

THE INFLUENCE OF RANDOM FIBER GLASS VOLUME TO
PHYSICAL AND MECHANICAL OF KOMPOSITE POLYMER

FINAL PROJECT

Presented as Partial Fuifillment of the Requitement
To Obtain the *Sarjana Teknik* Degree in Mechanical Engineering



By



FERI EDI PURWANTO
Studen Namber : 995214118

MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
ENGINEERING FACULTY
SANATA DHARMA
YOGYAKARTA
2005

TUGAS AKHIR
PENGARUH VOLUME SERAT GELAS ACAK (RANDOM) TERHADAP
SIFAT MEKANIS DAN FISIS KOMPOSIT POLIMER

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

FERY EDI PURWANTO

NIM : 995214118


Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji

Pada tanggal : 29 Juli 2005

Dan dinyatakan memenuhi syarat

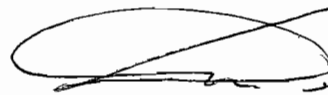
Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama




Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.

Anggota Dewan Penguji




R.B. Dwiseno Wihadi, S.T., M.Si.

Pembimbing Kedua



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


Wibowo Kusbandono, S.T., M.T.

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

Yogyakarta, 2005

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Yogyakarta

Dekan



Ir. Greg. Heliarko, SJ., SS., B.ST., MM., 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, Juli 2004



Fery Edi Purwanto
NIM : 995214118



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-1
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA

No: 434 / FT. USD/TM/ Agustus/ 2003

NAMA : Fery Edi Purwanto
NIM : 995214118
NIRM :
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Univ. Sanata Dharma Yogyakarta
Judul TGA :
Pengaruh Volume serat gelas acak (random) terhadap sifat fisis mekanis dan fisis komposit serat gelas dengan matrik Arindo 3210.

Tanggal dimulai : 2 Maret 2004

Pembimbing II

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

Yogyakarta, 25 Agustus 2004
Pembimbing I

Dr. Ir. Viktor Malau, DEA

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. Bapak, Ibu, Kakak, ,Adik dan Nenek yang telah memantau dengan doa dan dukungan morilnya.

9. Teman-teman Teknik Mesin dan semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Semoga Allah memberikan imbalan yang sesuai dengan amal kebaikan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mohon maaf dan mengharap adanya kritik dan saran yang sifatnya membangun dari semua pihak, demi hasil yang lebih baik untuk perbaikan penyusunan laporan selanjutnya. Semoga laporan ini dapat bermanfaat dan berguna untuk pembaca.

Yogyakarta, Juli 2004

Penulis

ABSTRACT

The objective of this study is to characterize the effect of volume fraction of E Glass fiber on mechanical properties . The composite that was made contents of E fiber glass, resin Arindo 3210 and catalyst Metoxene (methyl ethyl ketone peroxide). The purposes of the study is to know the tensile strength of matrix, composite and damage factor on the composite to the fiber volume fraction.

The first step was done by making a binding matrix material with a size 20 x 15 x 0,3 cm. Then it was done a tensile test by using a tensile test standard ASTM D 3039. Second, making of composite material using a random fiber with a size 30 x 15 x 0,3 cm. Further the composite material was cut according to the tensile test ASTM A 370. The tensile test for the composite material was done suitable for the fiber volume fraction : 20%, 30%, 40%, 50%, 60% and 70% of total volume. All the tensile testing processes used the tensile testing tools found at the Laboratory of Metal Sciences, Faculty of Engineering USD. After finishing the testing processes it was obtained data in the form of the testing test values for each testing object. From the pulling test value then it was taken the mean value.

Based on the results of the study it can be concluded as follows: first, the strength of the matrix of composite is 4,36 kg/mm²; second, the increase of fiber volume fraction increase the composite tensile strength.

INTISARI

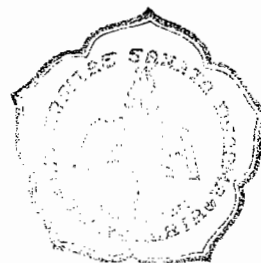
Penelitian ini membahas tentang pengaruh fraksi volume serat pada bahan komposit berpenguat serat gelas E. Komposit yang dibuat terdiri dari : serat gelas E jenis acak sebagai bahan penguat, resin Arindo 3210 dan katalis *Metoxene (methyle ethyl ketone peroxide)* sebagai bahan pengikat. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui kekuatan tarik matriks pengikat sebagai bahan penyusunnya dan mengetahui kekuatan tarik serta faktor kerusakan pada komposit terhadap variasi fraksi volume 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, membuat bahan komposit yang menggunakan serat acak dengan ukuran $30 \times 15 \times 0,3$ cm. Kemudian bahan komposit tersebut dipotong sesuai standart uji tarik ASTM A 370. Pengujian tarik untuk bahan komposit dilakukan sesuai fraksi volume serat yaitu 20%, 30%, 40%, 50%, 60% dan 70% dari volume total. Untuk setiap fraksi volume serat dilakukan 4 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 matriks pengikat bahan komposit sebesar $4,08 \text{ kg/mm}^2$; kedua, kenaikan fraksi volume serat meningkatkan kekuatan tarik komposit.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
Halaman Soal	iii
Halaman Pernyataan	iv
Kata Pengantar	v
Intisari	vii
Abstract	viii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	6
1.3. Tujuan Penelitian	7
1.4. Pendekatan dan Pemecahan Masalah	7
1.5. Sistematika Pembahasan	8
BAB II DASAR TEORI	9
2.1. Komposit <i>Fiber Glass Reinforced Plastics</i>	9
2.1.1. Polyester	12
2.1.2. Serat gelas	14
2.1.3. Bahan-bahan tambahan	16



2.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi kekuatan GFRP	18
2.2.1. Orientasi Serat.....	18
2.2.2. Jenis Serat	19
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	23
2.4.1. Modulus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal	23
2.4.2. Modulus Kegagalan Akibat Beban Tarik Trasversal	25
2.4.3. Modulus Kegagalan Mirooskopik	26
BAB III CARA PENELITIAN.....	27
3.1. Skema Jalan Penelitian	27
3.2. Penyiapan Benda Uji	28
3.2.1. Alat dan bahan	28
3.2.2. Pembuatan cetakan	32
3.3. Pembuatan Benda Uji	33
3.3.1. Pembuatan benda uji matriks pengikat.....	33
3.3.2. Pembuatan benda uji komposit.....	35
3.3.3. Cara pemotongan benda uji komposit	42
3.4. Standar dan Ukuran Benda Uji	43
3.4.1. Benda uji matriks pengikat	43
3.4.2. Benda uji komposit.....	44

3.5. Metode Penelitian	45
3.5.1. Pengujian tarik matriks pengikat.....	45
3.5.2. Pengujian tarik komposit	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1. Hasil Pengujian Tarik Matriks.....	46
4.2. Hasil Pengujian Tarik Komposit	48
4.3. Model Kerusakan Komposit.....	54
4.4. Analisa Kerusakan Pada Komposit	57
4.4. Volume Serat Minimum Bahan Komposit	61
BAB V PENUTUP	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Grafik kekuatan tarik komposit dan komponen penyusunnya	5
Gambar 2.1.	Diagram klasifikasi komposit seratAa	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	27
Gambar 3.2.	Foto alat yang digunakan untuk pembuatan bahan komposit	29
Gambar 3.3.	Dimensi dari cetakan matriks pengikat	34
Gambar 3.4.	Dimensi benda uji tarik matriks pengikat	43
Gambar 3.5.	Foto benda uji matriks pengikat	43
Gambar 3.6.	Dimensi benda uji tarik komposit	44
Gambar 3.7.	Foto benda uji tarik komposit pada berbagai Fraksi volume serat	44
Gambar 4.1.	Keterangan dari tabel 4.1.	53
Gambar 4.2.	Grafik kekuatan tarik pada masing-masing matriks.....	47
Gambar 4.3.	Foto bentuk patahan matriks pengikat	48
Gambar 4.4.	Keterangan dari tabel 4.4.	49
Gambar 4.5.	Grafik hubungan kekuatan tarik dan fraksi volume serat	52
Gambar 4.6.	Grafik hubungan regangan dan fraksi volume serat	53
Gambar 4.7.	Foto Kerusakan komposit	54

Gambar 4.8. Foto kerusakan komposit dengan fraksi volume serat 20%.....	55
Gambar 4.9. Foto kerusakan komposit dengan fraksi volume serat 30%.....	55
Gambar 4.10. Foto kerusakan komposit dengan fraksi volume serat 40%.....	55
Gambar 4.11. Foto kerusakan komposit dengan fraksi volume serat 50%.....	56
Gambar 4.12. Foto kerusakan komposit dengan fraksi volume serat 60%.....	56
Gambar 4.13. Foto kerusakan komposit dengan fraksi volume serat 70%.....	56
Gambar 4.14. Foto penampang melintang serat gelas E dan resin	58
Gambar 4.15. Foto penampang komposit mula	58
Gambar 4.16. Foto retak mikro pada matriks	60
Gambar 4.17. Foto <i>void</i> pada komposit	60

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Dimensi matrik pengikat	34
Tabel 4.1. Ukuran lebar dan tebal matriks pengikat	54
Tabel 4.2. Sifat mekanik matrik pengikat.....	54
Tabel 4.3. Ukuran lebar dan tebal komposit	56
Tabel 4.4. Kekuatan komposit serat gelas E terhadap fraksi volume serat	57
Tabel 4.5. Harga rata-rata kekuatan tarik komposit.....	58
Tabel 4.6. Harga rata-rata regangan (ϵ) 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 dimiliki oleh bahan penyusunnya. Sifat-sifat yang bisa diperoleh dari bahan komposit yaitu (Robert J.M., hal 1) :

- 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.

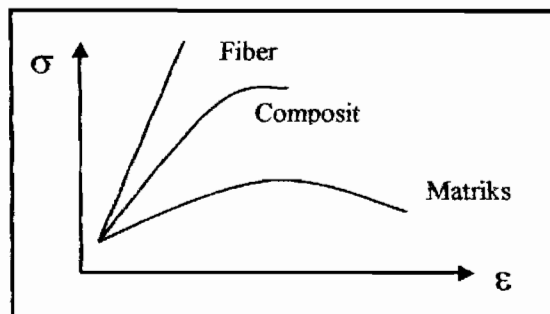
Bahan komposit sangatlah luas dalam penggolongan maupun penggunaannya. Dalam penggunaannya, jenis komposit sering dibedakan menurut bentuk dari bahan penguat yang terdapat matrik pengikatnya atau dapat juga dibedakan menurut bahan yang menjadi matrik pengikat itu sendiri.

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 *GFRP*.

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 (Murphy J., hal 56).

Penggabungan antara serat dengan matriks 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
(Murphy J., hal 182).

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

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

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 memperhatikan faktor-faktor :

- a. Bagaimana memahami kegunaan dan pembuatan komposit serat secara efisien.
- b. Bagaimana mengatur volume serat pada setiap bahan komposit agar memiliki kekuatan tarik maksimum.
- c. Bagaimana faktor kerusakan pada komposit terhadap variasi fraksi volume serat.

Dari beberapa permasalahan diatas yang perlu diperhatikan dan diterapkan dalam dunia teknik seperti tegangan tarik dan modulus elastisitas yang di dapat dari grafik beban dengan penambahan panjang.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan mempunyai tujuan sebagai berikut :

- a. Mengetahui kekuatan tarik matriks pengikat sebagai bahan penyusun komposit.
- b. Mengetahui kekuatan tarik dan faktor kerusakan pada komposit terhadap variasi fraksi volume 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 Arindo 3210.

Variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah variasi fraksi volume serat. Penyusunan serat pada komposit ini secara acak dan perbandingan serat/matriks, temperatur dan kelembaban udara dianggap konstan.

Mesin yang digunakan untuk pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik yang berada di Laboratorium Ilmu Logam Fakultas Teknik USD. Adapun spesifikasi mesin tersebut : merk GOTECH, beban max 1000 kg, model GT-7010-A2, serial No. 8401158, volt 220, made in Taiwan.

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 komposit.

Untuk mengetahui kekuatan tarik komposit pada setiap fraksi volume serat dengan jumlah serat sebanyak 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% dari volume total. 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, dan bahan-bahan lain yang digunakan dalam pembuatan bahan 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

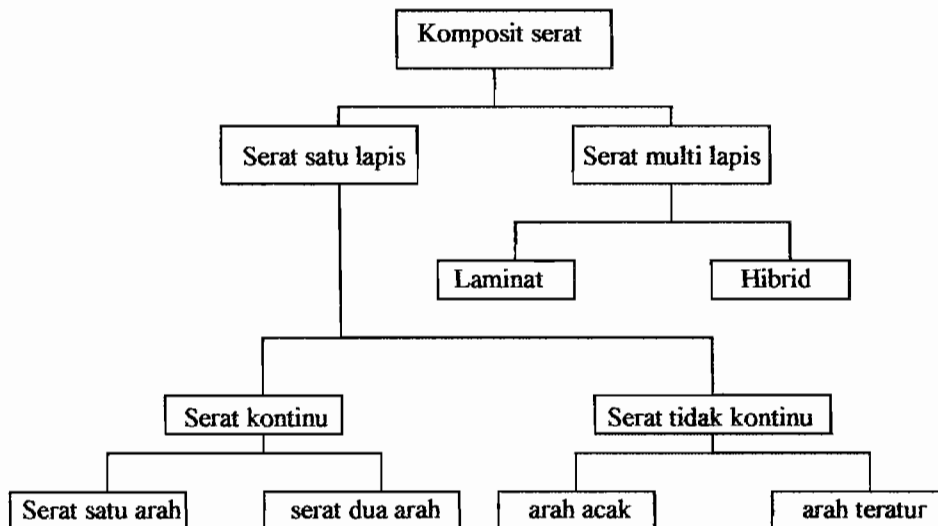
DASAR TEORI

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 (Hadi B.K., hal 1).

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 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 (Hadi B.K., hal 3).

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 (Hadi B.K., hal 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 (Hadi B.K., hal 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 pembuatanya. 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 (Surdia T. & Saito S., hal 232).

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

Dimulainya proses *pengeringan* 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 *pengeringan*.

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 *pengeringan* 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* (Murphy J., hal 19).

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 dipasarkan 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 (Murphy J., hal 63):

a. Serat gelas A.

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

b. Serat gelas E.

Komposisi serat gelas E berupa kalsium, alumunium 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 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 pengeringan pada temperatur ruang adalah katalis. Kelebihan katalis akan menimbulkan panas saat proses pengeringan 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 pengeringan dalam pembuatan *GFRP* 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 acak sekitar 80 °C. Pada proses *pengeringan* 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 *GFRP*. Apabila *pigment* dan pasta pewarna ini harus dipakai pada

produksi maka harus dipergunakan bahan yang sesuai karena bahan ini dapat mempengaruhi proses pengeringan dari resin. Dalam pelapisan akhir (*Gelcoating*) perbandingan *pigmen* atau pasta pewarna adalah 10% sampai 15% dari berat resin. *Zinc yellow, chrome orange, Red iron oxide* adalah beberapa pewarna yang dipergunakan dalam pembuatan *GFRP* (Murphy J., hal 111).

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 *GFRP* 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 *GFRP* 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 GFRP

GFRP 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*) (Schwarts M.M., hal 1.10).

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° dan 90° , sedangkan kekuatan terendah pada arah 45° .
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.

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 :

- 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 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 (Robert J.M., hal 11).

2.4. Modus Kegagalan Bahan Komposit

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

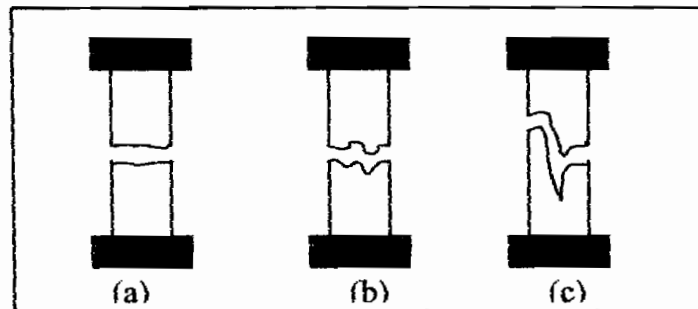
2.4.1. Modus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal

Pada bahan komposit 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 (Hadi B.K., hal 136) :

- 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.

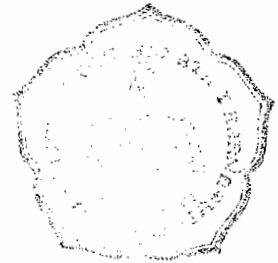
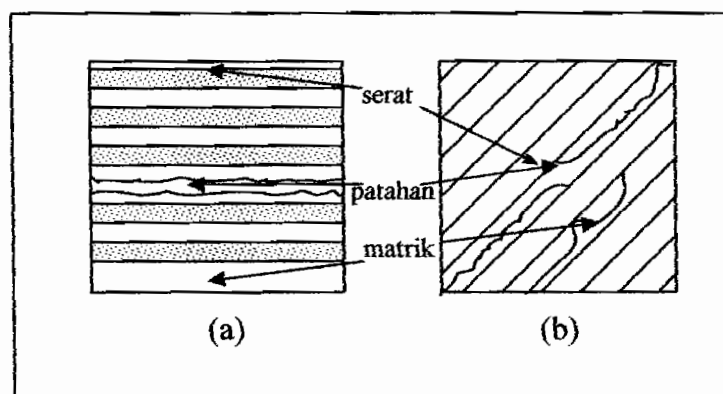
Modus kegagalan diatas dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti kekuatan serat dan matriks, maupun fraksi volume serat dan matriks. Bila fraksi volume serat pada bahan komposit mengecil, modus patahan yang terjadi kebanyakan bertipe getas. Suatu percobaan dengan bahan komposit serat gelas (*fiber glass*) 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 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 arah serat sangat acak dan lemah dalam

arah transversal. Dengan demikian modus kegagalan akibat beban tarik transversal terjadi karena (Hadi B.K., hal 140) :

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



Gambar 2.3. Kegagalan pada komposit akibat beban tarik transversal.

2.4.3. Modus Kegagalan Internal Mikroskopik

Suatu bahan dikatakan gagal bila struktur tersebut tidak dapat berfungsi dengan baik. Dengan demikian definisi kegagalan berbeda menurut kebutuhan yang berlainan. Untuk penerapan struktur tertentu, *deformasi* yang kecil 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.

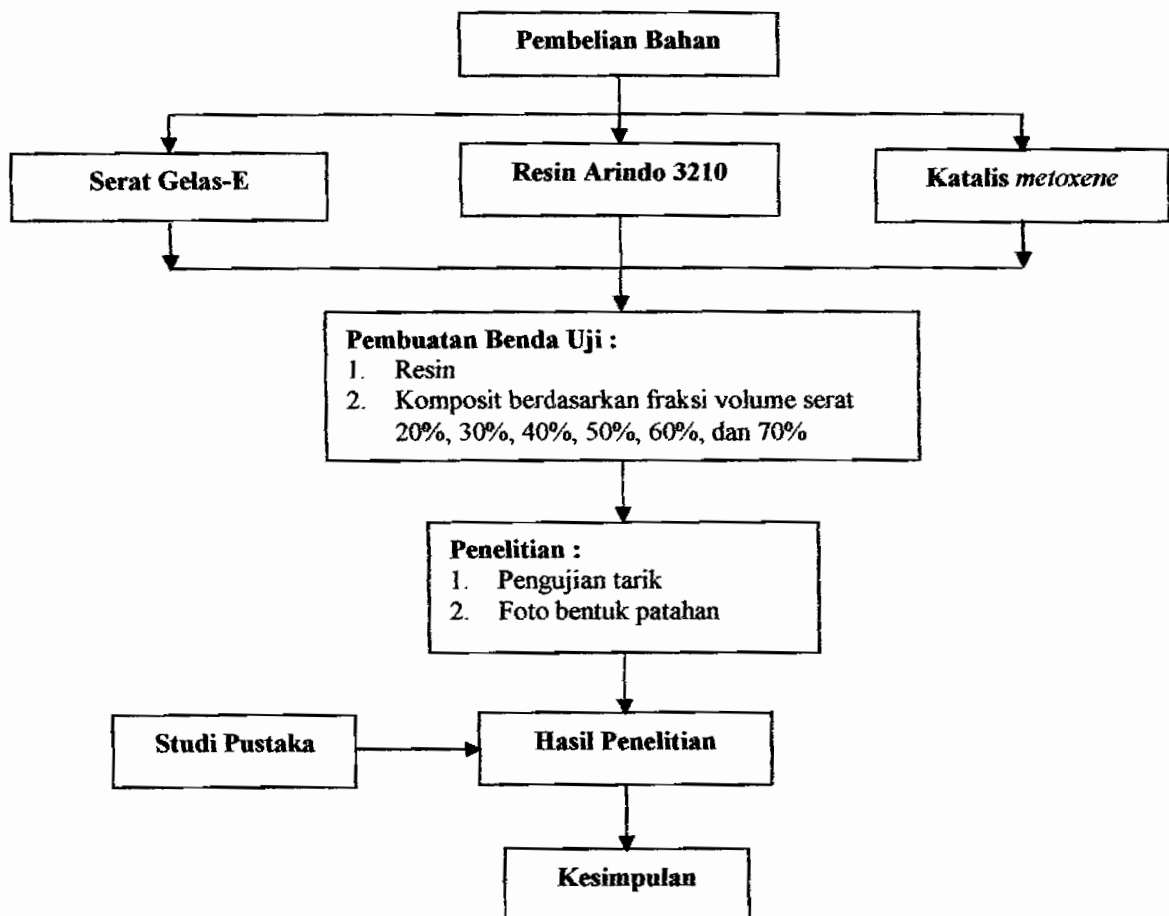
Karena rumitnya masalah tersebut pada kebanyakan kasus struktur, bahan komposit dikatakan gagal bila bahan tersebut telah rusak total ketika mendapat beban tertentu atau kurva tegangan-regangan yang ditunjukkan tidak lagi linier. Dan ini berlaku baik untuk lapisan tunggal (lamina) maupun laminat (Hadi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



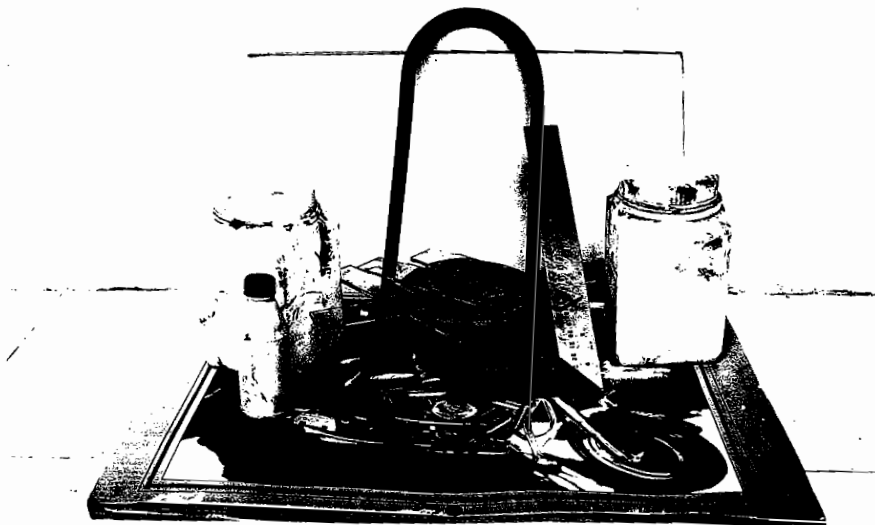
Gambar 3.1. Skema jalan Penelitian

3.2. Penyiapan Benda Uji

3.2.1. Alat dan Bahan

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

- a. Bahan pembuat cetakan yaitu kaca tebal 0,5 cm dan 0,3 cm dengan ukuran :
 - a. $310 \times 160 \times 0,5$ cm dua lembar.
 - b. $310 \times 5 \times 0,3$ cm dua lembar.
 - c. $160 \times 5 \times 0,3$ 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 adalah sebagai berikut :

1. Resin

Resin yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah resin Arindo 3210. Ciri-ciri fisik resin ini berwarna kecoklat-coklatan termasuk dalam resin poliester. Resin termoplastik ini berantai lurus dengan ikatan ester dalam rantai utama. Sifat-sifat yang dimiliki resin poliester sebagai berikut :

- a. Permukaan halus & mengkilat.
- b. Titik leleh relatif tinggi.
- c. Unggul dalam kestabilan dimensi karena serapan air dan koefisien ekspansi termalnya rendah.
- d. Bahan ini mempunyai kekakuan yang tinggi.
- e. Ketahanan cuaca yang baik.

Resin yang dipakai dalam penelitian tidak disertai spesifikasi khusus, sehingga untuk mengetahui sifat-sifat mekaniknya dilakukan pengujian tarik terhadap resin pengikat tanpa serat. 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 acak.

Serat gelas-E memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Kuat
- b. Kaku
- c. Getas
- d. $\rho = 2,54 \text{ gr/cm}^3$
- e. $\sigma = 3,5 \text{ Gpa}$
- f. $E = 72,4 \text{ Gpa}$
- g. $E/\rho = 28,5$
- h. $\sigma/\rho = 1,38$

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° - 90° 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 *adhesive* maka untuk mempermudah pemisahan komposit dari cetakan diperlukan suatu bahan yang dapat mengurangi/menghilangkan sifat *adhesive* (daya rekat). Dalam hal ini yang digunakan sebagai anti *adhesive* 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 *adesive* 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. *Aceton*

Aceton dapat digunakan untuk membersihkan resin yang belum mengalami proses pengeringan sempurna dari alat-alat yang kita gunakan dalam proses pembuatan. Pemakaian *aceton* 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 *aceton* tidak dapat digunakan sebagai pengencer dalam pembuatan, walaupun bahan ini mempunyai sifat mengencerkan resin, karena pemakaian bahan ini akan mengakibatkan pengaruh terhadap proses pengeringan dan sifat dari bahan yang dihasilkan.

3.2.2. Pembuatan Cetakan

Dalam proses pembuatan komposit berpenguat serat gelas, 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. $350 \times 200 \times 5$ mm dua lembar.
- b. $310 \times 25 \times 3$ mm dua lembar.
- c. $150 \times 25 \times 0,3$ cm dua lembar.

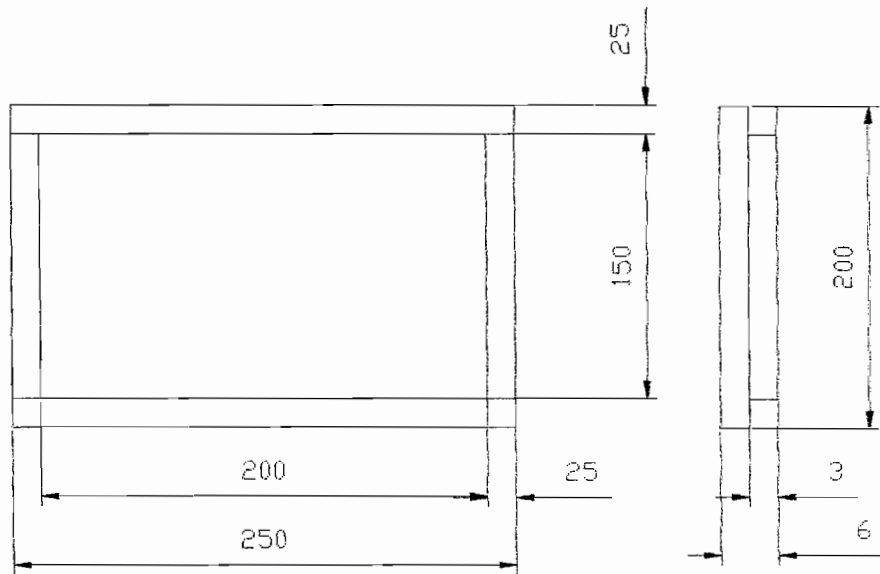
3.3. Pembuatan Benda Uji

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. Dimensi dari matriks pengikat yang dibuat mempunyai ukuran 300×150 mm dan tebal 3 mm. Dimensi dari cetakan yang dibuat dan dimensi dari hasil akhir dari matriks pengikat dapat dilihat dari tabel 3.1. dan gambar 3.3.

Tabel 3.1. Dimensi matriks pengikat.

Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Volume (mm³)
300	150	3	135000



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 ml (99,5 %). Kemudian resin yang telah diletakkan pada wadah pencampur ditambahkan katalis dengan perbandingan 0,5 % volume total jadi sebesar 0,45 ml katalis.
- Aduk campuran resin dan katalis hingga rata. Pengadukan ini harus dilakukan secara cepat sebab pencampuran resin dan katalis akan berubah menjadi gel setelah ± 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 pengeringan 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 volume cetakan komposit dengan ukuran $30 \times 15 \times 0,3 \text{ cm} = 135 \text{ cm}^3$.

Langkah kedua adalah menghitung volume serat, katalis, dan resin dengan cara mengalikan persentase yang akan digunakan dengan volume cetakan sebagai berikut :

A. Perhitungan benda uji komposit dengan komposisi volume serat 20%, resin 79,5%, dan katalis 0,5%.

$$\text{Katalis} = \frac{0,5}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 0,68 \text{ cm}^3 = 0,68 \text{ ml}$$

$$\text{Resin} = \frac{79,5}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 107,33 \text{ cm}^3 = 107,33 \text{ ml}$$

$$\text{Serat} = \frac{20}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 27 \text{ cm}^3$$

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

$$\begin{aligned} V_s &= 27 \text{ cm}^3 \times 2,54 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 68,58 \text{ gr} \end{aligned}$$

Setelah proses perhitungan selesai maka langkah selanjutnya adalah pembuatan benda uji komposit yang 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 yang berbentuk acak dengan berat 68,58 gr (20 %). Pemasangan serat diusahakan rata dengan ukuran cetakan yang dibuat (30 cm × 15 cm).
- c. Siapkan resin sebanyak 107,33 ml (79,5 %) dan katalis sebanyak 0,68 ml (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 ± 20 menit. Sedang pengadukan yang menimbulkan gelembung harus dihindari karena gelembung yang dihasilkan pada waktu pengadukan akan menimbulkan *void* pada bahan komposit.
- d. Resin dan katalis yang mengalami proses pengadukan dibagi menjadi dua. Pembagian ini tujuannya agar serat gelas yang akan dicampur dengan matriks menjadi komposit tepat berada ditengah. Penyusunan matriks dan serat harus disusun sebagai berikut matriks, serat, dan yang terakhir adalah matriks. 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 penyusunan serat dan matriks selesai maka dilakukan pemasangan cetakan bagian atas dan memberikan penekanan dengan cara menjepit kaca yang terdapat pada setiap sisi cetakan.

- f. Setelah 8 – 12 jam proses pengeringan selesai dan hasil cetakan dapat dilepas dengan bantuan scraber.

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

- B. Perhitungan benda uji komposit dengan komposisi volume serat 30%, resin 69,5%, dan katalis 0,5%.

$$\text{Katalis} = \frac{0,5}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 0,68 \text{ cm}^3 = 0,68 \text{ ml}$$

$$\text{Resin} = \frac{69,5}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 93,83 \text{ cm}^3 = 93,83 \text{ ml}$$

$$\text{Serat} = \frac{30}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 40,5 \text{ cm}^3$$

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

$$V_s = 40,5 \text{ cm}^3 \times 2,54 \text{ gr/cm}^3$$

$$= 102,87 \text{ gr}$$

- C. Perhitungan benda uji komposit dengan komposisi volume serat 40%, resin 59,5%, dan katalis 0,5%.

$$\text{Katalis} = \frac{0,5}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 0,68 \text{ cm}^3 = 0,68 \text{ ml}$$

$$\text{Resin} = \frac{59,5}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 80,33 \text{ cm}^3 = 80,33 \text{ ml}$$

$$\text{Serat} = \frac{40}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 54 \text{ cm}^3$$

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

$$\begin{aligned} V_s &= 54 \text{ cm}^3 \times 2,54 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 137,16 \text{ gr} \end{aligned}$$

D. Perhitungan benda uji komposit dengan komposisi volume serat 50%, resin 49,5%, dan katalis 0,5%.

$$\text{Katalis} = \frac{0,5}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 0,68 \text{ cm}^3 = 0,68 \text{ ml}$$

$$\text{Resin} = \frac{49,5}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 66,83 \text{ cm}^3 = 66,83 \text{ ml}$$

$$\text{Serat} = \frac{50}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 67,5 \text{ cm}^3$$

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

$$\begin{aligned} V_s &= 67,5 \text{ cm}^3 \times 2,54 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 171,45 \text{ gr} \end{aligned}$$

E. Perhitungan benda uji komposit dengan komposisi volume serat 60%, resin 39,5%, dan katalis 0,5%.

$$\text{Katalis} = \frac{0,5}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 0,68 \text{ cm}^3 = 0,68 \text{ ml}$$

$$\text{Resin} = \frac{39,5}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 53,33 \text{ cm}^3 = 53,33 \text{ ml}$$

$$\text{Serat} = \frac{60}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 81 \text{ cm}^3$$

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

$$\begin{aligned} V_s &= 81 \text{ cm}^3 \times 2,54 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 205,74 \text{ gr} \end{aligned}$$

F. Perhitungan benda uji komposit dengan komposisi volume serat 70%, resin 29,5%, dan katalis 0,5%.

$$\text{Katalis} = \frac{0,5}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 0,68 \text{ cm}^3 = 0,68 \text{ ml}$$

$$\text{Resin} = \frac{29,5}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 39,83 \text{ cm}^3 = 39,83 \text{ ml}$$

$$\text{Serat} = \frac{70}{100} \times 135 \text{ cm}^3 = 94,5 \text{ cm}^3$$

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

$$\begin{aligned} V_s &= 94,5 \text{ cm}^3 \times 2,54 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 240,03 \text{ gr} \end{aligned}$$

Langkah-langkah percetakan benda uji komposit adalah sebagai berikut :

- a. Cetakan yang sudah disiapkan sebelumnya dilapisi dengan oli.
- b. Siapkan serat gelas yang berbentuk acak dengan berat 240,03 gr (70 %). Pemasangan serat diusahakan rata dengan ukuran cetakan yang dibuat (30 cm × 15 cm).
- c. Siapkan resin sebanyak 39,83 ml (29,5 %) dan katalis sebanyak 0,68 ml (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 ± 20 menit. Sedang pengadukan yang menimbulkan gelembung harus dihindari karena gelembung yang dihasilkan pada waktu pengadukan akan menimbulkan *void* pada bahan komposit.
- d. Resin dan katalis yang mengalami proses pengadukan dibagi menjadi dua. Pembagian ini tujuannya agar serat gelas yang akan dicampur dengan matriks menjadi komposit tepat berada ditengah. Penyusunan matriks dan

serat harus disusun sebagai berikut matriks, serat, dan yang terakhir adalah matriks. Agar resin dapat meresap keseluruh bagian cetakan dan dapat membasahi serat dengan rata dapat dilakukan dengan sapuan kuas dan roler *hand lay-up* yang sudah dipersiapkan.

- e. Setelah penyusunan serat dan matriks selesai maka dilakukan pemasangan cetakan bagian atas dan memberikan penekanan dengan cara menjepit kaca yang terdapat pada setiap sisi cetakan.
- f. Setelah 8 – 12 jam proses pengeringan selesai dan hasil cetakan dapat dilepas dengan bantuan scraber.

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

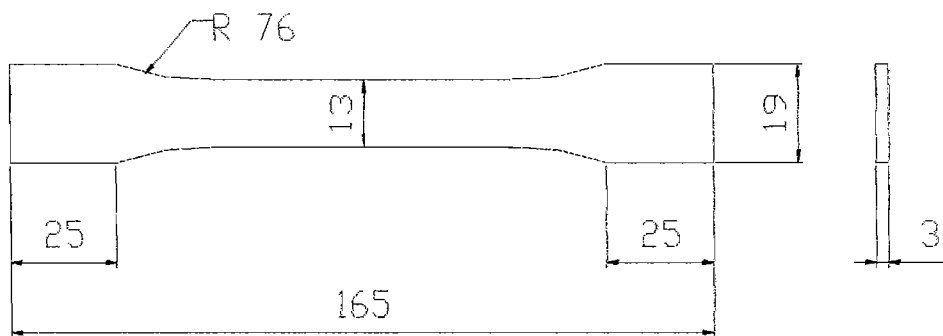
3.3.3. Cara Pemotongan Benda Uji Komposit

Setelah benda uji komposit jadi dalam bentuk lembaran langkah selanjutnya adalah memotong lembaran komposit tersebut menjadi benda uji sesuai dengan fraksi volume serat masing-masing. Setiap lembaran dari masing-masing fraksi volume serat dipotong sesuai dengan standar uji ASTM A370. Untuk setiap lembar dari masing-masing fraksi volume serat dibuat empat spesimen.

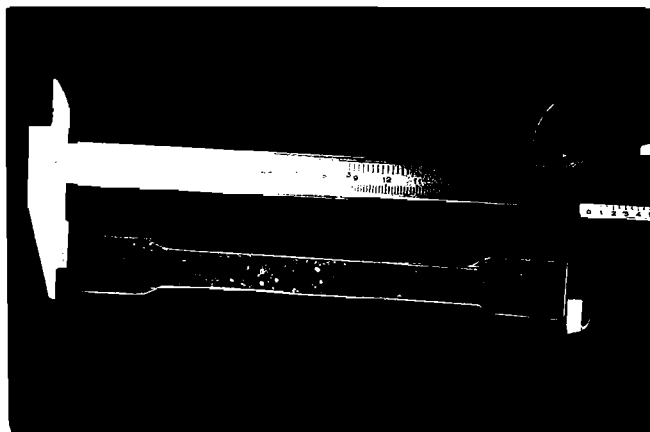
3.4. Standart dan ukuran Benda Uji

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:



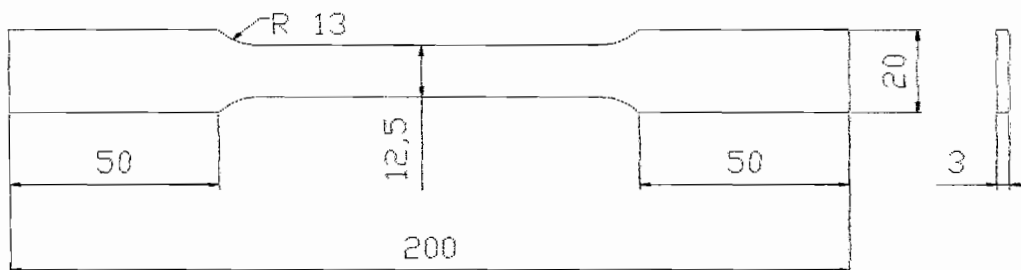
Gambar 3.4. Dimensi benda uji tarik matriks pengikat.



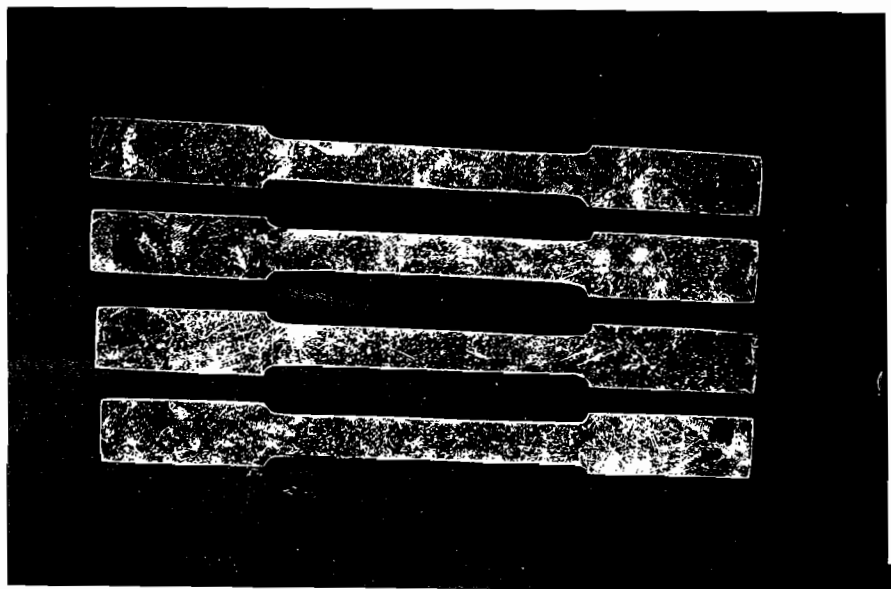
Gambar 3.5. Foto benda uji matriks pengikat.

3.4.2. Benda uji komposit

Pengujian tarik komposit untuk setiap fraksi volume serat dilakukan dengan standar pengujian ASTM A 370. Dimensi benda uji yang digunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 3.6. Dimensi benda uji tarik komposit.



Gambar 3.7. Foto benda uji tarik komposit pada berbagai fraksi volume serat.

3.5. Metode Penelitian

3.5.1. 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 grafik hubungan beban dengan pertambahan panjang.

3.5.2. Pengujian tarik komposit

Pengujian komposit dilakukan dengan fraksi volume serat 20%, 30%, 40%, 50%, 60% dan 70% menggunakan mesin uji tarik yang berada di Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma.

Dalam pengujian tarik komposit digunakan 4 buah benda uji untuk masing-masing fraksi volume serat. 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 grafik hubungan beban dengan pertambahan panjang.

BAB IV

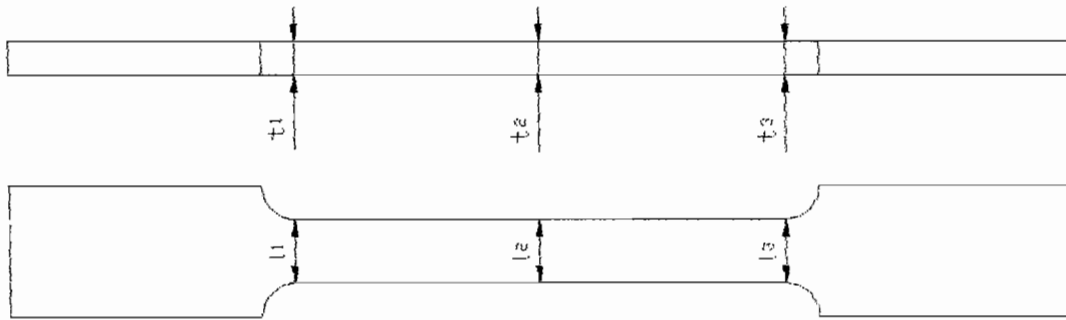
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel hasil analisis dan perhitungan. Sedangkan data berupa grafik beban dengan penambahan panjang 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 penambahan panjang. Grafik hubungan beban dengan penambahan panjang dapat dilihat pada lampiran. Besar tegangan maksimum dan regangan dapat dicari dari grafik hubungan beban dengan penambahan panjang.

Metode analisis terhadap pengujian tarik 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 4.4.



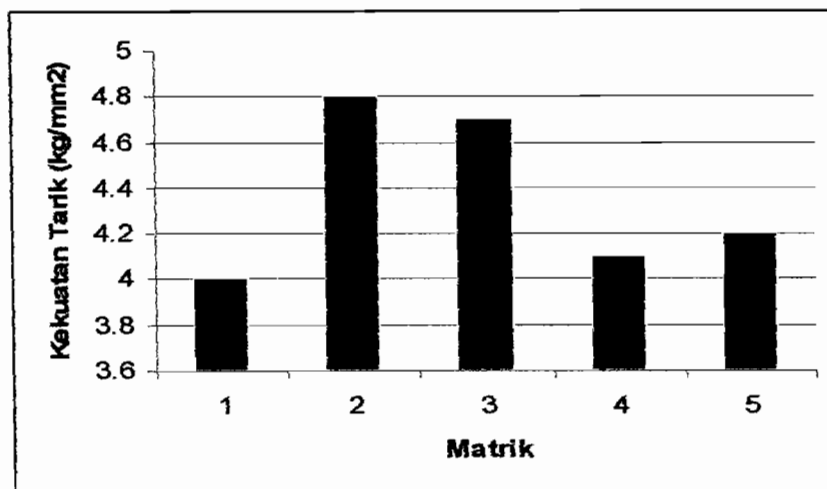
Gambar 4.1. Gambar Spesimen Matriks

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	12,6	12,5	13,0	3,0	3,1	3,0	12,7	3
2	12,5	12,6	12,7	3,1	3,0	3,0	12,6	3
3	12,6	12,4	12,5	3,0	3,0	2,9	12,5	2,9
4	12,5	12,5	12,6	3,0	3,0	2,9	12,5	2,9
5	12,7	12,8	12,9	2,9	3,1	3,0	12,8	3

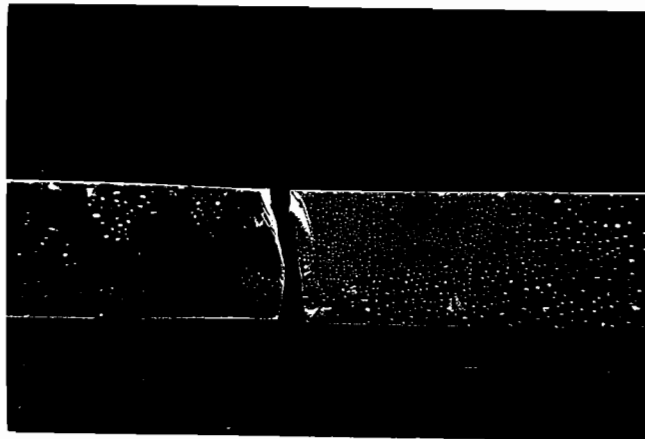
Tabel 4.2. Sifat mekanik matriks pengikat.

Matriks	Beban (kg)	Luas Penampang (mm ²)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	L_0 (mm)	L (mm)	δ (mm)	ϵ maks (%)
1	155,0	38,1	4	50	51,95	1,95	3,9
2	184,3	37,8	4,8	50	52,25	2,25	4,5
3	170,7	36,2	4,7	50	52,2	2,2	4,4
4	148,8	36,2	4,1	50	52,7	2,7	5,4
5	161,8	38,4	4,2	50	52,3	2,3	4,6



Gambar 4.2. Grafik kekuatan tarik pada masing-masing matriks

Hasil 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 4.3 sehingga matriks pengikat yang digunakan bersifat getas.

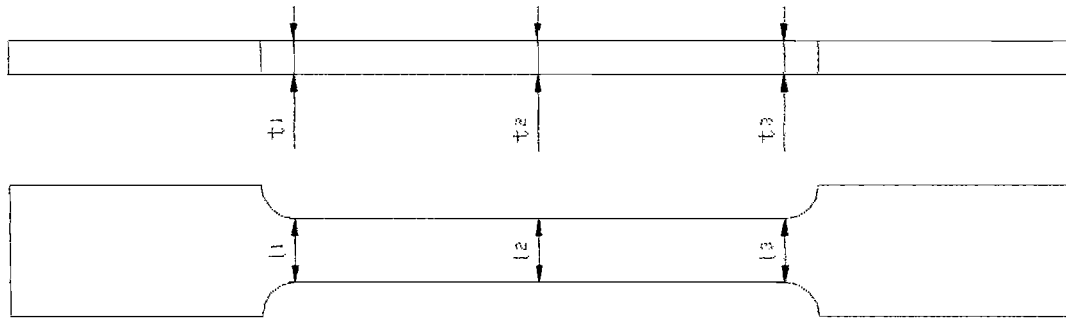


Gambar 4.3. Foto bentuk patahan matriks pengikat.

4.2. Hasil Pengujian Tarik Komposit

Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik menghasilkan grafik hubungan beban dengan pertambahan pajang yang disajikan pada lampiran. Besarnya tegangan tarik maksimum dan elongation dapat dicari dari grafik hubungan beban dengan pertambahan panjang.

Dengan analisis grafik pengujian tarik diperoleh beberapa sifat mekanik komposit yang ditunjukkan dalam Tabel 4.4.



Gambar 4.4. Gambar Sepesimen Komposit

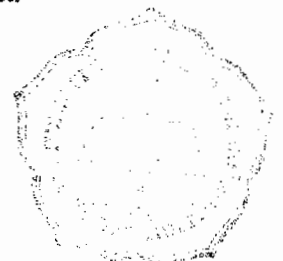
Tabel 4.3. Ukuran lebar dan tebal komposit.

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)
20 %	A ₁	12,7	12,6	12,7	2,4	2,3	2,5	12,6	2,4
	A ₂	12,6	12,3	12,5	2,3	2,8	2,6	12,4	2,5
	A ₃	12,5	12,2	12,4	2,9	2,6	3,0	12,3	2,8
	A ₄	12,5	12,1	12,4	3,0	2,8	2,8	12,3	2,8
30 %	B ₁	12,6	12,4	12,5	2,7	2,6	2,7	12,5	2,6
	B ₂	12,6	12,4	12,7	2,8	2,6	3,0	12,5	2,8
	B ₃	12,6	12,5	12,6	3,0	2,9	3,0	12,5	2,9
	B ₄	12,6	12,3	12,3	2,9	2,9	3,0	12,4	2,9
40 %	C ₁	12,5	12,4	12,6	3,3	2,9	2,8	12,5	3
	C ₂	12,5	12,4	12,7	3,0	3,0	3,1	12,5	3
	C ₃	12,5	12,5	12,6	3,0	3,0	2,1	12,5	3
	C ₄	12,5	12,4	12,6	3,1	3,0	3,2	12,5	3,1
50 %	D ₁	12,3	12,3	12,3	3,2	3,1	3,3	12,3	3,2
	D ₂	13,0	12,6	12,7	3,1	2,3	2,3	12,7	2,5
	D ₃	12,4	12,7	12,6	2,8	3,2	2,9	12,5	2,9
	D ₄	12,9	12,6	12,7	3,1	3,2	3,3	12,7	3,2
60 %	E ₁	12,6	12,7	12,7	3,1	3,0	3,1	12,6	3
	E ₂	13,0	12,5	12,7	2,7	2,4	2,8	12,7	2,6
	E ₃	12,5	12,5	12,6	3,1	3,0	3,0	12,5	3
	E ₄	12,5	12,6	12,5	3,2	3,1	3,3	12,5	3,2
70 %	F ₁	12,7	12,6	12,6	3,1	3,1	3,2	12,6	3,1
	F ₂	12,7	12,6	12,6	3,1	3,0	3,2	12,6	3,1
	F ₃	13,0	12,9	12,8	3,2	3,3	3,2	12,9	3,3
	F ₄	12,7	12,7	12,9	3,2	3,1	3,3	12,7	3,2

total), pada arah orientasi ini 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 pertambahan panjang yang berbeda dan pertambahan panjang total komposit merupakan rata-rata harga pertambahan panjang kedua komponen penyusunnya.

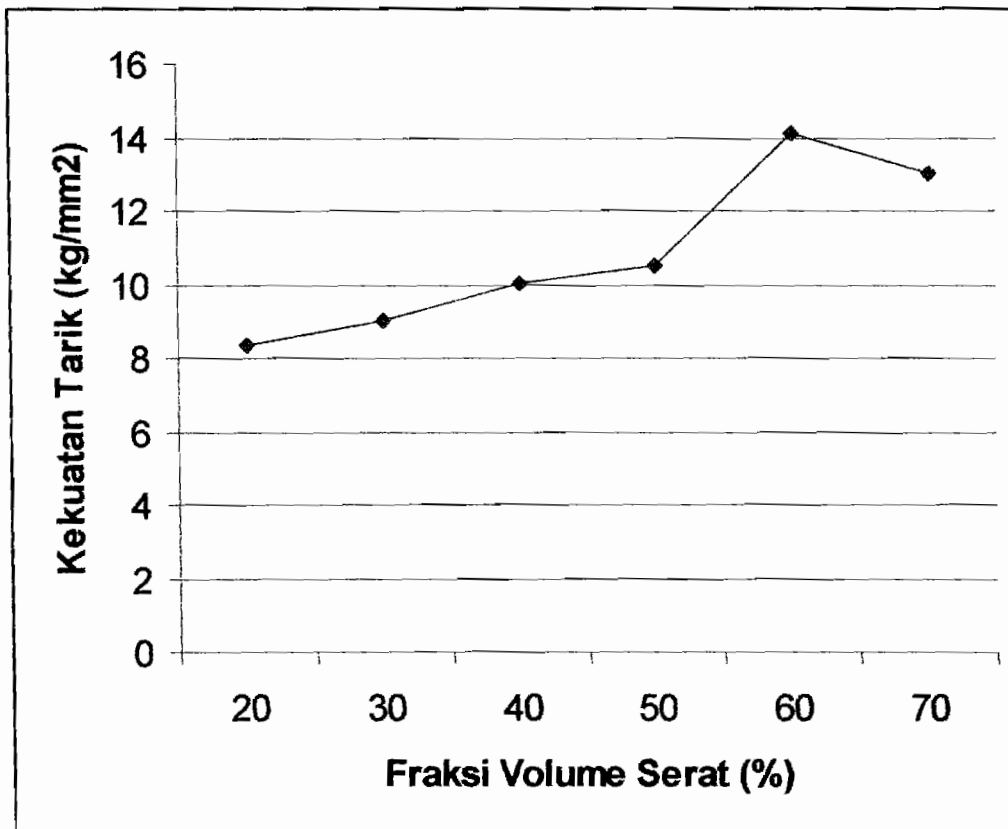
Harga kekuatan tarik komposit jauh berkurang pada volume serat sebanyak 20 % dari volume total. Dapat dikatakan pada volume serat tersebut merupakan volume kritis dari serat. Dalam perancangan, fraksi volume kritis harus dihindari sehingga diharapkan struktur komposit dapat menahan beban yang diberikan. Dengan adanya variasi volume serat memungkinkan kekuatan komposit dapat disesuaikan dengan pembebanan dalam perancangan.

Tabel 4.4 dapat pula disajikan dalam bentuk grafik yaitu grafik kekuatan tarik dengan fraksi volume serat (Gambar 4.5) dan grafik regangan dengan fraksi volume serat (Gambar 4.6). Grafik dicari dengan cara mengambil nilai rata-rata kekuatan tarik dan nilai rata-rata regangan pada setiap fraksi volume serat.



Tabel 4.5. Harga rata-rata kekuatan tarik komposit.

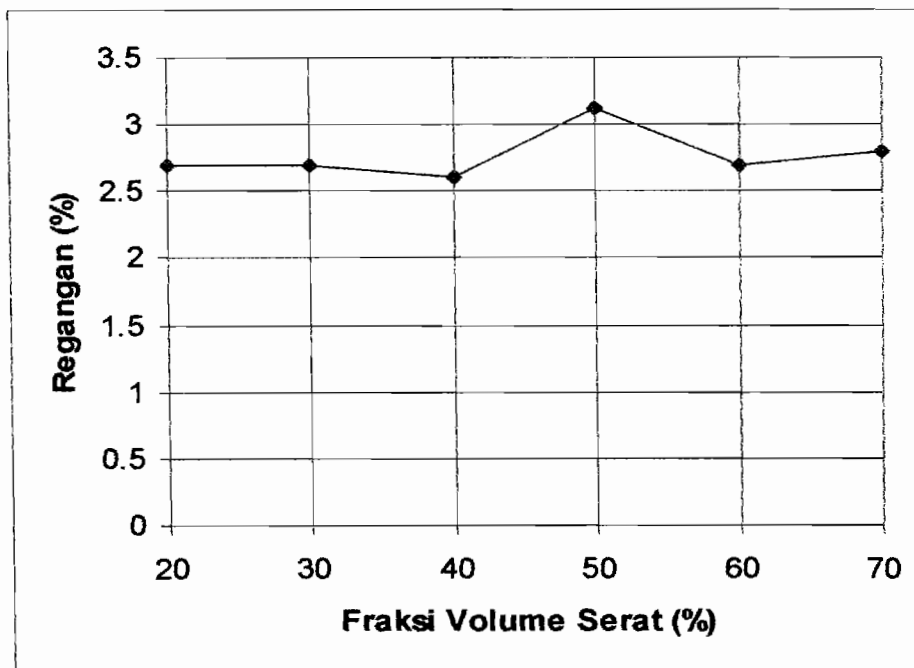
Fraksi Volume Serat	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm ²)
20%	8,35
30%	9.02
40%	10.02
50%	10.5
60%	14.1
70%	13.02



Gambar 4.5. Grafik hubungan kekuatan tarik dan fraksi volume serat.

Tabel 4.6. Harga rata-rata regangan (ϵ) komposit.

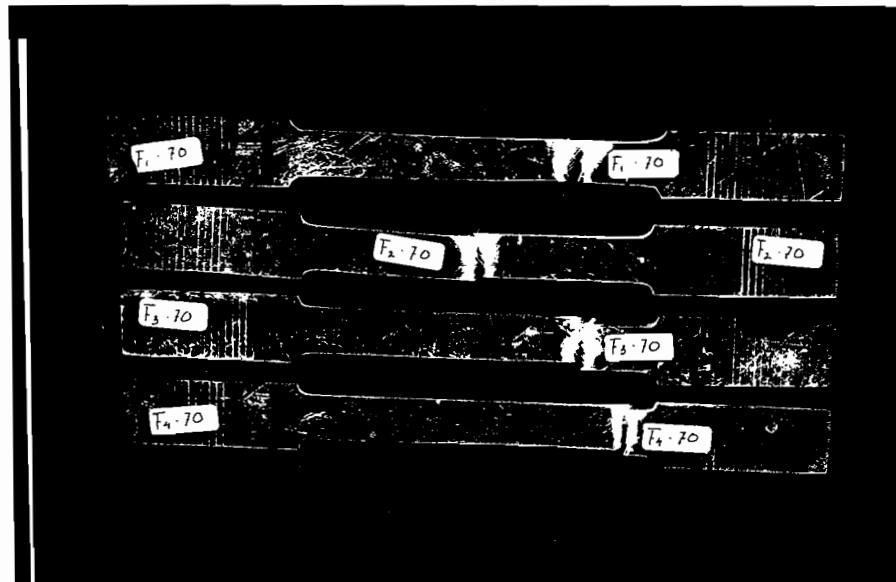
Fraksi Volume Serat	ϵ maks (%)
20%	2,7
30%	2,7
40%	2,6
50%	3,13
60%	2,7
70%	2,8

**Gambar 4.6. Grafik hubungan Regangan dan fraksi volume serat.**

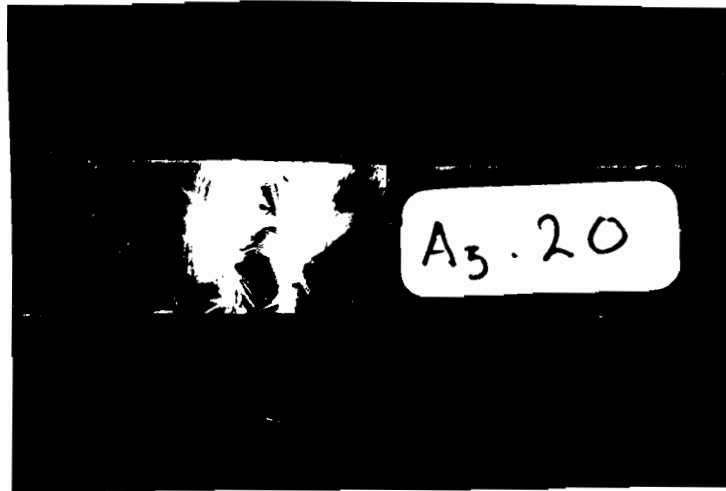
4.3. Model Kerusakan Komposit

Foto kerusakan komposit ditunjukkan oleh Gambar 4.7. memperlihatkan bahwa patahan yang terjadi cenderung tegak lurus dengan arah pembebanan dan terlihat serat yang putus acak akibat beban tarik. Kerusakan yang terjadi pada volume 20% serat cenderung kerusakan jenis patah getas ketika jumlah serat yang terputus masih sedikit. Sedangkan pada volume 70% jumlah serat semakin banyak dan ikatan serat dengan matriks semakin baik. Matriks membantu mendukung beban yang diterima dengan cara mendistribusikan beban tersebut ke sekitarnya.

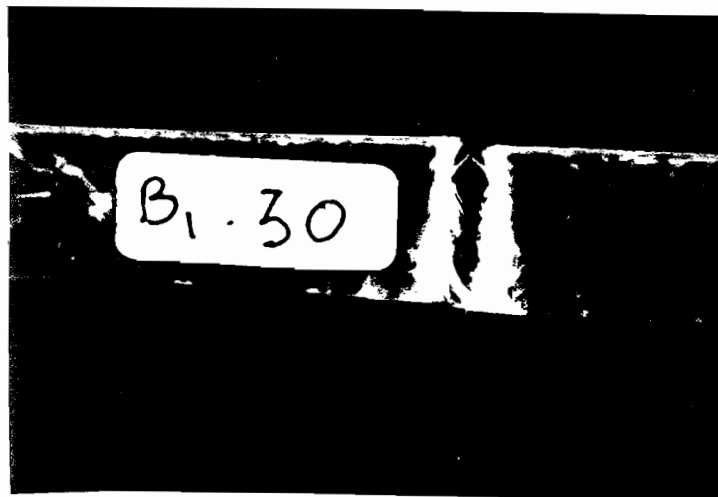
Kerusakan komposit juga terjadi karena adanya gelembung udara yang terjebak pada saat proses pencetakan, kekeroposan ini menyebabkan kekuatan komposit menurun.



Gambar 4.7. Foto kerusakan komposit.



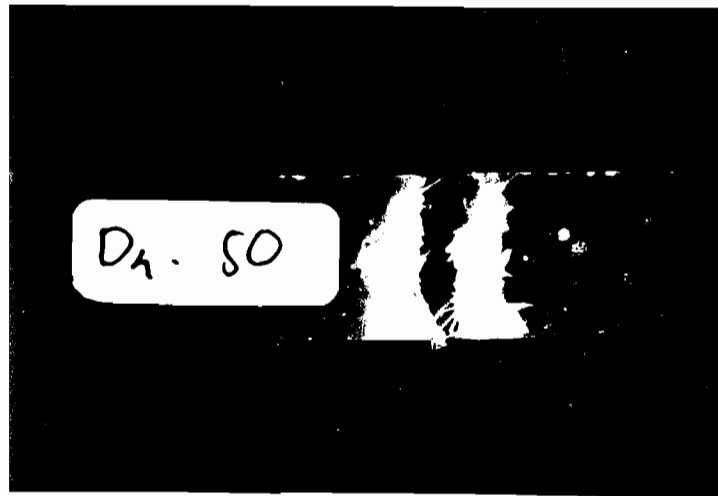
Gambar 4.8. Foto kerusakan komposit dengan fraksi volume serat 20%.



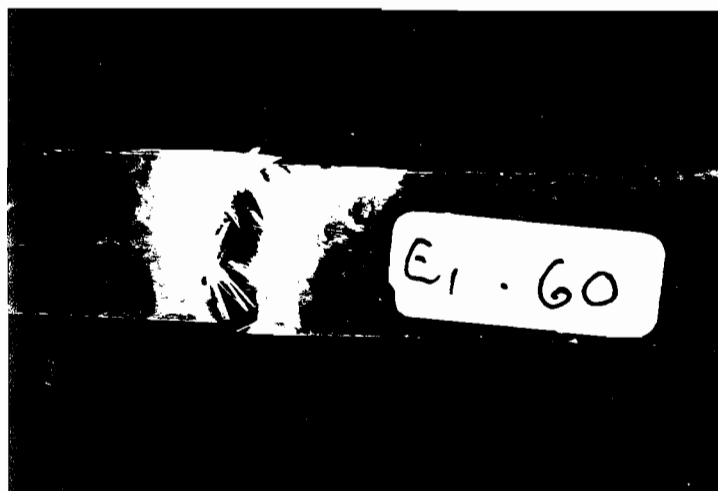
Gambar 4.9. Foto kerusakan komposit dengan fraksi volume serat 30%.



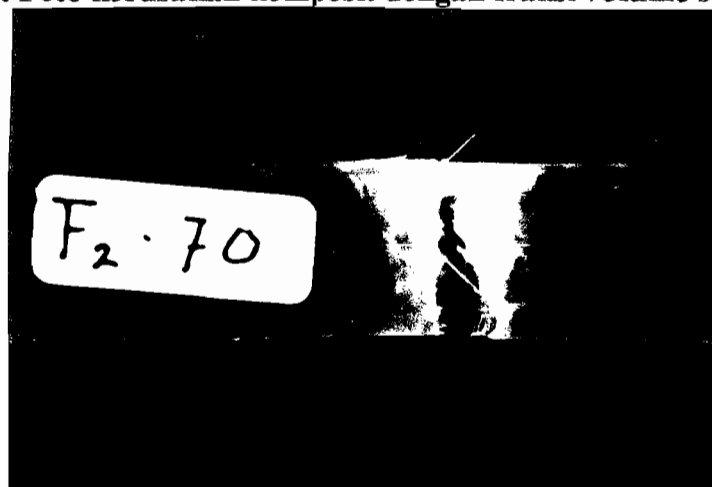
Gambar 4.10. Foto kerusakan komposit dengan fraksi volume serat 40%.



Gambar 4.11. Foto kerusakan komposit dengan fraksi volume serat 50%.



Gambar 4.12. Foto kerusakan komposit dengan fraksi volume serat 60%.



Gambar 4.13. Foto kerusakan komposit dengan fraksi volume serat 70%.

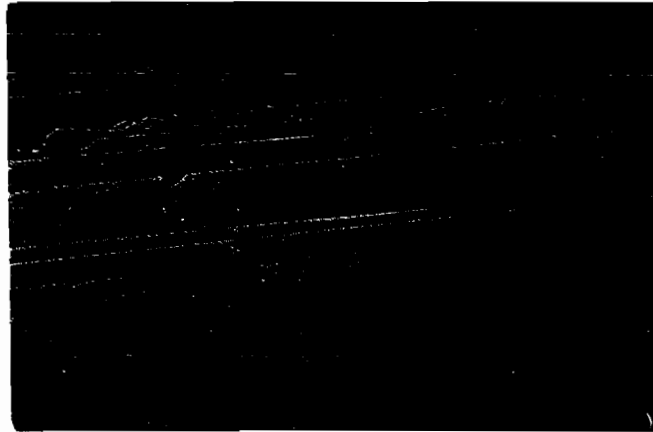
4.4. Analisis Kerusakan Pada Komposit

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

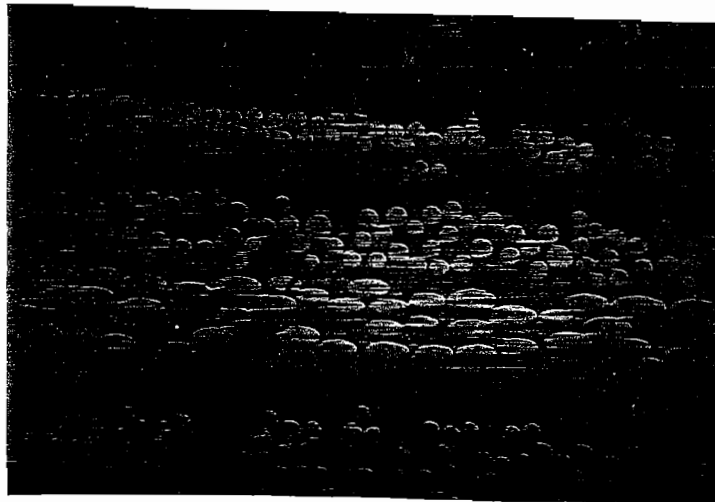
Pada penampang komposit mula yang dapat dilihat dengan bantuan mikroskop setelah komposit dihaluskan dan dipoles dapat menampilkan bentuk penampang serat serta matrik. Foto mikro dengan pembesaran 600×, yang dapat dilihat pada Gambar 4.15. menampilkan bentuk penampang komposit sebelum mengalami uji tarik.

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*.

Pada analisa strukturmikro ini juga menampilkan beberapa konfigurasi kerusakan internal komposit antara lain kerusakan retak mikro pada matrik, seperti yang terlihat pada Gambar 4.17. dan adanya *void* (Gambar 4.18).

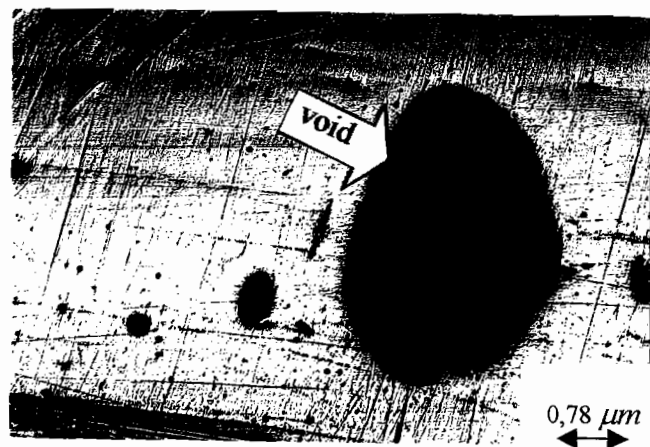


Gambar 4.14. Penampang melintang serat glass-E dan resin.



Gambar 4.15. Penampang Komposit Mula.

Gambar 4.16. Retak Mikro pada Matrik.



Gambar 4.17. Void pada Komposit.

Hasil analisa pemotretan dan pengamatan pada makro struktur patahan berbagai bentuk patahan berbeda-beda. Perbedaan ini dikarenakan pengujian pada bahan yang mempunyai fraksi volume serat yang berbeda-beda. Komposit yang mempunyai kekuatan tarik tinggi penampang patahannya akan terlihat semakin

kasar, karena serat-serat yang tercabut dan patah semakin banyak. 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 4.3. Untuk pengujian matrik resin mempunyai jenis patahan juga berupa patah getas.

4.5. Volume Serat Minimum Bahan Komposit

Dalam penelitian ini volume serat minimum dalam bahan komposit sebanyak 20% dengan volume matrik 80% dari volume total. Sedang untuk nilai maksimum volume serat sebanyak 70% dengan matrik 30% dari volume total.

$$\begin{aligned}V_{fmin} &= (S_{mi}^{(+)} - S_{mf1}) / (S_{f1}^{(+)} - S_{mf1} + S_{mi}^{(+)}) \\ &= (4.8 - 4) / (3.5 - 4 + 4.8) \\ &= 0.186 \\ &= 18.6 \%\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka volume serat minimum yang bisa dipakai adalah 18% dengan volume matrik 82%.

BAB V
PENUTUP

Dari hasil penelitian bahan komposit berpenguat serat gelas E jenis acak diperoleh beberapa kesimpulan antara lain :

- a. Kekuatan tarik rata-rata matrik pengikat sebesar $4,36 \text{ kg/mm}^2$.
- b. Dari hasil pengujian dapat menyimpulkan dari variasi fraksi volume serat antara 20%,30%,40%,50%,60%,70% kekuatan tarik yang paling tinggi pada fraksi volume serat 60%.karena pada serat 60% kemungkinan besar arah serat searah dengan arah uji tarik komposit. Hal ini ditunjukkan oleh hasil pengujian tarik pada fraksi volume serat 20% $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 8,35 \text{ kg/mm}^2$; fraksi volume serat 30% $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 9,02 \text{ kg/mm}^2$; fraksi volume serat 40% $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 10,02 \text{ kg/mm}^2$; fraksi volume serat 50% $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 10,57 \text{ kg/mm}^2$; fraksi volume serat 60% $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 14,1 \text{ kg/mm}^2$; fraksi volume serat 70% $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 13,05 \text{ kg/mm}^2$. 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

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

Hadi, B.K., November 2000, *Mekanika Stuktur 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.

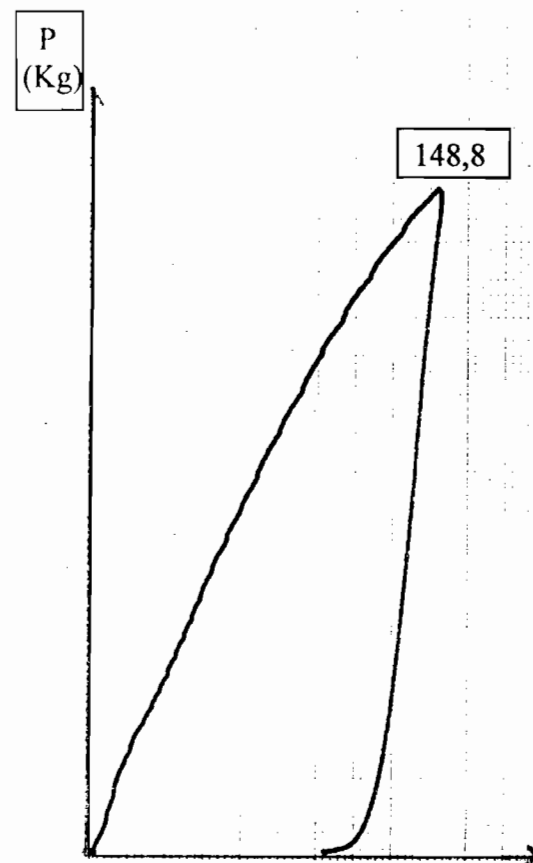
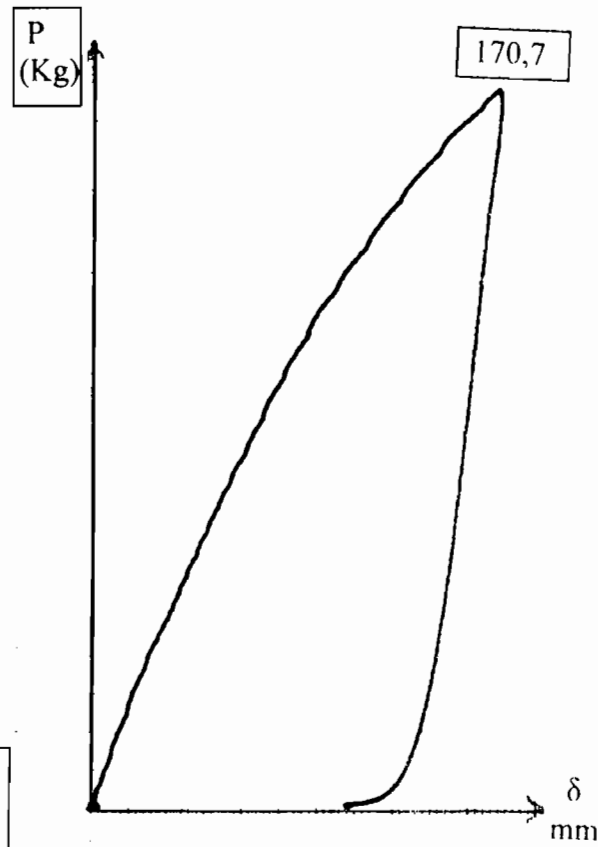
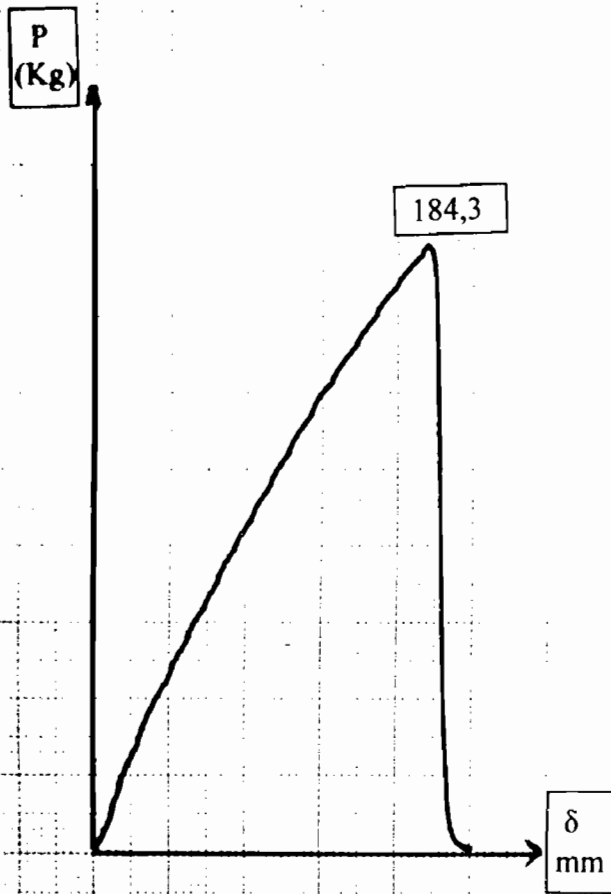
Schwartz, M.M., 1984, *Composites Material Hand Book*, Mc Graw Hill Book Company.

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

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

LAMPIRAN

Grafik Beban VS Pertambahan panjang Pada Matrik



P
(Kg)

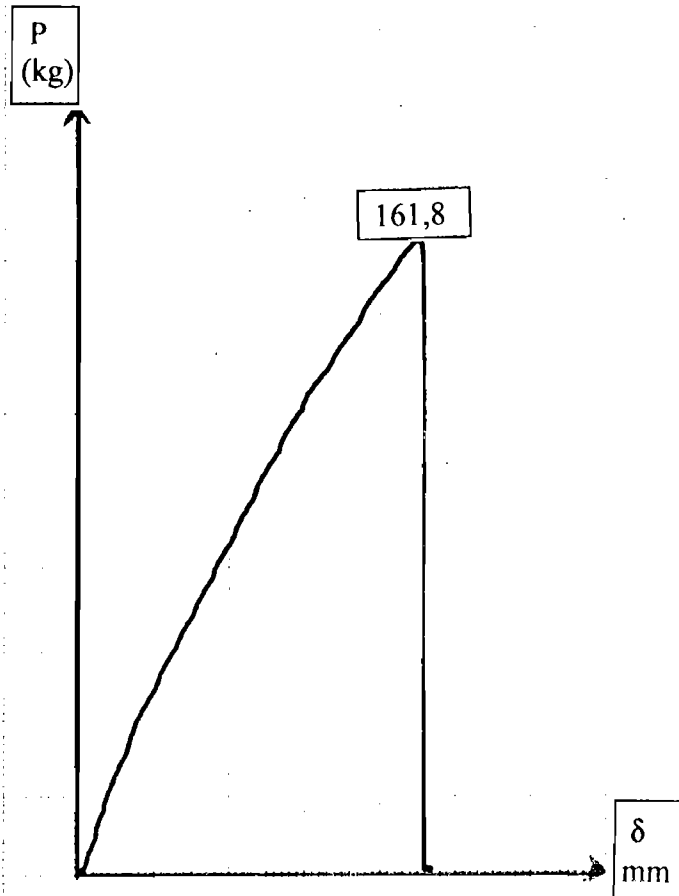
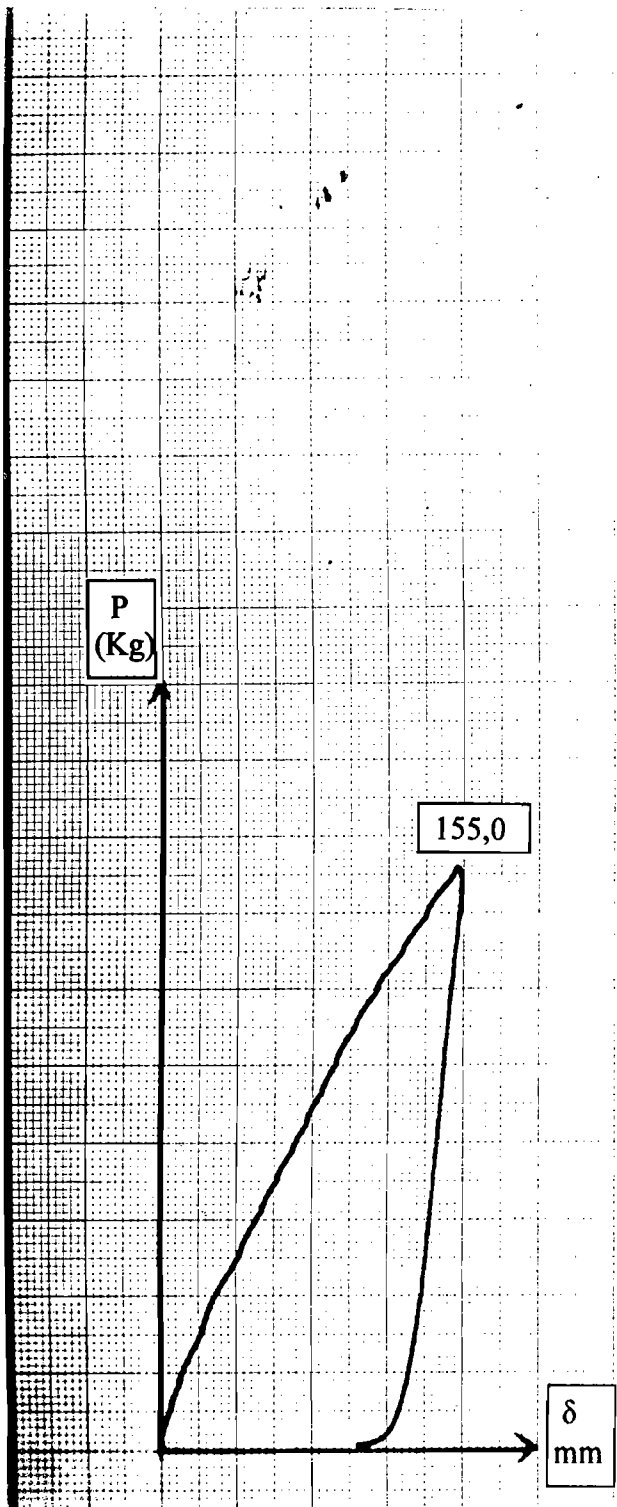
155,0

δ
mm

P
(kg)

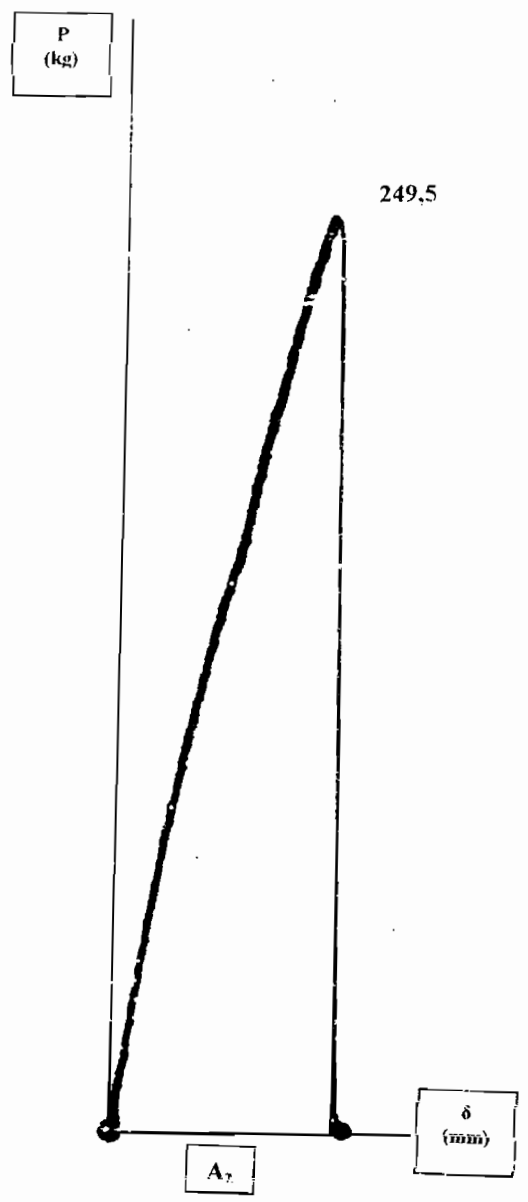
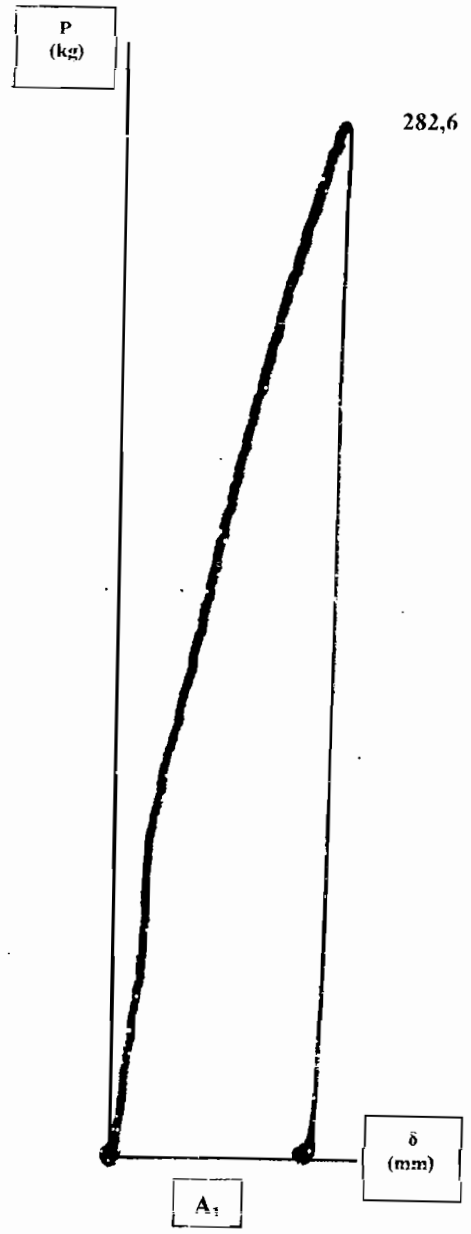
161,8

δ
mm



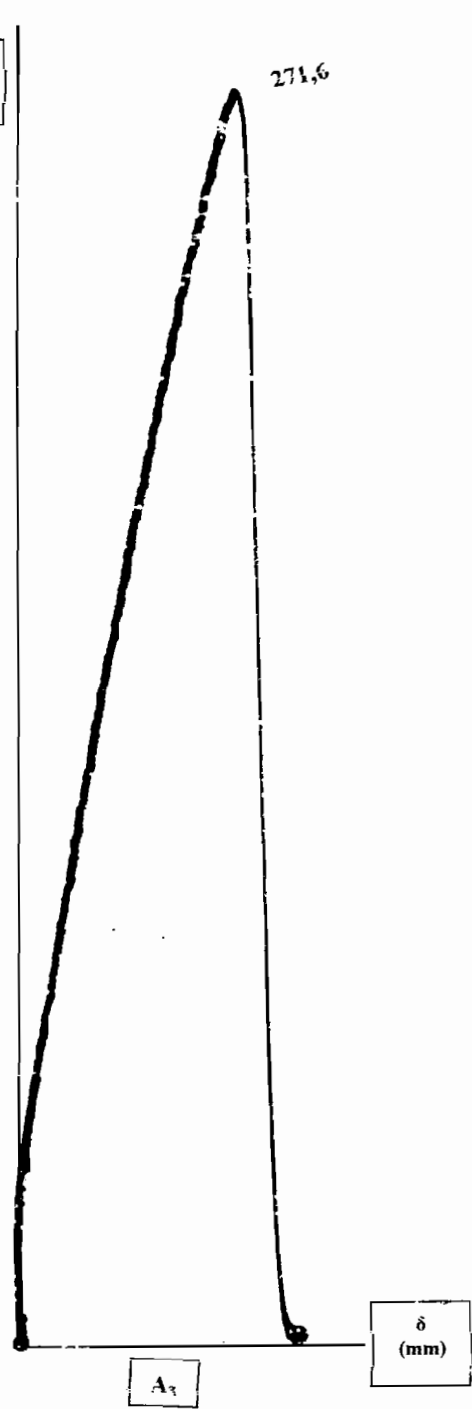
Grafik Beban dengan Pertambahan Panjang Pada Komposit

1.6'

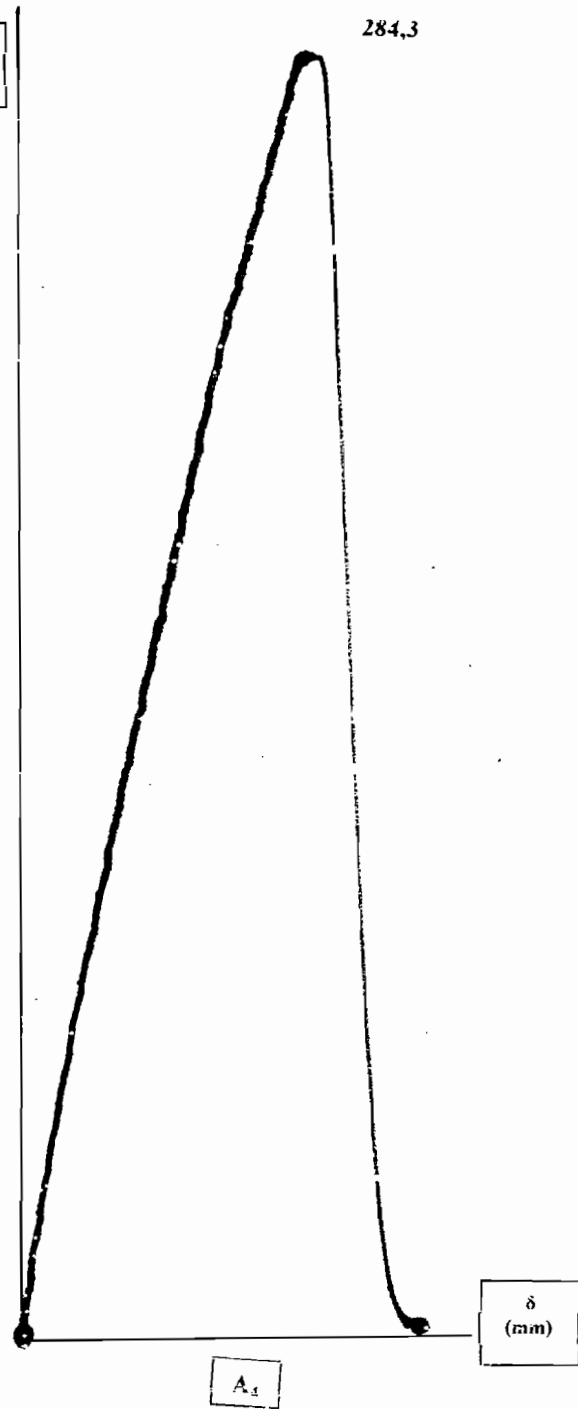


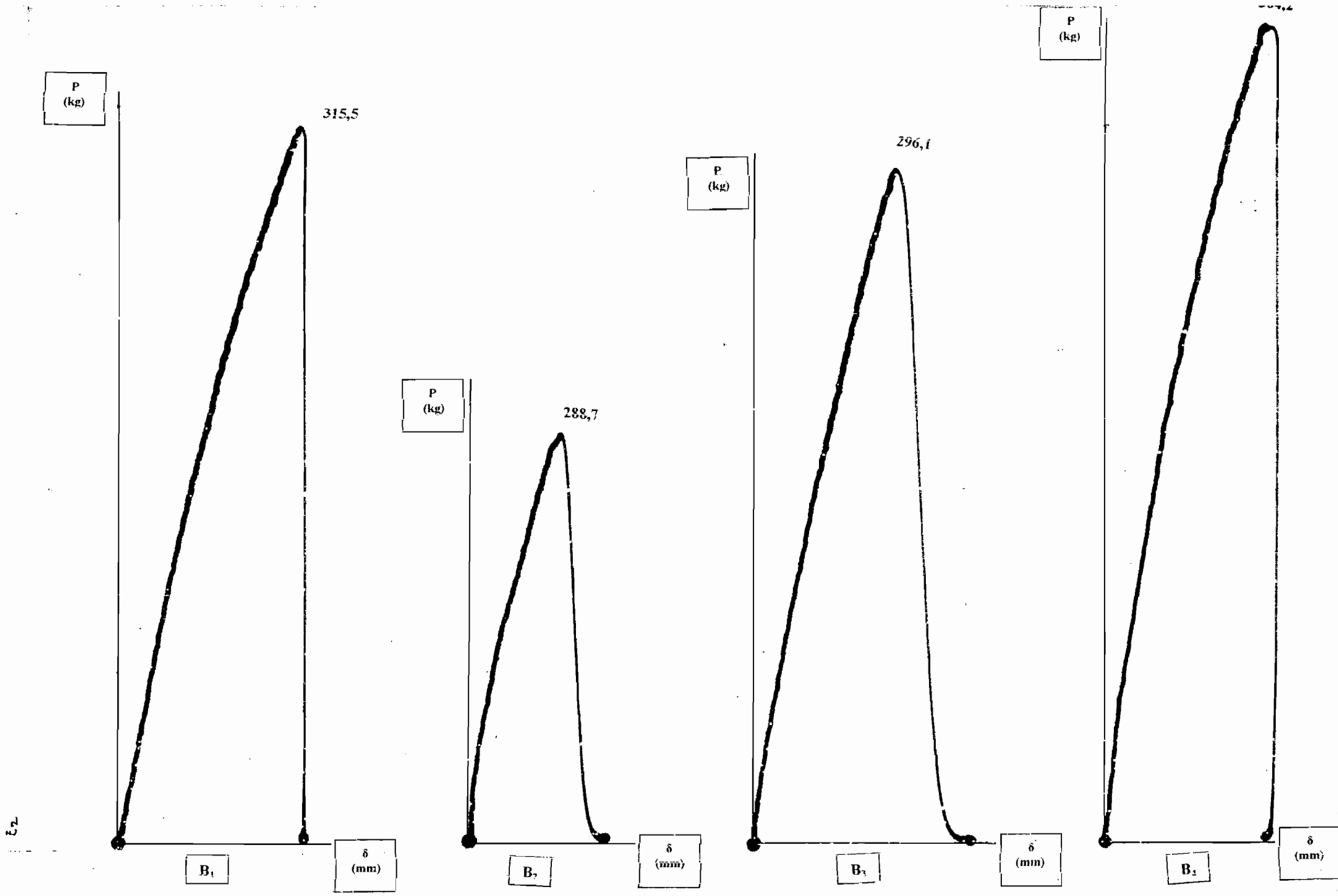
1.61

P
(kg)

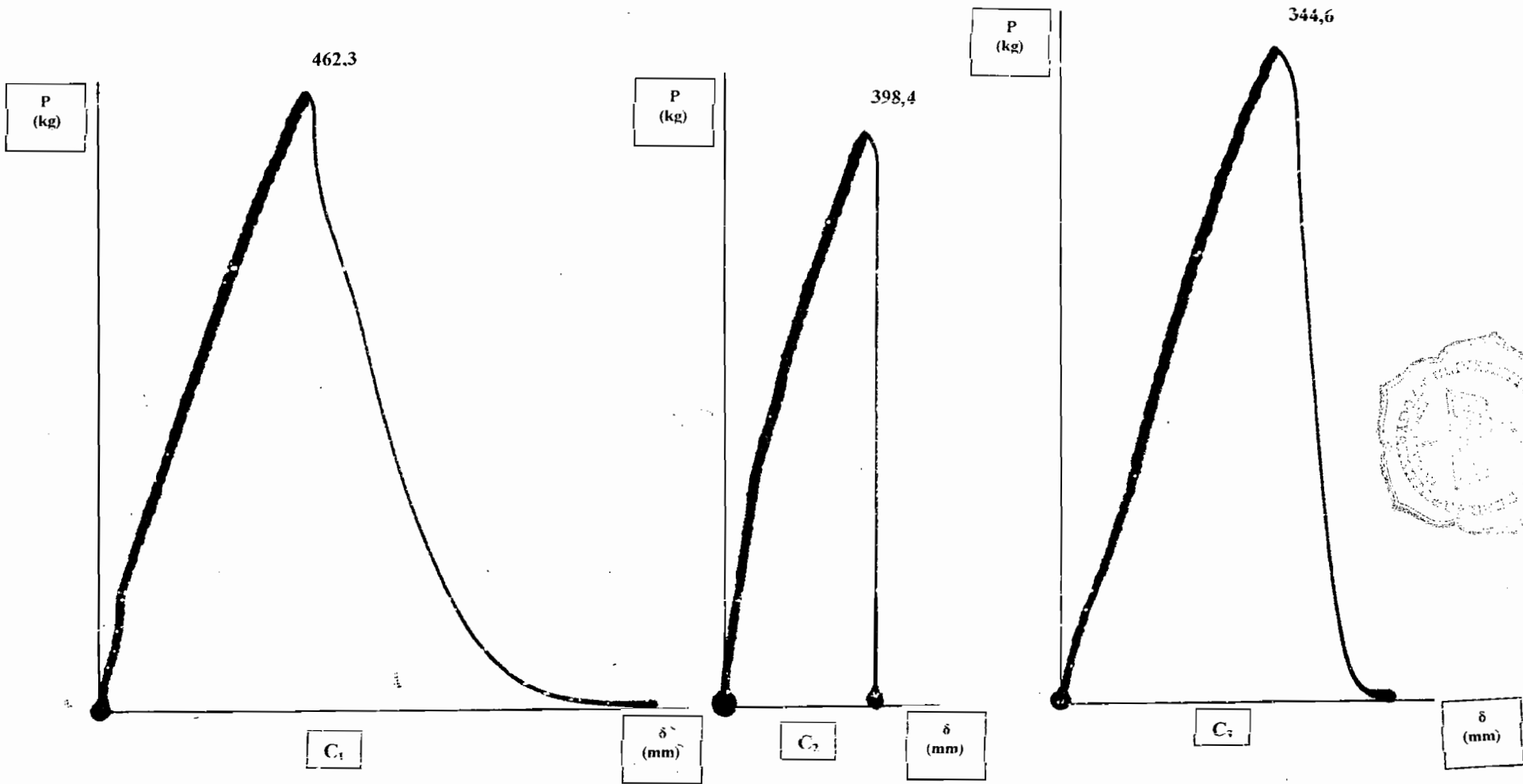


P
(kg)

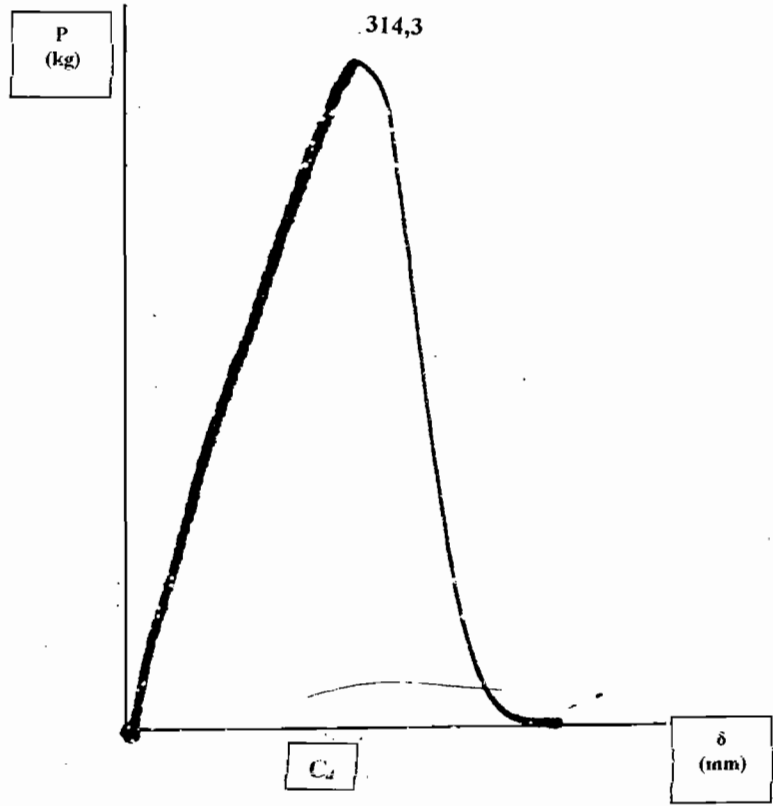


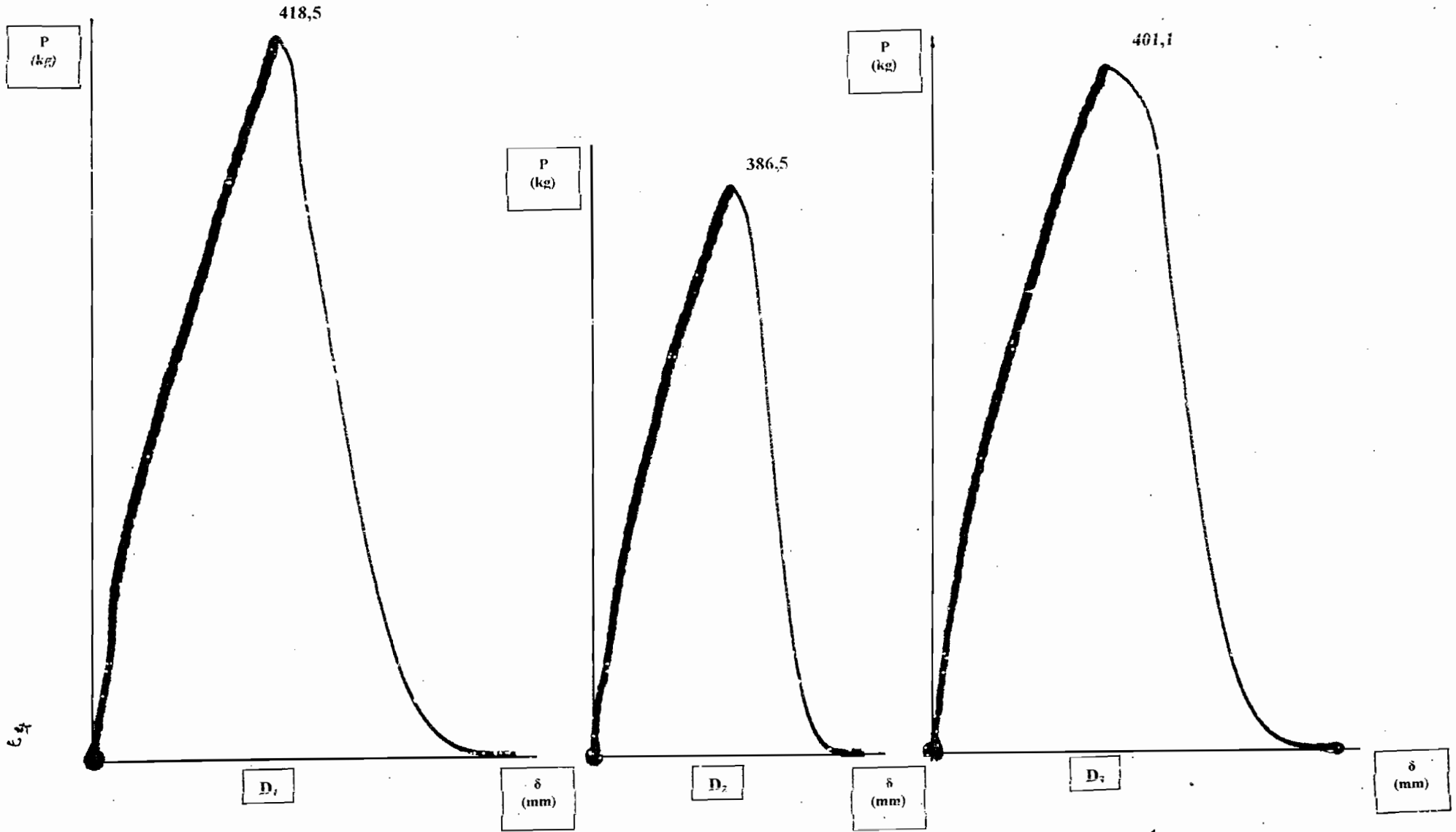


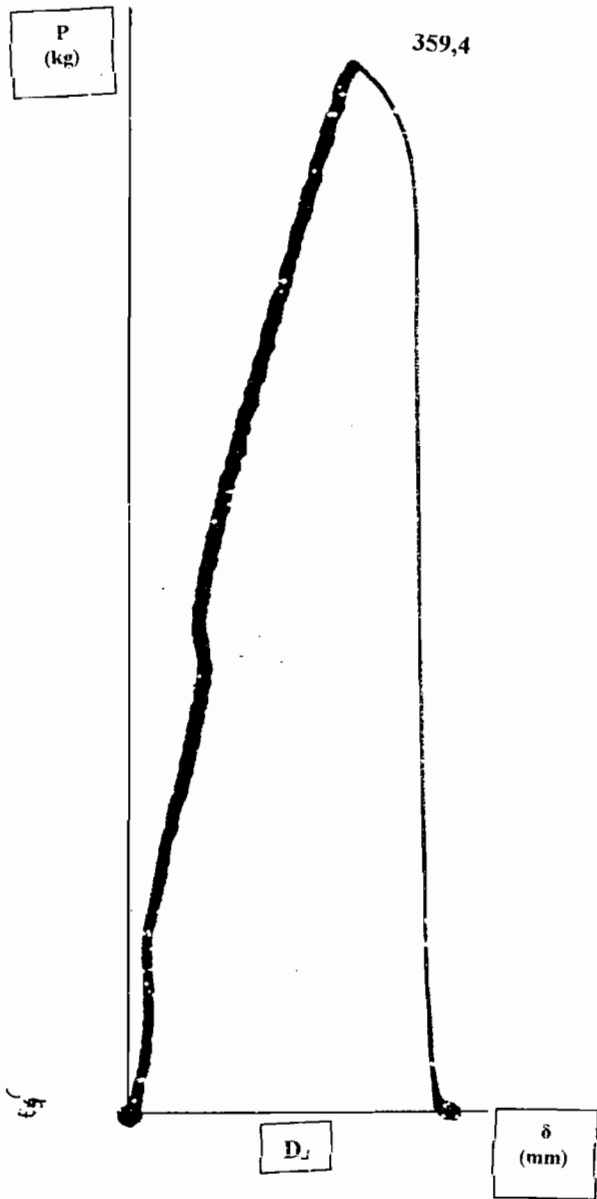
63

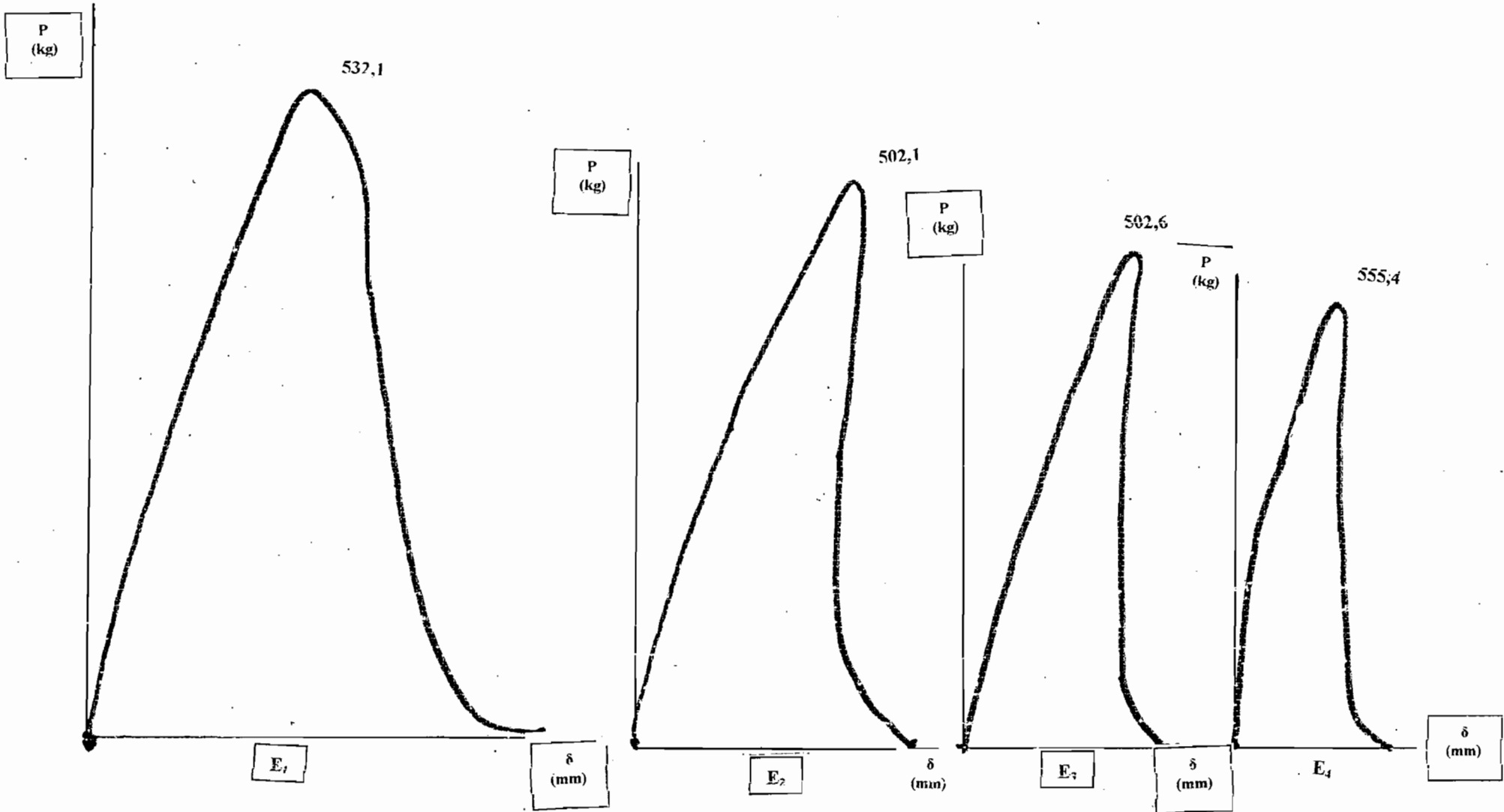


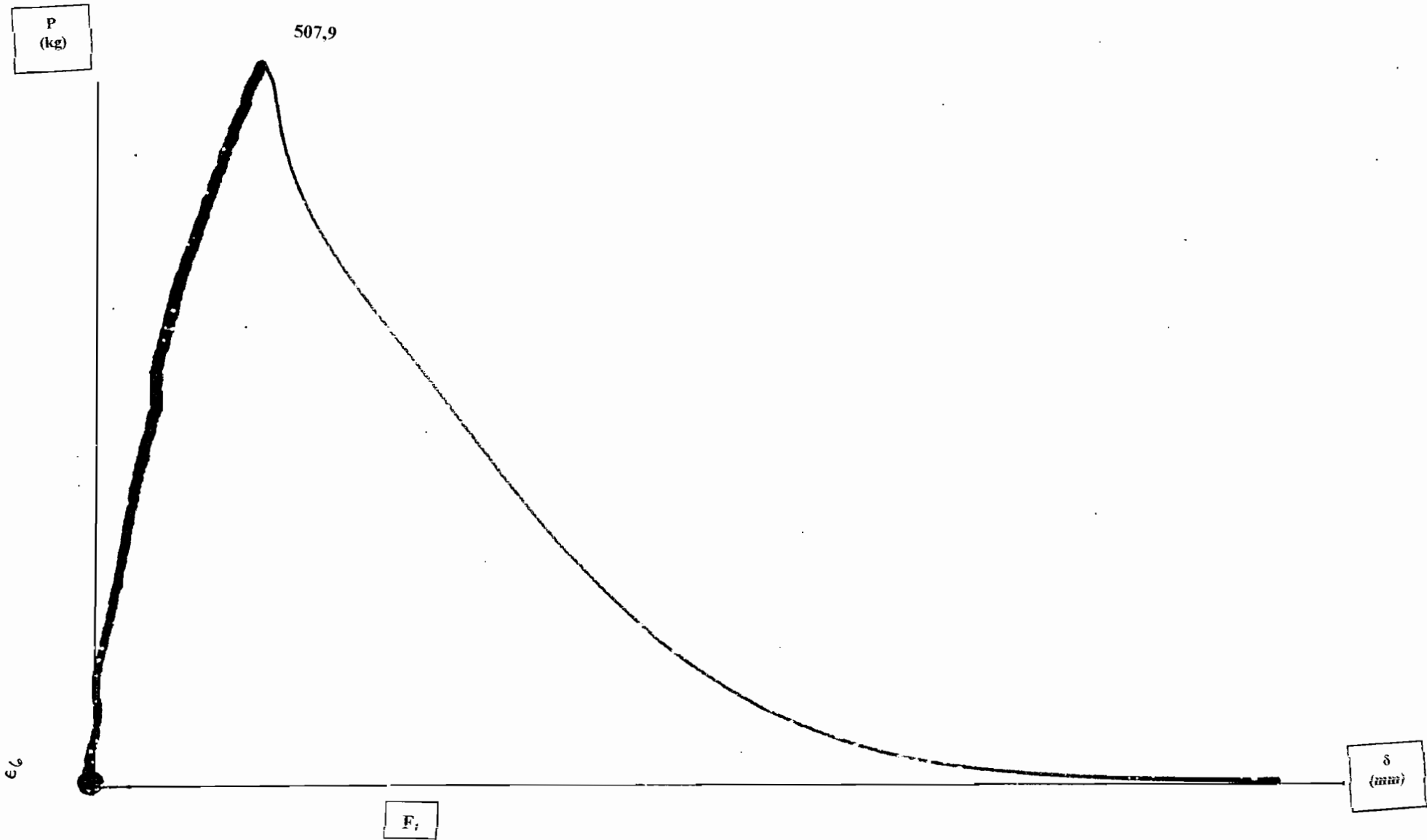
43

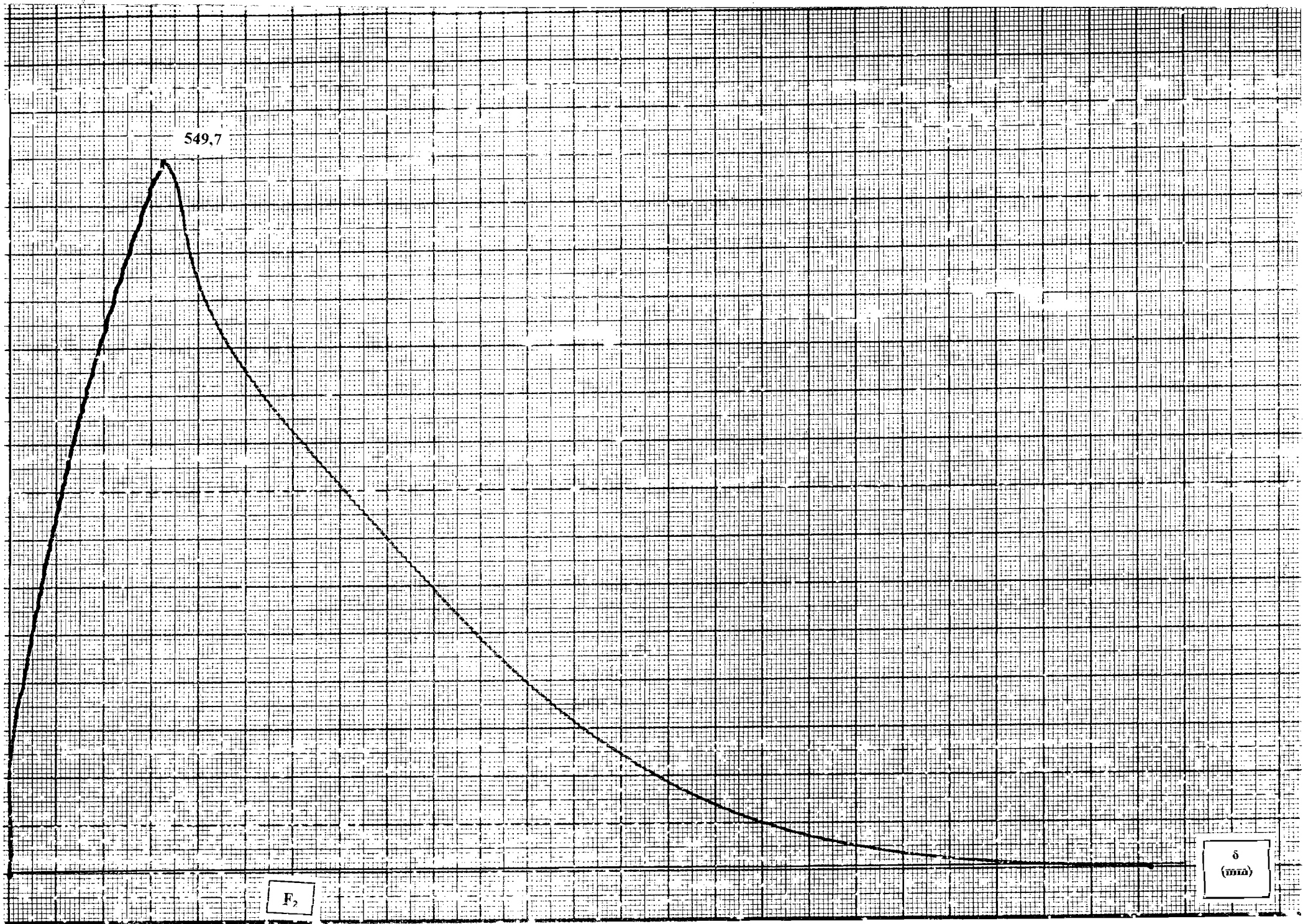


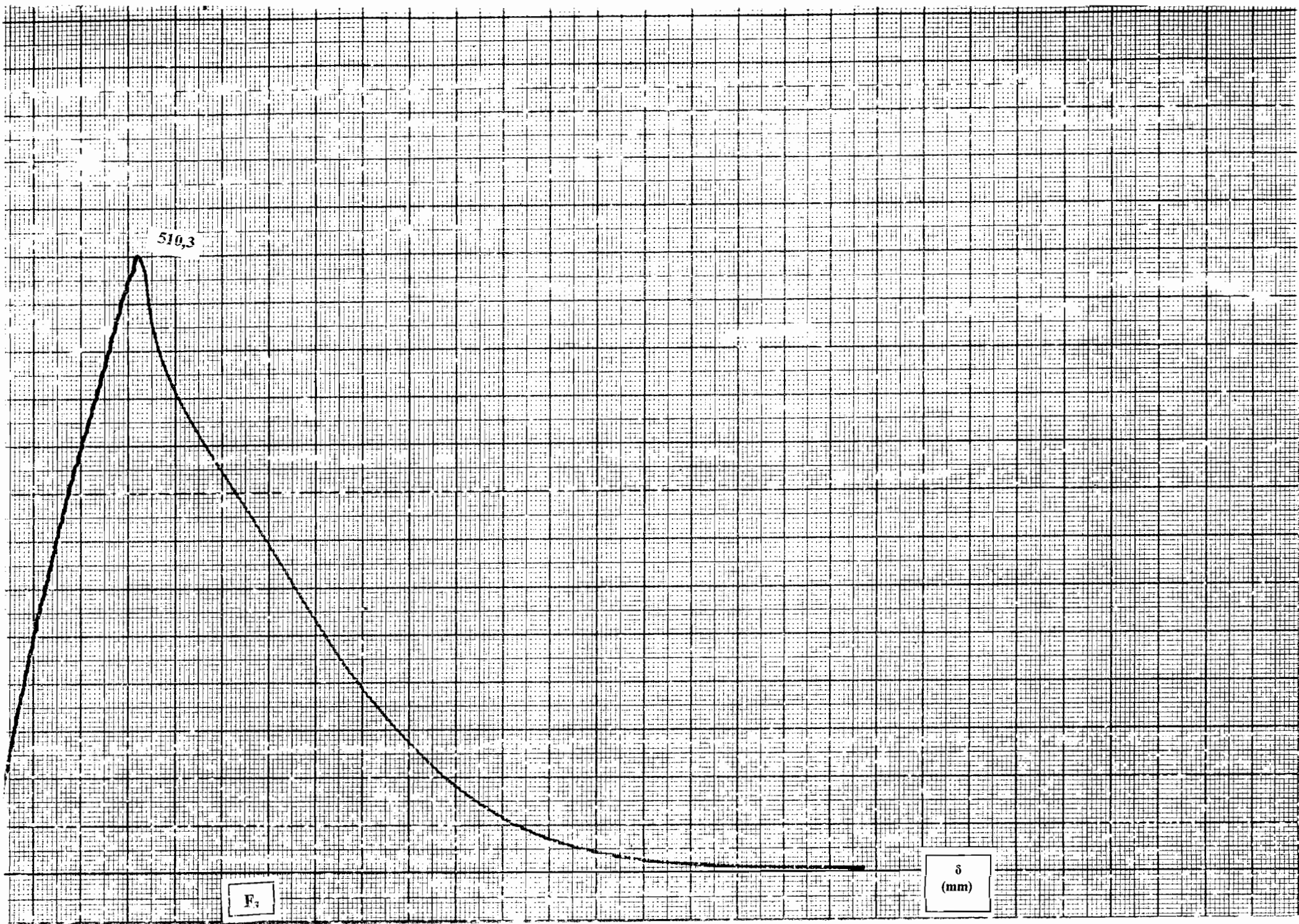


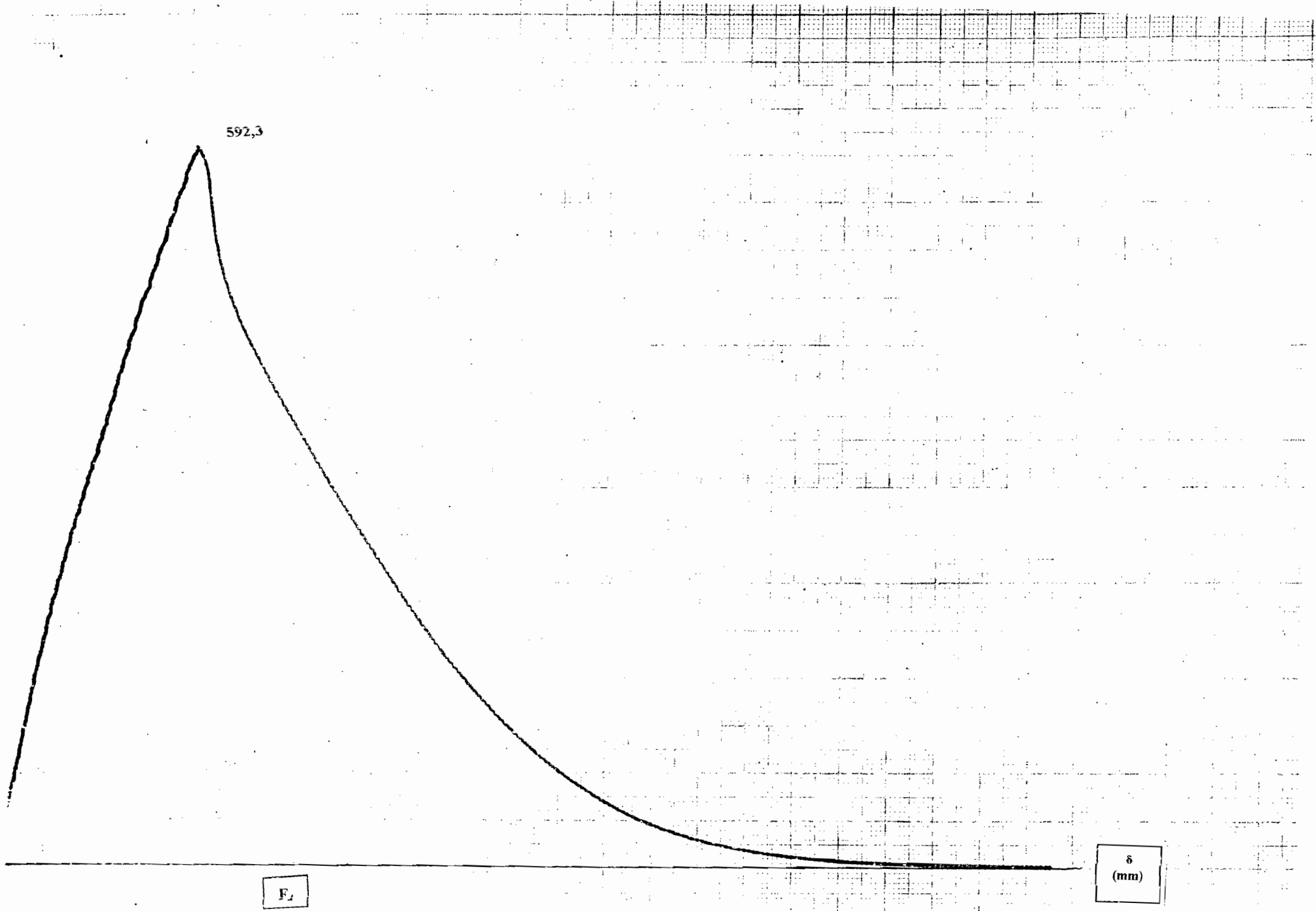




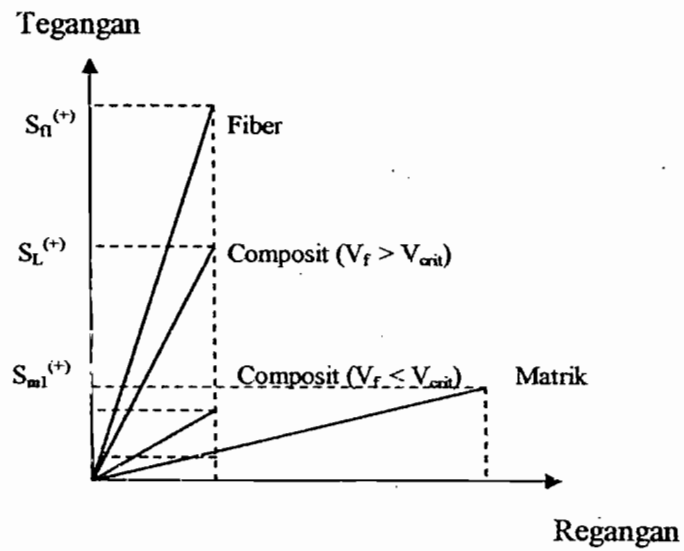




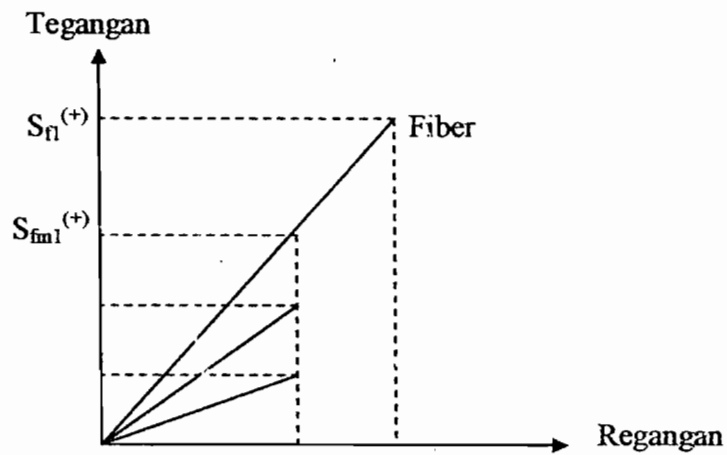




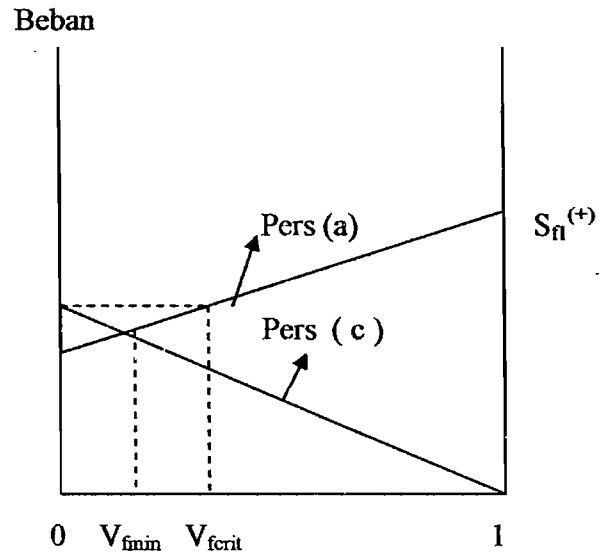
Meneutukan Volume Serat Minimum



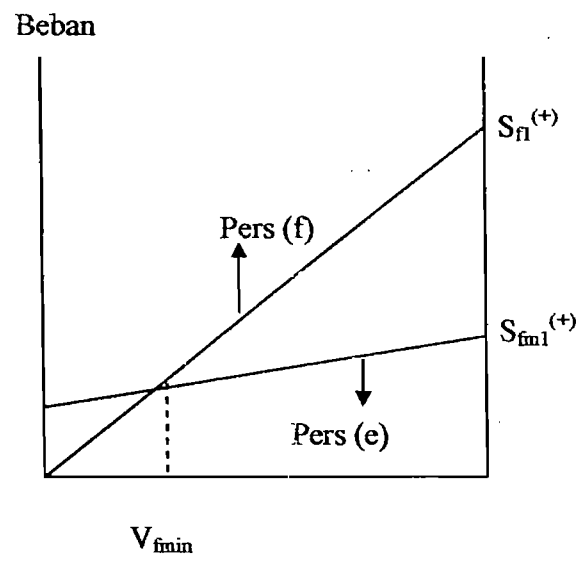
Gambar L3. Grafik tegangan vs regangan fiber



Gambar L4. Grafik tegangan vs regangan matrik



Gambar L5. Fraksi Volume Fiber



Gambar L6. Fraksi Volume Fiber

Untuk menentukan besarnya volume serat pada campuran bahan komposit dapat dikembangkan dari grafik hubungan tegangan vs regangan untuk fiber, matrik dan komposit. Grafik hubungan tegangan vs regangan ini dapat dilihat pada gambar L3 dan L4. Pada gambar L3 regangan matrik ($\epsilon_{m1}^{(+)}$), diasumsikan lebih besar daripada regangan fiber ($\epsilon_f^{(+)}$), yang biasa terjadi pada gabungan matrik polimer. Oleh Kelly dan Davies disingkat dengan persamaan (e). Gambar L4 memperlihatkan dimana regangan fiber lebih besar daripada regangan matrik, yang biasa terjadi pada gabungan matrik keramik. Oleh Hull dibuat persamaan $S_L^{(+)} = S_f^{(+)}V_f$. Untuk kasus yang digambarkan pada L3 dan L4, analisis akan dikembangkan berdasar pada :

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

Untuk kasus pada L3, komposit harus rusak pada sebuah level yang sama dengan regangan serat, $\epsilon_f^{(+)} S_f/E_f$. Secara teori, jika matrik mampu menahan beban yang diberikan setelah fiber mengalami kerusakan, beban ini akan meningkat hingga matrik mengalami kerusakan. Namun untuk seluruh tujuan praktis, kerusakan fiber berarti kerusakan komposit. Sehingga ketika beban tarik fiber mencapai suatu nilai $S_{mf} = E_m \epsilon_f^{(+)}$, beban tarik komposit mencapai pada kekuatan regang ($S_L^{(+)}$). Dan persamaannya menjadi :

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

Namun demikian persamaan ini hanya berlaku jika fraksi volume fiber cukup besar. Seperti yang terlihat pada gambar L3 dan L4, jika fraksi volume fiber $V_f < V_{frit}$, kekuatan komposit dari persamaan ini kurang dari kekuatan matrik, dimana

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

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

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

Seperti terlihat pada gambar L5, persamaannya menjadi :

$$V_{min} = (S_{ml}^{(+)} - S_{mfl}) / (S_{fl}^{(+)} - S_{ml}^{(+)} + S_{ml}^{(+)}) \dots\dots\dots (d)$$

Umumnya pada praktek pembuatan komposit, V_{frit} kurang dari 5 persen. Sehingga $V_{min} < V_{frit}$, kedua nilai ini pasti lebih kecil daripada fraksi volume fiber sebenarnya dari fraksi volume komposit, dan kekuatan tarik komposit. Untuk gambar L5 akan diketahui dengan persamaan (a).

Untuk kasus yang digambarkan pada gambar L5, kerusakan komposit dapat ditetapkan dengan dua cara, tergantung dari apakah kita memilih menggunakan kerusakan fiber atau kerusakan matrik sebagai acuan. Jika kerusakan matrik menjadi acuan, kerusakan komposit akan terjadi pada tingkat regangan yang berkorespondensi

dengan regangan kerusakan matrik ($\epsilon_{m1}^{(+)}$). Sehingga ketika beban matrik mencapai kekuatan maksimal matrik, $S_{m1}^{(+)}$, kekuatan fiber akan mencapai nilai $S_{\bar{m}1} = E_{f1}\epsilon_{m1}^{(+)}$, beban komposit akan mencapai kekuatan komposit ($S_L^{(+)}$) dan persamaannya menjadi :

$$S_L^{(+)} = S_{f1}V_f + S_{m1}^{(+)}(1-V_f) \dots\dots\dots (e)$$

Terkait dengan persamaan (a), persamaan ini hanya memiliki arti fisik untuk suatu kisaran fraksi volume fiber tertentu. Seperti yang terlihat pada gambar L5, jika fiber masih bias bertahan dengan penambahan beban setelah kerusakan matrik, regangan fiber akan mencapai regangan kerusakan fiber ($\epsilon_{f1}^{(+)}$). Karena kerusakan matrik, area penahan beban yang tersisa dari fiber tersebut adalah seperti kekuatan komposit dengan persamaan :

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

Seperti terlihat pada gambar L6, Persamaan (e) dan persamaan (f), dikonversi menjadi :

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

Sehingga untuk $V_f < V_{fmin}$, kekuatan komposit akan diketahui dengan persamaan (e), dan untuk $V_f > V_{fmin}$ kekuatan komposit akan diketahui dengan persamaan (f). Untuk pembuatan komposit, V_{fmin} akan jauh lebih kecil daripada fraksi volume fiber sebenarnya, sehingga kekuatan tarik komposit untuk kasus pada

gambar L4 akan diberi persamaan (f). Seperti pada gambar L3 dan L5, kekuatan komposit untuk kasus ini jauh lebih besar daripada kekuatan untuk seluruh fraksi volume serat.

Fig. 1 (b). Type B Test Piece

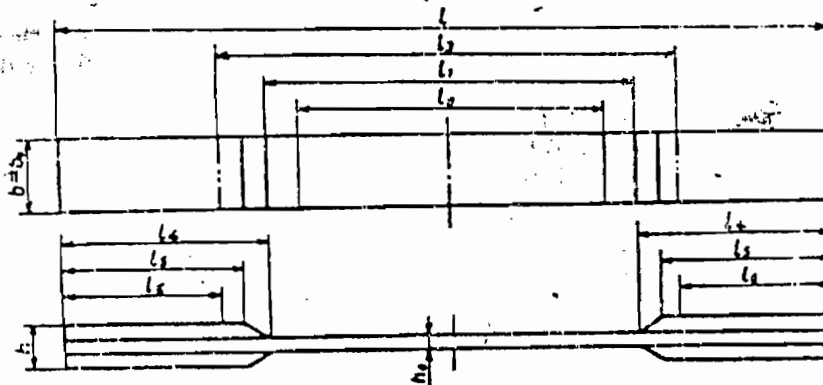


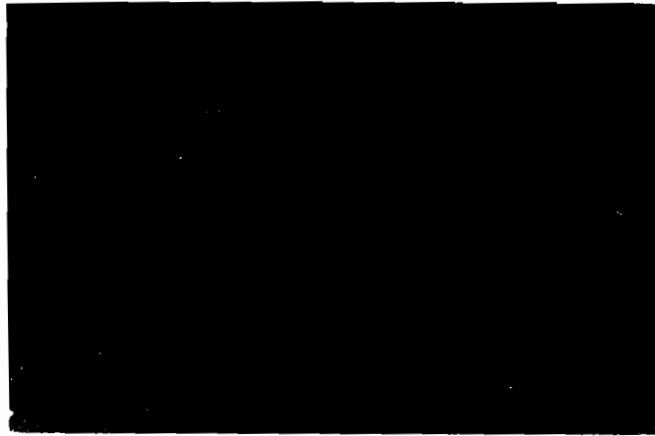
Table 1. Dimensions of Test Piece

Unit: mm

Classification of test piece Part position of test piece	Type A	Type B	
		Type I	Type II
Total length (minimum) l	250	200	250
Gage length l_2	50 ± 0.5	50 ± 0.5	100 ± 0.5
Distance between reinforced part l_1	-	70	120
Length of parallel part l_5	80 ± 0.5	-	-
Distance between grips l_3	170	-	150
Length of reinforced part l_4	-	65	65
Length of the parallel part of reinforced part l_6	-	55	55
Length of gripping part (minimum) l_3	40	50	50
Width at both ends b	45 ± 0.5	10 ± 0.5	25 or 50 ± 0.5
Width of parallel part b_0	25 ± 0.5	10 ± 0.5	25 or 50 ± 0.5
Thickness h_0	2 to 10	1 to 3	2 to 10
Thickness of gripping part h	-	$3h$, max.	$3h$, max.
Radius of shoulder roundness r	60 ± 0.5	-	-

Perbandingan kekuatan dan kekakuan bahan serat dan bahan padatan

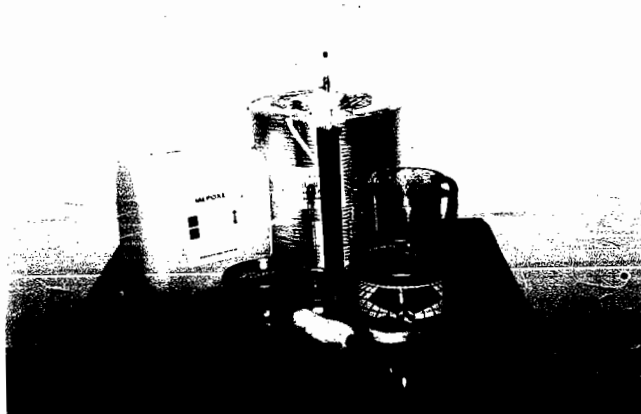
Bahan	Modulus tarik (E , GPa)	Kekuatan tarik (σ_u , GPa)	Masa jenis (ρ , g/cm ³)	Modulus spesifik (E/ρ)	Kekuatan spesifik (σ_u/ρ)
Serat					
E-glass	72,4	3,5	2,54	28,5	1,38
S-glass	85,5	4,6	2,48	34,5	1,85
Grafit(HM)	390,0	2,1	1,90	205,0	1,1
Grafit(HS)	240,0	2,5	1,90	126,0	1,3
Boron	385,0	2,8	2,63	146,0	1,1
Silica	72,4	5,8	2,19	33,0	2,65
Tungsten	414,0	4,2	19,30	21,0	0,22
Beryllium	240,0	1,3	1,83	131	0,71
Aramid	130,0	2,80	1,50	87,0	1,87
Bahan konvensional					
Baja	210,0	0,34 – 2,1	7,8	26,9	0,043 – 0,27
Aluminium	70,0	0,14 – 0,62	2,7	25,9	0,052 – 0,23
Gelas padat	70,0	0,7 – 2,1	2,5	28,0	0,28 – 0,84
Tungsten	350,0	1,1 – 4,1	19,30	18,1	0,057 – 0,21
Beryllium	300,0	0,7	1,83	164,0	0,38



Gambar L-3. Foto Serat Gelas (Random)



Gambar L-4. Foto mesin uji tarik



Gambar L-5. Bahan-bahan pembuat komposit

