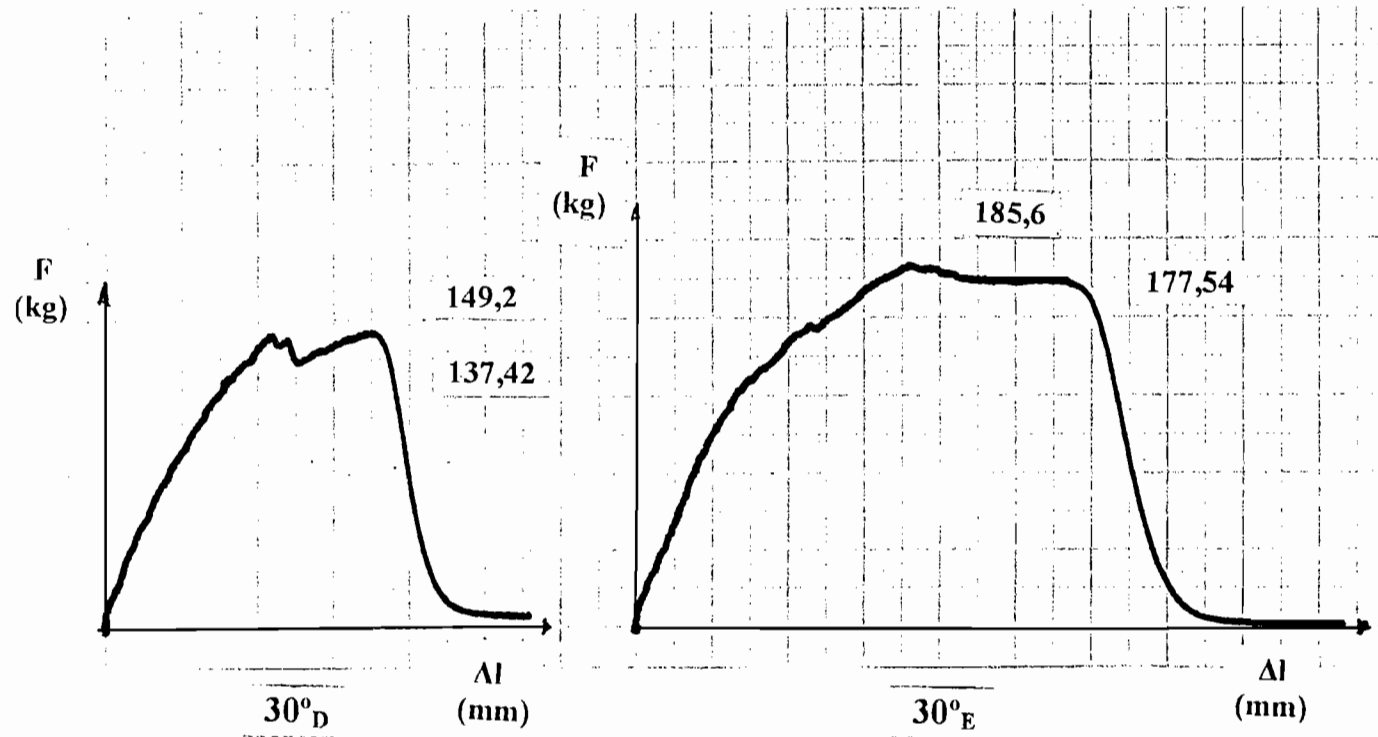
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks



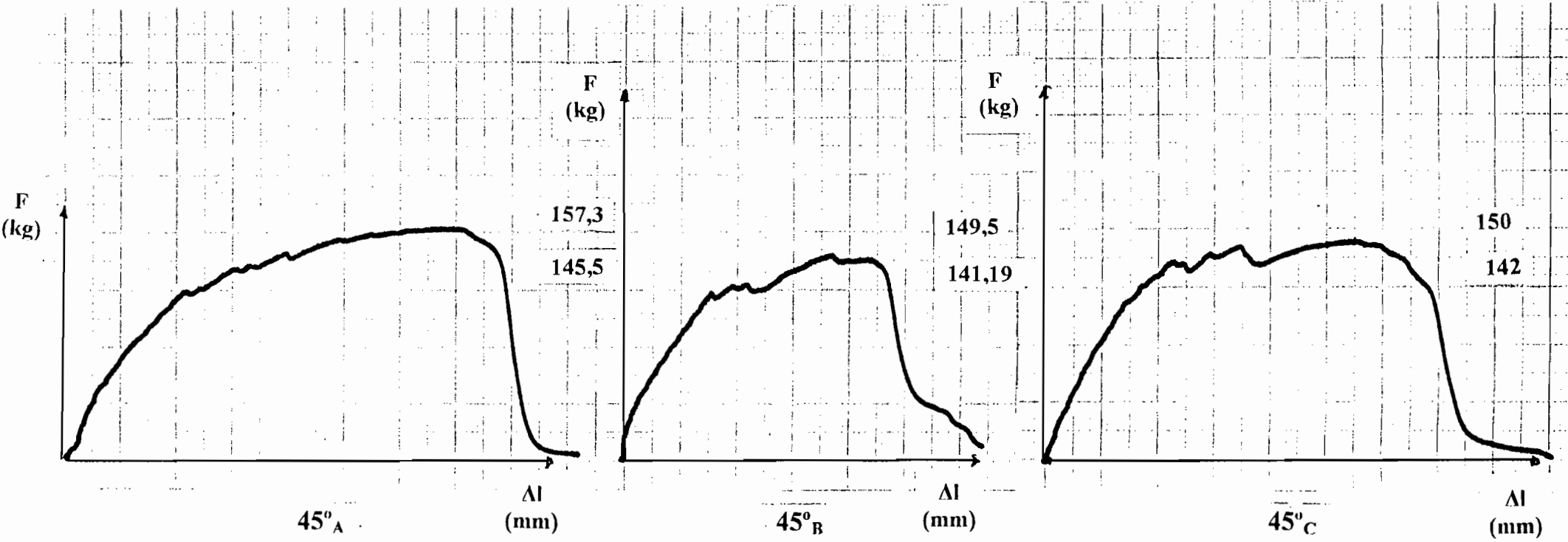
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks



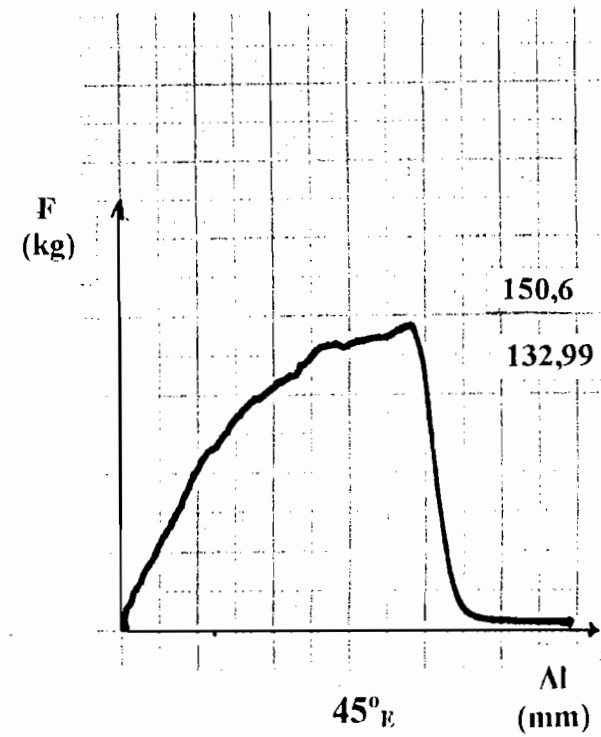
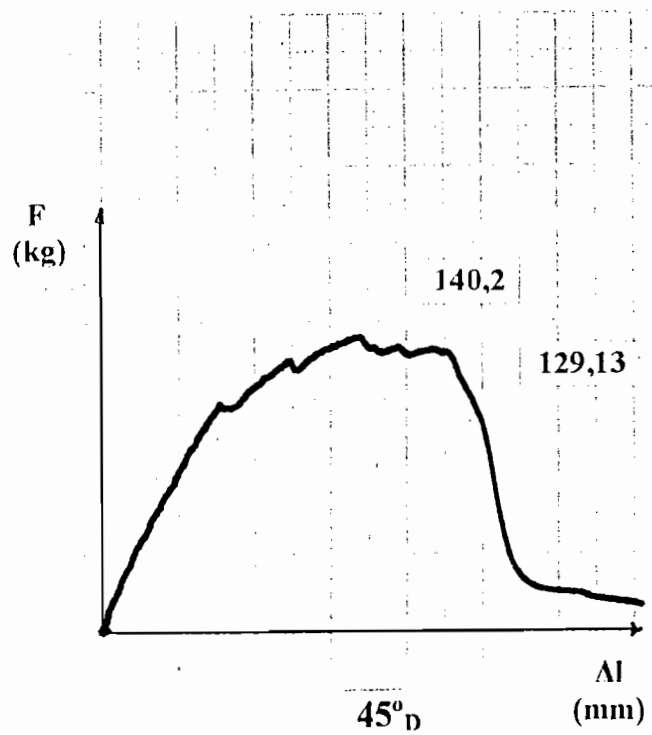
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks



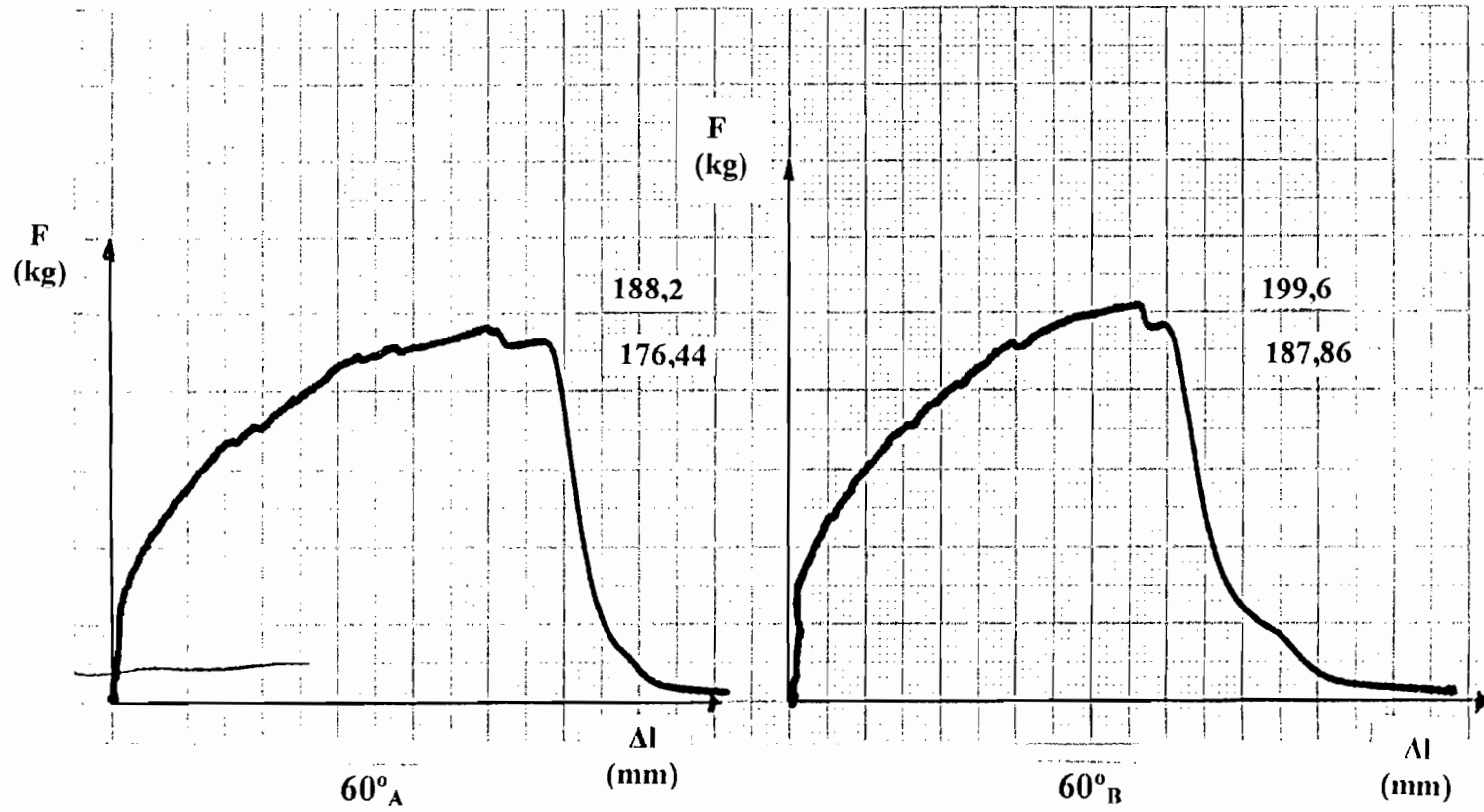
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks



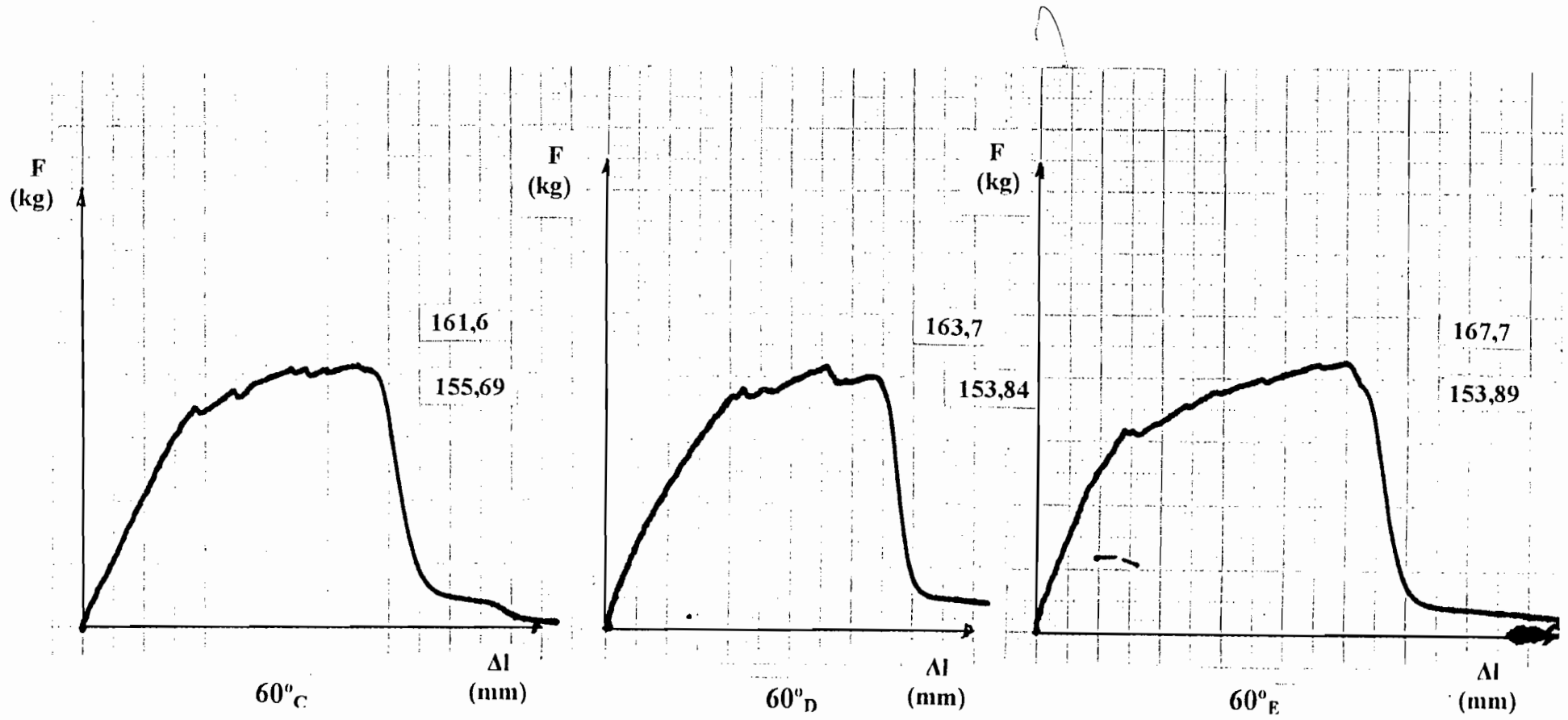
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks



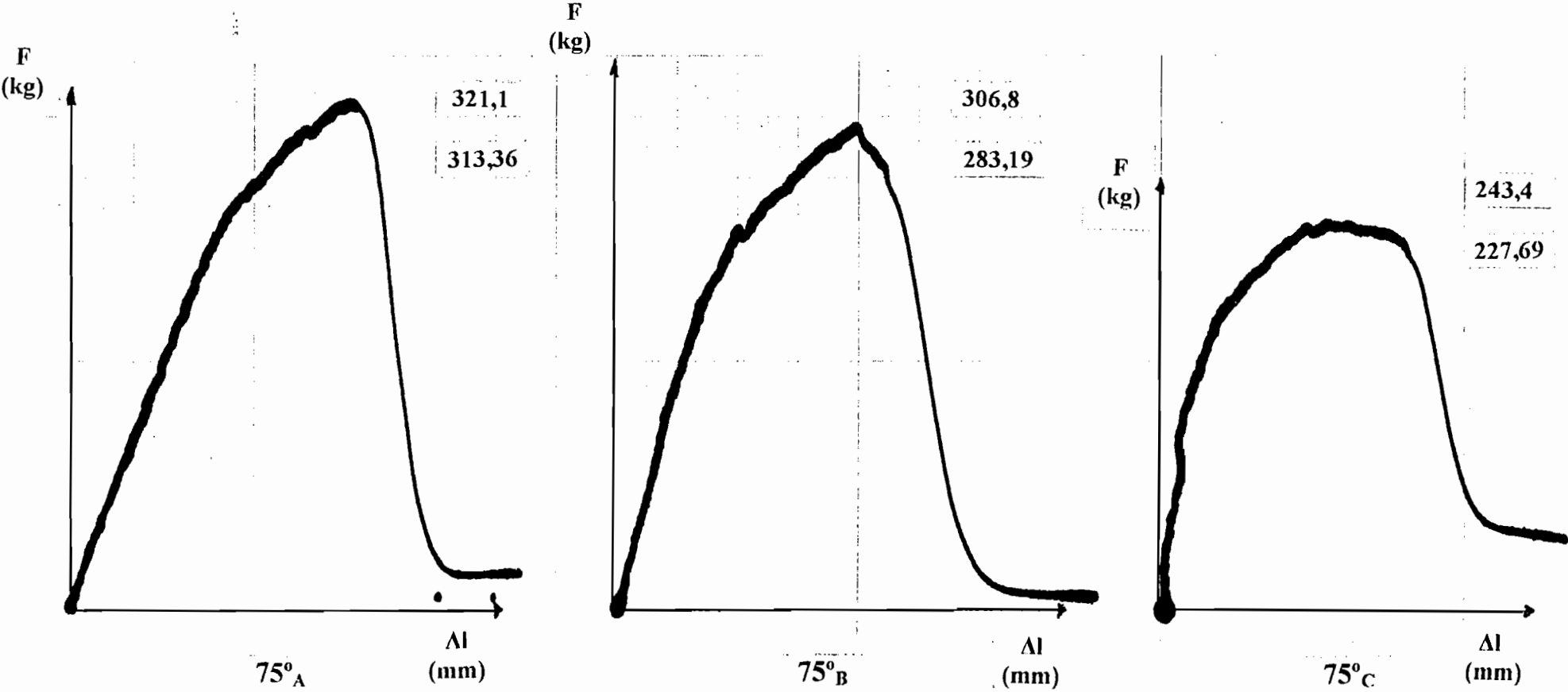
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks



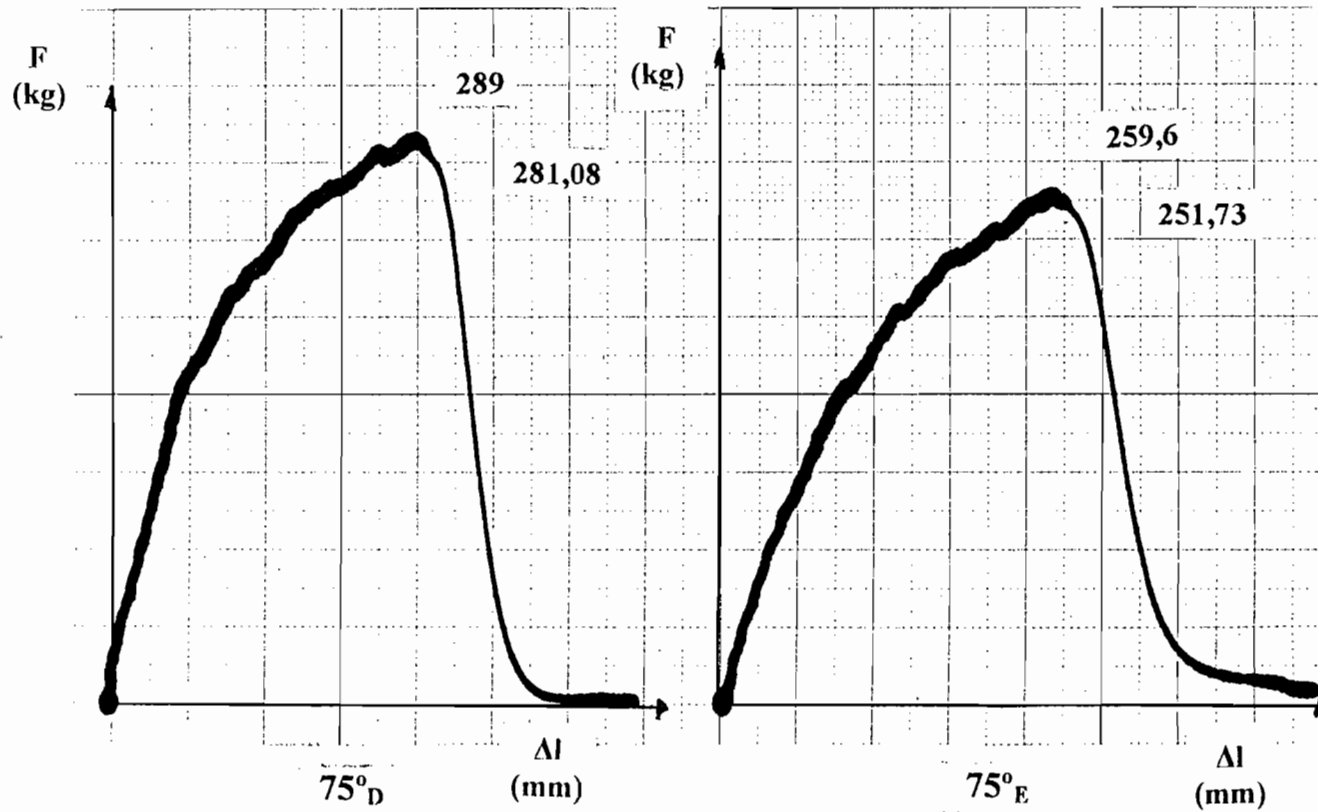
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks



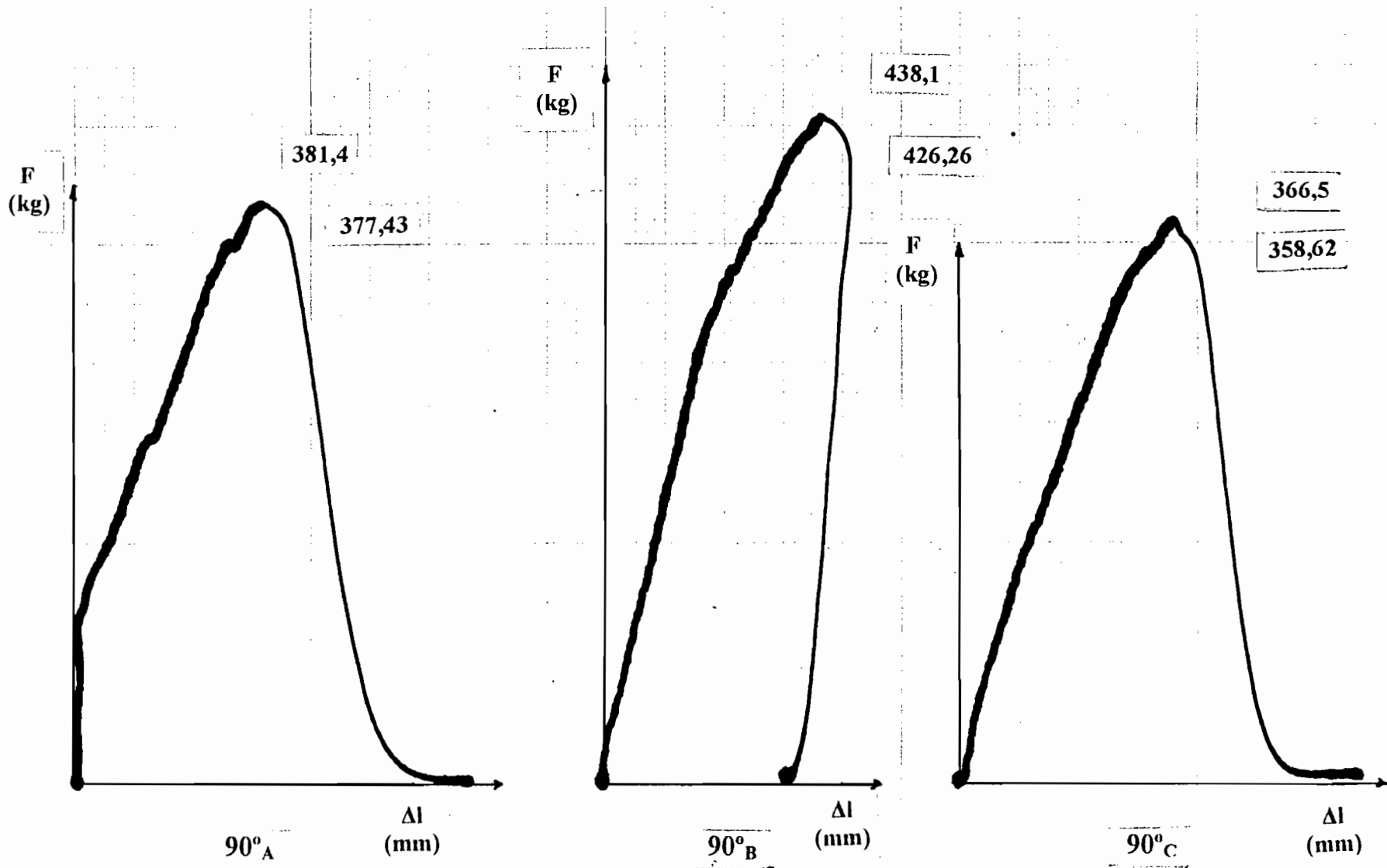
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks



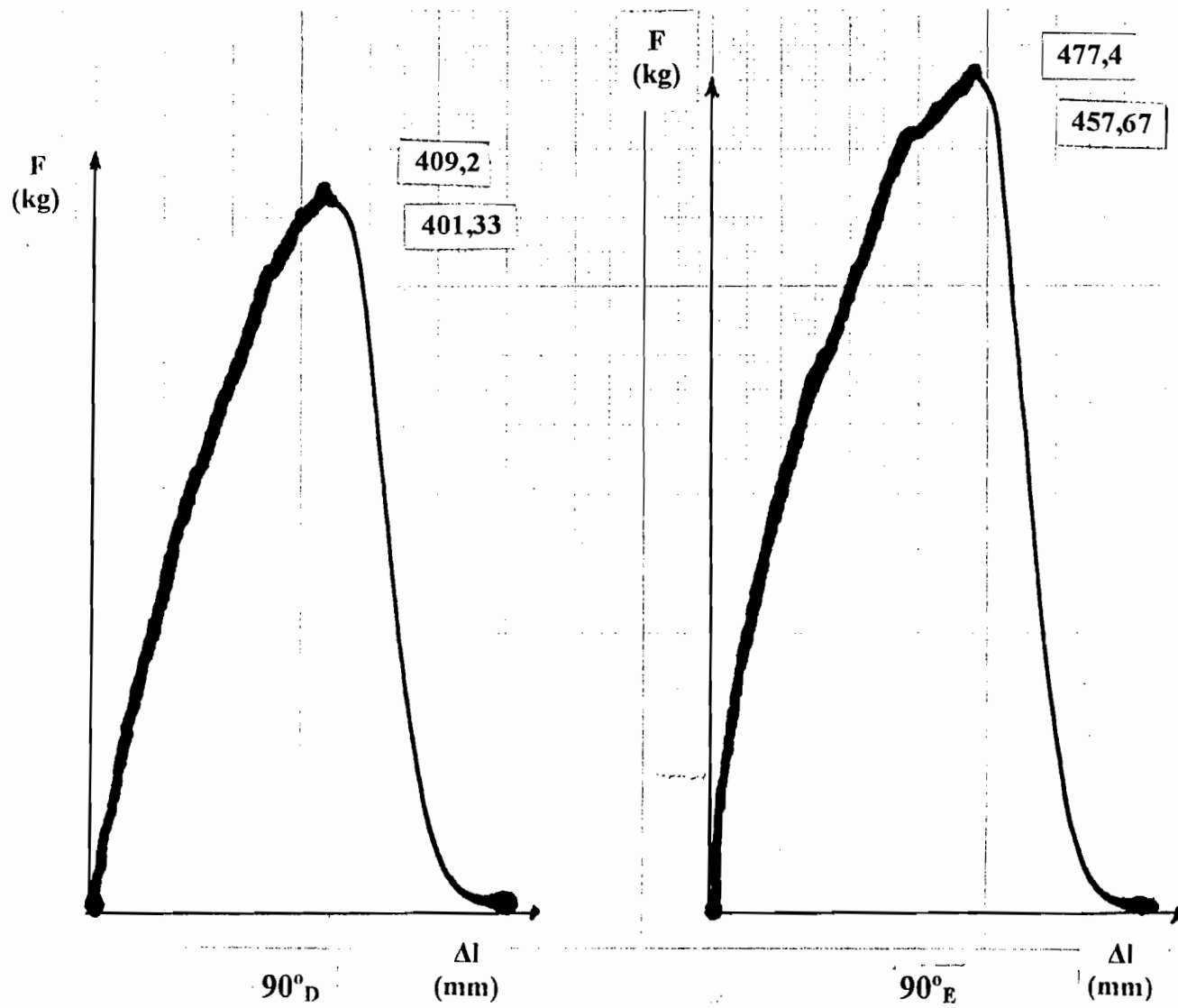
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks



Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks

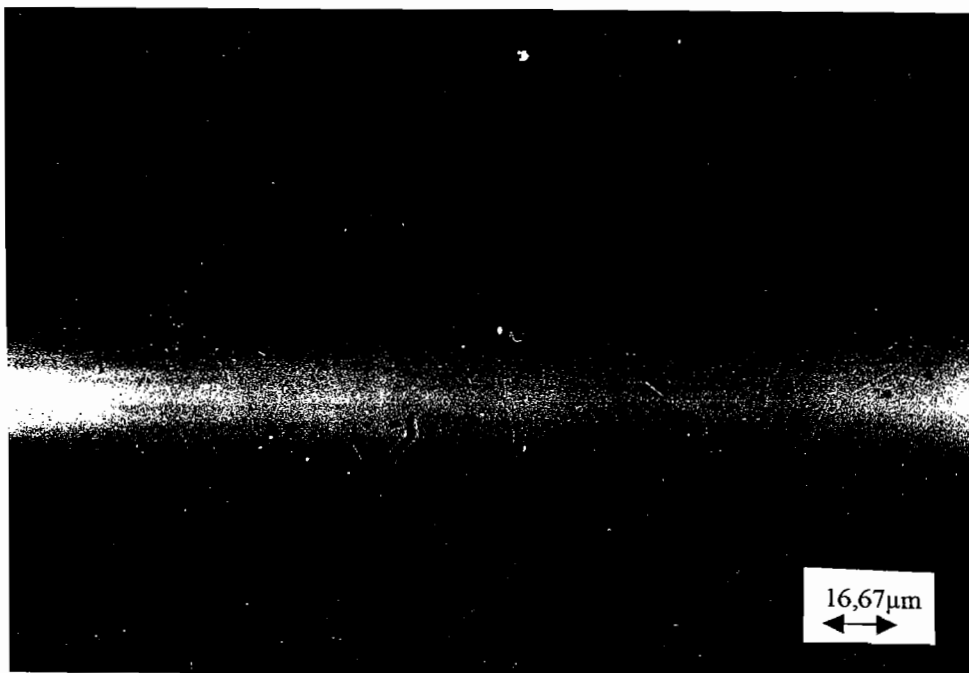


Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks





Gambar L.1. Fotomikro penampang komposit.



Gambar L.2. Foto mikro kawat tembaga 110 μm

Dari 20 sampel serat pada foto mikro yang telah dicetak tersebut dapat diketahui diameter serat. Diameter serat yang terukur tersebut harus dikonversikan dahulu dengan membandingkan foto mikro kawat tembaga

110 μm pada pembesaran 600 \times . Dari foto tersebut diameter kawat tembaga terukur 67 mm, sehingga untuk 1mm pada cetakan foto sebanding dengan 110 $\mu\text{m}/67$. Data pengukuran diameter serat gelas ditunjukkan dalam Tabel L.1.

Tabel L.1. Data diameter serat gelas

No.	d (mm)	No.	d (mm)
1	8	11	9
2	9	12	9
3	8	13	9
4	8	14	9
5	9	15	7
6	7	16	8
7	8	17	9
8	8	18	6
9	7	19	6
10	9	20	7

Keterangan : d = diameter serat yang di perbesar 600 \times pada mikroskop dan dicetak pada kertas foto dengan ukuran 3R.

Diameter rata-rata = 8 mm

Dari hasil foto mikro kawat tembaga dengan diameter 0,11 mm setara dengan 67 mm.

$$\text{Perbesaran foto} = \frac{67}{0,11} = 609,1 \times$$

$$\text{Diameter kalibrasi} = \frac{8}{609,1} = 0,0131 \text{ mm}$$

Diameter rata-rata serat gelas adalah 0,0131 mm = 13,1 μm

1. Data perhitungan berat jenis matrik

Dengan menggunakan Persamaan 3.4. dapat dihitung berat jenis untuk matriks pengikat. Sebelumnya harus diketahui dahulu volume dan berat masing-masing spesimen. Untuk menghitung volume spesimen dilakukan dengan cara mengalikan panjang, lebar dan tebal specimen. Sedang untuk menghitung berat spesimen ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Pada Tabel L.2. menunjukkan hasil perhitungan berat jenis matriks.

Tabel L.2. Data berat jenis matrik

Berat (gr)	Volume (cm³)	Berat jenis (gr/cm³)
11,889	9,991	1,189
11,282	9,492	1,189
11,203	9,405	1,191
10,352	8,686	1,192
10,825	9,097	1,189

Berat jenis rata-rata untuk matriks pengikat = 1,19 gr/cm³

2. Data perhitungan berat jenis komposit

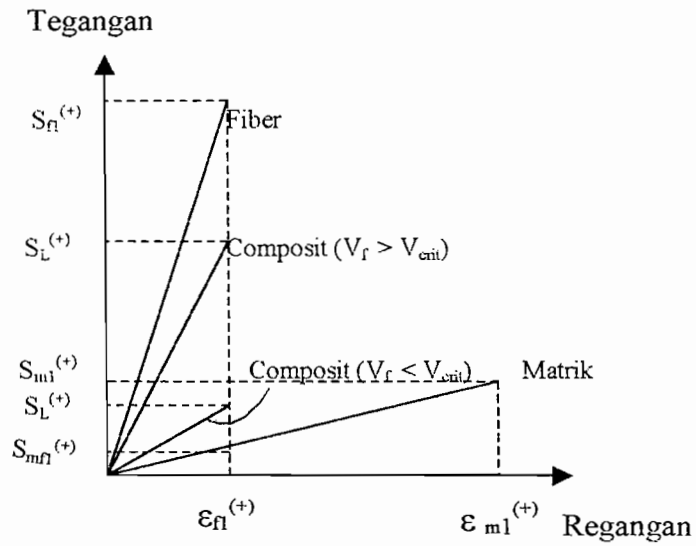
Dengan menggunakan Persamaan 3.4. dapat dihitung berat jenis untuk komposit. Pada perhitungan ini harus diketahui volume dan berat masing-masing spesimen. Untuk menghitung volume dengan cara mengalikan panjang, lebar dan tebal spesimen. Sedang untuk menghitung berat spesimen ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Pada Tabel L.3. menunjukkan hasil perhitungan berat jenis komposit.

Tabel L.3. Data berat jenis komposit

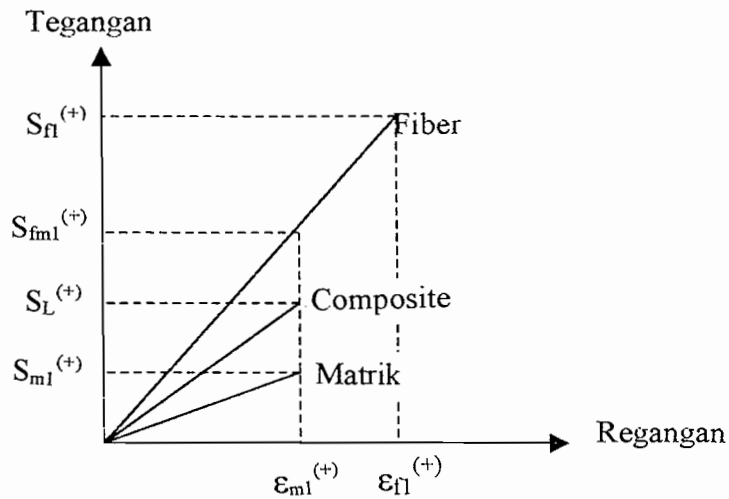
Berat (gr)	Volume (cm³)	Berat jenis (gr/cm³)
18,21	11,6	1,57
18,32	12,4	1,48
18,15	12	1,51
18,28	12,8	1,43
18,35	12	1,53

$$\text{Berat jenis rata-rata untuk komposit} = 1,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

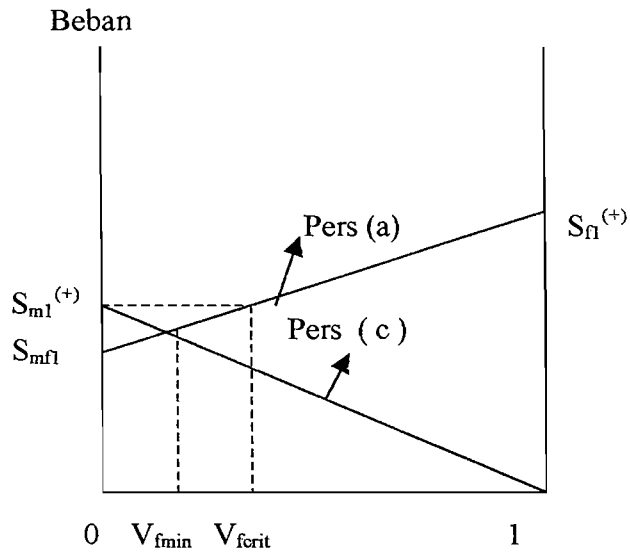
Menentukan Volume Serat Minimum



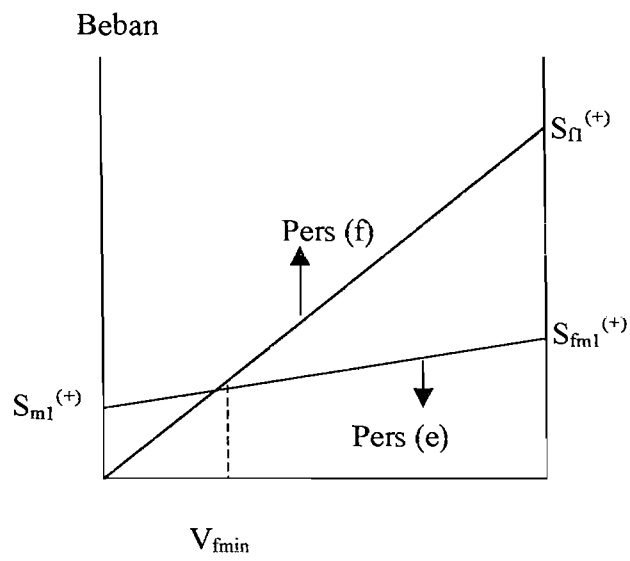
Gambar L3. Grafik tegangan vs regangan fiber



Gambar L4. Grafik tegangan vs regangan matrik



Gambar L5. Fraksi Volume Fiber



Gambar L6. Fraksi Volume Fiber

Untuk menentukan besarnya volume serat pada campuran bahan komposit dapat dikembangkan dari grafik hubungan tegangan vs regangan untuk fiber, matriks dan komposit. Grafik hubungan tegangan vs regangan ini dapat dilihat pada Gambar L.3 dan Gambar L.4. Pada Gambar L.3. regangan matrik ($\epsilon_{m1}^{(+)}$), diasumsikan lebih besar daripada regangan fiber ($\epsilon_{f1}^{(+)}$), yang biasa terjadi pada gabungan matriks polimer. Oleh Kelly dan Davies disingkat dengan Persamaan (e). Gambar L.4. memperlihatkan dimana regangan fiber lebih besar daripada regangan matriks, yang biasa terjadi pada gabungan matriks keramik. Oleh Hull dibuat persamaan $S_L^{(+)} = S_{f1}^{(+)}V_f$. Untuk kasus yang digambarkan pada Gambar L.3. dan Gambar L.4, analisis akan dikembangkan berdasar pada :

1. Kekuatan yang sama pada seluruh fiber
2. Perilaku elastis linear hingga pada kerusakan
3. Regangan yang sama dalam campuran fiber dan matriks.

Untuk kasus pada Gambar L.3, komposit harus rusak pada sebuah level yang sama dengan regangan serat, $\epsilon_{f1}^{(+)} S_{f1}/E_{f1}$. Secara teori, jika matriks mampu menahan beban yang diberikan setelah fiber mengalami kerusakan, beban ini akan meningkat hingga matriks mengalami kerusakan. Namun untuk seluruh tujuan praktis, kerusakan fiber berarti kerusakan komposit. Sehingga ketika beban tarik fiber mencapai suatu nilai $S_{mf1} = E_m\epsilon_{f1}^{(+)}$, beban tarik komposit mencapai pada kekuatan regang ($S_L^{(+)}$). Dan persamaannya menjadi :

$$S_L^{(+)} = S_{fi}^{(+)}V_f + S_{mfl}V_m = S_{fi}^{(+)}V_f + S_{mfl}(1-V_f) \dots\dots\dots (a)$$

Namun demikian persamaan ini hanya berlaku jika fraksi volume fiber cukup besar. Seperti yang terlihat pada Gambar L.3. dan Gambar L.4, jika fraksi volume fiber $V_f < V_{frit}$, kekuatan komposit dari persamaan ini kurang dari kekuatan matriks, dimana :

$$V_{frit} = (S_{m1}^{(+)} - S_{mfl}) / (S_{fi}^{(+)} - S_{mfl}) \dots\dots\dots (b)$$

Bagaimanapun ketika fiber dalam komposit gagal / rusak $V_f < V_{frit}$, matriks masih mampu menahan beban yang dialami dan dituliskan dalam :

$$S_L^{(+)} = S_{m1}^{(+)}V_m = S_{m1}^{(+)}(1-V_f) \dots\dots\dots (c)$$

Seperti terlihat pada Gambar L.5, persamaannya menjadi :

$$V_{fmin} = (S_{m1}^{(+)} - S_{mfl}) / (S_{fi}^{(+)} - S_{m1}^{(+)} + S_{m1}^{(+)}) \dots\dots\dots (d)$$

Umumnya pada praktek pembuatan komposit, V_{frit} kurang dari 5 %. Sehingga $V_{fmin} < V_{frit}$, kedua nilai ini pasti lebih kecil daripada fraksi volume fiber sebenarnya dari fraksi volume komposit, dan kekuatan tarik komposit. Untuk Gambar L.5. akan diketahui dengan Persamaan (a).

Untuk kasus yang digambarkan pada Gambar L.5, kerusakan komposit dapat ditetapkan dengan dua cara, tergantung dari apakah kita memilih menggunakan kerusakan fiber atau kerusakan matriks sebagai acuan. Jika kerusakan matriks

menjadi acuan, kerusakan komposit akan terjadi pada tingkat regangan yang berkorespondensi dengan regangan kerusakan matriks ($\epsilon_{m1}^{(+)}$). Sehingga ketika beban matriks mencapai kekuatan maksimal matriks, $S_{m1}^{(+)}$, kekuatan fiber akan mencapai nilai $S_{fm1} = E_{f1}\epsilon_{m1}^{(+)}$, beban komposit akan mencapai kekuatan komposit ($S_L^{(+)}$) dan persamaannya menjadi :

$$S_L^{(+)} = S_{fm1}V_f + S_{m1}^{(+)}(1-V_f) \dots\dots\dots (e)$$

Terkait dengan Persamaan (a), persamaan ini hanya memiliki arti fisik untuk suatu kisaran fraksi volume fiber tertentu. Seperti yang terlihat pada Gambar L.5, jika fiber masih bisa bertahan dengan penambahan beban setelah kerusakan matriks, regangan fiber akan mencapai regangan kerusakan fiber ($\epsilon_{f1}^{(+)}$). Karena kerusakan matriks, area penahan beban yang tersisa dari fiber tersebut adalah seperti kekuatan komposit dengan persamaan :

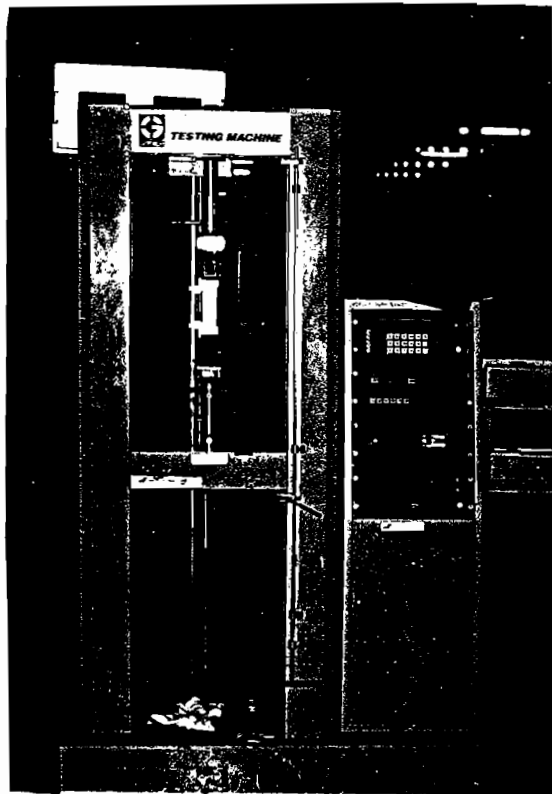
$$S_L^{(+)} = S_{f1}^{(+)}V_f \dots\dots\dots (f)$$

Seperti terlihat pada Gambar L.6, Persamaan (e) dan Persamaan (f), dikonversi menjadi :

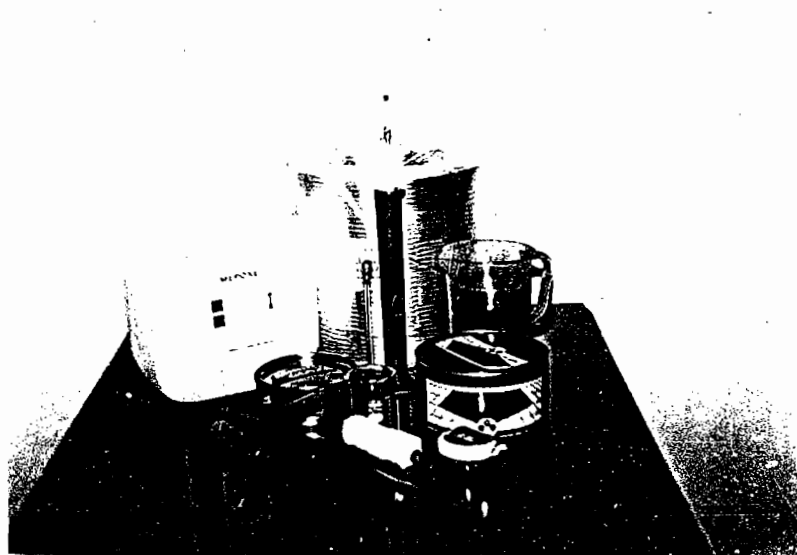
$$V_{fmin} = S_{m1}^{(+)} / (S_{f1}^{(+)} - (S_{fm1} + S_{m1}^{(+)})) \dots\dots\dots (g)$$

Sehingga untuk $V_f < V_{fmin}$, kekuatan komposit akan diketahui dengan Persamaan (e), dan untuk $V_f > V_{fmin}$ kekuatan komposit akan diketahui dengan Persamaan (f). Untuk pembuatan komposit, V_{fmin} akan jauh lebih kecil daripada

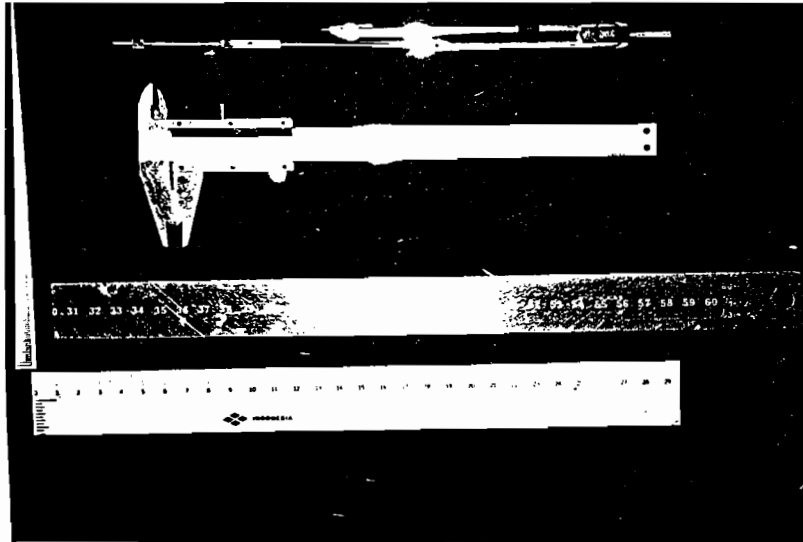
fraksi volume fiber sebenarnya, sehingga kekuatan tarik komposit untuk kasus pada Gambar L.4. akan diberi Persamaan (f). Seperti pada Gambar L.3. dan Gambar L.5, kekuatan komposit untuk kasus ini jauh lebih besar daripada kekuatan untuk seluruh fraksi volume serat (Gibson, R.F., 1994).



Gambar L-7. Foto mesin uji tarik



Gambar L-8. Bahan-bahan pembuat komposit



Gambar L-9. Foto alat ukur bantu

