

**RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL WOVEN ROVING FIBER  
COMPOSITE (E-TYPE) WITH JUSTUS 157 RESIN AND 3 LAYER OF WOVEN  
ROVING**

**TUGAS AKHIR**

Untuk Memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat sarjana S-1

Program Studi Teknik Mesin  
Jurusan Teknik Mesin



Diajukan Oleh :

**STANISLAUS HARTANTO**

**NIM : 995214026**

**NIRM : 99005112310120026**



Kepada

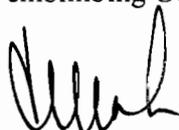
**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SANATA DHARMA  
YOGYAKARTA  
2004**

**TUGAS AKHIR**  
**RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL WOVEN ROVING**  
**FIBER COMPOSITE (E-TYPE) WITH JUSTUS 157 RESIN AND 3 LAYER**  
**OF WOVEN ROVING**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :  
NAMA : STANISLAUS HARTANTO  
NIM : 995214026  
Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji  
Pada tanggal 23 Juli 2004

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama



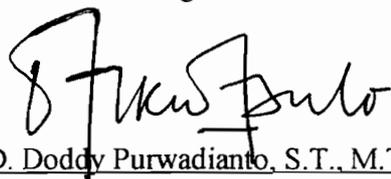
Dr. Ir. Viktor Malau, DEA

Anggota Dewan Penguji



I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T.

Pembimbing Kedua



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



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

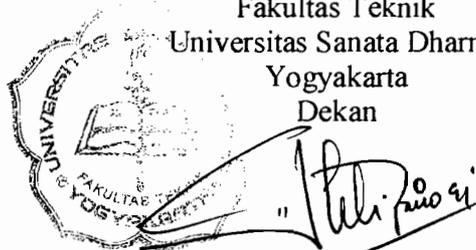


Ir. YB. Lukiyanto, M.T.

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

Yogyakarta, 2004

Fakultas Teknik  
Universitas Sanata Dharma  
Yogyakarta  
Dekan



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

## 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, Juni 2004

Stanislaus Hartanto



**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: 411 /FT .USD/TM/ Maret/2004

NAMA : Stanislaus Hartanto  
NIM : 995214026  
NIRM : 990051123109120026  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik, Univ. Sanata Dharma Yogyakarta  
Judul TGA :  
Penelitian Sifat Fisis & Mekanis Komposit Serat Woven Roving (E  
Type) dengan Resin Justus 157 dan 3 Lapis Woven Roving.

Tanggal dimulai : 23 Maret 2004

Yogyakarta, 30 Maret 2004  
Pembimbing I

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

Dr. Ir. Viktor Malau, DBA

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini penulis persembahkan kepada :

1. Ibu dan Almarhum bapak Antonius Parsidi yang telah memberi kesempatan penulis untuk kuliah dan dorongan yang diberikan selama penulis kuliah.
2. Kakak-kakakku (Albertus Setya Dwi Supratikno, Justina Sri Hartini, dan Agnes Sri Hartanti) yang telah mendukung selama penulis kuliah.
3. Ketiga keponakan saya (Julius Credo Pambudi, Bernadeta Larasanti Purwanto, dan Monica Setya Anugrahani).
4. Anastasia Kristiastuti, terima kasih atas semua bantuannya.
5. Teman-teman kos (Ignatius Teguh Suryono, Stefanus Kristianto, Andy Cristianta, dan Amanto Yuniawan) yang selalu membantu dan memberi dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir.
6. Teman-teman Teknik Mesin (Mateus Daryadi, Ardo, Redi, Ananta, Ari, Nugroho Jaka Sucipto, Bayu Lazuardi, Udik Dharma) perjuangan kita belum selesai.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan pendidikan Strata-1 di Universitas Sanata Dharma. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada beberapa pihak atas bantuan, bimbingan serta nasehat-nasehat yang diberikan sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Ucapan terima kasih penulis ditujukan 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. Yosep 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. Ibu dan Almarhum bapak.

9. Kakak-kakakku Albertus Setya Dwi Supratikno, Justina Sri Hartini, dan Agnes Sri Hartanti.
10. Anastasia Kristiastuti.
11. Ignatius Teguh Suryono, Stefanus Kristianto, Andy Cristianta, Mateus Daryadi, Ardo, Redi, Ananta, Ari, Nugroho Jaka Sucipto, Bayu Lazuardi, Udik Dharma.
12. Teman-teman 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 sehingga penulis mengharapkan komentar atau saran membangun agar tulisan ini lebih sempurna.

Yogyakarta, 23 Juli 2004

Penulis

## INTISARI

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

Langkah pertama dengan membuat bahan matriks pengikat dengan ukuran  $20 \times 15 \times 0,3$  cm. Kemudian dilakukan pengujian tarik yang 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 3 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  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ , dan  $90^\circ$ . Untuk 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  $4161 \text{ kg/mm}^2$ ; kedua, terdapat kemiripan data pada arah orientasi dari serat yang berjenis *woven roving* antara lain : sudut  $0^\circ$  dengan  $90^\circ$ ; sudut  $15^\circ$  dengan  $75^\circ$ ; sudut  $30^\circ$  dengan  $60^\circ$ ; ketiga, arah orientasi serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit.

## ABSTRACT

This study is discuss 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 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 triple 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  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ , and  $90^\circ$ . 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  $4161 \text{ kg/mm}^2$ ; second, there are similar result in the direction of fiber orientation of *woven roving* type for instance : angle  $0^\circ$  and  $90^\circ$ ; angle  $15^\circ$  and  $75^\circ$ ; angle  $30^\circ$  and  $60^\circ$ ; third, fiber orientation is very effective toward composite tensile strength.

## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan .....	ii
Halaman Pernyataan.....	iii
Halaman Soal .....	iv
Halaman Persembahan .....	v
Kata Pengantar .....	vi
Intisari .....	viii
Abstract .....	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel .....	xv
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. Polyester .....	12
2.1.2. Serat gelas .....	14



2.1.3. Bahan-bahan tambahan .....	17
2.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi kekuatan FRP .....	18
2.2.1. Orientasi Serat .....	19
2.2.2. Jenis Serat .....	20
2.2.3. Komposisi dan bentuk serat .....	20
2.2.4. Faktor matriks .....	21
2.2.5. Fase ikatan ( <i>bonding Phase</i> ) .....	22
2.3. Mekanika Komposit .....	22
2.4. Modulus Kegagalan Laminat .....	24
2.4.1. Modulus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal .....	24
2.4.2. Modulus Kegagalan Akibat Beban Tarik Trasversal .....	26
2.4.3. Modulus Kegagalan Mirooskopik .....	28
BAB III CARA PENELITIAN .....	29
3.1. Skema Jalan Penelitian .....	29
3.2. Penyiapan Benda Uji .....	30
3.2.1. Alat dan bahan .....	30
3.2.2. Pembuatan cetakan .....	34
3.3. Pembuatan Benda Uji .....	34
3.3.1. Pembuatan benda uji matriks pengikat .....	34
3.3.2. Pembuatan benda uji komposit .....	36
3.3.3. Cara pemotongan benda uji komposit .....	41
3.4. Standar dan Ukuran Benda Uji .....	42
3.4.1. Benda uji matriks pengikat .....	42

3.4.2. Benda uji serat penguat .....	43
3.4.3. Benda uji komposit .....	44
3.5. Metode Penelitian .....	45
3.5.1. Pengujian matriks pengikat .....	45
3.5.1.1. Pengujian tarik matriks pengikat .....	45
3.5.1.2. Perhitungan massa jenis matriks pengikat .....	46
3.5.2. Pengujian serat .....	47
3.5.2.1. Pengujian tarik serat .....	47
3.5.3. Pengujian komposit .....	47
3.5.3.1. Pengujian tarik komposit .....	47
3.5.3.2. Perhitungan massa jenis komposit .....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	49
4.1. Hasil Pengujian Tarik Matriks .....	49
4.2. Hasil Pengujian Tarik Serat .....	51
4.3. Hasil Pengujian Tarik Komposit .....	52
4.4. Model Kerusakan Komposit .....	58
4.5. Analisa Kerusakan Pada Komposit .....	60
BAB V PENUTUP .....	67
DAFTAR PUSTAKA .....	69
LAMPIRAN .....	70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Grafik kekuatan tarik komposit dan komponen penyusunnya .....	5
Gambar 2.1.	Diagram klasifikasi komposit serat .....	10
Gambar 2.2	Modulus kerusakan pada bahan komposit akibat beban tarik longitudinal .....	25
Gambar 2.3	Modulus kerusakan pada bahan komposit akibat beban tarik transversal.....	26
Gambar 3.1.	Skema jalan penelitian.....	29
Gambar 3.2.	Foto alat yang digunakan untuk pembuatan bahan komposit.....	31
Gambar 3.3.	Dimensi dari cetakan matriks pengikat .....	35
Gambar 3.4.	Rangkaian kesejajaran serat dalam cetakan komposit.....	41
Gambar 3.5.	Pemotongan benda uji komposit sesuai dengan arah orientasi serat.....	42
Gambar 3.6.	Dimensi benda uji tarik matriks pengikat.....	43
Gambar 3.7.	Foto benda uji matriks pengikat .....	43
Gambar 3.8.	Dimensi benda uji tarik serat .....	44
Gambar 3.9.	Foto benda uji tarik serat .....	44
Gambar 3.10.	Dimensi benda uji tarik komposit.....	45
Gambar 3.11.	Foto benda uji tarik komposit pada berbagai arah orientasi serat.....	45
Gambar 4.1.	Keterangan dari tabel 4.1.....	50
Gambar 4.2.	Foto bentuk patahan matriks pengikat.....	51

Gambar 4.3. Keterangan dari tabel 4.4.....	53
Gambar 4.4. Grafik hubungan kekuatan tarik dan sudut orientasi serat .....	56
Gambar 4.5. Grafik hubungan <i>elongation</i> dan sudut orientasi serat .....	57
Gambar 4.6. Foto Kerusakan komposit.....	58
Gambar 4.7. Penampang melintang serat gelas E dan resin.....	59
Gambar 4.8. Penampang komposit mula-mula .....	61
Gambar 4.9. Kerusakan <i>debonding</i> pada komposit.....	61
Gambar 4.10. Retak mikro pada matriks.....	62
Gambar 4.11. <i>Void</i> pada komposit .....	62
Gambar 4.12. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 0° .....	63
Gambar 4.13. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 15° .....	63
Gambar 4.14. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 30° .....	64
Gambar 4.15. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 45° .....	64
Gambar 4.16. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 60° .....	64
Gambar 4.17. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 75° .....	65
Gambar 4.18. Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 90° .....	65

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Dimensi matrik pengikat .....	35
Tabel 4.1. Ukuran lebar dan tebal matriks pengikat .....	50
Tabel 4.2. Sifat mekanik matrik pengikat .....	50
Tabel 4.3. Sifat mekanik serat gelas.....	51
Tabel 4.4. Ukuran lebar dan tebal komposit .....	53
Tabel 4.5. Kekuatan komposit serat gelas E terhadap variasi arah orientasi serat .....	54
Tabel 4.6. Harga rata-rata kekuatan tarik komposit.....	56
Tabel 4.7. Harga rata-rata <i>elongation</i> ( $\epsilon$ ) komposit .....	57

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Bahan komposit semakin banyak digunakan karena sifat-sifatnya yang unggul serta ringan, kuat, kaku serta tahan terhadap korosi dan beban lelah. Dengan alasan tersebut, bahan ini semakin banyak digunakan terutama didunia penerbangan dan perkapalan. Akhir-akhir ini bahkan industri mobil pun telah mulai melirik bahan baru ini. Karena itu pengetahuan mengenai perilaku struktur yang terbuat dari bahan komposit ini semakin penting untuk dipelajari dan digunakan.

Pada tahun-tahun terakhir ini komposit merupakan bahan teknik yang banyak digunakan dan dikembangkan, sebagaimana kita ketahui komposit merupakan sejumlah sistem multi fasa sifat gabungan, yaitu gabungan antara bahan *matriks* atau pengikat dan *reinforcement* atau bahan penguat. Penggabungan ke dua unsur ini pada bahan komposit dicampur secara makroskopis (bisa dibedakan atau dilihat, bisa dipisahkan lagi secara fisis dan mekanis). Berbeda dengan paduan atau *alloy*, yang penggabungan unsur-unsurnya dilakukan secara mikroskopis (tidak bisa dibedakan atau dilihat, pemisahan bahan sulit dilakukan). Pada bahan komposit, sifat-sifat unsur pembentuknya masih terlihat jelas, sedang pada paduan sudah tidak lagi tampak nyata. Keunggulan dari

bahan komposit ini adalah penggabungan sifat-sifat unggul masing-masing unsur pembentuknya tersebut.

Dalam berbagai aplikasi komposit terbukti efektif digunakan sebagai bahan teknik. Dengan menggabungkan dua atau lebih bahan menjadi bahan komposit akan didapat sifat-sifat dari bahan baru yang lebih baik atau tidak dipunyai oleh bahan penyusunnya. Sifat-sifat yang bisa diperoleh dari bahan komposit yaitu <sup>1</sup> :

- a. Dapat dirancang dengan kekuatan dan kekakuan yang tinggi, sehingga dapat memberikan kekuatan dan kekakuan spesifik yang melebihi sifat logam.
- b. Dapat dirancang sedemikian rupa sehingga terhindar dari korosi.
- c. Berat bahan lebih ringan dari pada logam besi.
- d. Daya hantar termal dan listrik dapat diatur.
- e. Daya redam bunyi yang baik.
- f. Bahan komposit dapat memberikan penampilan dan kehalusan permukaan lebih baik.

Bahan komposit sangatlah luas dalam penggolongan maupun penggunaannya. Dalam penggunaannya, jenis komposit sering dibedakan menurut

---

<sup>1</sup> Mechanics of Composite Material, halaman 1

bentuk dari bahan penguat yang terdapat matrik pengikatnya atau dapat juga dibedakan menurut bahan yang menjadi matrik pengikat itu sendiri.

Secara garis besar bahan komposit terdiri dari dua macam, yaitu bahan komposit serat (*fiber composite*) dan bahan komposit partikel (*particulate composite*). Bahan komposit partikel terdiri dari partikel-partikel yang diikat oleh matriks. Bentuk partikel ini dapat bermacam-macam seperti bulat, kubik, atau bentuk-bentuk yang tidak beraturan secara acak, tetapi secara rata-rata berdimensi sama. Sedang bahan komposit serat terdiri dari serat-serat yang diikat oleh matriks. Bahan komposit serat ini juga terdiri dari dua macam, yaitu serat panjang (*continous fiber*) dan serat pendek (*short fiber* atau *whisker*).

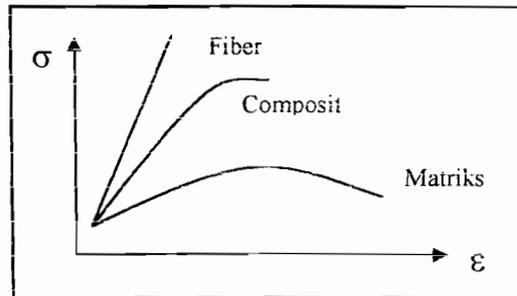
Matriks pada umumnya terbuat dari bahan-bahan yang lunak dan liat. Polimer (plastik) merupakan bahan umum yang biasa digunakan, meskipun untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan suhu yang tinggi. Beberapa logam yang dapat digunakan sebagai matriks yaitu aluminium, tembaga, magnesium bahkan titanium. Sedangkan penggolongan komposit menurut jenis matriks yang digunakan dapat dibedakan menjadi komposit bermatriks, pengikat jenis logam, keramik maupun polimer. Untuk komposit matriks logam disebut *Metal Matrix Composite* (MMC), komposit ini berisi campuran logam dengan serat panjang, partikel dan serat pendek. Komposit dengan matriks keramik disebut *Ceramic Matrix Composite* (CMC). Pada komposit ini digunakan matriks berupa keramik atau gelas dengan *reinforced* berupa serat panjang, serat pendek, atau partikel. Komposit yang mempunyai matriks polimer disebut *Polimer Matrix Composite*

(PMC), dalam komposit jenis ini penggunaan *reinforcement agent* serat sangat aplikatif sekali, seperti pada produk *FRP*.

Dalam perkembangan dibidang bahan manufaktur, bahan komposit berpenguat serat merupakan suatu bahan yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari walaupun tidak dapat dielakkan penggunaan komposit dengan berpenguat bukan serat (*partikel* atau *flake*) juga sangat penting peranannya. Pada komposit berpenguat serat dapat kita jumpai berbagai jenis bahan serat yang digunakan sebagai *reinforcement agent*. Namun secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu serat sintetik dan serat alam. Serat sintetik atau buatan dapat berupa serat gelas, serat karbon, poliester, dan nilon. Sedang contoh untuk serat 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<sup>4</sup>.

Penggabungan antara serat dengan resin menghasilkan sebuah bahan baru yang disebut komposit serat. Dalam penggabungan ini serat berfungsi penguat dan resin berfungsi sebagai matriks pengikat serat. Serat biasanya mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi daripada matriks. Pada saat serat dan matriks dipadukan untuk menghasilkan komposit, kedua komponen tersebut tetap mempertahankan sifat-sifat aslinya dan secara langsung akan berpengaruh terhadap sifat komposit yang dihasilkan. Secara khusus dikatakan bahwa nilai kekuatan maupun kekakuan komposit terletak diantara kekakuan dan kekuatan

serat dan matriks yang digunakan. Ini berarti bahwa kemampuan komposit terdapat diantara serat dan matrik pengikatnya serta memiliki sifat-sifat dari bahan menjadi penyusunnya.



**Gambar 1.1. Grafik kekuatan tarik komposit dan komponen penyusunnya<sup>3</sup>.**

*Fiber glass reinforced plastic* adalah salah satu jenis komposit yang mempunyai komponen berpenguat serat. Bahan yang kita kenal dengan nama *FRP* 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, dan pipa-pipa saluran.

Karena memiliki sifat dan karakteristik khusus, maka komposit banyak digunakan dan terus dikembangkan untuk aplikasi-aplikasi produk baru.

---

<sup>2</sup> Reinforced Plastics Hand Book, halaman 56

<sup>3</sup> Reinforced plastics Hand Book, halaman 182

## 1.2. Permasalahan

Komposit adalah sebuah material yang sangat dipengaruhi oleh sifat dan jenis dari bahan yang menjadi penyusunnya. Dalam komposit serat yang menjadi penguat adalah serat itu sendiri.

Agar mendapatkan sifat-sifat dan karakteristik yang baik dari komposit, maka perlu diperhatikan faktor-faktor :

- a. Bagaimana memahami kegunaan dan membuat komposit serat secara efisien.
- b. Bagaimana mengatur orientasi serat pada bahan komposit agar bahan komposit tersebut memiliki kekuatan tarik maksimum.
- c. Bagaimana faktor kerusakan pada bahan komposit terhadap variasi orientasi serat.

Dari beberapa permasalahan diatas, yang perlu diperhatikan dan diterapkan dalam dunia teknik adalah tegangan tarik dan modulus elastisitas yang di dapat dari grafik beban dengan pertambahan panjang. Tegangan tarik dan modulus elastisitas sangat penting diketahui dalam perancangan.

### 1.3. Tujuan Penelitian

- a. Mengetahui kekuatan tarik matrik pengikat (Resin Justus 157) dan Serat penguat (serat *glass-E*) sebagai bahan penyusun komposit.
- b. Mengetahui kekuatan tarik dan faktor kerusakan pada komposit terhadap orientasi serat.

### 1.4. Pendekatan dan Pemecahan Masalah

Komposit yang akan diteliti adalah komposit serat kontinu dari bahan serat gelas E dan matrik pengikat berupa resin justus 157.

Variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah variasi orientasi serat. Penyusunan serat pada komposit ini secara bertingkat (tiga lapis) dan perbandingan serat/matriks, temperatur dan kelembaban udara dianggap konstan.

Dalam penelitian komposit serat gelas ini akan dilakukan serangkaian pengujian sebagai berikut:

- a. Pengujian tarik matriks pengikat.

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

b. Pengujian tarik serat penguat.

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

c. Pengujian tarik komposit.

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

### **1.5. Sistematika Pembahasan**

Dalam bab-bab selanjutnya akan diuraikan mengenai komposit menggunakan penguat serat gelas E, matriks pengikat, bahan-bahan lain yang digunakan dalam pembuatan bahan komposit dan cara pembuatan serta pemotongan bahah komposit. Proses pengujian mekanik yang dilakukan pada bahan komposit dapat dilihat pada Bab IV. Sedang pada bab terakhir akan diberikan kesimpulan dari pengujian yang telah dilakukan.

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1. Komposit *Fiber Glass Reinforced Plastics*

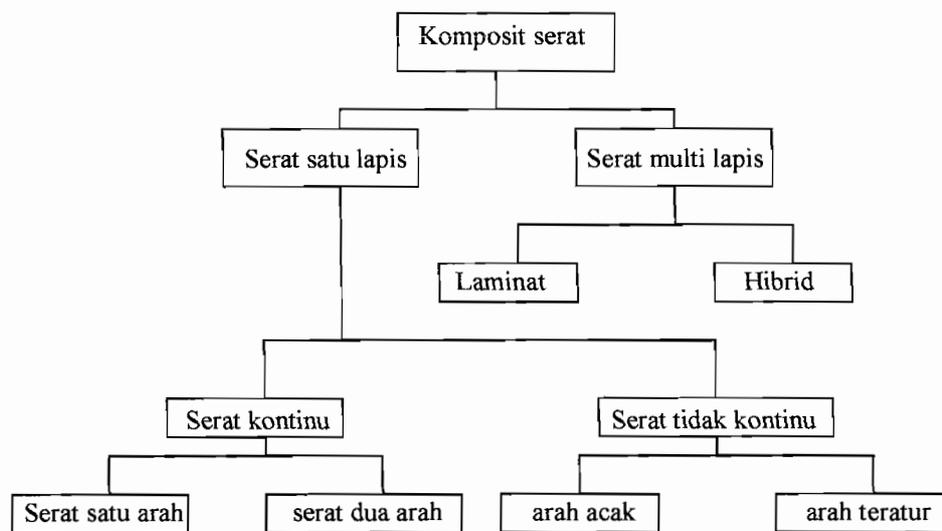
Kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis. Pada umumnya bahan komposit serat terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) sebagai bahan penguat dan matriks sebagai bahan pengikat serat. Unsur utama bahan komposit serat adalah serat itu sendiri, sebab 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, kaca dan boron. Sedang bahan matriks dipilih bahan yang lunak seperti plastik dan logam-logam lunak.<sup>4</sup>

Bahan komposit serat adalah jenis bahan komposit yang umum dikenal, paling banyak dipakai dan dibicarakan. Bahan komposit serat dapat diklasifikasikan kedalam berbagai jenis tergantung pada bentuk dan jenis seratnya. Hal ini dapat

---

<sup>4</sup> Mekanika Struktur Komposit, halaman 1

dimengerti karena serat merupakan unsur utama dalam bahan komposit tersebut. Klasifikasi bahan komposit serat dapat dilihat pada Gambar 2.1.dibawah ini, 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<sup>5</sup>.**

Ukuran 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 dibandingkan dengan komposit serat tidak kontinu.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Ibid, halaman 3

<sup>6</sup> Ibid, halaman 3

Selain serat pada bahan komposit serat tidak lepas pula 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. Matriks juga berguna untuk meneruskan gaya dari satu serat keserat lainnya dengan menggunakan mekanisme tegangan geser.

Matriks pada umumnya terbuat dari bahan-bahan yang lunak dan liat. Polimer (plastik) merupakan bahan umum yang biasa digunakan. Contoh bahan-bahan polimer yang sejak dulu dipakai sebagai bahan matriks yaitu *Poliester*, *vinilester*, dan *epoksi*. Bahan matriks jenis polimer dibagi menjadi dua jenis yaitu : polimer termoset dan polimer termoplastik. Polimer termoset adalah bahan matriks yang dapat menerima suhu tinggi/tidak berubah karena panas. *Poliimid*, *Poliimid Amid*, dan *Polidifenileter* adalah beberapa jenis contoh bahan polimer termoset. Sedangkan untuk bahan matriks polimer termoplastik yaitu bahan matriks yang tidak dapat menerima suhu tinggi/akan berubah karena panas. Contoh dari polimer termoplastik yang sering dijumpai adalah *PEEK (Poly-Ether-Ether-Ketone)*, *PEI (Poly-Ether-Imide)*, *PES (Poly-Ether-Sulphone)* dan *Nilon*. Dari kedua bahan polimer ini yang paling banyak digunakan adalah bahan polimer termoplastik, sebab pada bahan ini memiliki beberapa keunggulan, seperti tidak ada umur kadaluarsa, lebih liat, lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan dan tahan suhu lebih tinggi.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Ibid, halaman 9

Bahan komposit serat menggabungkan keunggulan, kekuatan dan kekakuan serat dengan massa jenis matriks yang rendah hasilnya adalah suatu bahan yang ringan tetapi kuat dan kaku. Perkembangan bahan teknik manufaktur pada saat ini sangat pesat. Bahan *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.

Bahan *GFRP* ini mulai diperkenalkan pada tahun 1941 di Amerika sebagai bahan-bahan berbasis plastik berpenguat serat gelas E. *GFRP* mulai merambah dinegara-negara bagian Amerika dan Eropa sekitar tahun 1946. Pada dekade 50-an antusiasme dari penggunaan material baru ini mulai memasuki diberbagai bidang industri, sebagai contoh tangki and pipa. Sedang untuk bidang industri yang bergerak dalam bidang transportasi contohnya dapat berupa kapal, bodi mobil balap dan untuk bidang kesehatan berupa alat-alat olah raga. Beberapa contoh diatas memperlihatkan bahwa *GFRP* khususnya berpenguat serat kontinu dapat sangat aplikatif dalam penggunaan dan penerapannya.

### **2.1.1. Poliester**

Resin poliester adalah bahan matriks polimer termoplastik yang paling luas dalam penggunaan sebagai matrik pengikat, dari bagian yang menggunakan proses

pengerjaan yang sangat sederhana sampai produk yang dikerjakan dengan proses menggunakan cetakan mesin.

Resin poliester termoplastik memiliki sifat-sifat sebagai berikut : permukaan yang halus dan mengkilat, titik leleh yang relatif tinggi, unggul dalam kestabilan dimensi karena serapan airnya rendah, mempunyai kekakuan dan kekuatan mekanik yang tinggi (ketahanan impact, ketahanan abrasi, koefisien gesek, ketahanan melar, ketahanan retak tegangan dan ketahanan cuaca juga baik). Bahan poliester ini bila diperkuat dengan serat gelas maka ketahanan panas akan lebih baik. Mengenai ketahanan kimianya bahan poliester ini mudah membentuk/larut asam trifluoroasetat, fenol, m-kresol dan tetrakloroetan. Secara khusus terurai baik dalam asam sulfat pekat maupun dalam asam nitrat.<sup>8</sup>

Dalam pengerjaan resin ini juga cukup mudah, karena tidak mengalami perubahan dimensi yang disignifikan saat proses curing. Dalam pemakaian resin poliester, untuk mendapatkan hasil sebagai matriks pengikat harus melalui proses curing. Resin polyester dapat mengalami proses curing dalam suhu kamar dengan cara mereaksikan perosida organik atau dapat juga melalui penyinaran sinar ultra violet. Kemampuan proses curing ini dapat dipercepat dengan mereaksikan resin poliester bersama katalis (sebagai periosida organik).

---

<sup>8</sup> Pengetahuan Bahan Teknik, halaman 232

Dimulainya proses curing saat terjadinya reaksi antara bahan pemicu yaitu katalis dan resin. Reaksi panas yang berlebihan antara kedua bahan ini akan mengakibatkan kerusakan pada hasil, untuk menghindarinya maka harus dilakukan pengaturan suhu dan pengaturan banyaknya katalis yang dicampur pada saat curing.

Bahan poliester banyak digunakan untuk komposit berpenguat serat gelas, film dan botol. Contoh produk komposit berpenguat serat gelas yang menggunakan bahan poliester sebagai matriks yaitu kapal, tempat duduk di stadion, tangki penyimpan air, pot untuk tumbuhan/bunga dan masih banyak lagi. Sedang contoh aplikasi dalam bentuk film yaitu film yang digunakan untuk komputer, video, kaset, fotografi, bahan pengemas, isolasi listrik, kondensor, hiasan yang dilapisi logam, isolasi panas dan sebagainya.

Selain dapat mengalami proses curing pada temperatur kamar dengan bantuan katalis (peroksida organik). Polyester juga dapat mengalami proses curing dengan penyinaran ultraviolet sampai suhu 90 °C. Beberapa polyester yang dipergunakan sebagai material dalam industri misalnya, *orthophtalic*, *isophtalic*, *iso NPG*, *bispenol<sup>9</sup>*.

### **2.1.2. Serat Gelas**

Serat gelas merupakan material anorganik sintetis yang digunakan sebagai salah satu bahan penguat dalam penggunaan komposit. Serat gelas mempunyai

kekuatan tarik yang tinggi, harga yang murah, tidak mudah terbakar, isolator listrik yang baik dan mempunyai sifat anti korosi, hal ini menyebabkan material ini aplikatif bila dicampur dengan polimer matrik komposit.

Proses produksi serat gelas dengan cara mencairkan bahan dasar berupa sand, kaolin, limestone dan colemanite. Bahan-bahan tersebut kemudian dicampur dan dipanaskan sampai suhu 1600°C dalam sebuah dapur listrik. Material-material yang sudah melebur kemudian dibentuk menjadi ribuan filamen dengan cara dialirkan ke *bushing* dari platinum yang memiliki ribuan lubang. Filamen ini berdiameter 10-24 µm, tetapi secara komersial serat gelas diproduksi dengan diameter 8 sampai 15 µm dan yang banyak dipasaran sekitar 11 µm. Langkah selanjutnya adalah menggulung dan membentuk serat sesuai dengan bentuk serat yang diinginkan, sebelum digunakan lebih lanjut untuk berbagai aplikasi *GFRP*. Serat gelas dapat dibedakan dalam berbagai jenis antara lain <sup>10</sup>:

a. Serat gelas A.

Serat gelas yang digunakan pada awal material ini mempunyai kandungan alkali yang tinggi.

---

<sup>9</sup> Reinforced Plastics Han Book, halaman 19

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 C.

Serat ini memiliki sifat-sifat sebagai berikut : tahan korosi (lebih tahan dari pada serat gelas E), lebih mahal dari pada serat gelas E, lebih kecil kekuatannya dari pada serat gelas E.

d. Serat gelas D.

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

e. Serat gelas R dan S.

Serat gelas R dan serat gelas S mempunyai komposisi kimia yang berbeda, tetapi kedua serat ini diperuntukan sebagai bahan penguat dengan kemampuan tinggi, serat gelas ini diaplikasikan sebagai *reinforcement agent* dalam pembuatan pesawat terbang. Serat gelas yang mempunyai

---

<sup>10</sup> *ibid*, halaman 63

massa jenis yang hampir sama dengan serat gelas E. Produksi serat gelas R banyak terdapat di Eropa, sedang untuk serat gelas S banyak diproduksi di Amerika.

### 2.1.3. Bahan-bahan tambahan

Bahan sebagai pemicu (*initiator*) yang berfungsi untuk memulai dan mempersingkat reaksi curing pada temperatur ruang adalah katalis. Kelebihan katalis akan menimbulkan panas saat curing dan hal ini bisa merusak produk yang dibuat jika pencampuran katalis ke dalam resin terlalu banyak atau tidak sesuai takaran. Katalis yang digunakan sebagai porses *curing* dalam pembuatan *FRP* berasal dari *organic peroxide* seperti *methyl ethyl ketone peroxide* dan *Acetyl acetone peroxide*. Katalis yang bereaksi dengan resin akan memberikan reaksi berupa panas. Panas yang terjadi pada bahan saat pembuatan komposit serat menggunakan serat jenis *woven roving* sebanyak 3 lapis sekitar 80 °C. Pada proses *curing* perbandingan komposisi yang dipergunakan sebagai campuran untuk katalis menggunakan perbandingan 0,5 % dari volume total.

*Pigment* dan pasta pewarna hanya dipergunakan pada akhir proses dari pembuatan *FRP*. Apabila pigment dan pasta pewarna ini harus dipakai pada produksi maka harus dipergunakan bahan yang sesuai karena bahan ini dapat mempengaruhi proses curing dari resin. Dalam pelapisan akhir (*Gelcoating*) perbandingan pigment atau pasta pewarna adalah 10% sampai 15% dari berat resin. *Zinc yellow, chrome*

*orange, Red iron oxide* adalah beberapa pewarna yang dipergunakan dalam pembuatan *FRP*.

Karena proses pembuatan komposit serat akan mengakibatkan lengketnya produk dengan cetakan maka untuk menghindari hal itu harus diadakan proses pelapisan terhadap cetakan dengan *release agent* sebelum dilakukan pembuatan. Dalam pembuatan *FRP* pelapisan *release agent* sangat penting sebelum proses pencetakan dilakukan, Release agent yang biasa digunakan berupa *waxes* (semir), *mirror glass, polyvinyls alcohol, film forming, oli, dsb.*

Selain bahan-bahan tersebut ada bahan tambahan lain untuk memberikan tampilan lebih dari material *FRP* ini. Adiktif sebagai penambah kemampuan elektrik, bahan yang dapat meningkatkan kemampuan terhadap suhu tinggi seperti *melamine syanurate*, dan masih banyak lagi bahan yang dapat diaplikasikan.

## **2.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan FRP**

*FRP* adalah suatu 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 matrik, serta ikatan didalam campuran antara serat dan matrik (*interface* atau *bonding*)<sup>11</sup>.

### 2.2.1. Orientasi serat

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

1. *Unidirectional* : Serat disusun secara paralel satu sama lain. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada bahan yang sejajar dengan arah serat sedangkan kekuatan terendah pada bahan yang tegak lurus serat.
2. *Bidirectional* : Serat disusun secara tegak lurus satu sama lain (*woven roving*). Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada arah  $0^\circ$  dan  $90^\circ$ , sedangkan kekuatan terendah pada arah  $45^\circ$ .
3. *Pseudoisotropic* : Serat disusun secara acak. Kekuatan tarik pada satu titik pengujian mempunyai nilai yang sama.

Sifat mekanik dari pemasangan 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.

---

<sup>11</sup> Composite Material hand Book, halaman 1.10

### 2.2.2. Jenis serat

Berdasarkan susunan 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. Komposit yang diperkuat dengan serat pendek dapat dihasilkan kekuatan yang lebih besar dari pada yang diperkuat serat panjang yaitu dengan cara pemasangan orientasi pada arah optimum yang dapat ditahan oleh serat.

### 2.2.3. Komposisi dan bentuk serat

Berdasarkan 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 disyaratkan agar tegangan geser yang terjadi pada permukaan antar serat dan matriks kecil. Agar serat dapat melaksanakan tugasnya dengan baik. Berdasarkan komposisinya serat yang digunakan sebagai bahan penguat komposit dibedakan atas :

- a. Serat alam, 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 Matrik

Matriks yang digunakan sebagai bahan pembuat komposit ada bermacam-macam jenis. Dari berbagai macam jenis matriks yang ada mempunyai fungsi yang sama yaitu :<sup>12</sup>

- 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 matrik, matrik harus mempunyai serat adhesi yang baik terhadap serat untuk menghasilkan struktur komposit yang sempurna karena hal ini berhubungan erat dengan transfer beban. Jika matrik mempunyai sifat adhesi yang kurang baik maka transfer beban tidak sempurna dan menyebabkan kegagalan berupa lepasnya ikatan antara matrik dengan serat (*debonding failure*). Secara

---

<sup>12</sup> Processing of Composite Materials, halaman 9

garis besar kualitas matrik ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah kemampuan membasahi serat, banyak tidaknya rongga (*void*) saat dituang, temperatur atau tekanan curing, viskositas dan *pot life* selama proses *impregnasi*.

- c. Melindungi permukaan serat, 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). 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 lain 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. Bentuk susunan masing-masing komponen.
- c. Penggabungan antar komponen.

Mekanika komposit dapat dianalisa dari dua sudut pandang yaitu dengan analisa mikromekanik bahan komposit dengan memperlihatkan sifat-sifat mekanik bahan penyusunnya, hubungan antara 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<sup>13</sup>. Jika komposit laminat diambil sebagai komponen dasar analisis bahan komposit, analisis makromekanik dari laminat dapat diambil dari tegangan rata-rata, maupun sifat mekanik rata-rata dari bahan homogen yang ekuivalen.

---

<sup>13</sup> Mechanics of Composite material, halaman 11

## 2.4. Modus Kegagalan Laminat

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

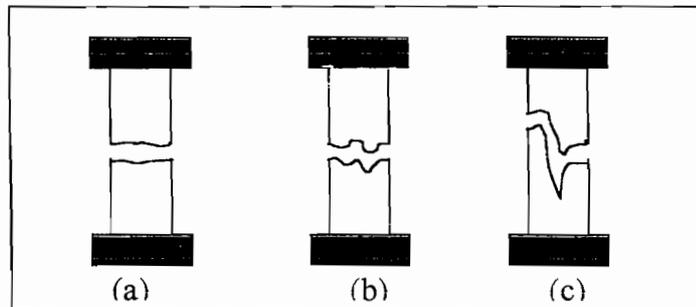
### 2.4.1. Modus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal

Pada bahan komposit lamina 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 kesekitar atau keserat lainnya.

Bila serat yang patah semakin banyak, maka ada tiga kemungkinan<sup>14</sup> :

- a. Bila matriks mampu menahan gaya geser dan meneruskan keserat sekitar, maka serat yang patah akan semakin banyak sehingga timbul retakan. Bahan komposit akan patah getas (*brittle failur*) seperti nampak pada Gambar 2.2a.
-

- b. Bila matriks tidak mampu menahan konsentrasi tegangan geser yang timbul diujung, serat dapat terlepas dari matriks (*debonding*) dan komposit rusak searah serat seperti nampak pada Gambar 2.2b
- c. Kombinasi dari kedua tipe diatas pada kasus ini patah serat yang terjadi disembarang tempat dibarengi dengan kerusakan matriks. Modus kerusakan berwujud seperti sikat (*brush type*) seperti terlihat pada Gambar 2.2c



**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

<sup>14</sup> Mekanika Struktur Komposit, halaman 136

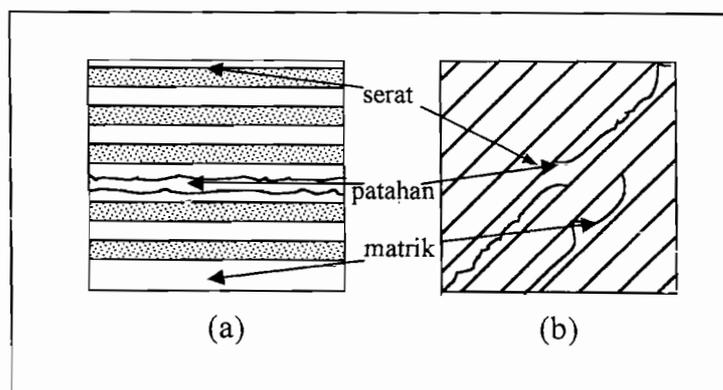


dari matriks atau bahkan matriks rusak akibat gaya geser. Ini akan terjadi bila kandungan *void* (gelembung udara) pada bahan tersebut diabaikan.

#### 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 <sup>15</sup>:

- a. Kegagalan tarik matriks
- b. *Debonding* pada *interface* antara serat dan matriks.



**Gambar 2.3. Kegagalan pada komposit akibat beban tarik transversal.**

<sup>15</sup> *ibid*, hal 140

### 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 barang kali sudah dianggap gagal, sedang pada struktur yang lain hanya kerusakan total dapat dianggap gagal.

Hal ini sangat mencolok 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 :

- a. Patah pada serat (*fiber breaking*)
- b. Retak mikro pada matrik (*matrik micro crack*)
- c. Terkelupasnya serat dari matrik (*debonding*)
- d. Terpisahnya lamina satu samalain (*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 susah 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.<sup>16</sup>

---

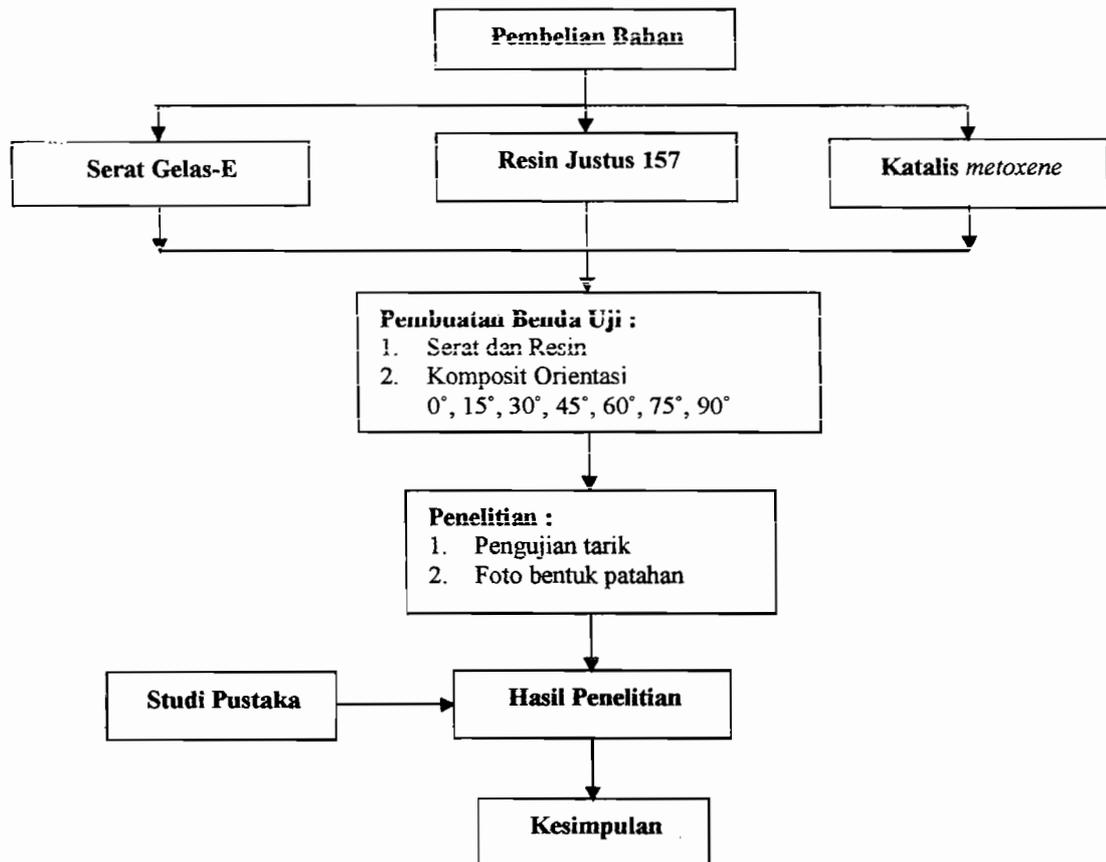
<sup>16</sup> *ibid'* hal 133

## BAB III

### CARA PENELITIAN

#### 3.1. Skema Jalan Penelitian

Agar penelitian yang dilakukan dapat dilakukan secara berurutan, maka perlu dibuat suatu alur yang menerangkan jalanya penelitian tersebut. Urut-urutan penelitian yang dimaksudkan adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1. Skema jalan Penelitian

### 3.2. Penyiapan Benda Uji

#### 3.2.1. Alat dan Bahan

Untuk membuat suatu bahan komposit berpenguat serat gelas E jenis *woven roving* dipergunakan alat-alat bantu sebagai berikut :

- a. Bahan pembuat cetakan yaitu kaca tebal 0,5 cm dan 0,3 cm dengan ukuran :
  - i.  $56 \times 46 \times 0,5$  cm dua lembar.
  - ii.  $56 \times 5 \times 0,3$  cm dua lembar.
  - iii.  $36 \times 5 \times 0,3$  cm dua lembar.
- b. Alat ukur (gelas ukur 1000cc dan 5cc, penggaris/meteran, jangka sorong, jangka).
- c. Tempat untuk mengaduk dan mencampur resin (kaleng susu, stik pengaduk).
- d. Alat untuk membantu dalam pencetakan. (alat perata, kuas, roler lay-up, scraber)
- e. Alat memotong (gergaji, pisau, gunting).
- f. Alat untuk *finishing*/menghaluskan (gerenda, kertas amplas, kikir).



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

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

### **1. Resin**

Resin yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah resin produksi 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. Data dan perhitungan selengkapnya disajikan dalam lampiran tabel dan perhitungan.

## 2. Serat

Dalam penelitian 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 sehingga untuk mengetahui sifat-sifat mekanik harus dilakukan pengujian secara langsung untuk mengetahui kekuatan tarik. Dari serat yang digunakan data dan perhitungan selengkapnya disajikan dalam lampiran tabel dan perhitungan.

## 3. Katalis

Pembuatan bahan komposit tidak hanya menggunakan serat dan resin saja, tetapi harus ada bahan lain yang gunanya membantu dan mempercepat proses pengeringan. Bahan tersebut dinamakan katalis, sebab tanpa katalis bahan komposit ini tidak dapat kering. Pada penambahan katalis dengan rasio perbandingan 0,5% volume total. Ketika reaksi dimulai akan timbul panas ( $60^{\circ}$ - $90^{\circ}$  C) yang cukup untuk mereaksikan resin hingga diperoleh kekuatan maksimal dan bentuk plastik. Dalam penelitian ini digunakan katalis *metoxene (methyl ethyl ketone peroxide)* untuk mempercepat laju curing komposit. Laju curing komposit ditentukan oleh jumlah katalis yang ditambahkan kedalam 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. **Releas agent**

Karena dalam proses pembuatan dengan bahan resin ini akan bersifat adhesif maka untuk mempermudah pemisahan komposit dari cetakan diperlukan suatu bahan yang dapat mengurangi/menghilangkan sifat adhesif (daya rekat). Dalam hal ini yang digunakan sebagai anti adhesif dalam proses pembuatan komposit adalah oli.

Pemakaian oli digunakan dengan cara mengoleskan dan melapisi seluruh cetakan yang akan mengalami kontak langsung dengan resin saat pembuatan. Perlakuan pelapisan dengan bahan anti adhesif 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.

#### 5. **Acetone**

*Acetone* dapat digunakan untuk membersihkan resin yang belum mengalami proses pengeringan (*curing* sempurna) dari alat-alat yang kita gunakan dalam proses pembuatan. Pemakaian *acetone* ini hanya dapat berfungsi sebelum resin menjadi keras dan kering, apabila resin telah mengeras dan kering pada alat 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

Dalam proses pembuatan komposit *GFRP*, 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 :

- a.  $56 \times 46 \times 0,5$  cm dua lembar.
- b.  $56 \times 5 \times 0,3$  cm dua lembar.
- c.  $35 \times 5 \times 0,3$  cm dua lembar.

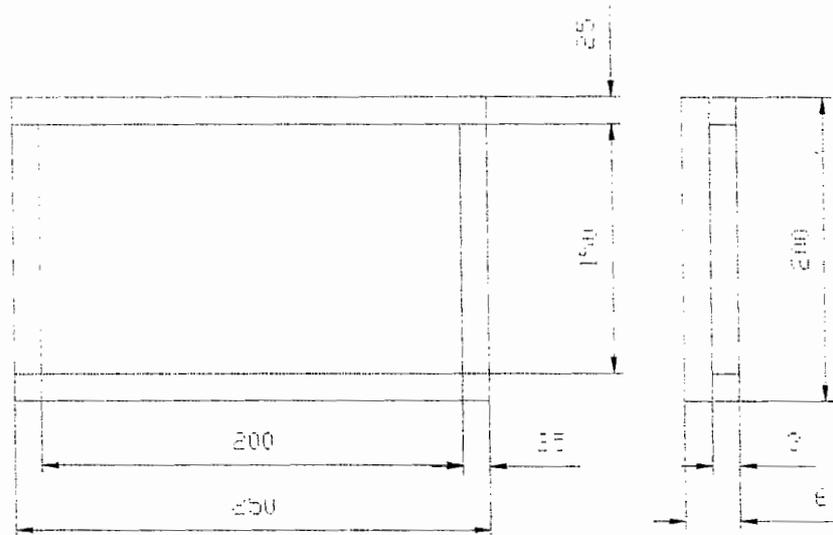
### 3.3. Pembuatan Benda Uji

#### 3.3.1. Pembuatan Benda Uji Matrik Pengikat

Pencetakan benda uji matrik 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  $20 \times 15$  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 matriks pengikat.**

Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Volume (cm <sup>3</sup> )
200	150	3	90

**Gambar 3.3. Dimensi dari cetakan matriks pengikat.**

Langkah-langkah pencetakan benda uji matriks pengikat adalah sebagai berikut:

- Lakukan proses pelapisan permukaan cetakan dengan oli, hal ini dilakukan untuk mempermudah pemisahan produk dari cetakan.
- Siapkan resin sesuai dengan volume cetakan sebesar 89,55 cc (99,5 %). Kemudian resin yang telah diletakkan pada wadah pencampur ditambahkan katalis dengan perbandingan 0,5 % volume total jadi sebesar 0,45 cc katalis.
- Aduk campuran resin dan katalis hingga rata. Pengadukan ini harus dilakukan secara cepat sebab pencampuran resin dan katalis akan

berubah menjadi gel setelah  $\pm 20$  menit. Selain itu hindari pengadukan yang menyebabkan gelembung, sebab gelembung yang timbul pada waktu proses pengadukan akan menimbulkan void pada matriks yang dicetak. Setelah resin dan katalis tercampur dengan merata, lakukan penuangan pada cetakan. Resin yang dituang pada cetakan diusahakan rata-rata air.

- d. Tutup cetakan bagian atas dengan kaca yang telah dilapisi oli. Cetakan yang sudah disiapkan kemudian di clamp agar tidak terjadi penggelembungan.
- e. Proses curing dalam waktu 8 – 12 jam. Lepaskan cetakan bagian atas (penutup) dan keluarkan matrik dari cetakan dengan bantuan scraber.
- f. Potong-potong produk sesuai dengan ukuran spesimen.

*Catatan : Penggunaan aceton untuk membersihkan peralatan dari resin lakukan sebelum resin mengering dan menjadi keras.*

### **3.3.2. Pembuatan Benda Uji Komposit**

Sebelum membuat benda uji komposit terlebih dahulu menghitung komposisi serat, resin dan katalis yang digunakan pada pembuatan benda uji komposit agar mendapatkan hasil sesuai yang diharapkan.

Langkah pertama dalam perhitungan adalah menghitung berat serat yang akan digunakan. Berat serat *woven roving* untuk tiga lapis dengan ukuran  $46 \times 36$  cm adalah seberat 397,1 g.

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

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

$$2,54 = \frac{397,1}{V_s} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$V_s = 156,34 \text{ cm}^3 = 0,15634 \text{ dm}^3$$

Dari persamaan (3.1) diperoleh bahwa volume serat ( $V_s$ ) adalah  $156,34 \text{ cm}^3 = 0,15634 \text{ dm}^3$ .

Langkah ketiga adalah mencari banyaknya resin dan katalis yang digunakan dalam pencetakan komposit. Resin yang digunakan dalam pembuatan komposit sebanyak  $338 \text{ cc} = 0,338 \text{ dm}^3$  dan katalis sebanyak  $1 \text{ cc} = 0,001 \text{ dm}^3$ .

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

$$V_s : V_R : V_K = 0,15634 : 0,338 : 0,001 \dots\dots\dots (3.2)$$

$$= 156,34 : 338 : 1$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{tot}} &= V_S + V_R + V_K \dots\dots\dots (3.3) \\
 &= 0,15634 + 0,338 + 0,001 \\
 &= 0,49534 \text{ dm}^3 = 495,34 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

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

$$\text{Serat} = \frac{156,34}{495,34} = 0,3156 = 31,56 \%$$

$$\text{Resin} = \frac{338}{495,34} = 0,6824 = 68,24 \%$$

$$\text{Katalis} = \frac{1}{495,34} = 0,002 = 0,2 \%$$

Karena telah ditentukan bahwa katalis sebanyak 0,5 % dari volume total, maka dalam perhitungan diatas belum selesai dan perlu dicari banyaknya katalis dengan cara sebagai berikut :

$$\frac{1 \text{ cc}}{n} = \frac{0,2 \%}{0,5 \%}$$

$$n = \frac{0,5 \% \times 1 \text{ cc}}{0,2 \%}$$

$$= 2,5 \text{ cc}$$

Dari perhitungan diatas didapat komposisi untuk bahan komposit sebagai berikut : serat tiga lapis dengan berat 397,1 g (31,56 %), resin 338 cc (68,24 %), katalis 2,5 cc (0,5 %).

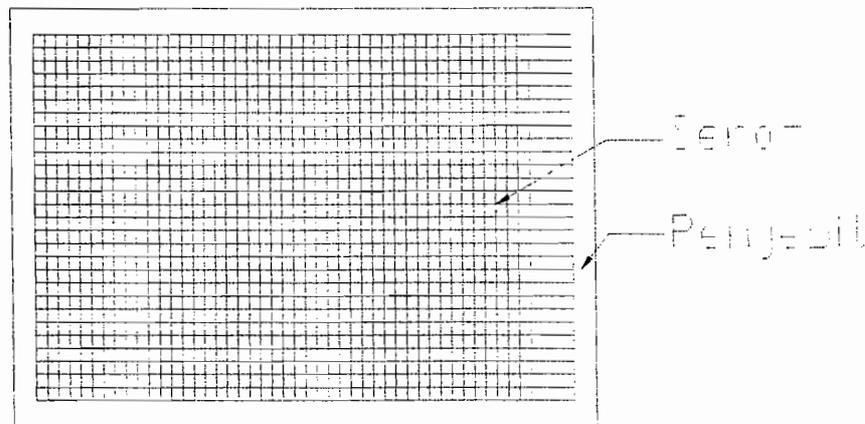
Benda uji komposit dibuat dengan ketebalan 3 mm sesuai dengan ketebalan pembatas yang digunakan pada cetakan. Untuk benda uji komposit proses pembuatan dan percetakan hampir sama dengan proses percetakan matrik pengikat, hanya perlu diperhatikan adanya serat dalam produk.

Langkah-langkah percetakan benda uji komposit adalah sebagai berikut:

- a. Cetakan yang sudah disiapkan sebelumnya dilapisi dengan oli.
- b. Siapkan serat gelas dalam bentuk *woven roving* yang telah terpotong-potong sesuai dengan ukuran (46 × 36 cm) sebanyak 3 lembar. 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. Siapkan resin sebanyak 338 cc (68,24 %) dan katalis sebanyak 2,5 cc (0,5 %). Waktu mengaduk resin dan katalis harus dilakukan secara cepat dan hindari pengadukan yang menimbulkan gelembung. Pengadukan dilakukan secara cepat karena pencampuran resin dan katalis akan berubah menjadi gel setelah  $\pm$  20 menit. Sedang pengadukan yang menimbulkan gelembung harus dihindari karena gelembung yang dihasilkan pada waktu pengadukan akan

menimbulkan void pada bahan komposit. Proses pembuatan komposit dilakukan dalam 3 kali proses, maka pembuatan matrik pengikat dibuat dalam 3 tahap.

- d. Setelah serat diatur kelurusan dan kesejajarannya maka adukan resin dan katalis (338 / 2,5 cc) yang telah dipersiapkan dapat dituangkan ke dalam cetakan. Penuangan resin dan katalis tidak dilakukan satu kali sekaligus, melainkan penuangannya dilakukan empat kali dengan susunan matriks, serat, matriks, serat, matriks, serat, dan yang terakhir adalah matriks. Hal ini dilakukan karena serat yang digunakan ada tiga lapis dan serat diatur supaya tepat berada ditengah . Agar resin dapat meresap keseluruhan bagian cetakan dan dapat membasahi serat dengan rata dapat dilakukan dengan sapuan kuas dan roler *hand lay-up* yang sudah dipersiapkan.
- e. Setelah 3 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.**

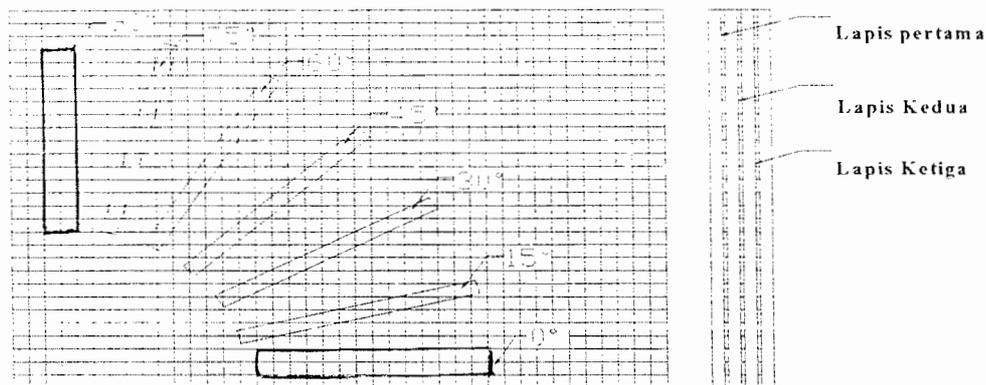
- f. Setelah 8 – 12 jam proses curing selesai dan hasil cetakan dapat dilepas dengan bantuan scraber. Hasil cetakan benda uji komposit dipotong sesuai dengan orientasi arah serat yang dibutuhkan.

*Catatan: Penggunaan aceton untuk membersihkan peralatan dari resin (lakukan sebelum resin mengering dan menjadi keras).*

### 3.3.3. Cara Pemotongan Benda Uji Komposit

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

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



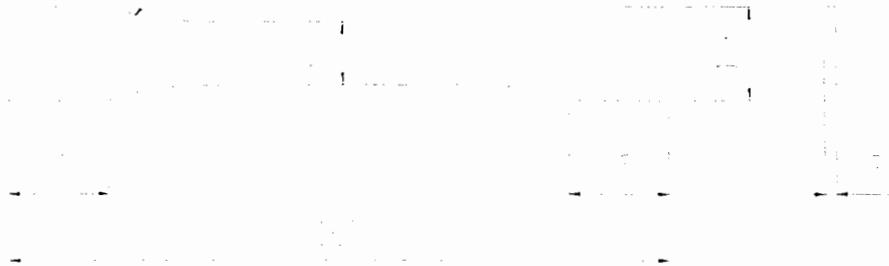
**Gambar 3.5. Pemotongan benda uji komposit sesuai dengan arah orientasi serat.**

### 3.4. Standart dan ukuran Benda Uji

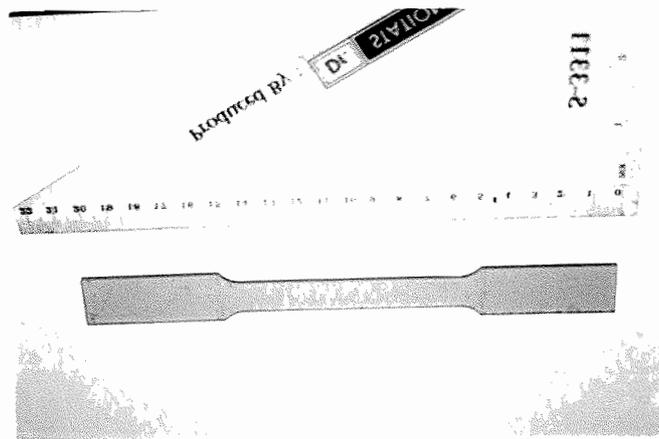
#### 3.4.1. Benda uji matriks pengikat

Pengujian matriks pengikat dilakukan dengan standar pengujian ASTM D3039 (*Standart Test Method for Tensile Properties of Plastic*). Sesuai dengan

standar pengujian ASTM D3039, dimensi benda uji yang digunakan adalah sebagai berikut:



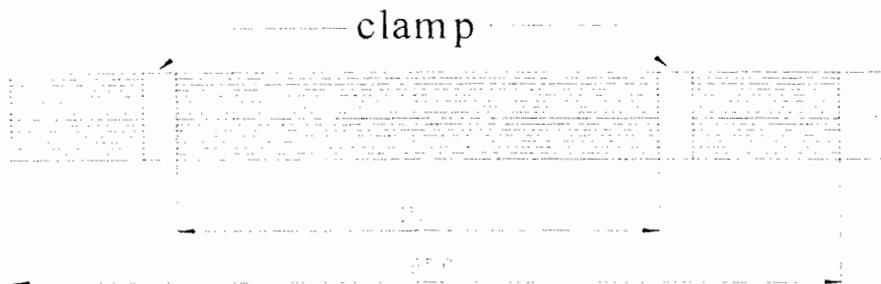
**Gambar 3.6. Dimensi benda uji tarik matriks pengikat.**



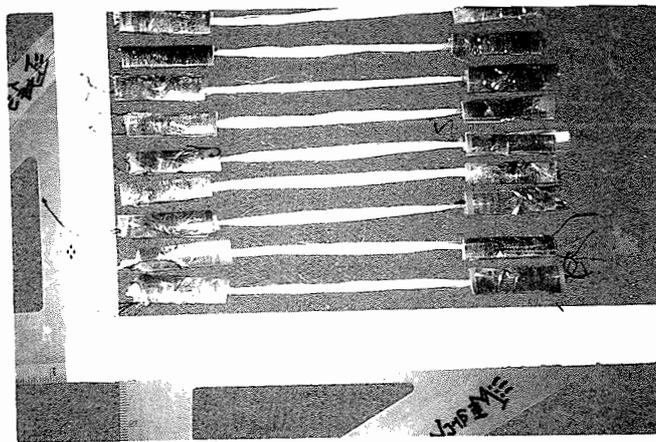
**Gambar 3.7. Foto benda uji matriks pengikat.**

#### **3.4.2. 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 3.8. Dimensi Benda Uji Tarik Serat.**



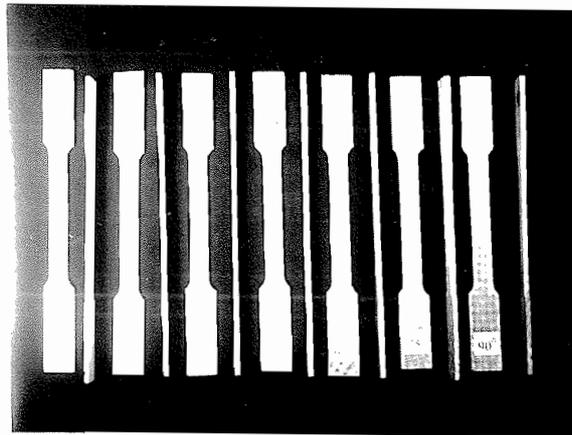
**Gambar 3.9. Dimensi Benda Uji Tarik Serat.**

### 3.4.3. Benda uji komposit

Pengujian tarik komposit dilakukan dengan standar pengujian ASTM A 370 dimensi benda uji yang digunakan 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 matriks pengikat**

##### **3.5.1.1. Pengujian tarik matriks pengikat**

Dalam penelitian ini untuk mengetahui sifat-sifat mekanik matriks pengikat secara terpisah digunakan pengujian tarik dengan menggunakan mesin uji tarik yang berada di Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma. Dalam pengujian tarik matriks pengikat digunakan 5 buah benda uji dengan dimensi benda uji sesuai dengan standar ASTM D3039.

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

### 3.5.1.2. Perhitungan massa jenis matriks pengikat

Massa jenis matriks pengikat ditentukan dengan persamaan (3.4) 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<sup>3</sup>)

ρ = massa jenis (gr/cm<sup>3</sup>)

m = bobot (gr)

### 3.5.2. Pengujian serat

#### 3.5.2.1. Pengujian tarik serat

Dalam penelitian untuk mengetahui sifat-sifat mekanik serat penguat dilakukan pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik yang berada di Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma.

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

Dalam pengujian tarik 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.

### 3.5.3. Pengujian komposit

#### 3.5.3.1. Pengujian tarik komposit

Pengujian komposit dilakukan dengan arah orientasi serat  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ , dan  $90^{\circ}$  dengan menggunakan mesin uji tarik yang berada di Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma.

Dalam pengujian tarik komposit digunakan 5 buah benda uji untuk masing-masing sudut orientasi serat dengan dimensi benda uji sesuai dengan standar ASTM A 370.

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

#### **3.5.3.2. Perhitungan massa jenis komposit**

Massa jenis komposit ditentukan dengan persamaan (3.4) 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

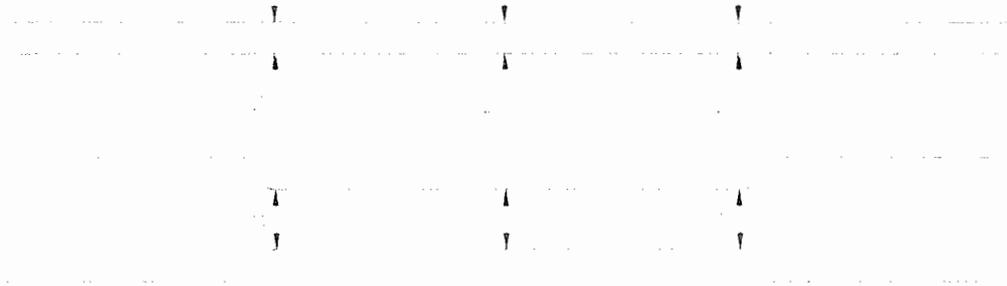
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui beberapa 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 Matriks

Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik menghasilkan grafik yang berupa hubungan beban dengan pertambahan panjang. Grafik hubungan beban dengan pertambahan panjang dapat dilihat pada lampiran. Dari grafik hubungan beban dengan pertambahan panjang dapat 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 4.3. dan Tabel 4.5.



Gambar 4.1. Keterangan Tabel 4.1.

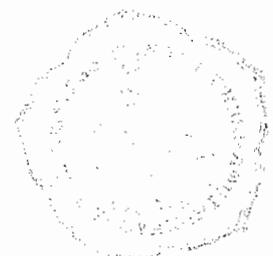
Tabel 4.1. Ukuran lebar dan tebal matriks pengikat.

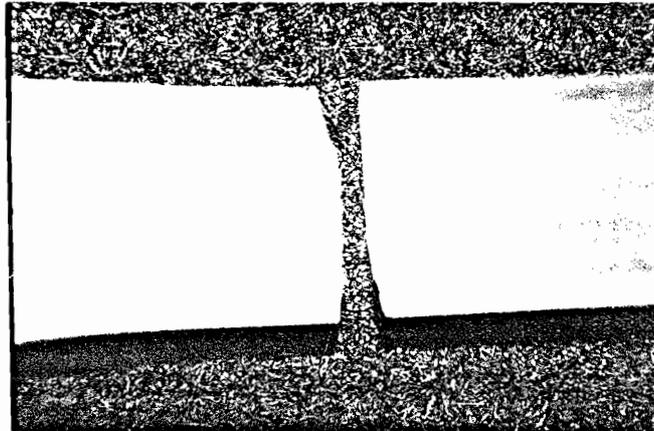
Matriks	$l_1$ (mm)	$l_2$ (mm)	$l_3$ (mm)	$t_1$ (mm)	$t_2$ (mm)	$t_3$ (mm)	$l_{rata}$ (mm)	$t_{rata}$ (mm)
1	12,9	12,9	13	3	2,9	3	12,93	2,97
2	13	12,9	12,8	2,9	3	3	12,9	2,97
3	12,8	13	13	2,8	2,8	3	12,93	2,87
4	13	12,8	12,8	2,9	3	2,8	12,87	2,9
5	12,8	12,8	12,9	2,9	2,9	3	12,83	2,93

Tabel 4.2. Sifat mekanik matriks pengikat.

Matriks	Beban (kg)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	$L_0$ (mm)	L (mm)	$\delta$ (mm)	$\epsilon$ maks (%)
1	163,58	38,4	4,26	50	51,8	1,8	3,6
2	160,14	38,3	4,18	50	51,8	1,8	3,6
3	134,7	37,11	3,63	50	51,6	1,6	3,2
4	172,05	37,32	4,61	50	52,3	2,3	4,6
5	140,59	37,59	3,74	50	52	2,0	4

Dari pengujian tarik terhadap matriks pengikat, menunjukkan sifat perpanjangan yang cukup tinggi matrik polimer termoplastik 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 patahan matriks pengikat.

#### 4.2. 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 dikonversi 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 4.3.

**Tabel 4.3. Sifat mekanik serat gelas.**

Serat	Beban (kg)	Luas Penampang ( $\text{mm}^2$ )	Kekuatan Tarik ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )	$L_0$ (mm)	L (mm)	$\delta$ (mm)	$\epsilon$ maks (%)
1	67,9	0,0155	4380,65	150	153,3	3,3	2,2
2	65	0,0158	4113,92	150	153,5	3,5	2,3
3	69,4	0,0171	4058,48	150	153,9	3,9	2,6
4	67,3	0,0166	4054,22	150	153,9	3,9	2,6
5	68,4	0,0163	4196,32	150	153,6	3,6	2,4

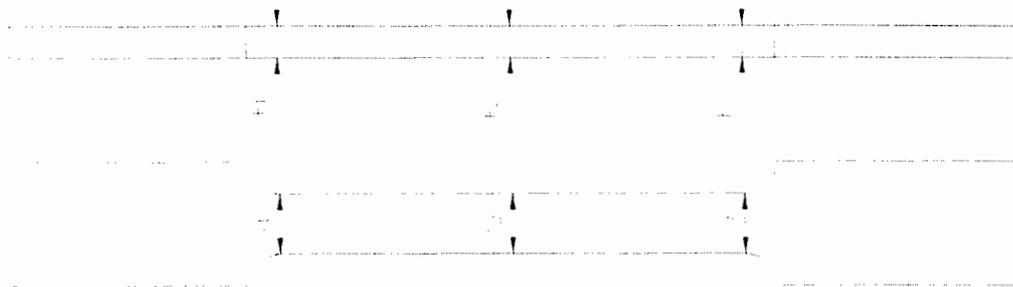
Dari Tabel 4.2 dan 4.3 dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik serat sebagai serat penguat lebih besar daripada kekuatan tarik resin sebagai matrik pengikat ( $\sigma_{f\text{maks}} > \sigma_{m\text{maks}}$ ).

### 4.3. 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.

Dengan 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  $0^\circ$  dan  $90^\circ$ , 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)
$0^\circ$	A <sub>1</sub>	12,5	12,3	12,4	2,9	2,9	3	12,4	2,9
	A <sub>2</sub>	12,3	12,4	12,5	3	2,8	3	12,4	2,9
	A <sub>3</sub>	12,4	12,5	12,3	2,8	3	2,8	12,4	2,9
	A <sub>4</sub>	12,5	12,4	12,3	2,8	2,9	2,8	12,4	2,8
	A <sub>5</sub>	12,3	12,3	12,4	2,9	3	2,9	12,3	2,9
$15^\circ$	B <sub>1</sub>	12,4	12,3	12,5	3	2,8	3	12,4	2,9
	B <sub>2</sub>	12,5	12,3	12,4	3	2,8	3	12,4	2,9
	B <sub>3</sub>	12,3	12,5	12,3	3	2,8	2,8	12,4	2,9
	B <sub>4</sub>	12,4	12,4	12,3	2,8	3	2,9	12,4	2,9
	B <sub>5</sub>	12,4	12,4	12,5	3	2,9	2,8	12,4	2,9
$30^\circ$	C <sub>1</sub>	12,4	12,5	12,3	2,9	3	3	12,4	2,9
	C <sub>2</sub>	12,5	12,4	12,4	3	2,8	3	12,4	2,9
	C <sub>3</sub>	12,3	12,5	12,4	3	3	2,8	12,4	2,9
	C <sub>4</sub>	12,3	12,3	12,3	2,8	2,9	3	12,3	2,9
	C <sub>5</sub>	12,4	12,3	12,5	2,9	2,9	2,8	12,4	2,9
$45^\circ$	D <sub>1</sub>	12,5	12,4	12,3	3	2,8	2,9	12,4	2,9
	D <sub>2</sub>	12,4	12,3	12,5	2,8	2,8	2,9	12,4	2,8
	D <sub>3</sub>	12,4	12,4	12,4	2,9	3	2,9	12,4	2,9
	D <sub>4</sub>	12,3	12,5	12,4	3	2,8	2,9	12,4	2,9
	D <sub>5</sub>	12,5	12,4	12,3	2,8	2,9	3	12,4	2,9
$60^\circ$	E <sub>1</sub>	12,4	12,4	12,5	3	2,9	2,8	12,4	2,9
	E <sub>2</sub>	12,5	12,4	12,4	3	3	3	12,4	3
	E <sub>3</sub>	12,3	12,3	12,5	2,9	3	2,8	12,4	2,9
	E <sub>4</sub>	12,3	12,5	12,3	2,9	2,9	3	12,4	2,9
	E <sub>5</sub>	12,4	12,3	12,3	2,9	2,8	3	12,3	2,9
$75^\circ$	F <sub>1</sub>	12,3	12,3	12,5	3	2,9	2,9	12,4	2,9
	F <sub>2</sub>	12,5	12,4	12,4	2,9	3	3	12,4	2,9
	F <sub>3</sub>	12,4	12,5	12,4	3	2,8	2,8	12,4	2,9
	F <sub>4</sub>	12,5	12,4	12,4	3	2,9	2,9	12,4	2,9
	F <sub>5</sub>	12,4	12,4	12,3	3	3	2,8	12,4	2,9
$90^\circ$	G <sub>1</sub>	12,3	12,3	12,5	2,8	2,8	3	12,4	2,9
	G <sub>2</sub>	12,5	12,3	12,4	2,9	2,9	3	12,4	2,9
	G <sub>3</sub>	12,3	12,3	12,5	3	2,8	2,9	12,4	2,9
	G <sub>4</sub>	12,4	12,5	12,3	2,8	3	3	12,4	2,9
	G <sub>5</sub>	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	Beban (kg)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	L <sub>0</sub> (mm)	L (mm)	δ (mm)	ε maks (%)
0°	A <sub>1</sub>	658.4	35.96	18.31	60	61.3	1.3	2.2
	A <sub>2</sub>	646.8	35.96	17.99	60	61.8	1.8	3
	A <sub>3</sub>	532.3	35.96	14.8	60	61.6	1.6	2.7
	A <sub>4</sub>	753.3	34.72	21.69	60	62.5	2.5	4.2
	A <sub>5</sub>	629.1	35.67	17.64	60	61.5	1.5	2.5
15°	B <sub>1</sub>	316.5	35.96	8.8	60	62.7	2.7	4.5
	B <sub>2</sub>	326.3	35.96	9.07	60	63.1	3.1	5.2
	B <sub>3</sub>	325.2	35.96	9.04	60	63	3.0	5
	B <sub>4</sub>	321.2	35.96	8.93	60	62.8	2.8	4.7
	B <sub>5</sub>	308.5	35.96	8.58	60	62.4	2.4	4
30°	C <sub>1</sub>	203.6	35.96	5.66	60	62.6	2.6	4.3
	C <sub>2</sub>	193	35.96	5.37	60	63.7	3.7	6.2
	C <sub>3</sub>	205.7	35.96	5.72	60	64.1	4.1	6.8
	C <sub>4</sub>	192.6	35.67	5.39	60	62.2	2.2	3.7
	C <sub>5</sub>	195.5	35.96	5.44	60	64.0	4.0	6.7
45°	D <sub>1</sub>	169.9	35.96	4.73	60	64.9	4.9	8.2
	D <sub>2</sub>	161.7	34.72	4.66	60	64.2	4.2	7
	D <sub>3</sub>	168.9	35.96	4.69	60	63.8	3.8	6.3
	D <sub>4</sub>	163.7	35.95	4.55	60	63.6	3.6	6
	D <sub>5</sub>	175.3	35.95	4.88	60	64.0	4.0	6.7
60°	E <sub>1</sub>	169.4	35.96	4.71	60	62.8	2.8	4.7
	E <sub>2</sub>	202.7	37.2	5.45	60	63.8	3.8	6.3
	E <sub>3</sub>	171.4	35.96	4.77	60	62.5	2.5	4.2
	E <sub>4</sub>	203.8	35.96	5.67	60	64.0	4.0	6.7
	E <sub>5</sub>	192.6	35.67	5.39	60	64.2	4.2	7
75°	F <sub>1</sub>	333.1	35.96	9.26	60	63.4	3.4	5.7
	F <sub>2</sub>	319.3	35.96	8.88	60	63.2	3.2	5.3
	F <sub>3</sub>	332.7	35.96	9.25	60	63.0	3.0	5
	F <sub>4</sub>	320.1	35.96	8.9	60	62.5	2.5	4.2
	F <sub>5</sub>	276.5	35.96	7.69	60	62.7	2.7	4.5
90°	G <sub>1</sub>	793.9	35.96	22.08	60	62.0	2.0	3.3
	G <sub>2</sub>	511.3	35.96	14.23	60	61.5	1.5	2.5
	G <sub>3</sub>	681.5	35.96	18.95	60	62.0	2.0	3.3
	G <sub>4</sub>	640.5	35.96	17.81	60	62.1	2.1	3.5
	G <sub>5</sub>	704.7	35.96	19.59	60	61.7	1.7	2.8

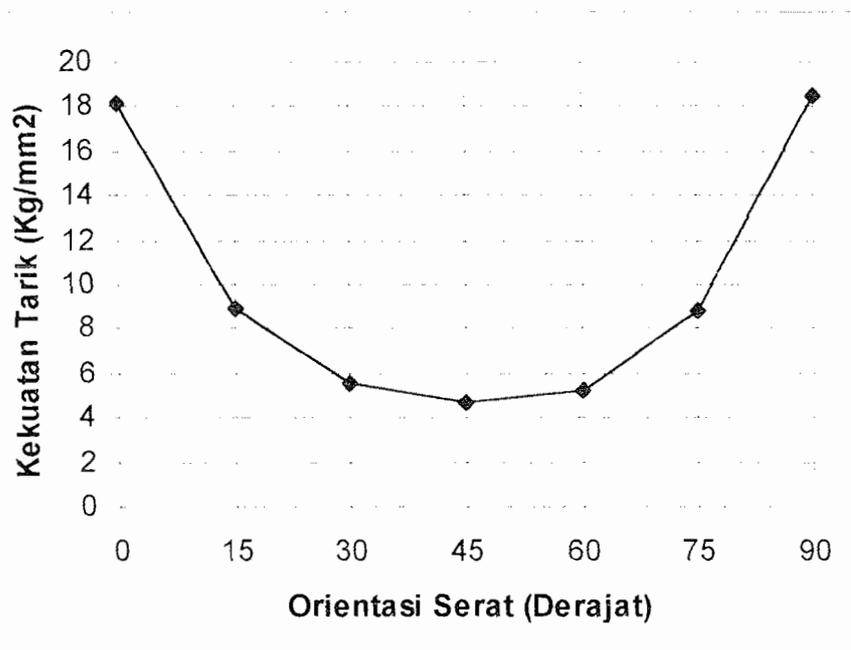
Namun dengan bertambahnya sudut arah orientasi serat sifat mekanik komposit akan berkurang (pada arah orientasi  $45^\circ$ ), pada arah orientasi ini komposit mencapai harga minimal. Sedang pada arah orientasi  $0^\circ$  dan  $90^\circ$  komposit mencapai harga maksimal. Pada saat itu tegangan tarik 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  $45^\circ$  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 *elongation* dengan orientasi serat (gambar 4.5). Grafik dicari dengan cara mengambil nilai rata-rata kekuatan tarik dan nilai rata-rata *elongation*.

Tabel 4.6. Harga rata-rata kekuatan tarik komposit.

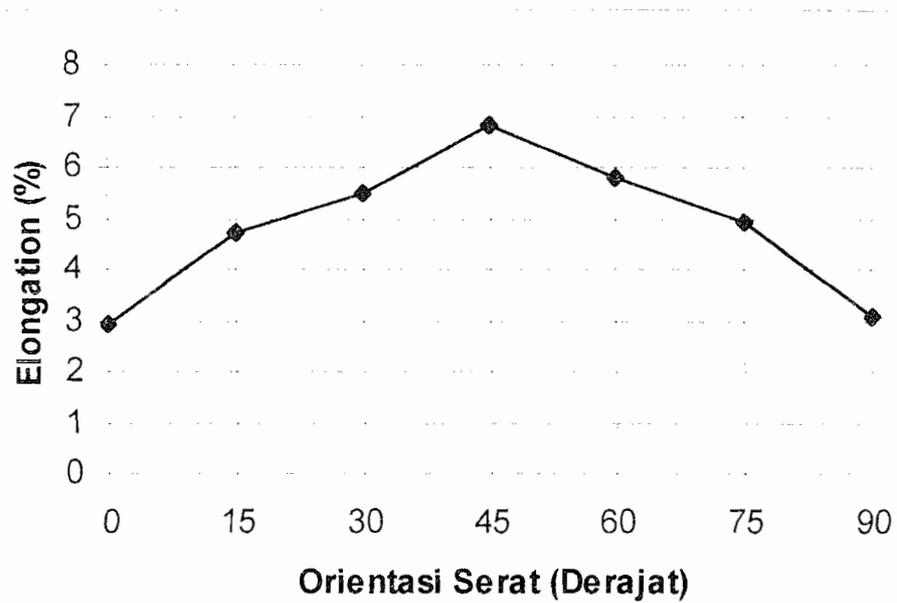
Orientasi	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm <sup>2</sup> )
0 <sup>0</sup>	18,1
15 <sup>0</sup>	8,9
30 <sup>0</sup>	5,5
45 <sup>0</sup>	4,7
60 <sup>0</sup>	5,2
75 <sup>0</sup>	8,8
90 <sup>0</sup>	18,5



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

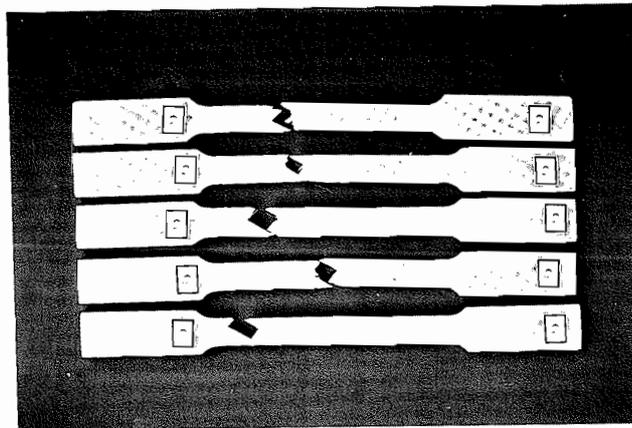
Tabel 4.7. Harga rata-rata elongatoin ( $\epsilon$ ) komposit.

Orientasi	$\epsilon$ maks (%)
$0^0$	2,9
$15^0$	4,7
$30^0$	5,5
$45^0$	6,8
$60^0$	5,8
$75^0$	4,9
$90^0$	3,1

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

#### 4.4. Model Kerusakan Komposit

Foto kerusakan komposit ditunjukkan oleh Gambar 4.6. memperlihatkan bahwa patahan yang terjadi membentuk sudut yang sesuai dengan sudut pembebanan terhadap arah serat.

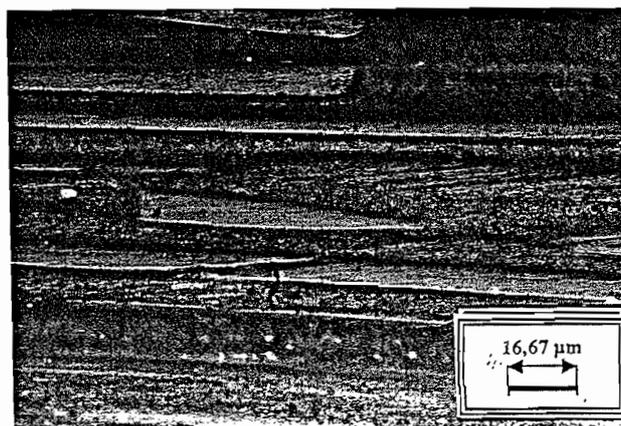


Gambar 4.6. Foto kerusakan komposit.

Kerusakan yang terjadi pada arah orientasi komposit  $0^\circ$  dan  $90^\circ$  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 kesekitarnya. 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*).

Tipe patahan yang terjadi pada komposit dengan sudut arah orientasi serat  $15^{\circ}$ – $75^{\circ}$  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  $15^{\circ}$  –  $75^{\circ}$  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 glass-E dan resin.

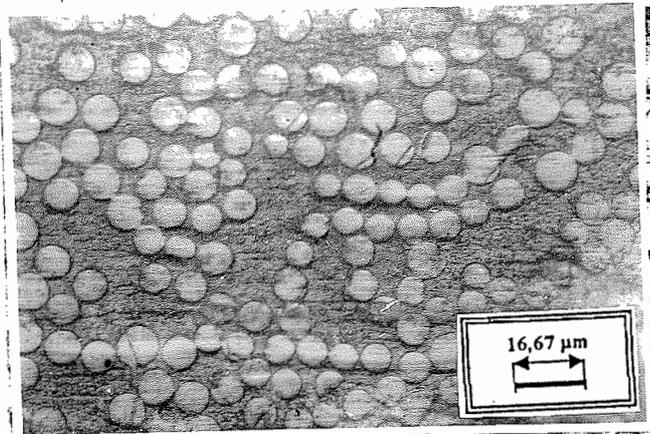
#### 4.5. Analisa Kerusakan Pada Komposit

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

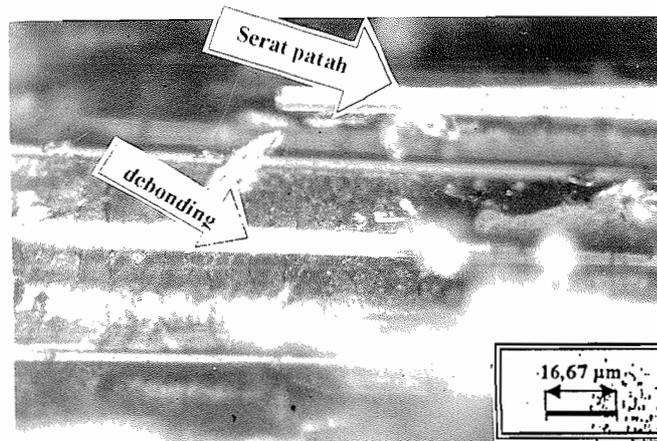
Pada penampang komposit mula yang dapat dilihat dengan bantuan mikroskop setelah komposit dihaluskan dan dipoles dapat menampilkan bentuk penampang serat serta matrik. Dari foto mikro dengan pembesaran 400 $\times$ , yang dapat dilihat pada Gambar 4.8. menampilkan bentuk penampang komposit sebelum mengalami uji tarik.

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

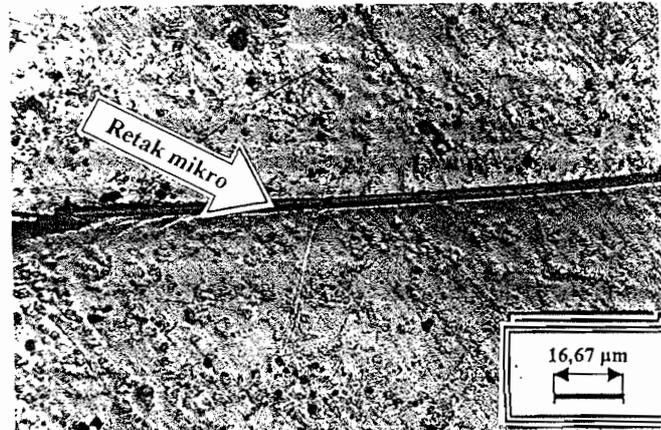
Pada analisa struktur mikro ini juga menampilkan beberapa konfigurasi kerusakan internal komposit antara lain kerusakan retak mikro pada matrik, seperti yang terlihat pada Gambar 4.10. dan adanya *void* (Gambar 4.11).



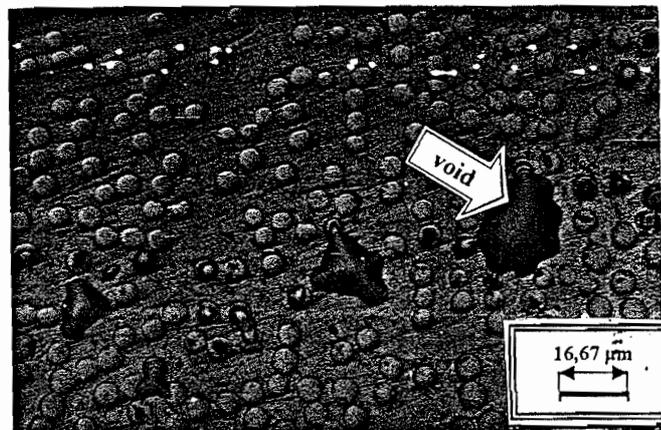
Gambar 4.8. Penampang Komposit Mula.



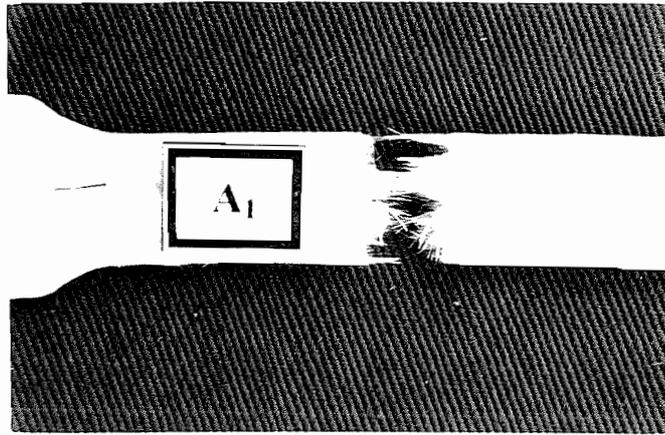
Gambar 4.9. Kerusakan *debonding* pada Komposit.



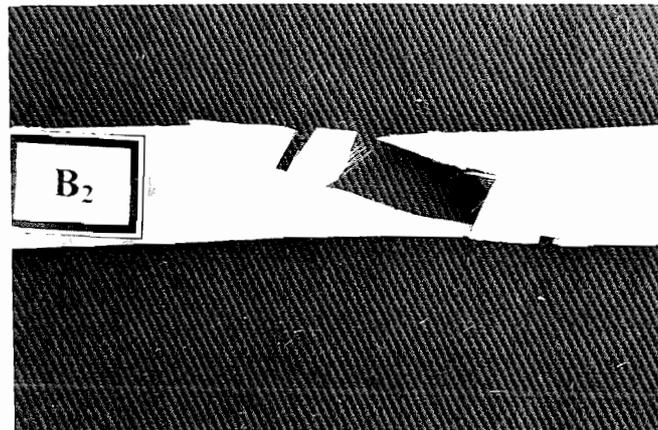
Gambar 4.10. Retak Mikro pada Matrik.



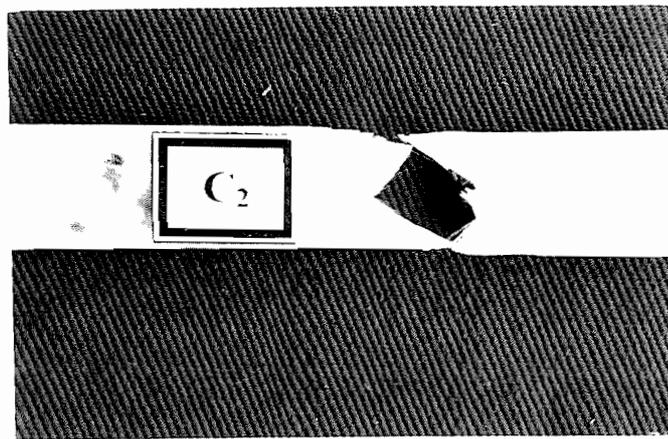
Gambar 4.11. Void pada Komposit.



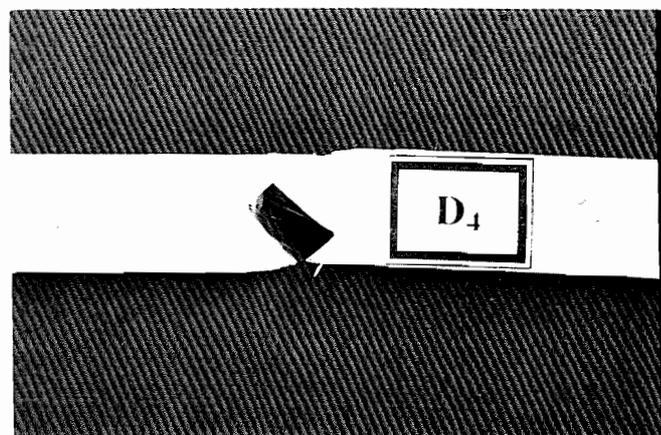
Gambar 4.12. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 0°.



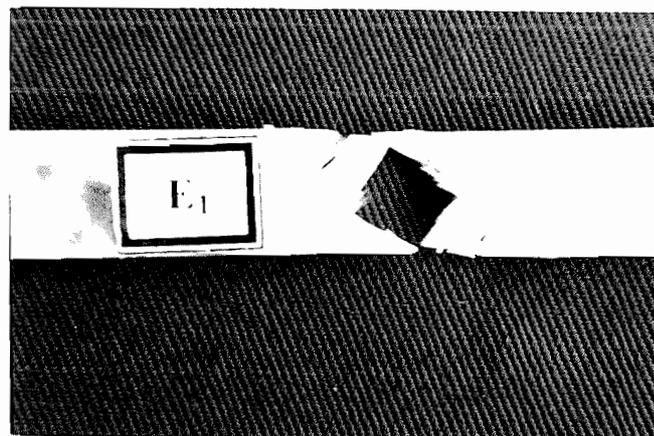
Gambar 4.13. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 15°.



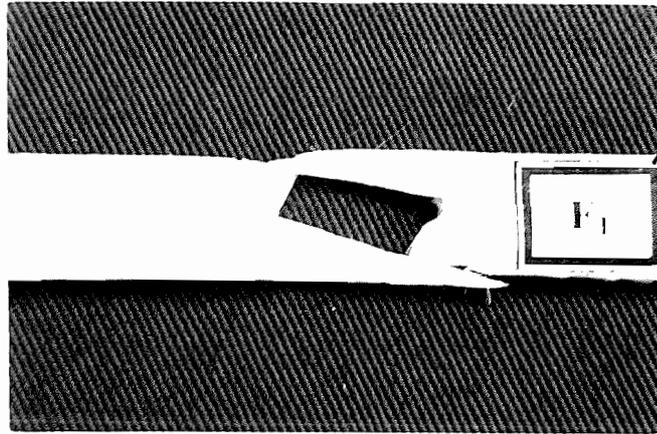
Gambar 4.14. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 30°.



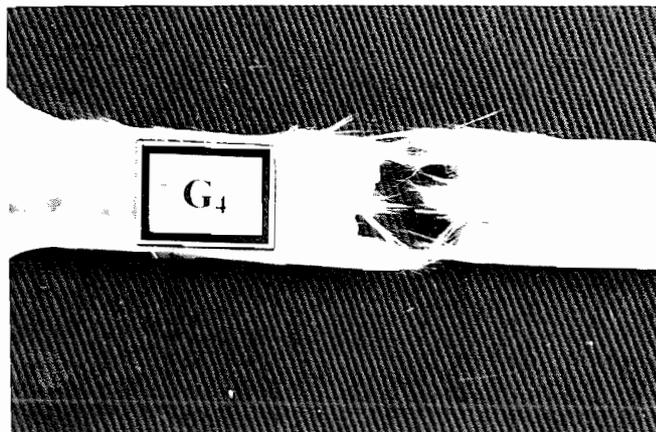
Gambar 4.15 Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 45°.



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 hasil analisa pemotretan dan pengamatan pada makro struktur patahan berbagai bentuk patahan 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 tunjukan pada Gambar 4.2. Untuk pengujian matrik resin mempunyai jenis patahan juga berupa patah getas.

## BAB V

### PENUTUP

Dari hasil penelitian bahan komposit berpenguat serat gelas E jenis *woven roving* (3 lapis) diperoleh beberapa kesimpulan antara lain :

- a. Kekuatan tarik rata-rata serat gelas E sebesar  $4161 \text{ kg/mm}^2$  dan kekuatan tarik rata-rata matrik pengikat sebesar  $4,08 \text{ kg/mm}^2$ .
- b. Hasil pengujian menunjukkan bahwa orientasi serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit. Hal ini ditunjukkan oleh hasil pengujian tarik pada orientasi  $0^0 \sigma_{t \text{ rata-rata}} = 17,17 \text{ kg/mm}^2$ , orientasi  $15^0 \sigma_{t \text{ rata-rata}} = 8,52 \text{ kg/mm}^2$ , orientasi  $30^0 \sigma_{t \text{ rata-rata}} = 5,28 \text{ kg/mm}^2$ , orientasi  $45^0 \sigma_{t \text{ rata-rata}} = 4,48 \text{ kg/mm}^2$ , orientasi  $60^0 \sigma_{t \text{ rata-rata}} = 5,01 \text{ kg/mm}^2$ , orientasi  $75^0$  yaitu memiliki  $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 8,43 \text{ kg/mm}^2$ , orientasi  $90^0 \sigma_{t \text{ rata-rata}} = 17,77 \text{ kg/mm}^2$ . Bahan komposit yang menggunakan bahan berpenguat serat jenis *woven roving* memperoleh nilai maksimum pada arah orientasi  $0^0$  dan  $90^0$ , sebab serat dapat berfungsi secara optimal menahan beban yang diberikan pada komposit. Pada arah orientasi  $45^0$  memperoleh nilai minimum. Sedang untuk model kerusakan komposit cenderung berupa patah getas (*brittle failure*) hal ini disebabkan komposit mempunyai sifat dan kemampuan terhadap ikatan permukaan (*interface*) serat dan matriks

yang baik. Untuk resin model patahannya juga sama dengan komposit, berbentuk patah getas.

## DAFTAR PUSTAKA

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

*JIS Hand Book Plastics* . 1991. JIS.

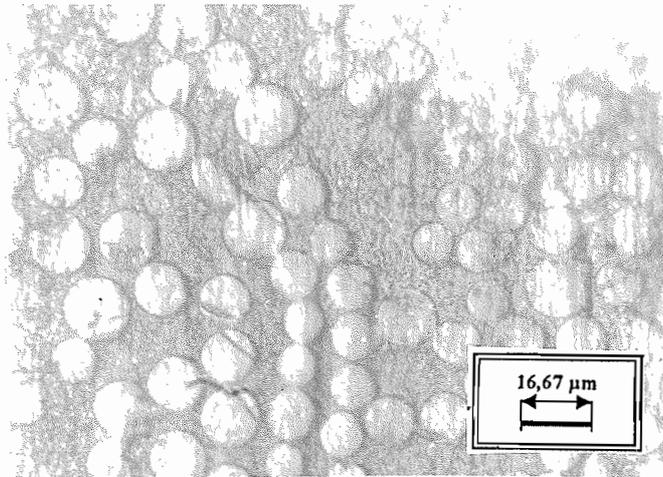
Hadi, B.K.. November 2000. *Mekanika Struktur Komposit*. Departemen Pendidikan Nasional.

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

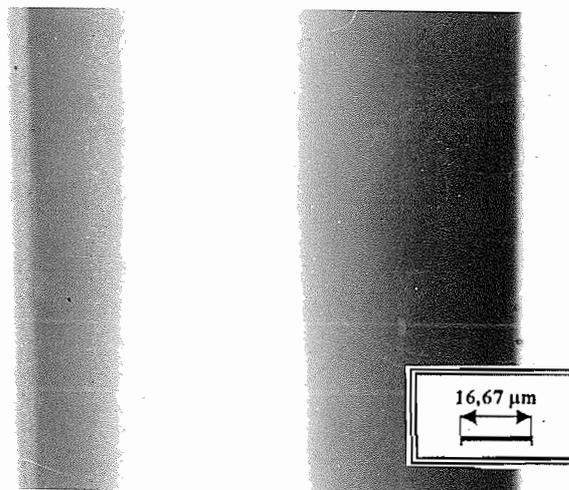
Robert, J. M.. 1975. *Mechanics of Composite Material*, Mc Graw Hill. New York.

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

# LAMPIRAN



**Gambar L.1. Foto mikro penampang komposit.**



**Gambar L.2. Foto mikro kawat tembaga 110 μm**

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

110  $\mu\text{m}$  pada pembesaran  $600\times$ . Dari foto tersebut diameter kawat tembaga terukur 66mm, sehingga untuk 1mm pada cetakan foto sebanding dengan  $110\ \mu\text{m}/66$ . Data pengukuran diameter serat glass disajikan dalam Tabel L.2.

**Tabel L.2. Data diameter serat glass**

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.

Diameter rata-rata = 8 mm

Dari hasil fotomikro kawat tembaga dengan diameter 0,11 mm setara dengan 66 mm.

$$\text{Perbesaran foto} = \frac{66}{0,11} = 600\times$$

$$\text{Diameter kalibrasi} = \frac{8}{600} = 0,0133\ \text{mm}$$

Jadi diameter rata-rata serat glass adalah  $0,0133\ \text{mm} = 13,3\ \mu\text{m}$

### 1. Data perhitungan berat jenis matrik

Dengan menggunakan Persamaan 3.4. dapat dihitung berat jenis untuk matrik pengikat. Pada perhitungan ini harus diketahui volume dan berat masing-masing specimen. Untuk menghitung volume dengan cara mengalikan panjang, lebar dan tebal specimen. Sedang untuk menghitung berat specimen ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Pada tabel L.4. menunjukkan hasil perhitungan berat jenis matrik.

Tabel L.4. Data Berat jenis matrik

Berat (gr)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat jenis (gr/cm <sup>3</sup> )
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/cm<sup>3</sup>

## 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 specimen. Untuk menghitung volume dengan cara mengalikan panjang, lebar dan tebal specimen. Sedang untuk menghitung berat specimen ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Pada tabel L.5. menunjukkan hasil perhitungan berat jenis komposit.

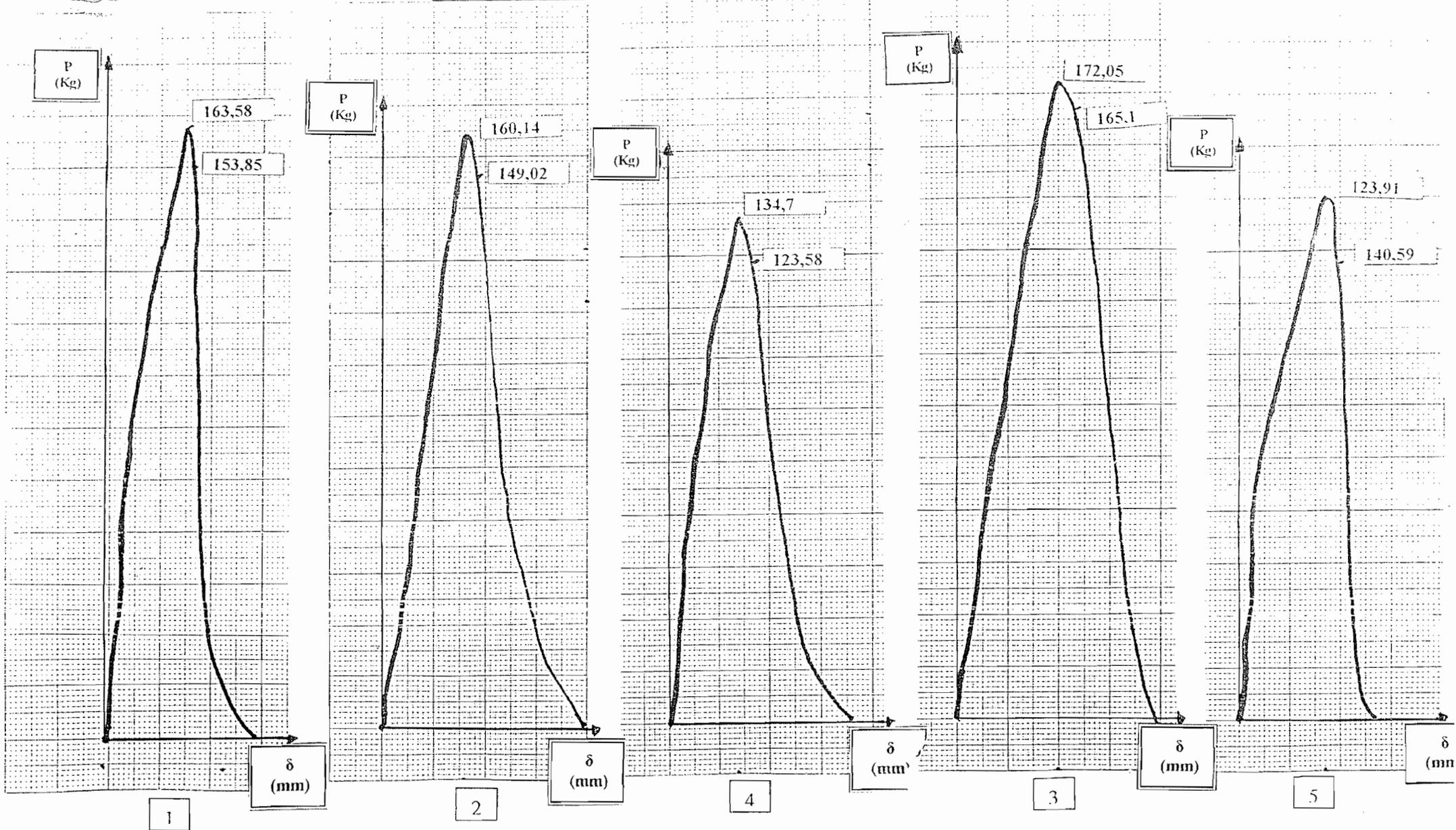
**Tabel L.5. Data berat jenis komposit**

Berat (gr)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat jenis (gr/cm <sup>3</sup> )
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

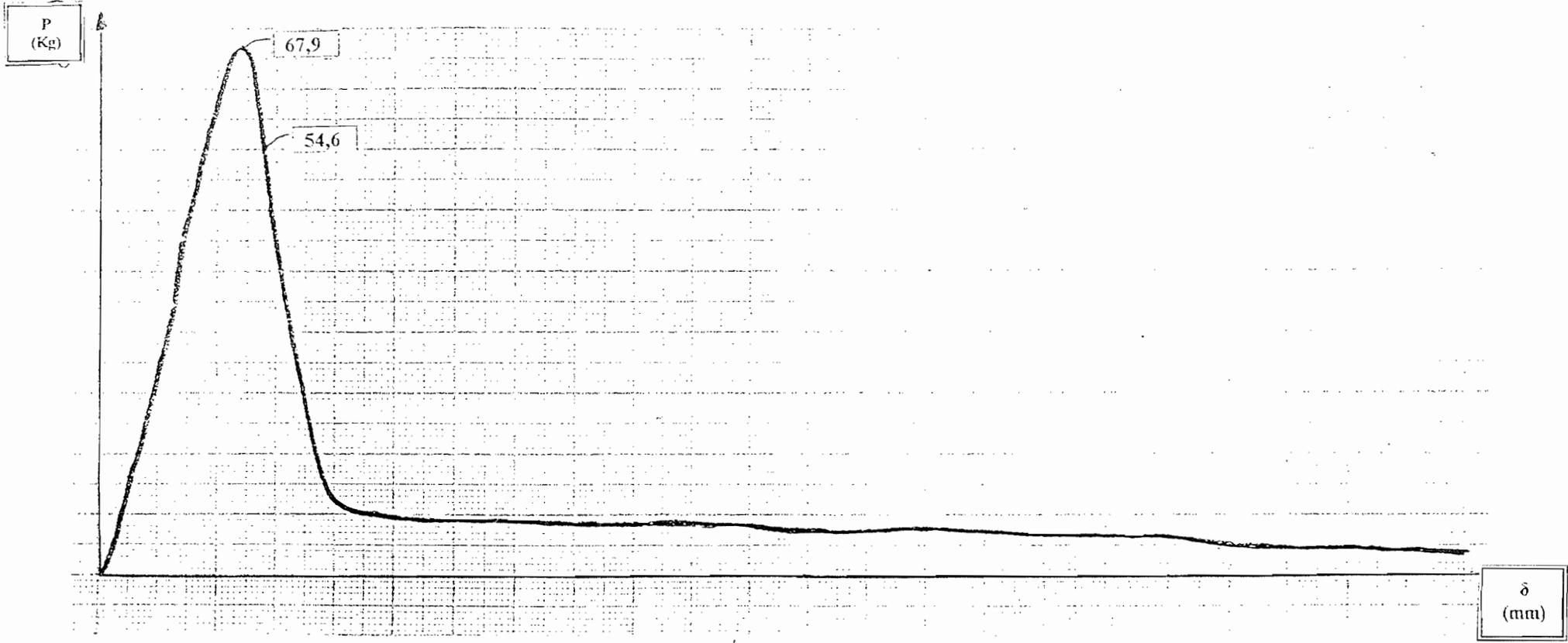
$$\text{Berat jenis rata-rata untuk komposit} = 1,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

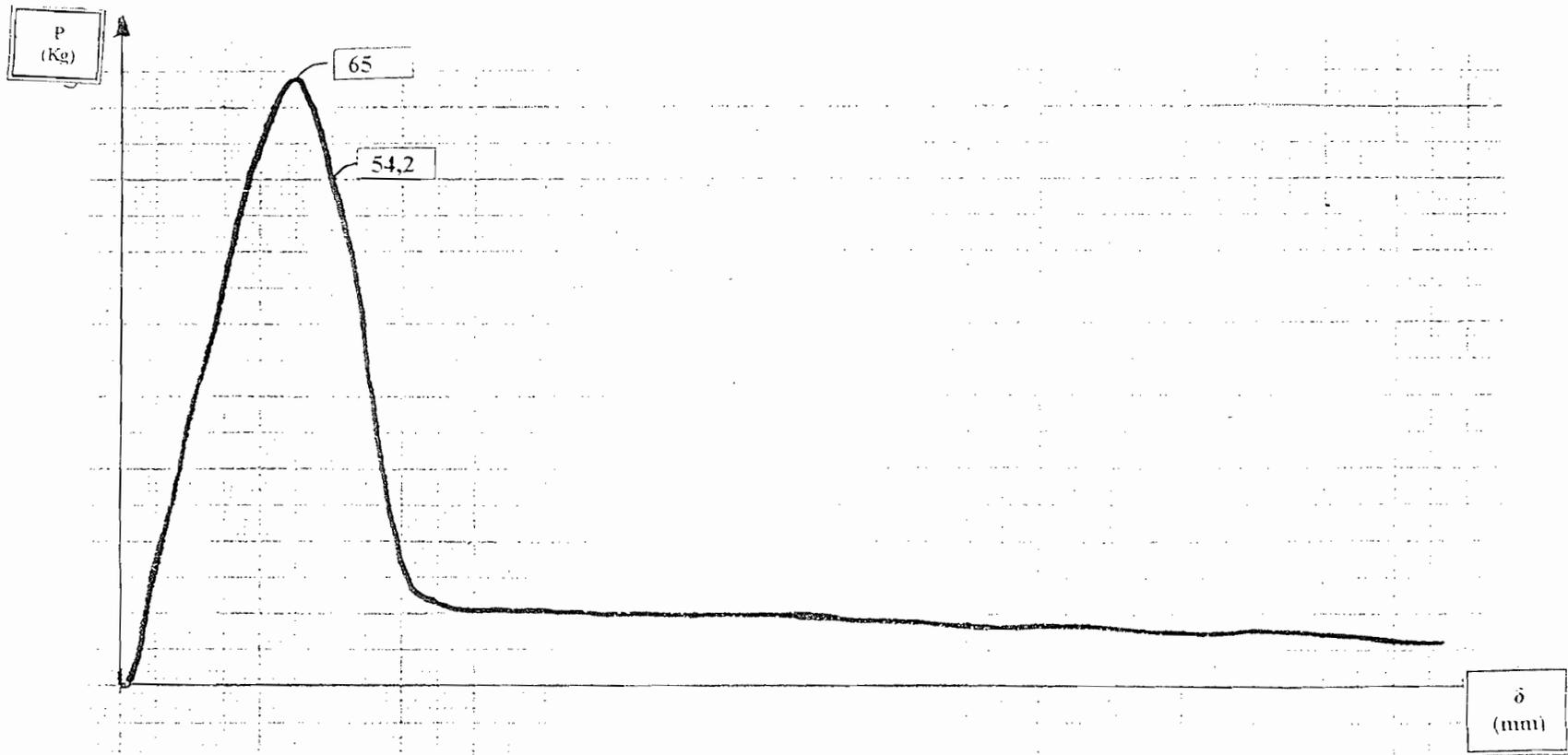


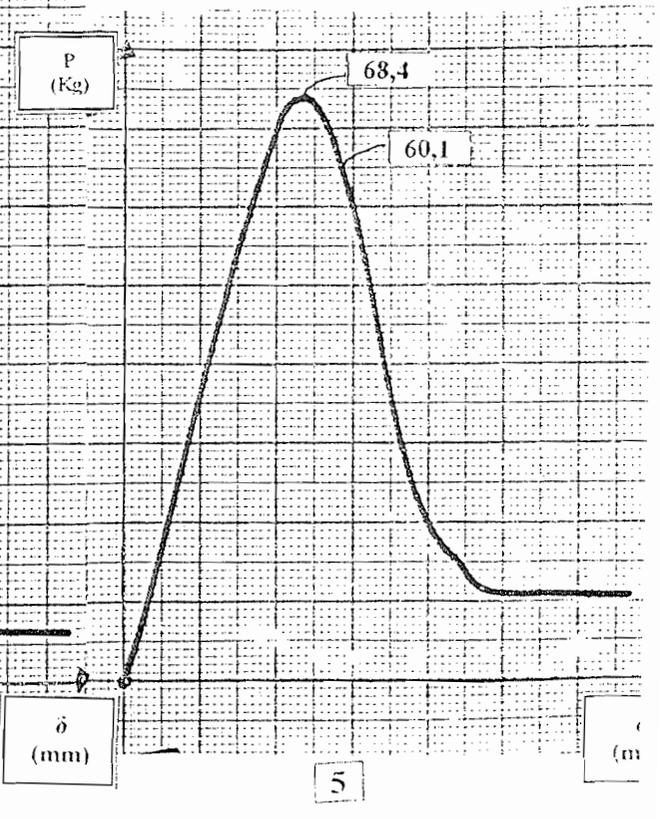
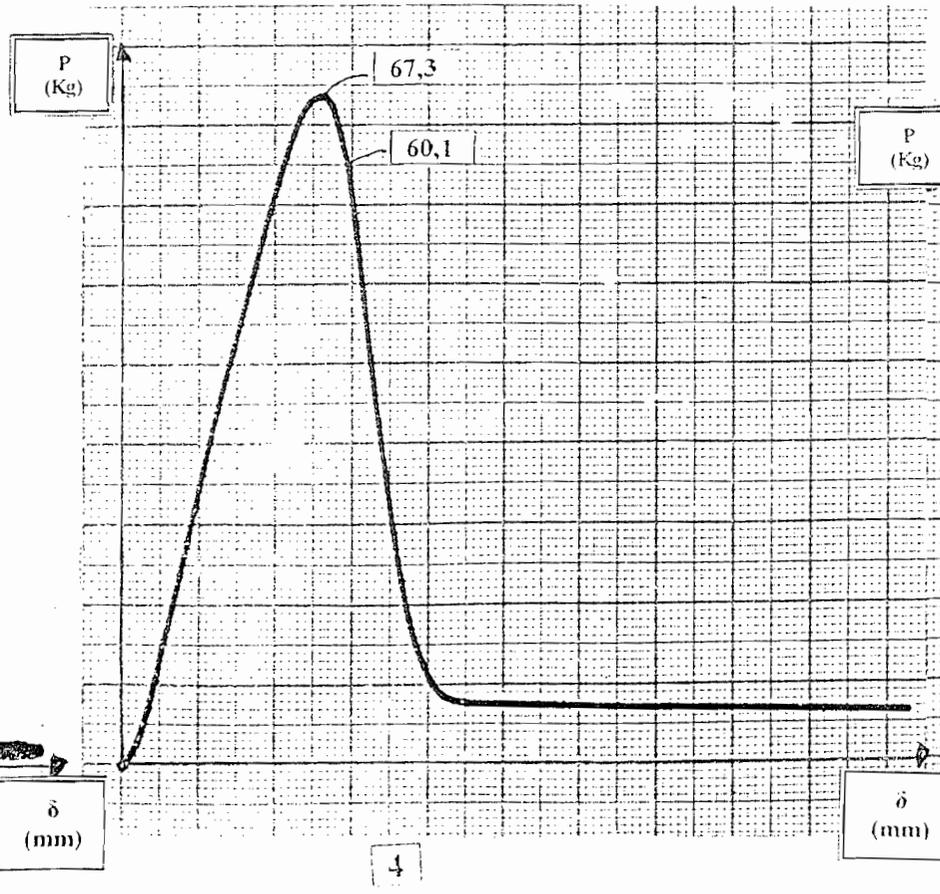
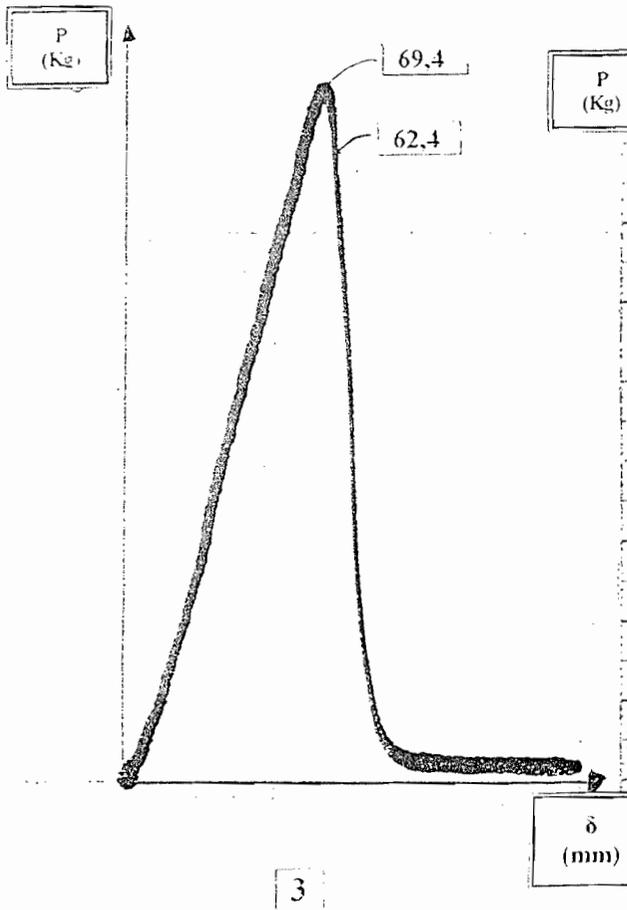
### Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matriks

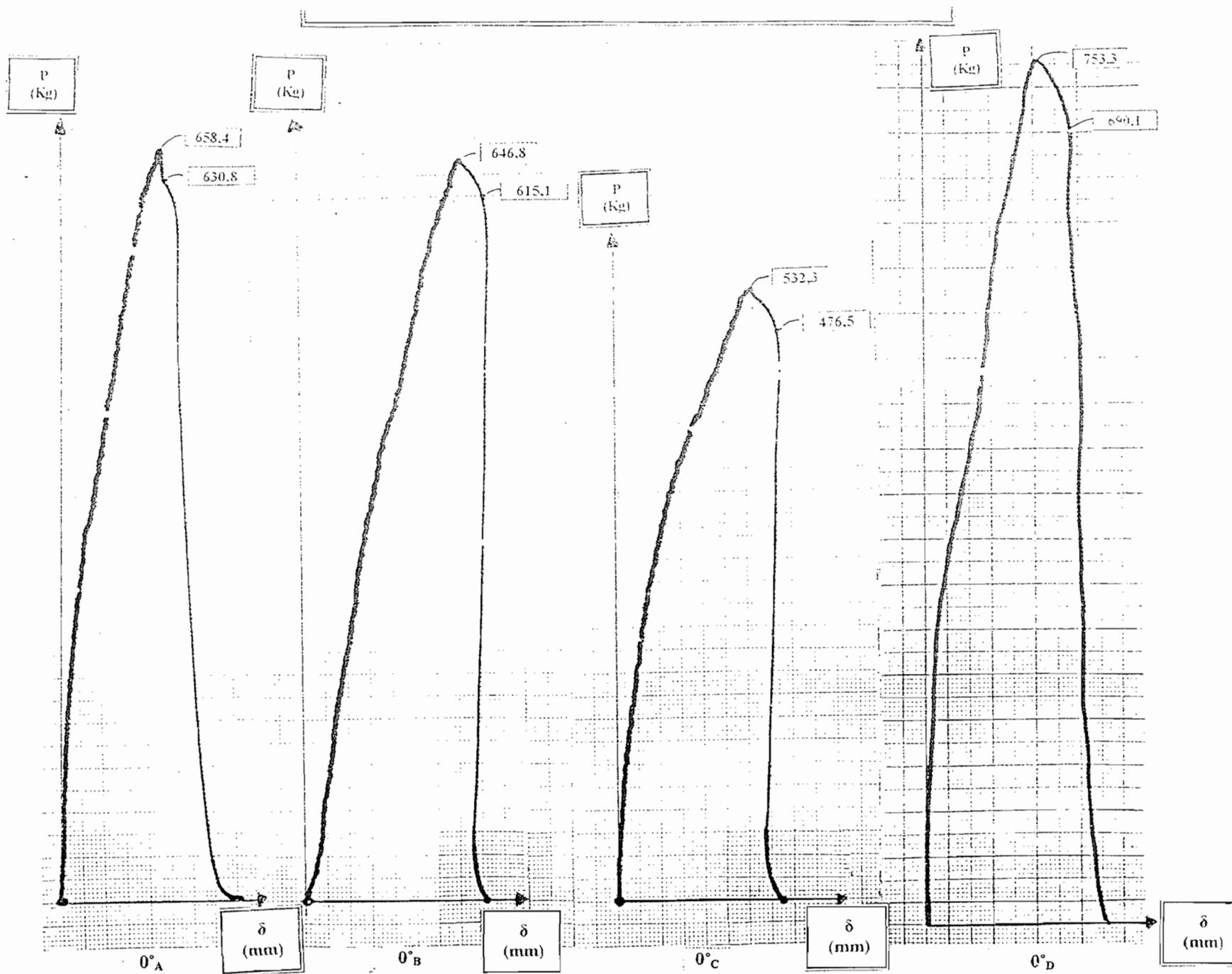


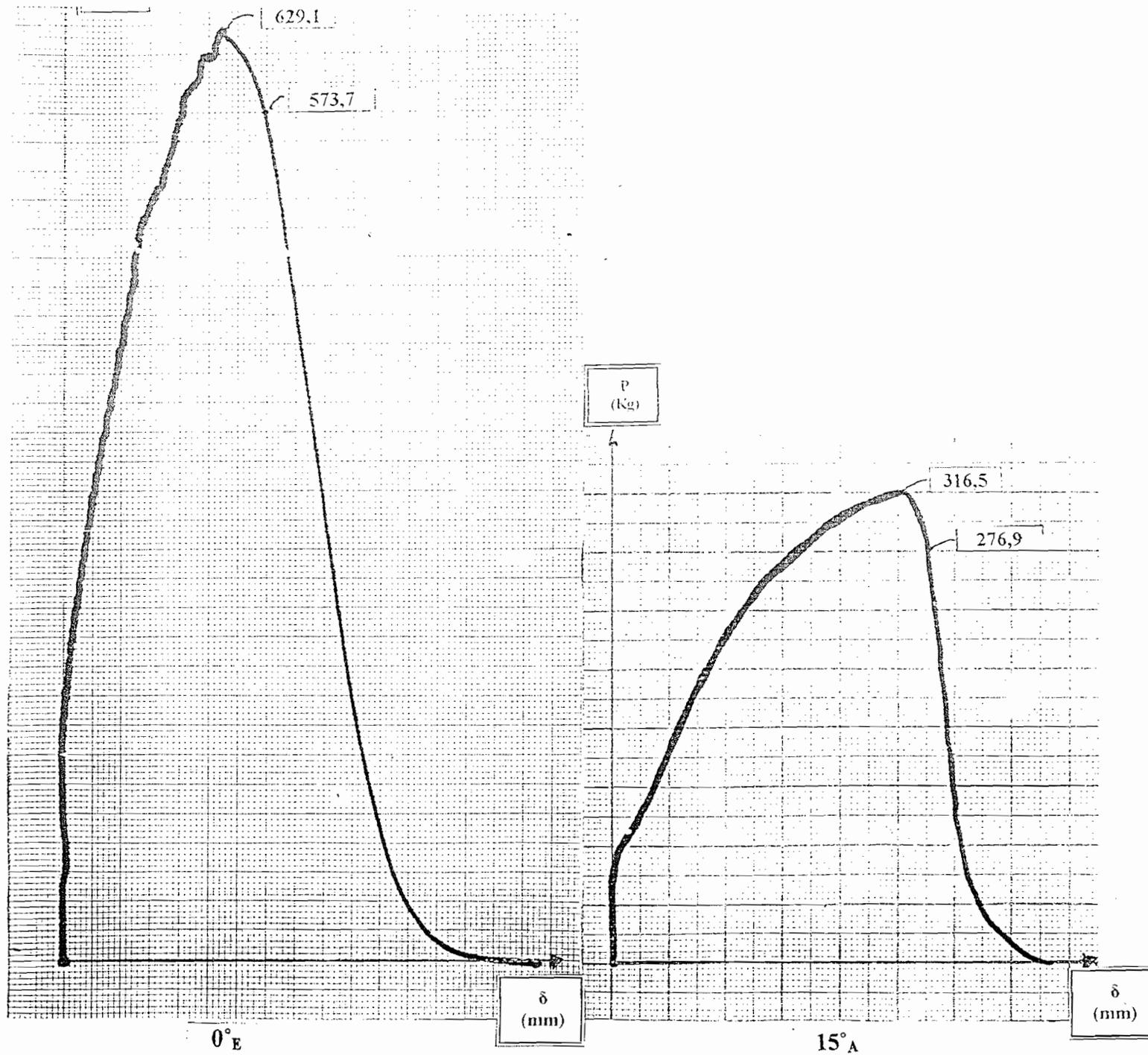
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Serat

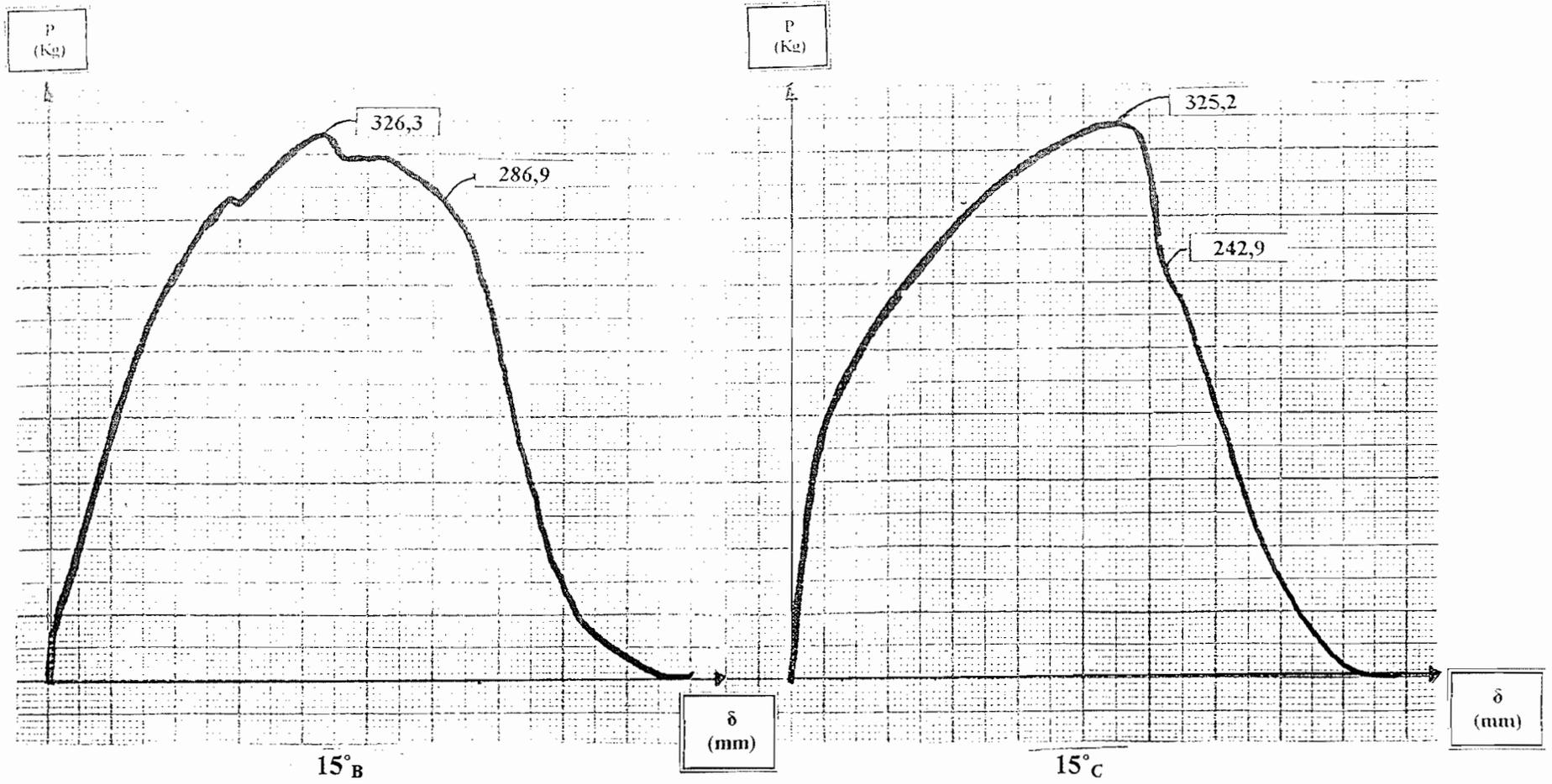


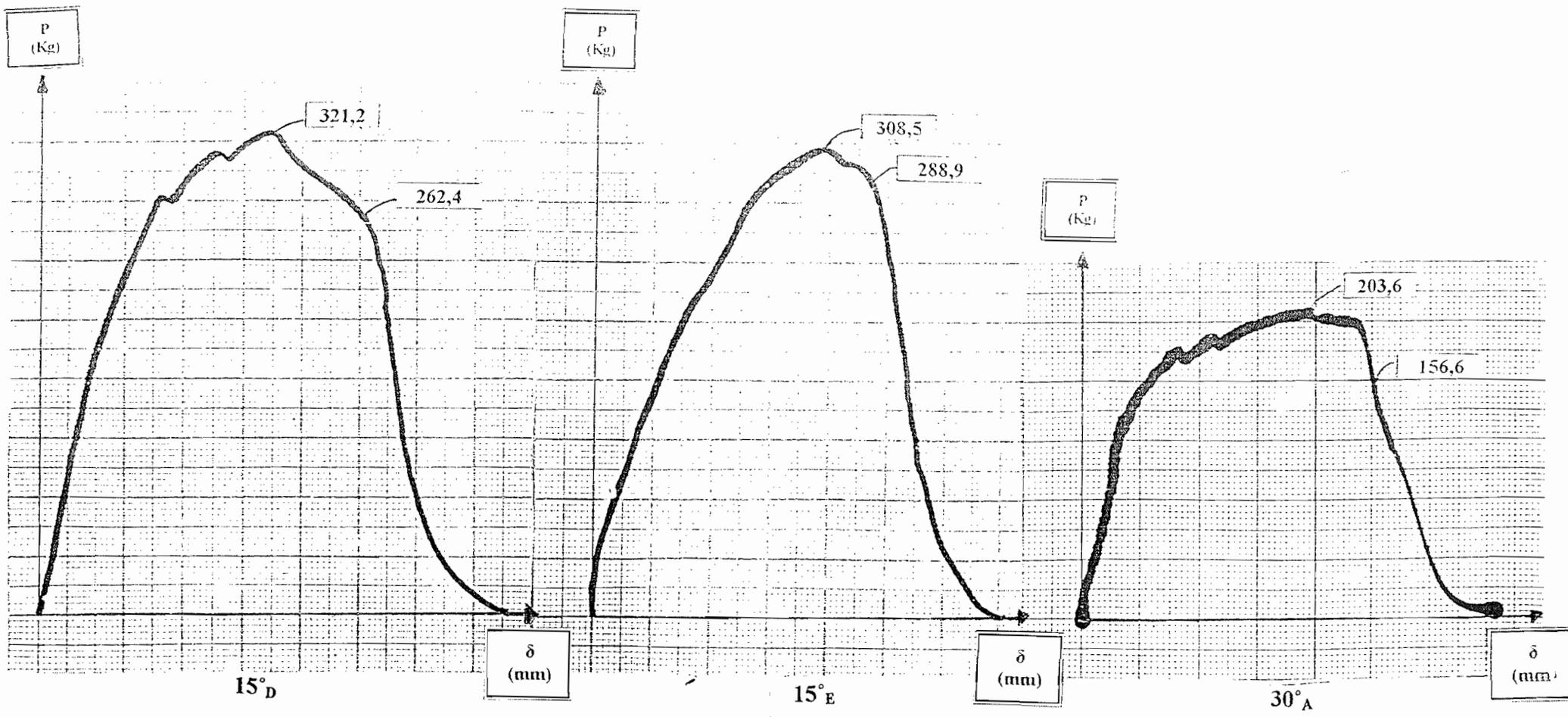


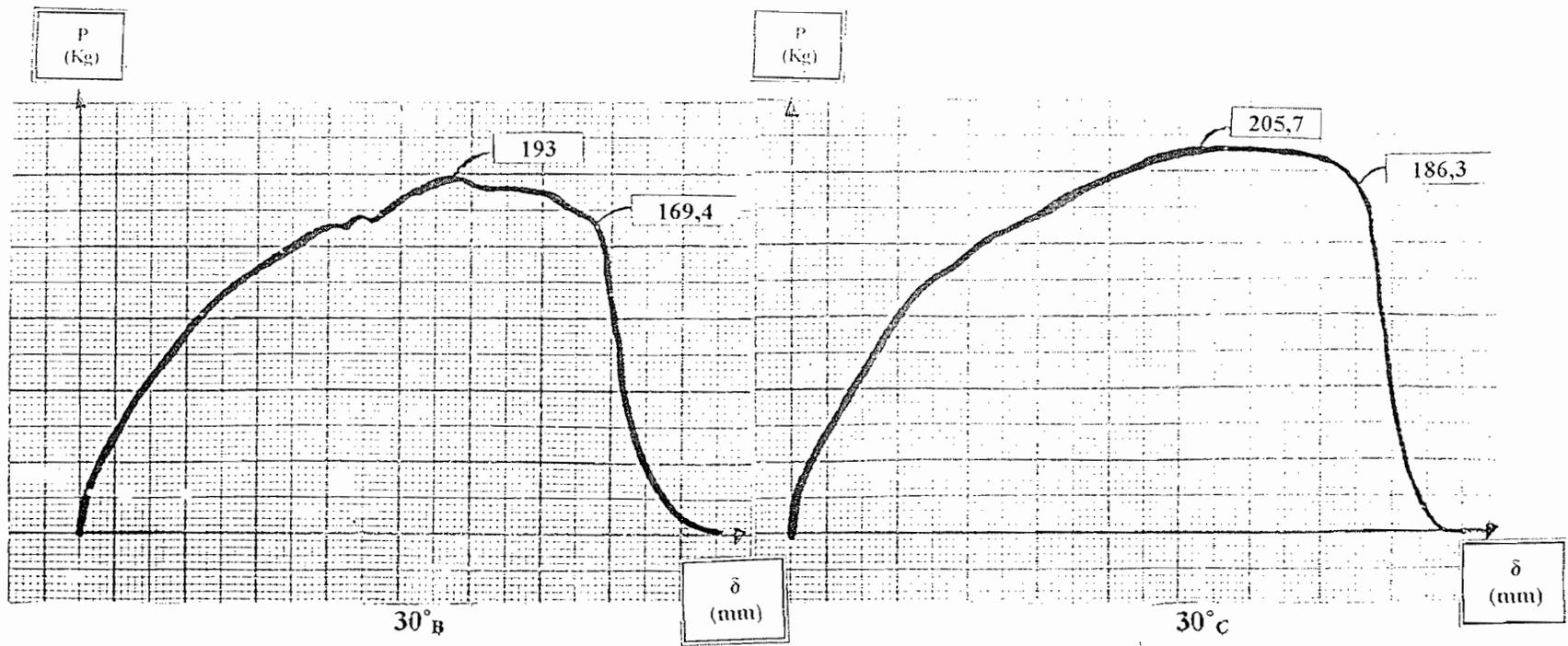


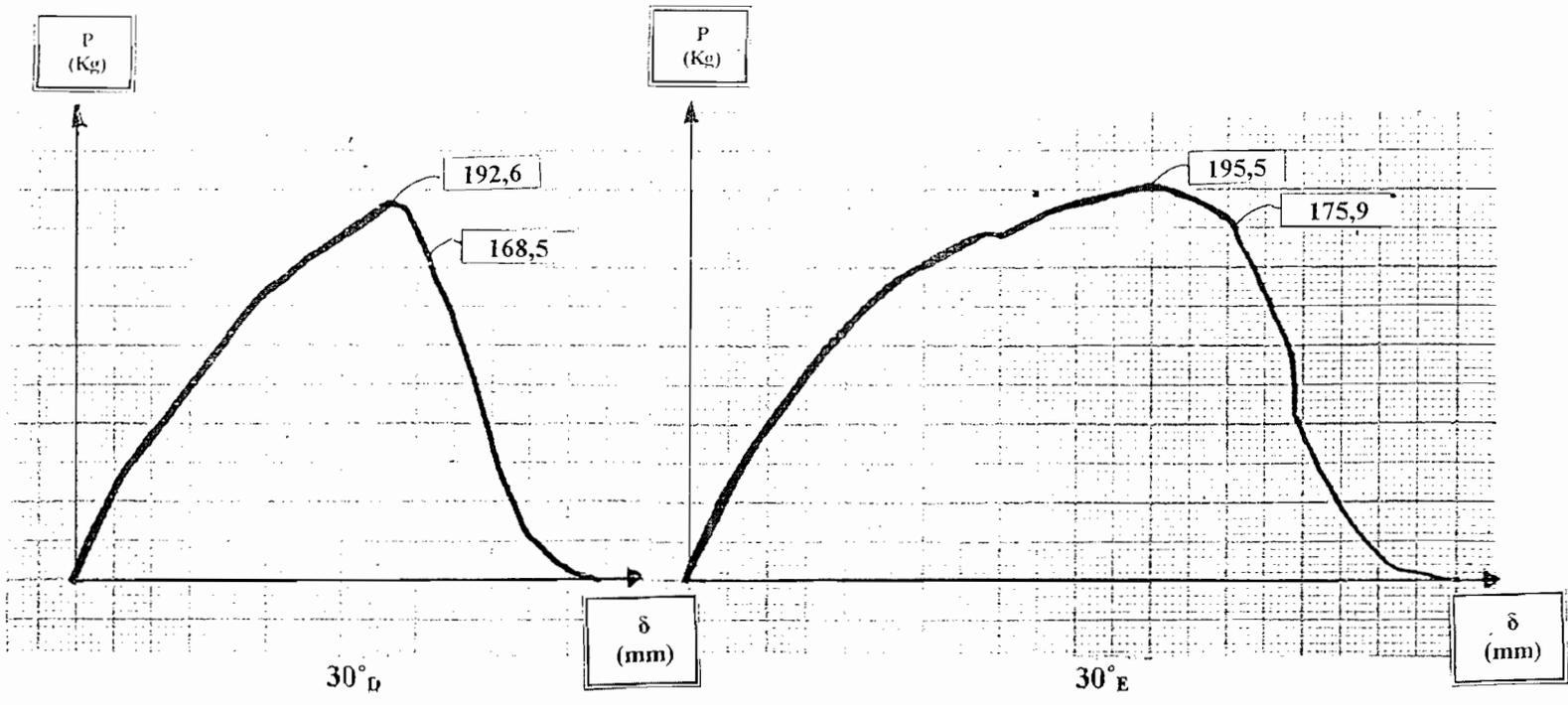


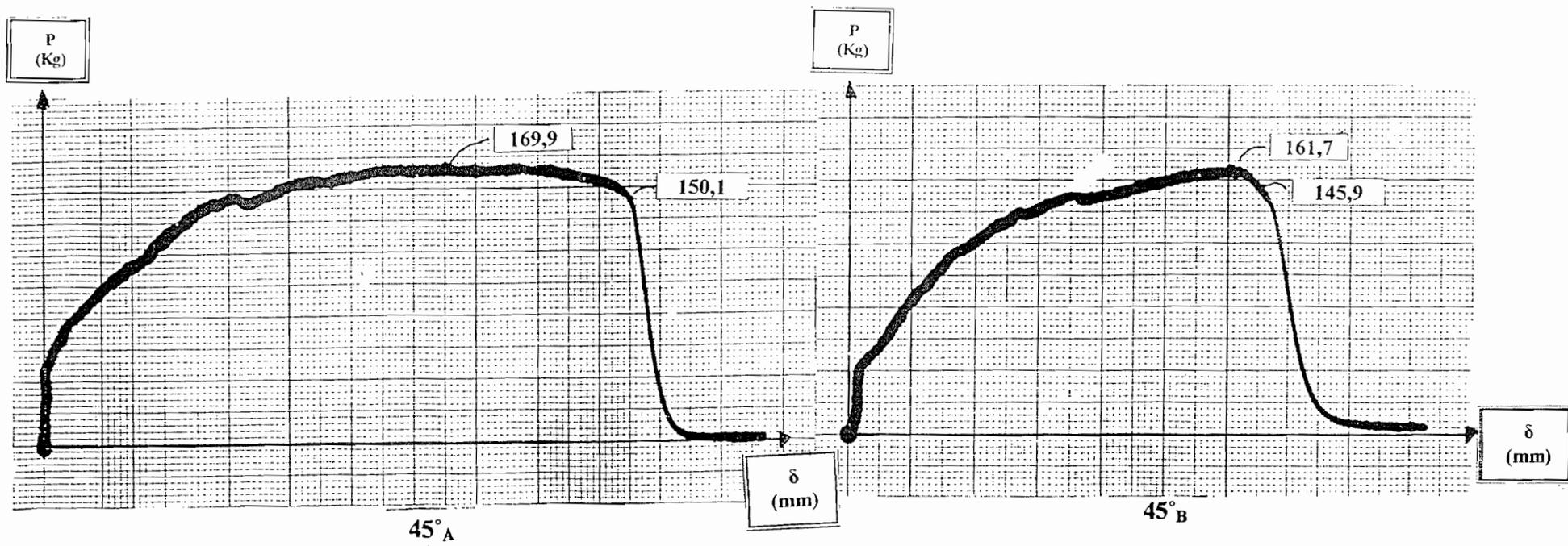


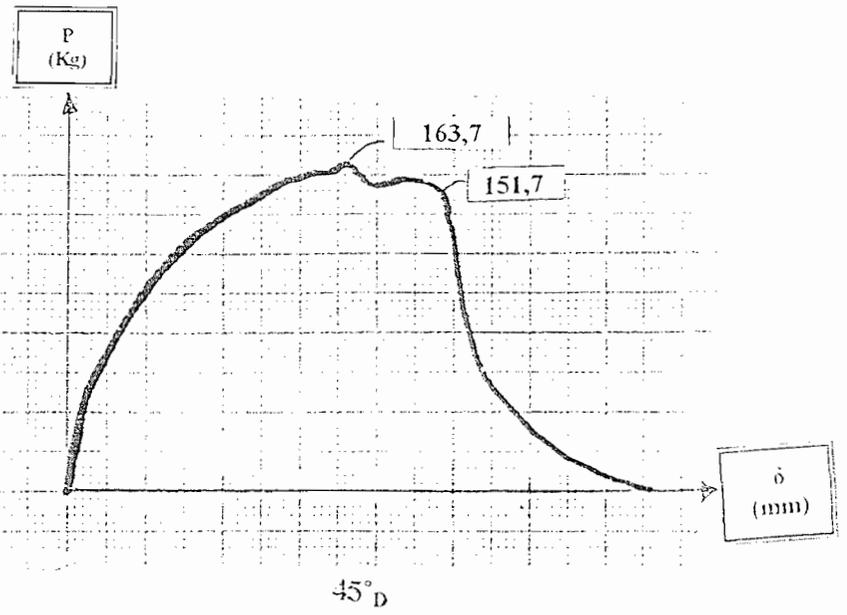
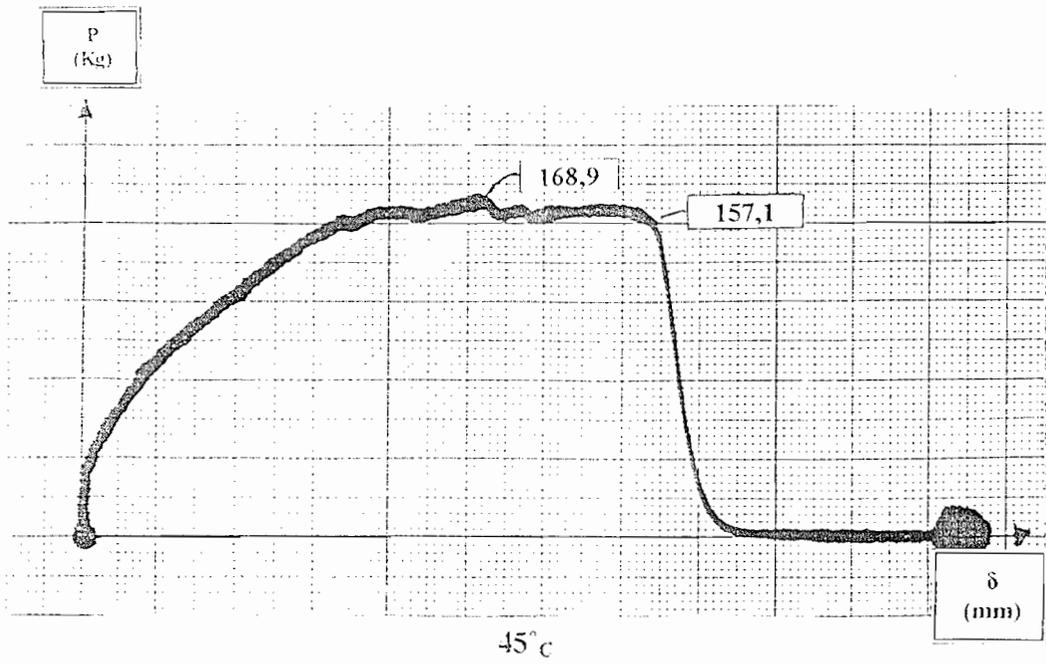


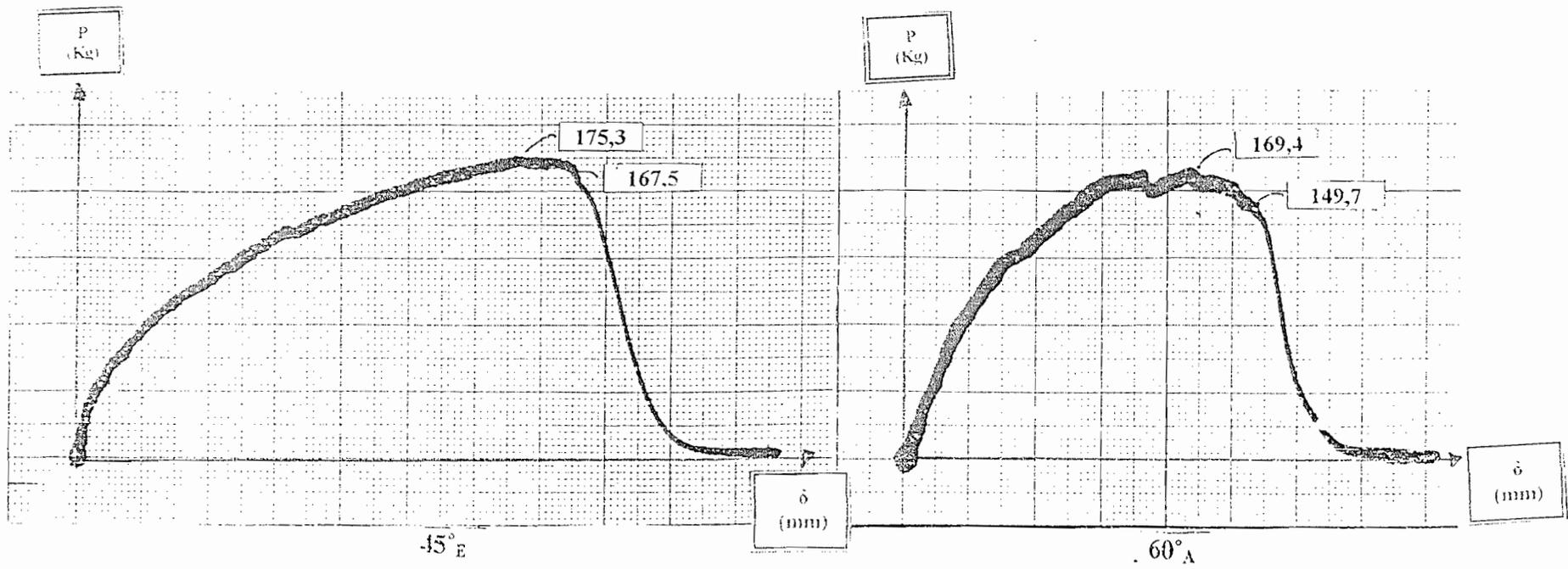


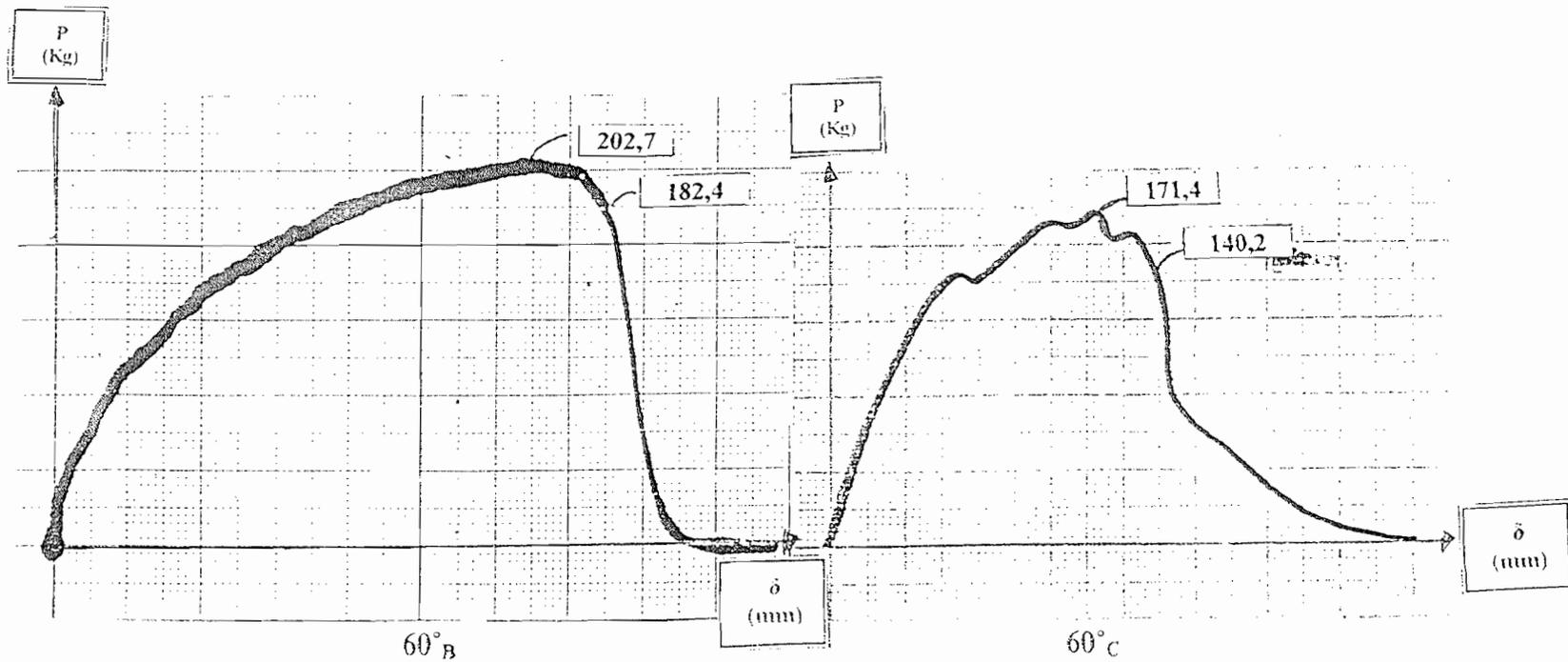


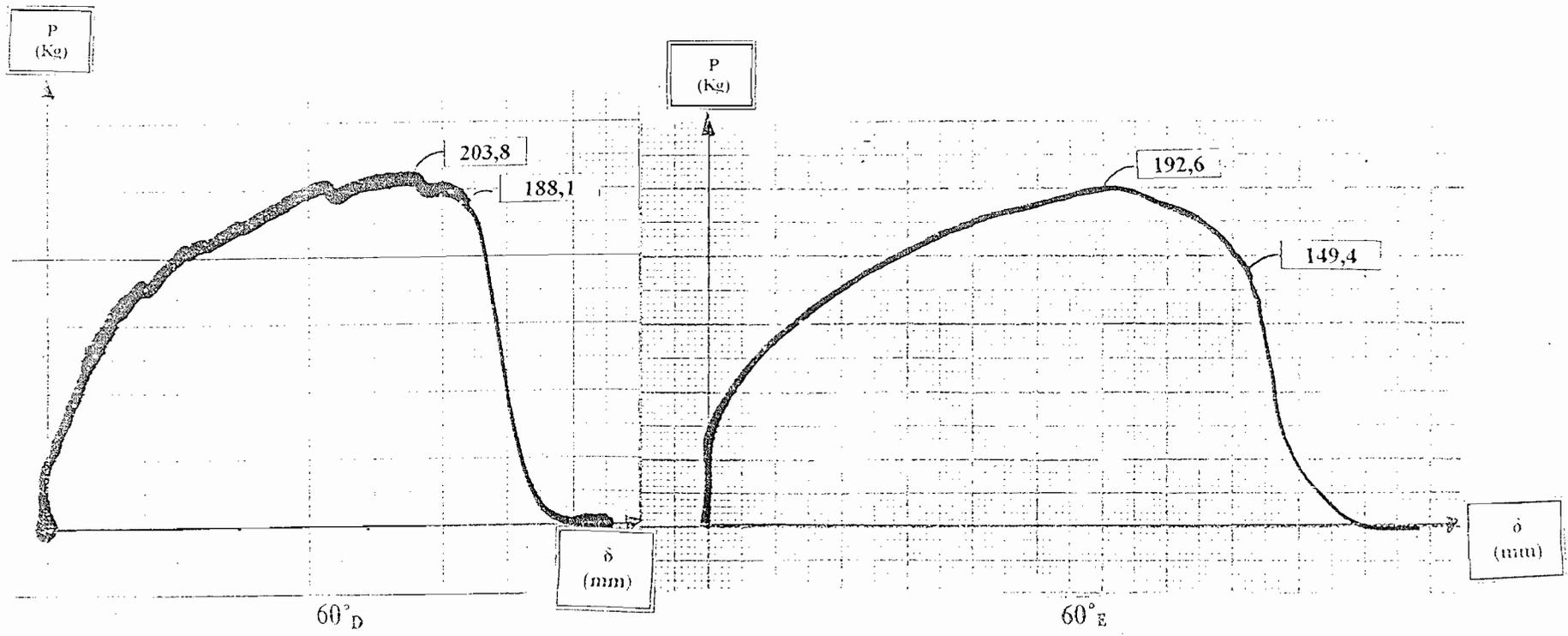


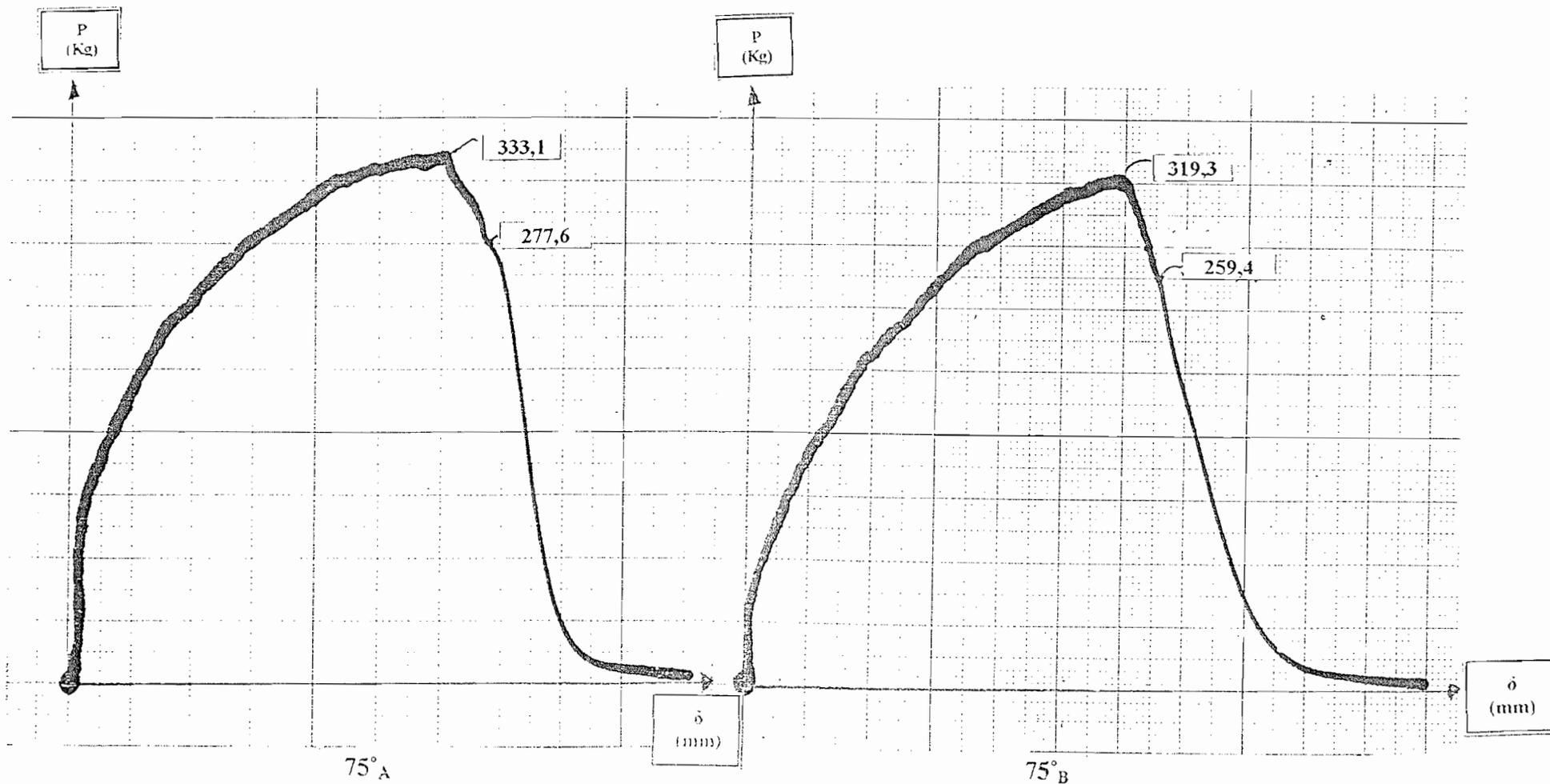


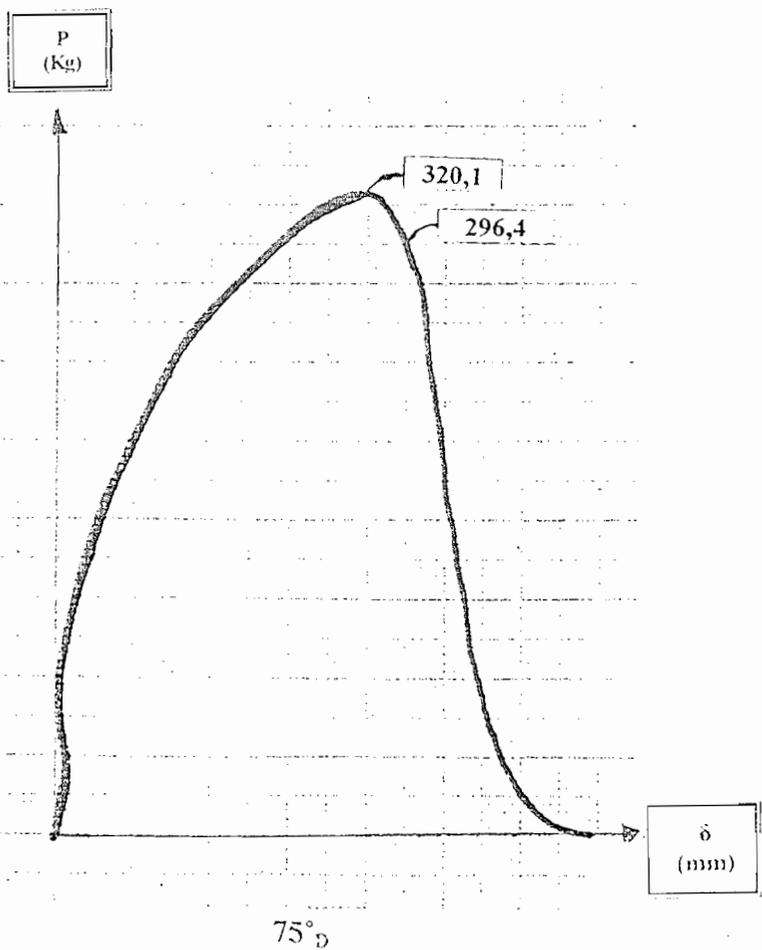
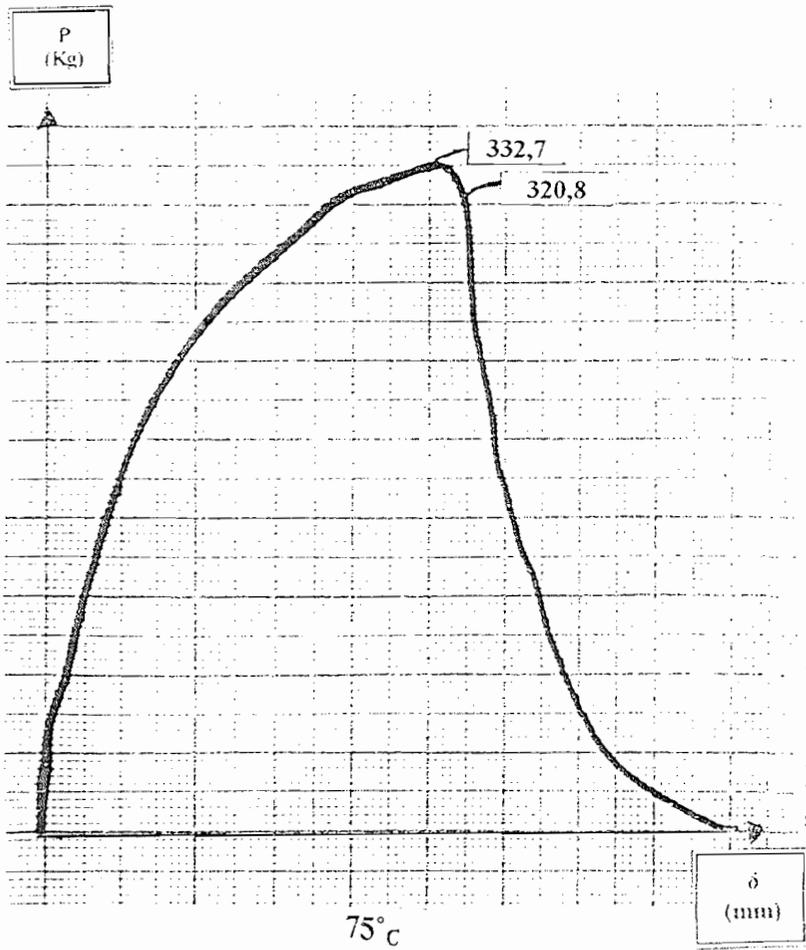


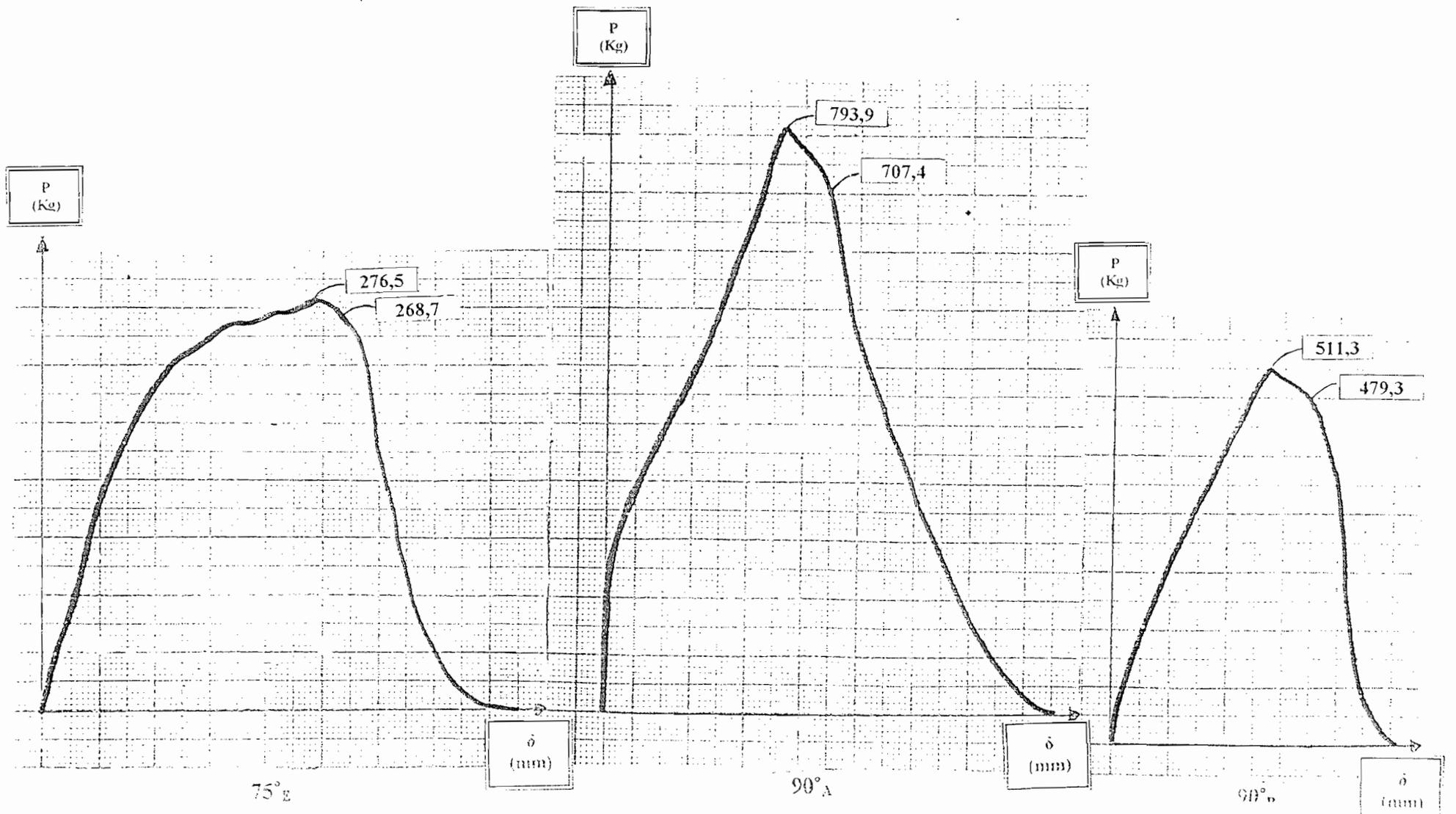


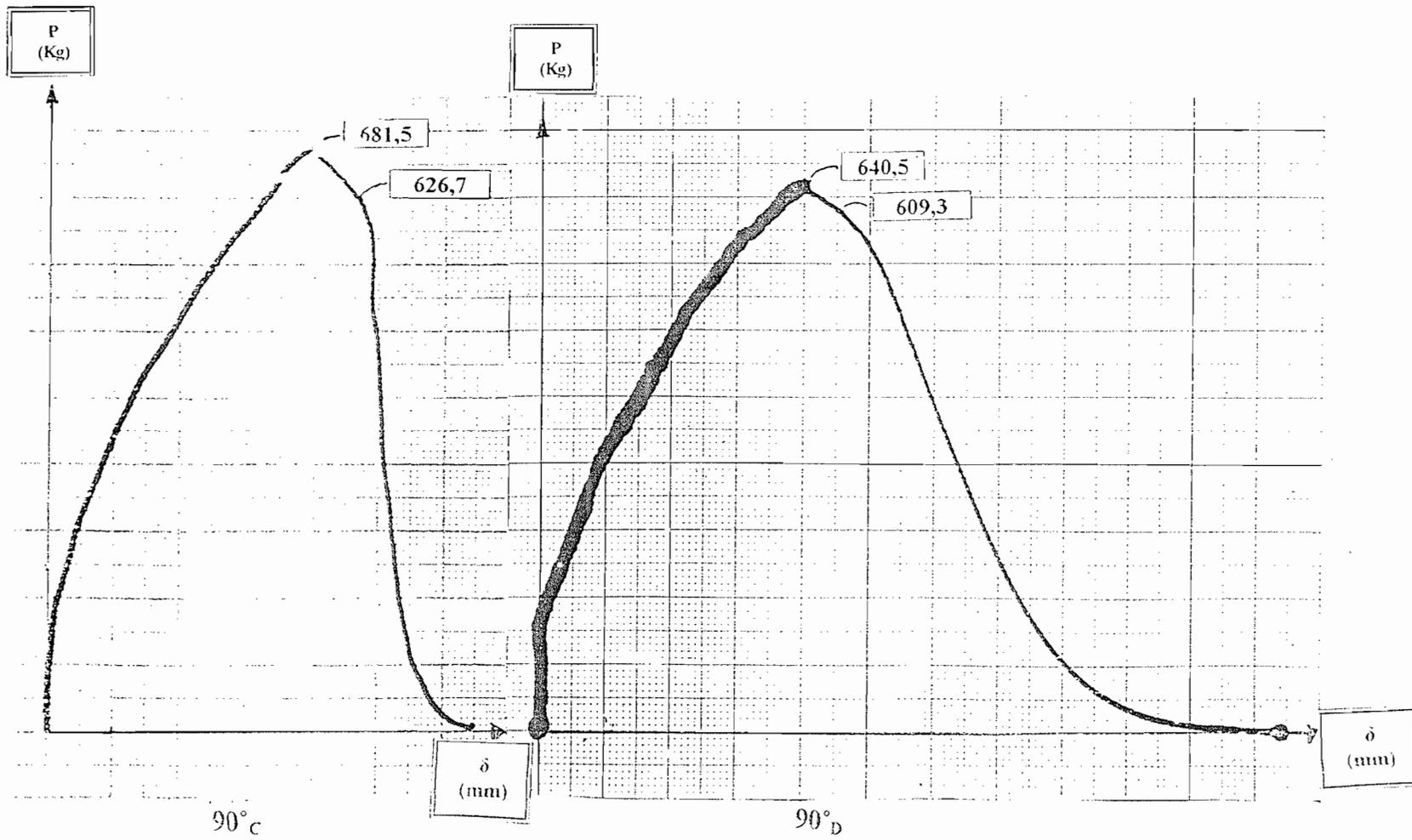


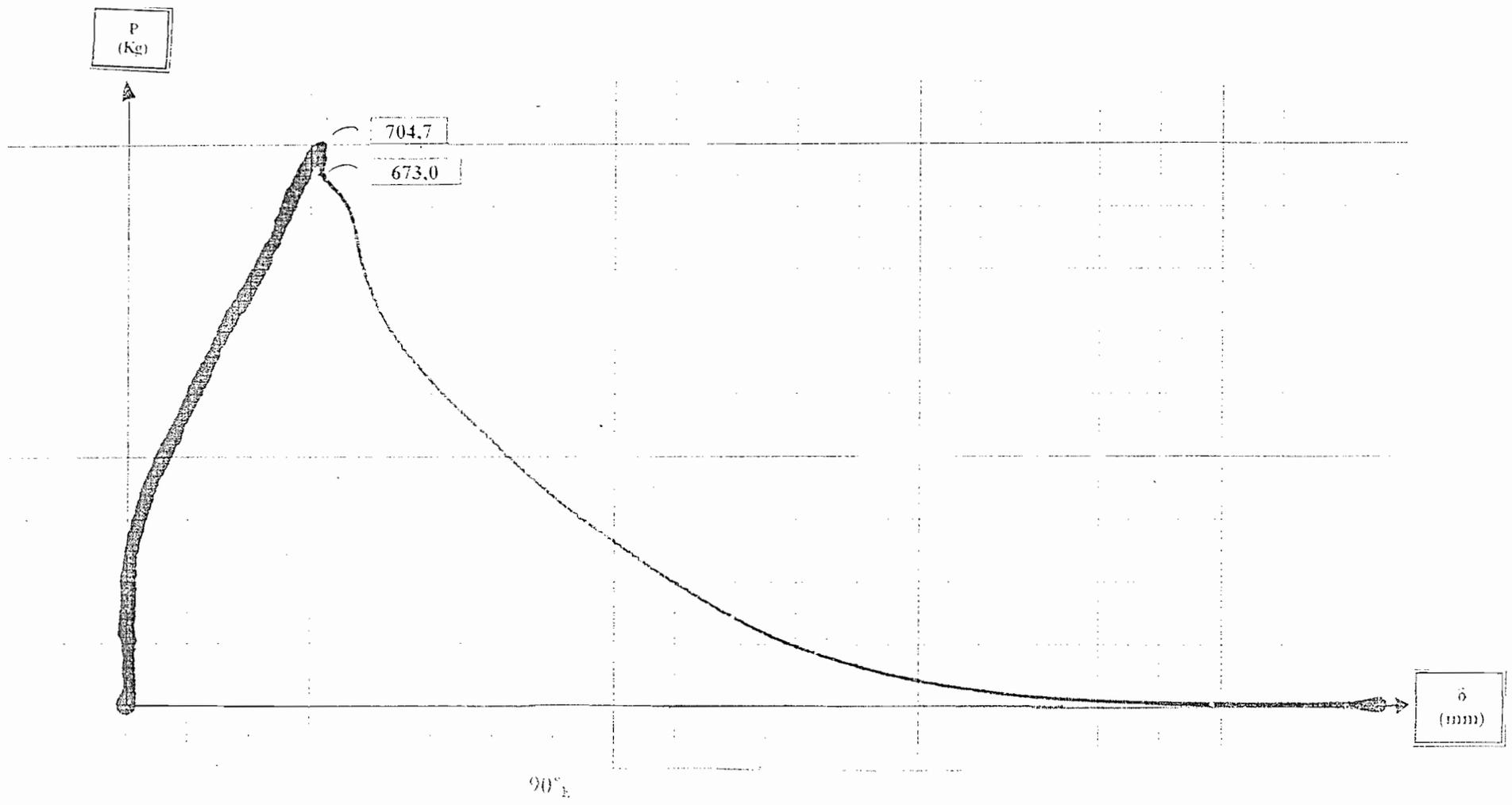






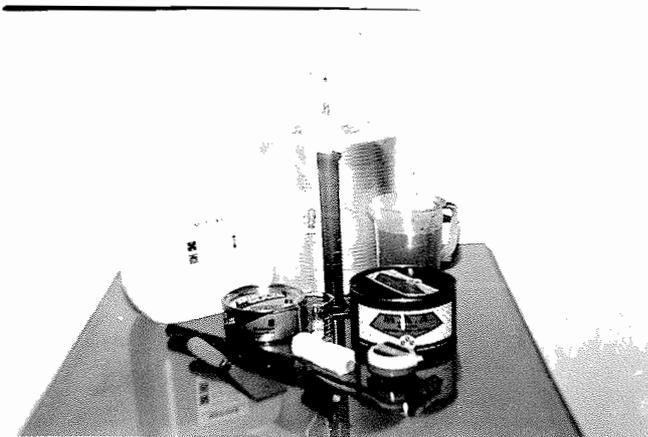




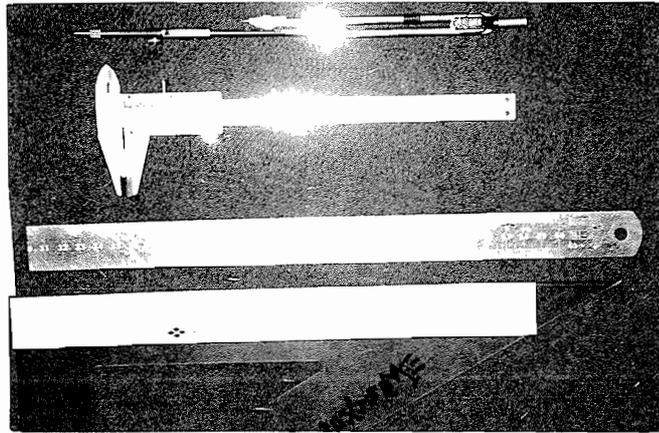




**Gambar L-3. Foto mesin uji tarik**



**Gambar L-4. Bahan-bahan pembuat komposit**



Gambar L-5. Foto alat ukur bantu

