

**PENGARUH ORIENTASI SERAT TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS KOMPOSIT  
(SERAT GELAS-E, RESIN JUSTUS 157)**

**TUGAS AKHIR**

Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat sarjana S-1

Program Studi Teknik Mesin  
Jurusan Teknik Mesin



Diajukan Oleh :

**ADJI WIDJAYARTO**

**NIM : 995214043**

**NIRM : 99005112310120043**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SANATA DHARMA  
YOGYAKARTA  
2007**

**THE EFFECT OF ROVING ORIENTATION TO PHYSICAL AND MECHANICAL  
PROPERTIES OF COMPOSITE  
(WITH E- GLASS AND JUSTUS 157 RESIN)**

**FINAL PROJECT**

Presented as Partial Fulfillment of The Requirements  
To Obtain The Sarjana Teknik Degree  
In Mechanical Engineering



By :

**Adji Widjayarto**

**Student Number : 995214043**

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
ENGINEERING FACULTY  
SANATA DHARMA UNIVERCITY  
YOGYAKARTA**

**2007**

## TUGAS AKHIR

### PENGARUH ORIENTASI SERAT TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS KOMPOSIT (SERAT GELAS-E, RESIN JUSTUS 157)

Disusun oleh:

Nama : Adji Widjayarto

NIM : 995214043

Telah disetujui oleh :

Pembimbing Utama



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

Tanggal : Februari 2007



## TUGAS AKHIR

### PENGARUH ORIENTASI SERAT TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS KOMPOSIT (SERAT GELAS-E, RESIN JUSTUS 157)

Dipersiapkan dan ditulis oleh:

NAMA : Adji Widjayarto

NIM : 995214043

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal, 26 Januari 2007  
dan dinyatakan memenuhi syarat

#### Susunan Dewan Penguji

Ketua : Ir. Rines, M.T

Sekretaris : Budi Sugiharto, S.T., M.T.

Anggota : Doddy Purwadianto, S.T., M.T.



*[Handwritten signatures of the three members of the examination board: Ir. Rines, Budi Sugiharto, and Doddy Purwadianto.]*

Yogyakarta; Februari 2007

Fakultas Teknik,

Universitas Sanata Dharma Yogyakarta,

Dekan



*[Handwritten signature of Ir. Greg. Heliarko.]*

Ir. Greg. Heliarko, S.J., SS., B.ST., MA., M.Sc.

## **PERYATAAN**

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, Januari 2007

Adji Widjayarto

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan yang berupa dorongan, motivasi, bimbingan, sarana, materi, sehingga dapat terselasaikannya Tugas Akhir ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan ini, antara lain :

1. Romo Dr. Ir. P. Wiryono Priyotamtama, SJ., Rektor Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Romo Ir. Greg. Heliarko, SJ., SS., B. S. T., M. A., M.Sc., Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
3. Bapak Yosef Agung Cahyanta, S.T., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
4. Bapak Doddy Purwadianto, S.T., M.T. Pembimbing Utama Tugas Akhir.
5. Bapak Budi Sugiharto, S.T., M.T., Dosen Pembimbing Akademik.
6. Bapak Martono, laboran dari laboratorium Ilmu Logam.
7. Segenap Dosen dan Karyawan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
8. Bapak dan Ibu Sukadi Hadiwijaya yang telah memberikan banyak sekali dukungan baik materi maupun semangat yang sangat besar.

9. Teman-teman Teknik Mesin angkatan '99 USD

10. Lidia Kartikasa, terimakasih untuk saran dan semangatnya.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, kekeliruan, dan jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi perbaikan dikemudian hari.

Semoga penulisan Tugas Akhir ini dapat memberikan tambahan wawasan dan pengetahuan yang berguna bagi semua pembaca khususnya mengenai bahan komposit.

Yogyakarta, Januari 2007

Penulis

## INTISARI

Komposit merupakan salah satu bahan teknik yang banyak digunakan dan di kembangkan saat ini, salah satunya adalah bahan komposit berpenguat serat gelas-E. Untuk mengetahui keunggulan dan sifat dari bahan komposit ini maka dilakukan pengujian terhadap bahan komposit tersebut. Komposit yang dibuat terdiri atas : serat gelas-E jenis *woven roving* sebagai bahan penguat, resin justus 157 dan katalis *metoxene ( methyle ethyl ketone peroxide)* sebagai bahan pengikat, dengan tujuan yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi orientasi serat terhadap sifat fisis dan mekanis komposit.

Pengujian dilakukan dengan cara melakukan pengujian tarik pada bahan komposit dan bahan penyusunnya. Pengujian matrik pengikat menggunakan standar uji tarik ASTM D 638, pengujian serat penguat dengan benda uji serat berupa satu helai serat gelas-E dengan menggunakan mesin uji tarik serat, pengujian bahan komposit sesuai standar uji tarik ASTM D 3039 dengan orientasi serat  $0^{\circ}, 15^{\circ}, 30^{\circ}, 45^{\circ}, 60^{\circ}, 75^{\circ}$ .

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik serat lebih besar dari matrik pengikat, sedangkan kekuatan tarik komposit berada diantara kekuatan tarik serat dan matrik pengikatnya. Kekuatan tarik komposit yang terbesar pada arah orientasi  $0^{\circ}$  dan terendah pada  $45^{\circ}$ . Sudut kritis bahan komposit dengan serat anyam terjadi pada sudut  $45^{\circ}$ , sehingga harus dihindari dalam pembuatan bahan komposit. Arah orientasi serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit.

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b> .....	i
<b>Halaman Pengesahan</b> .....	ii
<b>Pernyataan</b> .....	iv
<b>Kata Pengantar</b> .....	v
<b>Intisari</b> .....	vii
<b>Daftar Isi</b> .....	viii
<b>Daftar Gambar</b> .....	xi
<b>Daftar Tabel</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	4
1.3. Batasan Masalah .....	4
1.4. Sistematika Pembahasan.....	5
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	6
2.1. Komposit (Fiber Glass Reinforced Plastics).....	6
2.2. Bahan Penyusun Komposit .....	11
2.2.1. Serat Gelas .....	11
2.2.2. Polyester.....	19
2.2.3. Bahan-bahan tambahan.....	21
2.3. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi kekuatan GFRP .....	23
2.3.1. Jenis Serat.....	23

2.3.2. Orientasi Serat .....	24
2.3.3. Komposisi dan Bentuk Serat .....	25
2.3.4. Faktor Matriks .....	26
2.3.5. Fase Ikatan ( <i>Bonding Phase</i> ) .....	27
2.4. Mekanika Komposit .....	28
2.5. Modulus Kegagalan Laminat .....	29
2.5.1. Modulus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal .....	29
2.5.2. Modulus Kegagalan Akibat Beban Tarik Trasversal .....	31
2.5.3. Modulus Kegagalan Internal Mirooskopik .....	32
2.6. Menentukan Volume Serat M .....	33
<b>BAB III CARA PENELITIAN</b> .....	<b>39</b>
3.1. Skema Jalan Penelitian .....	39
3.2. Penyiapan Benda Uji .....	40
3.2.1. Alat dan Bahan .....	40
3.2.2. Pembuatan Cetakan .....	44
3.3. Pembuatan Benda Uji .....	45
3.3.1. Pembuatan Benda Uji Matrik Pengikat .....	45
3.3.2. Pembuatan Benda Uji Komposit .....	47
3.3.3. Cara Pemotongan Benda Uji Komposit .....	52
3.4. Standar dan Ukuran Benda Uji .....	53
3.4.1. Benda Uji Serat Penguat .....	53
3.4.2. Benda Uji Matrik Pengikat .....	54
3.4.3. Benda Uji Komposit .....	55

3.5. Metode Penelitian .....	56
3.5.1. Pengujian Tarik Serat .....	56
3.5.2. Pengujian Tarik Matrik Pengikat .....	56
3.5.3. Pengujian Tarik Komposit.....	57
3.6. Perhitungan Masa Jenis Matrik Pengikat dan Komposit .....	57
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>59</b>
4.1. Hasil Pengujian Tarik Serat .....	59
4.2. Hasil Pengujian Tarik Matrik.....	60
4.3. Hasil Pengujian Tarik Komposit.....	63
4.4. Analisa Kerusakan Pada Komposit.....	68
4.5. Analisa Data dan Pembahasan .....	76
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>79</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> Grafik kekuatan tarik komposit dan elemen penyusunnya .....	7
<b>Gambar 2.2.</b> Diagram klasifikasi komposit serat .....	9
<b>Gambar 2.3.</b> Diagram hubungan antara kekuatan, fraksi volume dan susunan serat.....	25
<b>Gambar 2.4.</b> Modulus kerusakan pada bahan komposit akibat beban tarik longitudinal .....	30
<b>Gambar 2.5.</b> Kegagalan pada komposit akibat beban tarik transversal.....	32
<b>Gambar 2.6.</b> Grafik tegangan vs regangan fiber .....	33
<b>Gambar 2.7.</b> Grafik tegangan vs regangan matrik.....	34
<b>Gambar 2.8.</b> Grafik fraksi volume fiber .....	34
<b>Gambar 2.9.</b> Grafik fraksi volume serat .....	35
<b>Gambar.3.1.</b> Skema jalan penelitian.....	39
<b>Gambar 3.2.</b> Foto alat dan bahan yang digunakan untuk pembuatan komposit	41
<b>Gambar.3.3.</b> Dimensi cetakan matrik pengikat .....	45
<b>Gambar 3.4.</b> Dimensi cetakan komposit.....	47
<b>Gambar 3.5.</b> Rangkaian kesejajaran serat dalam cetakan komposit.....	51
<b>Gambar 3.6.</b> Pemotongan benda uji sesuai dengan arah orientasi serat yang digunakan .....	53
<b>Gambar 3.7.</b> Dimensi benda uji tarik serat.....	53
<b>Gambar 3.8.</b> Dimensi benda uji tarik matrik pengikat .....	54

<b>Gambar 3.9.</b> Foto benda uji matrik pengikat.....	54
<b>Gambar 3.10.</b> Dimensi benda uji tarik komposit.....	55
<b>Gambar 3.11.</b> Foto benda uji tarik komposit.....	55
<b>Gambar 4.1.</b> Keterangan ukuran lebar dan tebal matrik pengikat.....	61
<b>Gambar 4.2.</b> Foto makro bentuk patahan matrik pengikat.....	62
<b>Gambar 4.3.</b> Keterangan ukuran lebar dan tebal komposit.....	63
<b>Gambar 4.4.</b> Grafik kekuatan tarik dan sudut orientasi serat.....	67
<b>Gambar 4.5.</b> Grafik hubungan <i>elongation</i> dan sudut orientasi serat.....	68
<b>Gambar 4.6.</b> Foto kerusakan komposit.....	68
<b>Gambar 4.7.</b> Foto mikro penampang melintang serat E-Glass dan resin (200x)	71
<b>Gambar 4.8.</b> Foto mikro penampang komposit mula (200x).....	71
<b>Gambar 4.9.</b> Foto mikro kerusakan debonding pada komposit.....	72
<b>Gambar 4.10.</b> Foto mikro retak mikro pada matrik (200x).....	72
<b>Gambar 4.11.</b> Foto mikro void pada komposit (200x).....	73
<b>Gambar 4.12.</b> Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 0°	73
<b>Gambar 4.13.</b> Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 15°	74
<b>Gambar 4.14.</b> Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 30°	74
<b>Gambar 4.15.</b> Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 45°	75
<b>Gambar 4.16.</b> Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 60°	75
<b>Gambar 4.17.</b> Foto makro bentuk patahan komposit pada orientasi arah serat 75°	76

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1.</b> Dimensi cetakan matrik pengikat .....	45
<b>Tabel 3.2.</b> Dimensi cetakan komposit .....	47
<b>Tabel 4.1.</b> Sifat mekanik serat gelas-E .....	60
<b>Tabel 4.2.</b> Ukuran lebar dan tebal matriks pengikat.....	61
<b>Tabel 4.3.</b> Sifat mekanik matrik pengikat .....	61
<b>Tabel 4.4.</b> Ukuran lebar dan tebal komposit .....	63
<b>Tabel 4.5.</b> Kekuatan komposit serat gelas-E terhadap variasi arah orientasi serat	64
<b>Tabel 4.6.</b> Harga rata-rata kekuatan tarik komposit .....	66
<b>Tabel 4.7.</b> Harga rata-rata <i>elongation</i> ( $\epsilon$ ) komposit .....	67

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

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

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

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

Bahan komposit dalam penggunaan maupun penggolongannya dapat dijabarkan menjadi sangat luas. Dalam penggunaannya, jenis komposit sering dibedakan menurut bentuk dari bahan penguat yang terdapat pada matriks pengikatnya atau dapat juga dibedakan menurut bahan yang menjadi matriks pengikat itu sendiri. Bahan penguat untuk komposit dapat berupa jenis serat maupun jenis non serat (partikel dari *flake*). Sedangkan penggolongan untuk komposit menurut jenis matriks yang digunakan dapat dibedakan menjadi komposit bermatriks pengikat jenis logam, keramik maupun polimer.

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

Komposit serat merupakan perpaduan antara serat sebagai komponen penguat dan matriks sebagai komponen pengikat serat. Serat biasanya mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih besar daripada matriks. Pada saat serat dan matriks dipadukan untuk menghasilkan komposit, kedua komponen tersebut tetap

mempertahankan sifat-sifat yang dimilikinya dan secara langsung akan berpengaruh terhadap sifat komposit yang dihasilkan.

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

Bahan komposit sering diaplikasikan sebagai komponen penunjang dalam produktivitas industri kimia, industri pengolahan kertas, pengolahan air minum dan air limbah, industri makanan dan masih banyak aplikasi yang ditemukan dalam bidang-bidang lain. Dalam industri yang membutuhkan bahan anti korosi, material ini dijumpai dalam bentuk-bentuk seperti tangki air dan pipa-pipa saluran.

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

## 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai setelah melakukan penelitian adalah :

Mengetahui pengaruh arah orientasi serat terhadap sifat fisis dan mekanis komposit dengan serat Gelas-E anyam (orientasi pemotongan serat  $0^{\circ}, 15^{\circ}, 30^{\circ}, 45^{\circ}, 60^{\circ}, 75^{\circ}$ ).

## 1.3. Batasan Masalah

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

Variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah penyusunan serat secara bertingkat (dua lapis) atau 20% volume komposit, variasi sudut orientasi pemotongan komposit, temperatur dan kelembaban udara dianggap konstan.

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

- a. Pengujian tarik serat penguat.

Untuk mengetahui kekuatan tarik serat penguat dengan cara pengujian menggunakan satu helai serat.

b. Pengujian tarik matriks pengikat.

Untuk mengetahui kekuatan tarik matriks pengikat, maka pengujian menggunakan standart uji ASTM D 638 ( Standart test method for TENSILE PROPERTIES OF PLASTICK ).

c. Pengujian tarik komposit.

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

ASTM D 3039 (Standard Test Method for TENSILE PROPERTIES OF FIBER-RESIN COMPOSITES ).

#### **1.4. Sistematika Pembahasan**

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

## BAB II

### DASAR TEORI

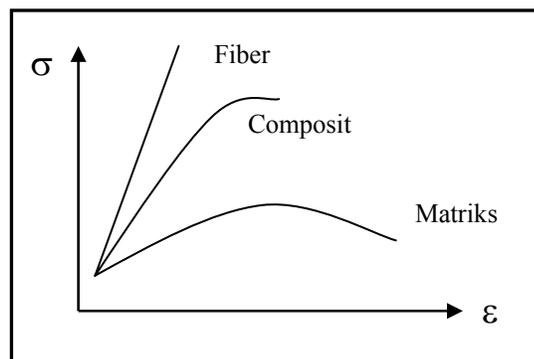
#### 2.1 Komposit ( *Fiber Glass Reinforced Plastics* )

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

Secara garis besar bahan komposit dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu serat sintetik dan serat organik. Serat sintetik atau buatan dapat berupa serat gelas,

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

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

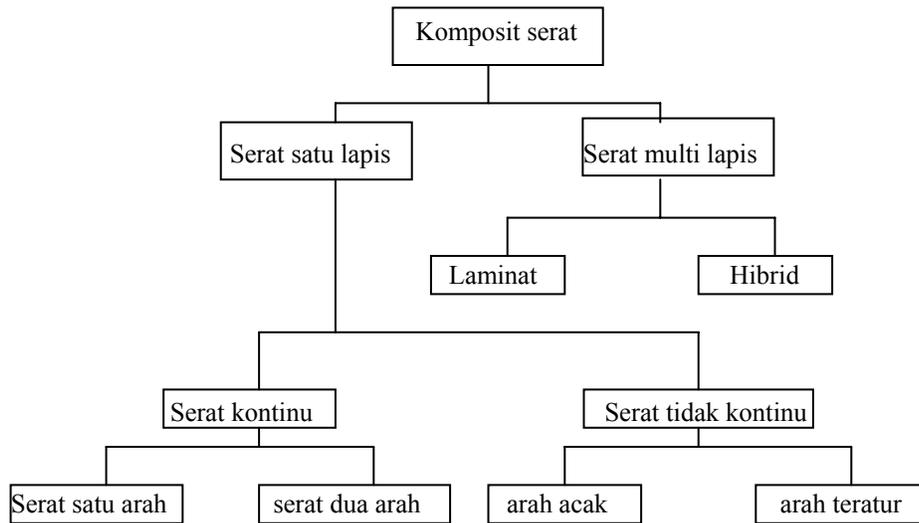


**Gambar 2.1. Grafik kekuatan tarik komposit dan komponen penyusunnya ( Murphy, J., 1994 )**

Komposit yang berbahan serat adalah jenis bahan komposit yang banyak dikenal masyarakat umum, paling banyak dipakai dan dibicarakan, karena itu pengertian bahan komposit dalam tulisan ini berarti bahan komposit berpenguat serat. Bahan komposit serat dapat diklasifikasikan kedalam berbagai jenis bergantung pada geometri dan jenis seratnya. Keunggulan bahan komposit bila dibandingkan dengan bahan logam lainnya ( Robert, J. M., 1975 ) :

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

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



**Gambar 2.2. Diagram klasifikasi komposit serat ( Hadi, B.K., 2000 )**

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

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

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

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

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

alat-alat olah raga., dalam industri kimia adalah produk *Filament Winding Tank and Pipe*, Sedangkan untuk bidang industri yang bergerak dalam bidang konstruksi produk yang digunakan berupa *Fiberglass Sub Construction Beam* yang diproduksi dengan proses *Pultrusion*. Dari beberapa contoh diatas menunjukkan bahwa bahan komposit dapat digunakan dalam banyak bidang kehidupan.

## **2.2.Bahan Penyusun Komposit**

### **2.2.1. Fiber (Serat)**

Fiber merupakan filament dari bahan penguat. Penampangnya dapat berbentuk padat, segitiga, heksagonal. Diameter fiber tergantung pada bahannya, dapat bervariasi. Kekuatan tarik komposit akan menurun apabila diameter fiber yang digunakan meningkat. Sudut orientasi fiber juga berpengaruh terhadap kekuatan dan kekakuan komposit.

Beberapa bahan fiber yang banyak di gunakan :

#### 1. Glass

Serat dicirikan oleh modulus dan kekuatannya yang tinggi, elongasi (daya rentang) yang baik, stabilitas panas yang baik, spinibilitas (kemampuan untuk diubah menjadi filamen-filamen) dan anti korosi. Serat gelas merupakan material anorganik sintetik yang digunakan sebagai salah satu bahan penguat dalam penggunaan komposit.

Proses produksi serat gelas dengan cara mencairkan bahan mentah (pasir silika, batu kapur dan bahan tambahan seperti alumunium hidroksida, natrium karbonat dan borax) di dalam suatu tangki, kemudian bahan yang telah dicairkan itu dialirkan ke *bushing* dari platinum yang memiliki beberapa ratus lubang dan dibentuk menjadi filamen-filamen. Diameter serat dikontrol oleh viskositas yang mana tergantung dari komposisi dan temperatur, diameter lubang dan kecepatan *winding*. Secara komersial serat gelas diproduksi dengan diameter 8 sampai 15  $\mu\text{m}$ , tetapi yang banyak dipasaran sekitar 11  $\mu\text{m}$ . Sebenarnya jenis serat sudah terklasifikasikan, antara lain serat gelas yang termasuk didalam jenis serat polymeric/sintetis. Dan serat gelas masih dapat dibedakan dalam berbagai jenis antara lain :

a. Serat gelas E (*electrical*)

Merupakan serat gelas yang umum digunakan sebagai serat kontinu, dan mempunyai kekuatan tarik sekitar 3,44 Gpa dengan modulus elastis 72,3 Gpa. Komposisi serat gelas E berupa calsium, 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.

b. Serat gelas S.

Serat ini terdiri dari silikon dioksida, aluminium trioksida, dan magnesium oksida. Spesifikasi kekuatan serat gelas S ini lebih tinggi dari serat gelas E yaitu kekuatan tariknya 4,48 Gpa dan modulus elastisnya 85,4 Gp. Serat gelas ini terutama digunakan untuk peralatan militer dan aerospace.

c. Serat gelas D.

Serat ini sering dipakai dalam produksi aplikasi/pembuatan peralatan elektronik, karena memiliki karakteristik dielektrik yang cukup baik.

d. Serat gelas C

Serat ini mempunyai sifat ketahanan korosi dan harga yang lebih dari serat gelas E, tapi memiliki kekuatan yang lebih kecil dari serat gelas E. Selain itu, serat gelas C mempunyai sifat modulus yang tinggi, lebih tahan terhadap suhu. Serat ini telah digunakan pada industri pesawat terbang, karena modulus elastisitasnya sangat tinggi.

## 2. Carbon

Karbon dapat di buat menjadi fiber dengan modulus elastis yang tinggi. Disamping kekakuannya yang tinggi, karbon memiliki kerapatan dan koefisien dilatasi rendah. Fiber-C merupakan kombinasi antara grafit dengan karbon amorphus. Sebagai matrik digunakan polimer seperti epoxy dan komposit ini mempunyai beberapa karakteristik ;

- a. Ringan
- b. Kekuatan sangat tinggi
- c. Kekakuan tinggi
- d. Harga mahal

Keunggulan ini memungkinkan komposit ini banyak dipakai pada konstruksi atau aplikasi aerospace dan pesawat terbang. Akan tetapi karena bahan serat karbon mahal menyebabkan bahan komposit ini jarang di gunakan.

## 3. Aramid

Serat aramid merupakan nama umum dari serat aromatic polyamide.

Keunggulan serat ini :

- a. Bobot ringan
- b. Kekuatan dan kekakuan tinggi
- c. Tahan fatik

## 4. Boron

Boron memiliki modulus elastis amat tinggi,tetapi bahan ini mahal, sehingga pemakaiannya dibatasi pada komponen aerospace.

#### 5. Kevlar 49

Bahan ini terutama di gunakan sebagai fiber polimer. Kerapatannya rendah dan memberi kekuatan spesifik terbesar untuk semua fiber yang ada.

#### 6. Ceramics

Karbide silikon (SiC) dan oksida aluminium merupakan fiber utama yang sering dijumpai pada kermik. Kedua bahan ini mempunyai modulus elastis tinggi dan dapat digunakan untuk menguatkan logam-logam dengan kerapatan dan modulus elastis rendah seperti aluminium dan magnesium.

#### 7. Logam

Filamen baja sering digunakan sebagai fiber plastik.

Serat glass-E adalah serat glass yang paling familiar digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan FRP. Serat glass-E yang didapat kan melalui proses manufaktur mempunyai berbagai macam tipe produk.

Berbagai bentuk dari serat gelas sangat berpengaruh dalam produksi, maka diicptakan bermacam-macam bentuk penyusunan serat, untuk menyesuaikan aplikasi penggunaannya sebagai serat penguat.

Berikut beberapa bentuk serat pada FRP :

a. Continuous roving

Adalah gabungan dari serat-serat parallel menjadi satu strand dengan sedikit atau tanpa belitan. Tersedia dalam bentuk kemasan silinder untuk diproses lebih lanjut. *Continuous roving* mempunyai sifat mekanik yang baik dan pada umumnya di potong-potong pada proses *spray up, perform, continuous laminating proses, centrifugal casting*, ataupun tetap sebagai *continuous reinforcement*, seperti *filament winding, pultrusion woven*.

b. Woven roving

Serat berbentuk lembaran fleksibel yang di anyam dari *continuous roving*. Tersedia dalam berbagai ukuran lebar, tebal, dan berat. *Woven roving* memberikan kekuatan yang tinggi untuk produk yang besar dan dapat menurunkan biaya. *Woven roving* terutama dipakai pada *hand lay-up*, untuk pembuatan produk yang besar seperti : kapal, tangki, bodi mobil.

c. Reinforcing mat

*Reinforcing mat* dapat terbuat dari *chopped strand* ataupun *continuous strand*.

Ada 3 macam *reinforcing mat* :

- *Continous strand mat.*

Merupakan *reinforcing mat* yang dibuat dari *continous strand* yang dianyam, umumnya dipakai untuk kekuatan produk sedang, dan untuk proses *closed molding*, *resin transfer molding*, *pultrusion*.

- *Chopped strand mat.*

Merupakan *reinforcing mat* yang terbuat dari potongan *strand* dan digabung secara acak dengan binder tertentu. Dipakai untuk pembuatan produk dengan kekuatan sedang, biasanya untuk *hand lay-up*, *centrifugal casting*.

- *Combination mat.*

Merupakan gabungan *chopped strand mat* dan *woven roving*, baik secara mekanis maupun kimiawi, membentuk reinforcement yang kuat. Pemakaian combination mat mempercepat waktu operasi *hand lay-up*.

*d. Perform.*

Adalah mat dari potongan *strand* dan *binder* yang dibentuk menyerupai produk akhir sehingga memudahkan *handling* dan proses akhir pada pencetakan.

e. *Chopped strand.*

Adalah merupakan gabungan serat-serat parallel yang telah dipotong dengan ukuran  $\frac{1}{8}$  - 2 inci. *Chopped strand* ini lalu dicampur dengan resin dan *additive* lain untuk kemudian dipakai pada komponen atau *injection molding* maupun proses lain.

f. *Nilled fiber.*

Ukurannya lebih pendek dari *chopped strand* dan dibuat dalam *hamer mill* yang berkecepatan tinggi. *Reinforcement* ini banyak dipakai pada percetakan plastik. *Reinforced rection injectin molding*, karena dapat memperbaiki kestabilan panas dan meningkatkan kualitas. *Nilled fiber* ini juga dipakai pada *casting* resin untuk memperoleh kestabilan bentuk.

g. *Glass flake.*

Umumnya dipakai untuk bahan penguat pada *injection molding*, *glass flake* ini banyak dipakai untuk bahan anti korosi, sebab dapat menurunkan permeabilitas.

### 2.2.2 Polyester

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

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

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

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

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

Polyester dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti dalam pembuatan komposit lembaran dan pembuatan tangki-tangki penampungan. Kemampuan resin polyester selain sebagai matrik pengikat serat yang bagus juga mempunyai karakteristik sebagai berikut :

a. Tahan terhadap panas

Resin ini mempunyai berbagai variasi dalam pasaran, tergantung dalam aplikasi penggunaannya. Karakteristik klasifikasi bahan resin, viskositas mengalami sifat gel (gel time) pada suhu 25°C, dapat bereaksi pada suhu 80°C. Perubahan bentuk bahan dapat dipertahankan sampai pada suhu 70°C.

b. Ketahanan terhadap bahan kimia

Bahan ini mempunyai kemampuan tahan terhadap pengaruh korosi bahan-bahan kimia. Dibandingkan dengan bahan logam besi cor dan baja, polyester mempunyai keunggulan terhadap korosi air laut, *hydrochloric acid*, *weac acid*, alkohol.

c. Kemampuan bahan terhadap beban kejut dan tidak abrasif.

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

### 2.2.3 Bahan-bahan tambahan

Bahan tambahan berupa katalis digunakan sebagai pemicu (*initiator*) untuk memulai dan mempersingkat reaksi curing pada temperatur ruang. Pemakaian katalis yang berlebih akan menimbulkan panas saat curing dan hal ini bisa merusak produk yang dibuat. Katalis yang digunakan sebagai proses *curing* dalam pembuatan *GFRP* berasal dari *organic peroxide* seperti *methyl ethyl ketone peroxide* dan *Acetyl acetone peroxide*. Akselerator adalah suatu bahan yang sangat lazim dipergunakan dalam upaya mempercepat proses curing pada pembuatan *GFRP*. Akselerator yang bereaksi dengan katalis, didalam resin polyester akan memberikan reaksi exoterm antara suhu

80°C sampai 120°C. *Cobalt, amine, vanadium* adalah akselerator yang biasa digunakan dalam pembuatan *GFRP*.

Katalis yang bereaksi dengan resin menimbulkan panas. Panas yang ditimbulkan pada proses pembuatan komposit dengan serat *woven roving* 20 % sekitar 60°C. Pada saat proses *curing* penambahan katalisnya adalah 0,5 % dari volume total komposit.

*Filer*, bahan ini dalam penggunaan dimaksudkan untuk mengurangi biaya dalam produksi. Selain itu filer juga dipergunakan untuk meningkatkan viskositas resin. Penggunaan filer sebagai bahan campuran tidak boleh memiliki 30% dari perbandingan terhadap berat resin. Alumina, *calcium carbonate*, serbuk silika adalah filer yang sering digunakan sebagai penyusun komposit *GFRP*.

*Pigment* dan pasta pewarna hanya dipergunakan pada akhir proses dari pembuatan *GFRP*, hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya penurunan kemampuan dari *GFRP* dan memperendah harga pembuatan. Apabila pigment dan pasta pewarna ini harus dipakai pada produksi maka harus dipergunakan bahan yang sesuaikarena bahan ini dapat mempengaruhi proses curing 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*.

Untuk menghindari lengketnya produk dengan cetakan saat pembuatan komposit, maka harus diadakan proses pelapisan terhadap cetakan dengan

menggunakan *release agent*. *Release agent* yang biasa digunakan pada pembuatan komposit biasanya berupa semir ( *waxes* ), *mirror glass*, *polyvinyls alcohol*, *film forming*, oli.

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

### **2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan GFRP**

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

#### **2.3.1. Jenis serat**

Dilihat dari susunannya, serat dibedakan menjadi dua jenis yaitu serat kontinu (*continue*) dan serat tidak kontinu (*discontinue*). Secara teori serat panjang akan lebih efektif dalam hal transmisi beban dibandingkan serat pendek. Namun hal

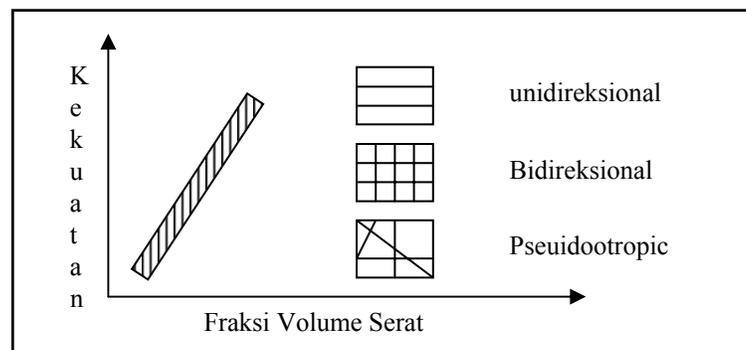
tersebut sulit untuk diwujudkan dalam praktek, mengingat faktor manufaktur yang tidak memungkinkan dihasilkannya kekuatan optimum pada seluruh panjang fiber dan pada pembuatan bahan komposit, karena pada pemakaian serat panjang akan terjadi ketimpangan dalam penerimaan beban antara serat, sebagian serat mengalami tegangan sedangkan yang lain dalam posisi bebas dari tegangan. Sehingga jika komposit tersebut dibebani sampai mendekati kekuatan patahnya, sebagian serat akan patah mendahului serat lainnya.

### **2.3.2. Orientasi serat**

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

1. *Unidirectional* : serat disusun secara searah paralel satu sama lain, sehingga didapat kekakuan dan kekuatan optimal pada arah serat, sedangkan kekuatan paling kecil terjadi pada arah tegak lurus serat.
2. *Bidirectional* : serat disusun secara tegak lurus satu sama lain (*ortogonal*). Pada susunan ini kekuatan tertinggi terdapat pada arah pemasangan serat.
3. *Pseudoisotropic* : penyusunan serat dilakukan secara acak, sifat dari susunan ini adalah isotropik yaitu kekuatan pada satu titik pengujian mempunyai kekuatan yang sama.

Kemampuan mekanik dari pemasangan serat dua arah ini adalah jenis yang paling proporsional, 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, seperti dapat dilihat pada *gambar 2.3*.



**Gambar 2.3. Diagram hubungan antara Kekuatan, Fraksi volume dan Susunan serat.**

Jumlah serat bahan komposit serat sering dinyatakan dalam bentuk fraksi volume serat ( $v_f$ ) yaitu perbandingan volume serat ( $V_f$ ) terhadap volume bahan komposit ( $V_c$ ). Semakin besar kandungan volume serat dalam komposit maka akan meningkatkan kekuatan dari komposit tersebut.

### 2.3.2. Komposisi dan bentuk serat

Jika dilihat dari bentuk, serat penguat mempunyai penampang lingkaran dan bentuk lain misalnya bujur sangkar. Kekuatan serat dapat juga dilihat dari diameter

serat, perbandingan antara panjang dan diameter serat harus cukup besar. Hal ini dianjurkan agar tegangan geser yang terjadi pada permukaan antar serat dan matriks kecil. Berdasarkan komposisinya serat yang digunakan sebagai bahan penguat komposit dibedakan atas :

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

#### **2.3.4. Faktor Matriks**

Dalam pembuatan bahan komposit, fungsi dari matriks adalah :

- a. Sebagai transfer dari beban, yaitu mendistribusikan beban ke serat sebagai bahan yang mempunyai modulus kekuatan tinggi.
- b. Sebagai pengikat fase serat pada posisinya, pada proses pembuatan bahan komposit yang diperkuat serat dan diikat oleh matriks, matriks harus mempunyai serat adhesi yang baik terhadap serat untuk menghasilkan struktur komposit yang sempurna karena hal ini berhubungan erat dengan transfer beban. Jika matriks mempunyai sifat adhesi yang kurang baik maka transfer beban tidak sempurna dan menyebabkan kegagalan berupa

lepasnya ikatan antara matriks dengan serat ( *debonding failure* ). Secara garis besar kualitas matriks ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah kemampuan membasahi serat, banyak tidaknya rongga (*void*) saat dituang, temperatur atau tekanan curing dan viskositas

- c. Melindungi permukaan serat penguat dari abrasi yang diakibatkan oleh perlakuan secara mekanik misalnya gesekan antar serat.

#### **2.3.5. Fase ikatan (*Bonding Phase*)**

Kemampuan ikatan antara fiber dan matriks dapat ditingkatkan dengan memberikan aplikasi perlakuan permukaan yang disebut dengan *coupling agent*, yang meningkatkan sifat adhesi antara matriks dan fiber. *Coupling agent* diterapkan pada serat sebagai perlakuan secara kimiawi dalam bentuk *sizing* ( perlakuan permukaan ketika serat sedang dibentuk ) dan *finishing* ( perlakuan yang diterapkan setelah serat diproduksi dalam bentuk benang atau *woven fabric* ). Proses *finishing* juga dapat melindungi dan mencegah kerusakan akibat gesekan antar serat sebelum dibuat menjadi struktur komposit.

## 2.4. Mekanika komposit

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

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

Mekanika komposit dapat dianalisa dari dua sudut pandang yaitu dengan analisa mikromekanik bahan komposit dengan memperhatikan sifat-sifat mekanik bahan penyusunnya, hubungan 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., 1975 ). Jika komposit laminat diambil sebagai komponen dasar analisis bahan komposit, analisis

makro mekanik dari laminat dapat diambil dari tegangan rata-rata, regangan rata-rata, maupun sifat mekanik rata-rata dari bahan homogen yang ekuivalen.

## **2.5 Modus Kegagalan Laminat**

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

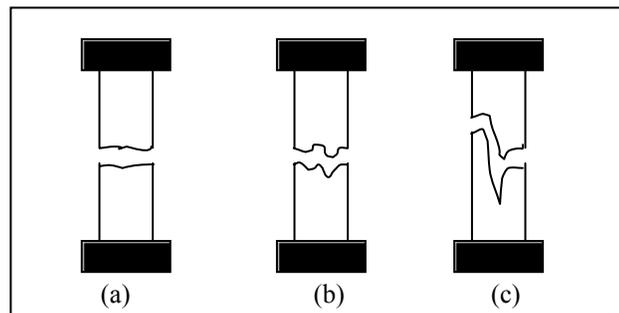
### **2.5.1. Modus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal**

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

Bila serat yang patah semakin banyak, maka ada tiga kemungkinan

( Hadi, B.K., 2000 ) :

- a. Bila matriks mampu menahan gaya geser dan meneruskan ke serat sekitar, maka serat yang patah akan semakin banyak sehingga timbul retakan. Bahan komposit akan patah getas ( *brittle failure* ) seperti tampak pada *gambar 2.4.a*.
- b. Bila matriks tidak mampu menahan konsentrasi tegangan geser yang timbul diujung serat dapat terlepas dari matriks ( *debonding* ) dan komposit rusak searah serat seperti tampak pada *gambar 2.4.b*
- c. Kombinasi dari kedua tipe diatas pada kasus ini patah serat yang terjadi disembarang tempat disertai dengan kerusakan matriks. Modus kerusakan berwujud seperti sikat ( *brush type* ) seperti terlihat pada *gambar 2.4.c*



**Gambar 2.4. 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 gelembung udara (*void*) pada bahan tersebut diabaikan.

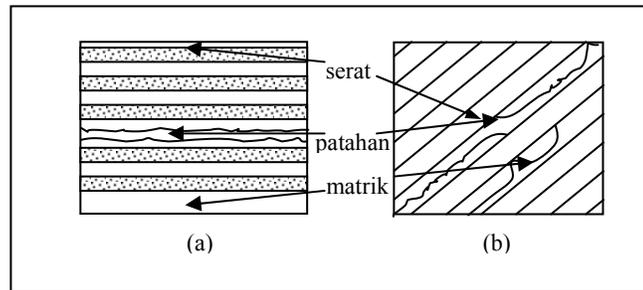
### **2.5.2. Modus Kegagalan Akibat beban Tarik Transversal**

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., 2000 ) :

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



**Gambar 2.5. Kegagalan pada komposit akibat beban tarik transversal**

### 2.5.3. Modus Kegagalan Internal Mikroskopik

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

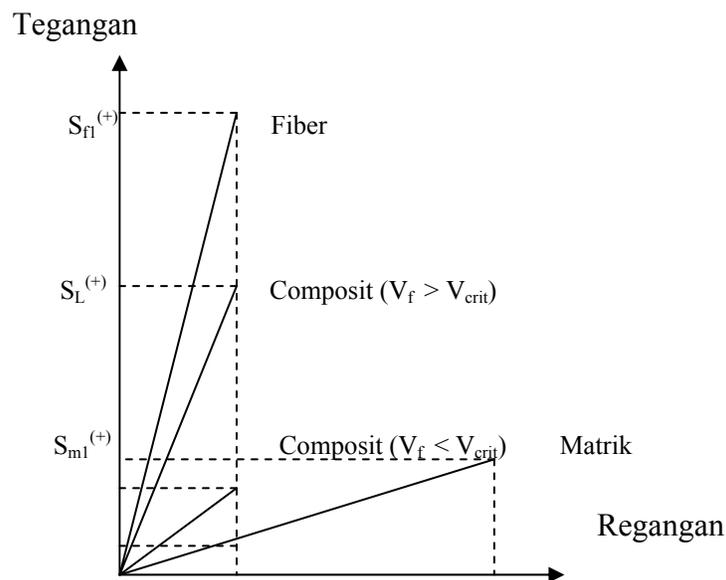
Hal ini sangat terlihat pada bahan komposit. Pada bahan ini, kerusakan internal mikroskopik (yang tidak dapat diamati oleh mata) dapat jauh terjadi sebelum kerusakan nyata terlihat. Kerusakan internal mikroskopik ini terjadi dalam beberapa bentuk seperti :

1. Patah pada serat (*fiber breaking*).
2. Retak mikro pada matriks (*matriks micro crack*).
3. Terkelupasnya serat dari matriks (*debonding*).
4. Terpisahnya lamina satu dengan yang lain (*delamination*).

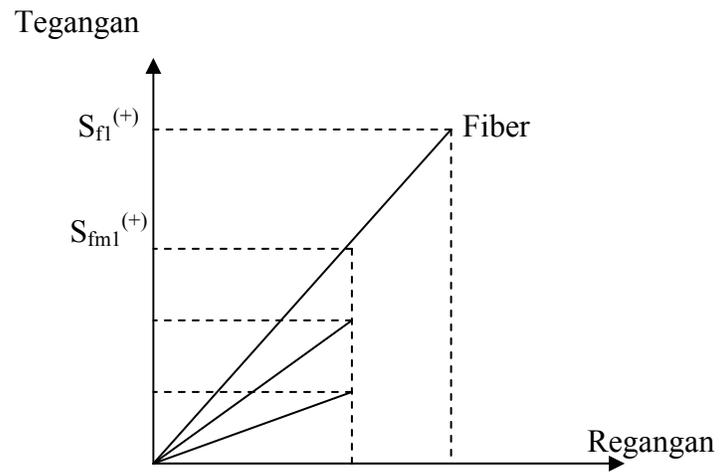
Foto mikrograf menunjukkan jenis-jenis kerusakan internal mikroskopik tersebut. Kerusakan ini sama sekali tidak dapat diamati dengan mata telanjang dan baru dapat terlihat mata bila kerusakan cukup besar ditempat yang sama. Karena itu pada kondisi sebenarnya sangat sulit untuk menentukan kapan suatu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

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

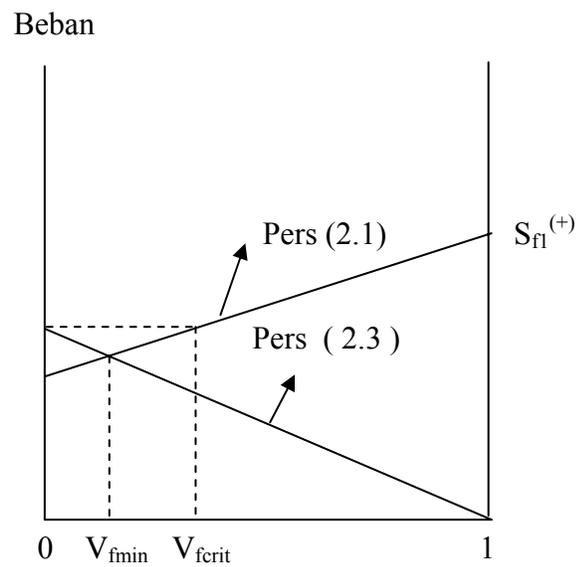
## 2.6. Menentukan Volume Serat M



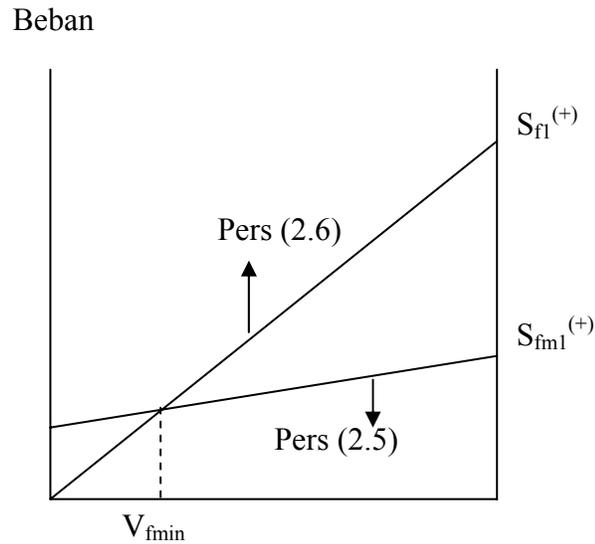
**Gambar 2.6. Grafik Tegangan vs Regangan Fiber**



**Gambar 2.7. Grafik Tegangan vs Regangan Matrik**



**Gambar 2.8. Fraksi Volume Fiber**



**Gambar 2.9. Fraksi Volume Serat**

Untuk menentukan besarnya volume serat pada campuran bahan komposit dapat dikembangkan dari grafik hubungan tegangan vs regangan untuk fiber, matriks dan komposit. Grafik dapat dilihat pada *gambar 2.6* dan *gambar 2.7* Pada *gambar 2.8*, regangan matrik ( $\epsilon_{m1}^{(+)}$ ), diasumsikan lebih besar daripada regangan fiber ( $\epsilon_{fl}^{(+)}$ ), yang biasa terjadi pada gabungan matriks polimer. Oleh Kelly dan Davies disingkat dengan Persamaan (2.5). *gambar 2.7* memperlihatkan dimana regangan fiber lebih besar daripada regangan matriks, yang biasa terjadi pada gabungan matriks keramik. Oleh Hull dibuat persamaan  $S_L^{(+)} = S_{fl}^{(+)}V_f$ . Untuk kasus yang digambarkan pada *gambar 2.6* dan *gambar 2.7*, analisis akan dikembangkan berdasar pada :

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

Untuk kasus pada *gambar 2.6*, komposit harus rusak pada sebuah level yang sama dengan regangan serat,  $\varepsilon_{fl}^{(+)} S_{fl}/E_{fl}$ . Secara teori, jika matriks mampu menahan beban yang diberikan setelah fiber mengalami kerusakan, beban ini akan meningkat hingga matriks mengalami kerusakan. Namun untuk seluruh tujuan praktis, kerusakan fiber berarti kerusakan komposit. Sehingga ketika beban tarik fiber mencapai suatu nilai  $S_{mfl} = E_m \varepsilon_{fl}^{(+)}$ , beban tarik komposit mencapai pada kekuatan regang ( $S_L^{(+)}$ ). Dan persamaannya menjadi :

$$S_L^{(+)} = S_{fl}^{(+)} V_f + S_{mfl} V_m = S_{fl}^{(+)} V_f + S_{mfl} (1 - V_f) \dots\dots\dots 2.1$$

Namun demikian persamaan ini hanya berlaku jika fraksi volume fiber cukup besar. Seperti yang terlihat pada *gambar 2.7* dan *gambar 2.8*, jika fraksi volume fiber  $V_f < V_{fcrit}$ , kekuatan komposit dari persamaan ini kurang dari kekuatan matriks, dimana :

$$V_{fcrit} = (S_{mfl}^{(+)} - S_{mfl}) / (S_{fl}^{(+)} - S_{mfl}) \dots\dots\dots 2.2$$

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

$$S_L^{(+)} = S_{m1}^{(+)}V_m = S_{m1}^{(+)}(1-V_f) \dots\dots\dots 2.3$$

Seperti terlihat pada Gambar 2.6, persamaannya menjadi :

$$V_{fmin} = (S_{m1}^{(+)} - S_{mf1}) / (S_{f1}^{(+)} - S_{m1}^{(+)} + S_{m1}^{(+)}) \dots\dots\dots 2.4$$

Umumnya pada praktek pembuatan komposit,  $V_{fcrit}$  kurang dari 5 %. Sehingga  $V_{fmin} < V_{fcrit}$ , kedua nilai ini pasti lebih kecil daripada fraksi volume fiber sebenarnya dari fraksi volume komposit, dan kekuatan tarik komposit. Untuk *gambar 2.8* akan diketahui dengan Persamaan ( 2.1).

Untuk kasus yang digambarkan pada *gambar 2.8*, kerusakan komposit dapat ditetapkan dengan dua cara, tergantung dari apakah kita memilih menggunakan kerusakan fiber atau kerusakan matriks sebagai acuan. Jika kerusakan matriks menjadi acuan, kerusakan komposit akan terjadi pada tingkat regangan yang berkorespondensi dengan regangan kerusakan matriks ( $\epsilon_{m1}^{(+)}$ ). Sehingga ketika beban matriks mencapai kekuatan maksimal matriks,  $S_{m1}^{(+)}$ , kekuatan fiber akan mencapai nilai  $S_{fm1} = E_{f1}\epsilon_{m1}^{(+)}$ , beban komposit akan mencapai kekuatan komposit ( $S_L^{(+)}$ ) dan persamaannya menjadi :

$$S_L^{(+)} = S_{fm1}V_f + S_{m1}^{(+)}(1-V_f) \dots\dots\dots ( 2.5 )$$

Terkait dengan Persamaan ( 2.1 ), persamaan ini hanya memiliki arti fisik untuk suatu kisaran fraksi volume fiber tertentu. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.8, jika fiber masih bisa bertahan dengan penambahan beban setelah kerusakan

matriks, regangan fiber akan mencapai regangan kerusakan fiber ( $\epsilon_{fl}^{(+)}$ ). Karena kerusakan matriks, area penahan beban yang tersisa dari fiber tersebut adalah seperti kekuatan komposit dengan persamaan :

$$S_L^{(+)} = S_{fl}^{(+)}V_f \dots\dots\dots 2.6$$

Seperti terlihat pada *gambar 2.9*, Persamaan ( 2.5 ) dan Persamaan ( 2.6 ), dikonversi menjadi :

$$V_{fmin} = S_{m1}^{(+)} / (S_{fl}^{(+)} - (S_{fml} + S_{m1}^{(+)}) ) \dots\dots\dots ( 2.7 )$$

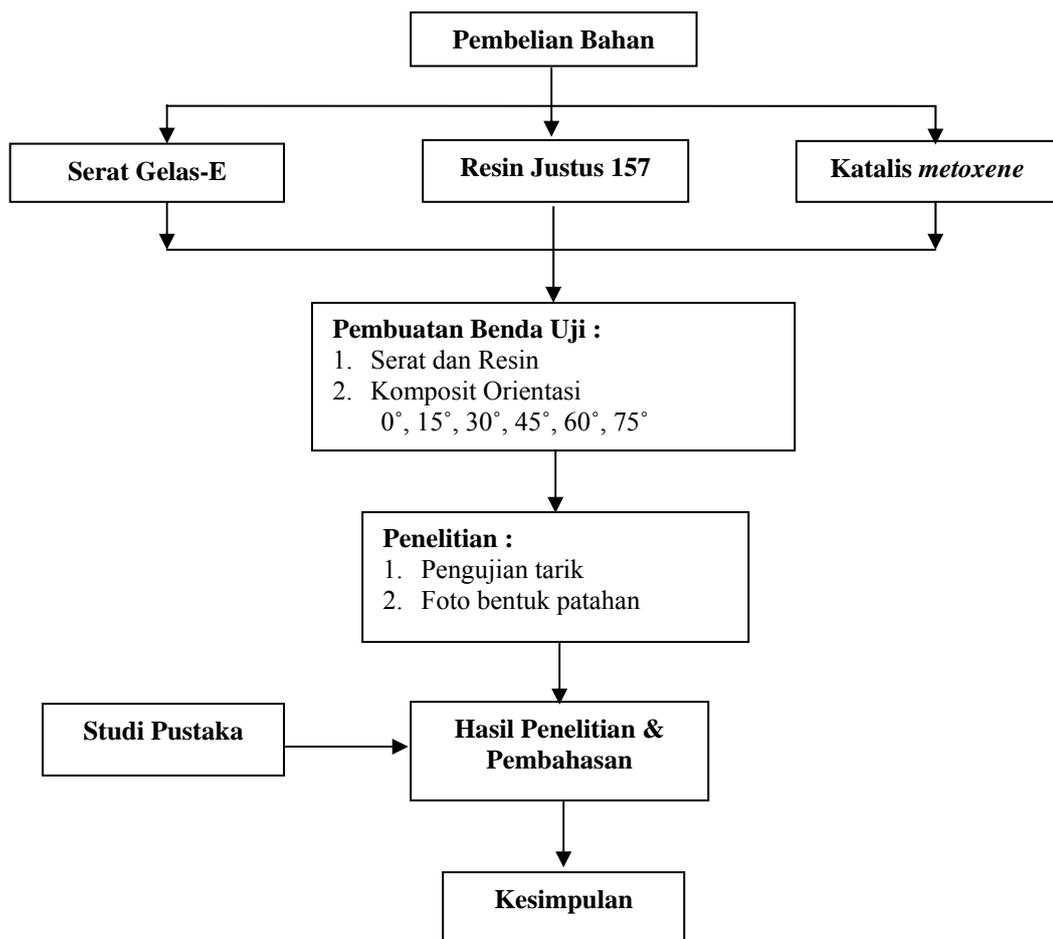
Sehingga untuk  $V_f < V_{fmin}$ , kekuatan komposit akan diketahui dengan Persamaan ( 2.5), dan untuk  $V_f > V_{fmin}$  kekuatan komposit akan diketahui dengan Persamaan ( 2.6). Untuk pembuatan komposit,  $V_{fmin}$  akan jauh lebih kecil daripada fraksi volume fiber sebenarnya, sehingga kekuatan tarik komposit untuk kasus pada *gambar 2.5* akan diberi Persamaan ( 2.6 ). Seperti pada *gambar 2.6* dan *gambar 2.8*, kekuatan komposit untuk kasus ini jauh lebih besar daripada kekuatan untuk seluruh fraksi volume serat ( Gibson, R.F., 1994 ).

## BAB III

### CARA PENELITIAN

#### 3.1. Skema Jalan Penelitian

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



Gambar 3.1. Skema Jalan Penelitian

## 3.2. Penyiapan Benda Uji

### 3.2.1. Alat dan Bahan

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

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



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

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

### **1. Serat**

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

## 2. Resin

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

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

## 3. Katalis

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

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

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

#### **4. Release agent**

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

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

## 5. Acetone

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

### 3.2.2. Pembuatan Cetakan

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

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

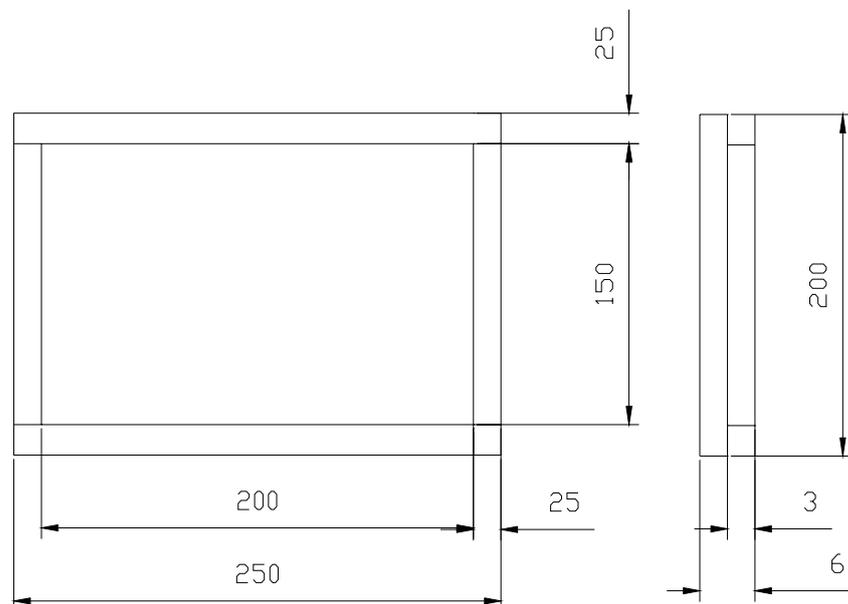
### 3.3. Pembuatan Benda Uji

#### 3.3.1. Pembuatan Benda Uji Matriks Pengikat

Pembuatan benda uji matriks pengikat dilakukan dengan metode hand lay-up, mengingat proses pencetakan yang relatif sederhana dan hasil yang cukup baik. Cetakan yang digunakan untuk pembuatan matriks pengikat ini mempunyai dimensi  $20 \times 15$  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 cetakan 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.**

Urutan pencetakan benda uji matriks pengikat adalah sebagai berikut :

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

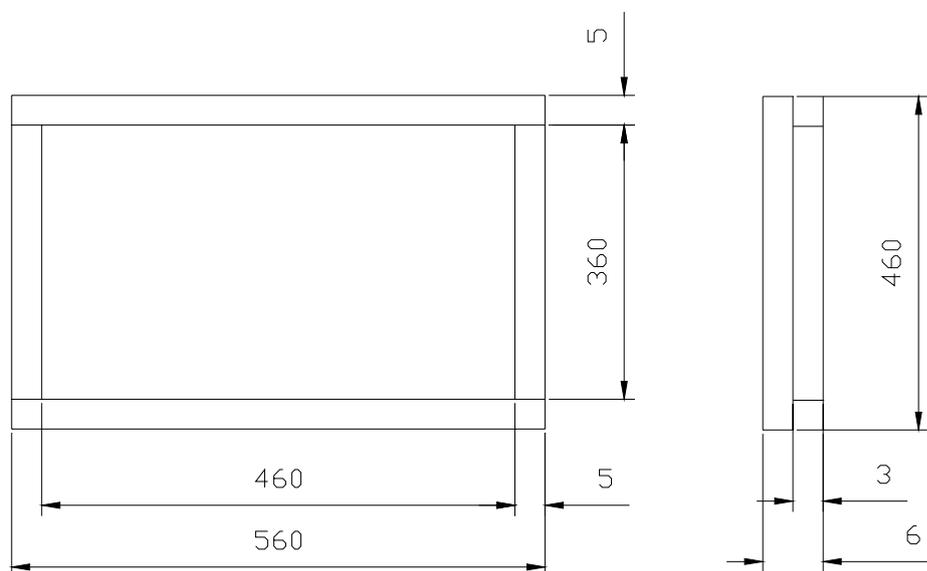
*Catatan : Untuk membersihkan peralatan dari resin, dapat menggunakan acetone. Pembersihan dilakukan sebelum resin mengering dan menjadi keras.*

### 3.3.2. Pembuatan Benda Uji Komposit

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

**Tabel 3.2. Dimensi cetakan komposit**

Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Volume (cm <sup>3</sup> )
460	360	3	500



**Gambar 3.4. Dimensi dari cetakan komposit**

Langkah pertama adalah menghitung berat serat yang akan digunakan dengan cara menimbang serat sesuai dengan ukuran cetakan dengan menggunakan timbangan digital agar hasil yang didapatkan lebih akurat. Berat serat *woven roving* adalah seberat 127 gram. Karena volume serat di tentukan 20% dari volume total komposit yaitu 500 cc / 0.5 dm<sup>3</sup> sesuai dengan ukuran cetakan, maka untuk menentukan total volume serat ( $V_s$ ) *woven roving* yang di butuhkan digunakan persamaan.

$$\begin{aligned} V_s &= 20\% \times V_{tot} \quad \dots\dots\dots(3.1) \\ &= 20\% \times 500 \\ &= 100 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Didapatkan volume serat sebesar 100 cm<sup>3</sup>

Langkah kedua adalah menghitung berat serat yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \rho &= 2,54 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad \dots\dots\dots(3.2) \\ g &= 254 \times 100 \\ &= 254 \text{ gram} \end{aligned}$$

Dari Persamaan (3.2) diketahui bahwa berat serat adalah 254 gram, sehingga digunakan dua lapis serat *woven roving*.

Langkah ketiga adalah mencari banyaknya resin dan katalis yang digunakan dalam pencetakan komposit. Karena untuk komposisi katalis sudah ditentukan sebanyak 0,5 % dari volume total, maka kebutuhan resin dapat dihitung mengandaikan katalisnya  $(V_k)2,5 \text{ cc} = 0,0025 \text{ dm}^3$ .

Langkah keempat adalah membuat perbandingan antara volume serat, resin dan katalis. Dari perbandingan tersebut dapat di ketahui volume resin yang diperlukan ( $V_r$ ). Perbandingan untuk ketiga bahan tersebut dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut :

$$V_S : V_R : V_K = 100 : V_r : 2.5 \dots\dots\dots (3.3)$$

$$V_{\text{tot}} = V_S + V_r + V_K \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\begin{aligned} 500 &= 100 + V_r + 2.5 \\ &= 397.5 \text{ cm}^3 = 0.3975 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

Dari persaman diatas diketahui bahwa Volume Resin yang diperlukan 397.5cc

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

$$\text{Serat} = \frac{100}{500} = 0,2 = 20 \%$$

$$\text{Resin} = \frac{397,5}{500} = 0,795 = 79,5 \%$$

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

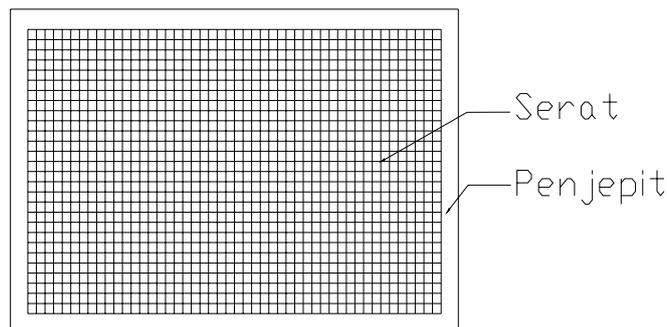
Berdasar perhitungan diatas didapat komposisi untuk bahan komposit sebagai berikut : serat dua lapis dengan berat 254 gram (20 %), resin 397,5 cc (79,5 %), katalis 2,5 cc (0,5 %).

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

Urutan pencetakan benda uji komposit adalah sebagai berikut :

- a. Cetakan yang sudah dipersiapkan dilapisi dengan oli, agar komposit tidak lengket dengan cetakannya.
- b. Serat gelas dalam bentuk *woven roving* yang telah terpotong-potong sesuai dengan ukuran (46 × 36 cm) disiapkan sebanyak 2 lapis. Untuk menghasilkan kesejajaran dan posisi yang tidak berubah-ubah pada waktu proses pembuatan maka di setiap sisi serat perlu dilakukan penjepitan pada keempat sisinya ( Gambar 3.3. ).
- c. Resin dan katalis sebanyak 397,5 cc ( 79,5 % ) dan 2,5 cc ( 0,5 % ), diaduk hingga benar-benar merata.

- d. Setelah serat diatur kelurusan dan keseajarannya, maka adukan resin dan katalis ( 397,5 / 2,5 cc ) dapat dituangkan ke dalam cetakan, agar resin dapat meresap ke seluruh bagian cetakan dan dapat membasahi serat dengan merata dapat dilakukan dengan sapuan kuas dan roler hand lay-up yang sudah dipersiapkan.
- e. Setelah 2 kali proses penyusunan serat dan ketebalan dari produk telah tercapai maka dilakukan pemasangan cetakan bagian atas dan memberikan penekanan dengan cara menjepit kaca yang terdapat pada setiap sisi cetakan.



**Gambar 3.5. Rangkaian kesejajaran serat dalam cetakan komposit.**

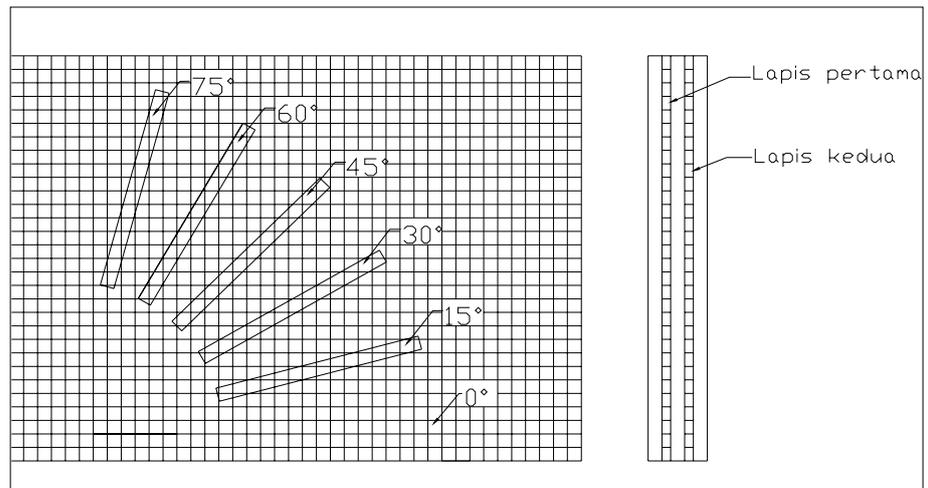
- f. Setelah 8 – 12 jam proses curing selesai, hasil cetakan dapat dilepas dengan bantuan scraber. Hasil cetakan benda uji komposit dipotong sesuai dengan orientasi arah serat yang dibutuhkan.

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

### 3.3.3. Cara Pemotongan Benda Uji Komposit

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

- a. Sudut orientasi yang diinginkan dapat ditentukan dengan bantuan busur derajat dan penggaris. Untuk lebih jelas lihat Gambar 3.4.
- b. Lembaran komposit digambar membentuk persegi panjang dengan ukuran  $22 \times 2,5$  cm pada orientasi serat yang telah ditentukan.
- c. Lembaran komposit kemudian dipotong sesuai gambar dengan bantuan gergaji.
- d. Untuk pembuatan specimen agar sesuai dengan standart uji ASTM D368, dapat dibuat menggunakan gergaji secara manual atau dengan menggunakan mesin milling.
- e. Proses terakhir adalah finishing, yaitu menghaluskan sisi-sisi bekas pemotongan menggunakan ampelas.

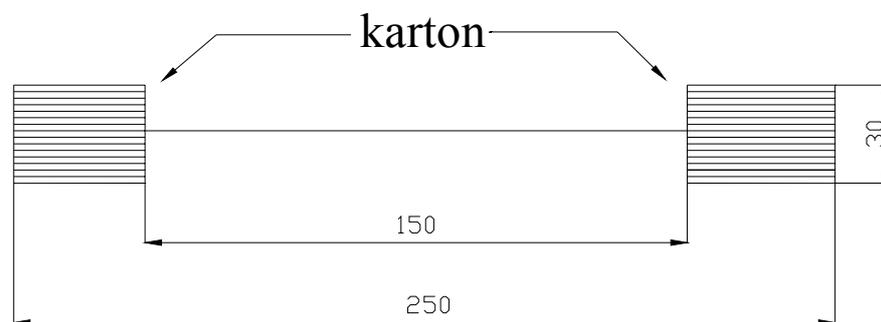


**Gambar 3.6. Pemotongan benda uji komposit sesuai dengan arah orientasi serat yang digunakan.**

### 3.4. Standart dan ukuran Benda Uji

#### 3.4.1. Benda uji serat penguat

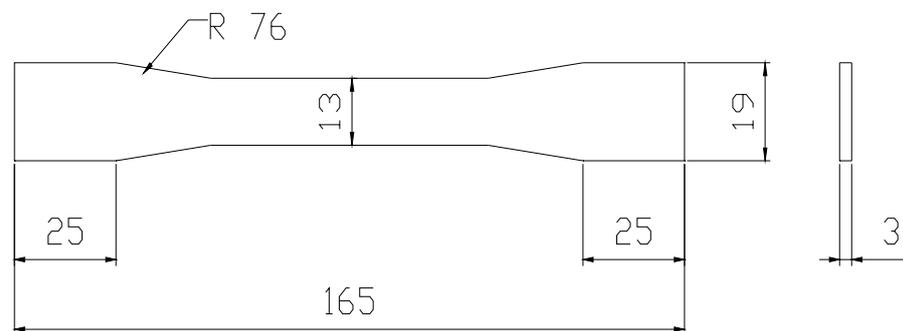
Pengujian tarik serat penguat berupa serat gelas ini dilakukan dengan standar pengujian JIS R 3420 ( *Standart Testing for Textile Glass Product* ).



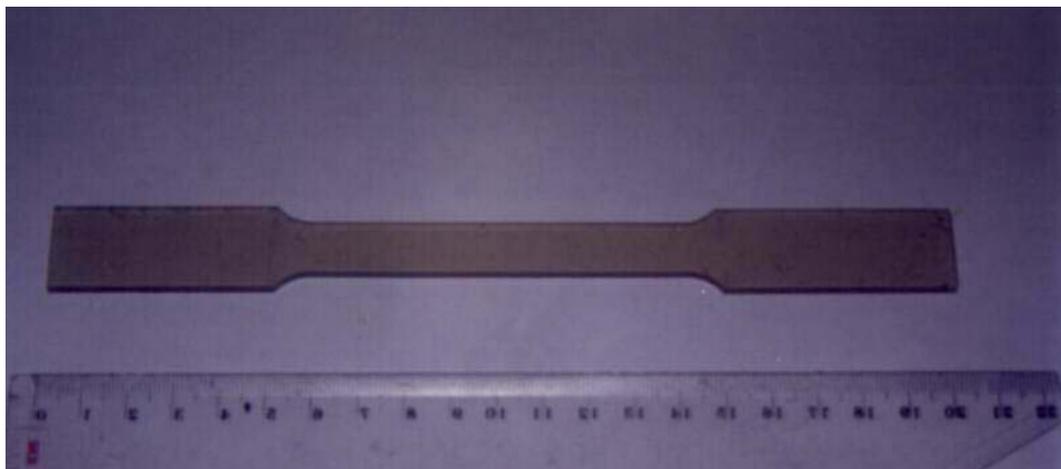
**Gambar 3.7. Dimensi Benda Uji Tarik Serat.**

### 3.4.2. Benda uji matriks pengikat

Untuk mengetahui sifat matriks pengikat dapat dilakukan dengan pengujian ASTM D 638 (*Standart Test Method for Tensile Properties of Plastic*). Sesuai dengan standar pengujian ASTM D 638, ukuran benda uji yang dipergunakan adalah sebagai berikut :



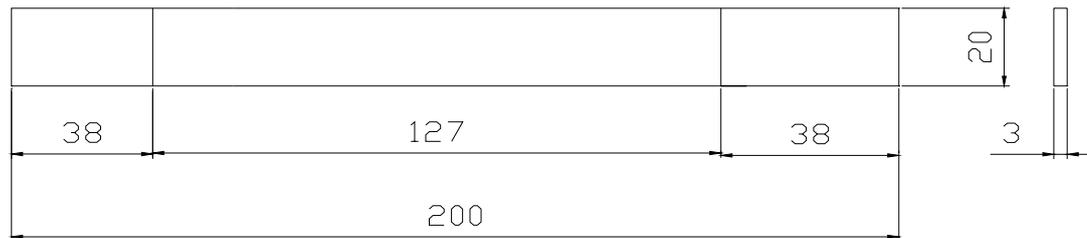
**Gambar 3.8. Dimensi benda uji tarik matriks pengikat.**



**Gambar 3.9. Foto benda uji matriks pengikat.**

### 3.4.3. Benda uji komposit

Pengujian tarik komposit dilakukan dengan standar pengujian ASTM D 3039 dengan dimensi benda uji yang dipergunakan adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.10. Dimensi benda uji tarik komposit.**



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

### **3.5. Metode Penelitian**

#### **3.5.1. Pengujian tarik serat**

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

Untuk mengetahui kekuatan serat digunakan 5 buah benda uji, kelima data tersebut kemudian dirata-rata dan digunakan sebagai data dalam penelitian yang diambil dari pengujian.

Dalam pengujian tarik serat diperoleh print-out berupa data perincian hasil pengujian tarik serat yaitu berupa spesifikasi serat, parameter yang dipakai dalam pengujian dan data statistik dari hasil pengujian tarik serat beserta grafik beban dalam bentuk regangan dan tegangan yang terjadi selama pengujian.

#### **3.5.2. Pengujian tarik matriks pengikat**

Untuk mengetahui sifat-sifat mekanik matriks pengikat secara terpisah dilakukan pengujian tarik dengan menggunakan mesin uji tarik universal. Dalam pengujian tarik matriks pengikat digunakan 5 buah benda uji dengan dimensi benda uji sesuai dengan standar ASTM D 638.

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

### 3.5.3. Pengujian tarik komposit

Untuk mengetahui sifat komposit dengan arah orientasi serat  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ , dapat dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik universal.

Pada pengujian tarik komposit digunakan 5 buah benda uji untuk masing-masing sudut orientasi serat dengan dimensi benda uji sesuai dengan standar ASTM D 3039. Setelah data kelima benda uji didapat, kemudian dicari harga rata-rata.

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

### 3.6. Perhitungan massa jenis matrik pengikat dan komposit

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

Persamaan untuk menghitung massa jenis matriks pengikat :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (3.5)$$

dengan:

$v$  = volume ( $\text{cm}^3$ )

$\rho$  = massa jenis ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$m$  = bobot (gr)

Untuk mengetahui massa jenis komposit ditentukan dengan Persamaan ( 3.5 ) dengan mengukur masing-masing benda uji dengan dimensi tebal 3 mm panjang 200 mm, dengan lebar 20 mm. Seluruh benda uji tersebut ditimbang untuk mengetahui bobotnya dan diukur volume masing-masing benda uji.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

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

#### **4.1. Hasil Pengujian Tarik Serat**

Pengujian tarik serat dilakukan dengan menguji tarik satu helai serat gelas-E menggunakan mesin uji tarik, dengan cara tersebut diharapkan dapat didapatkan data yang akurat mengenai kekuatan tarik dari serat gelas-E yang digunakan. Dari hasil analisis dan perhitungan pengujian tarik serat diperoleh beberapa sifat mekanik serat gelas-E seperti disajikan dalam *tabel 4.1*

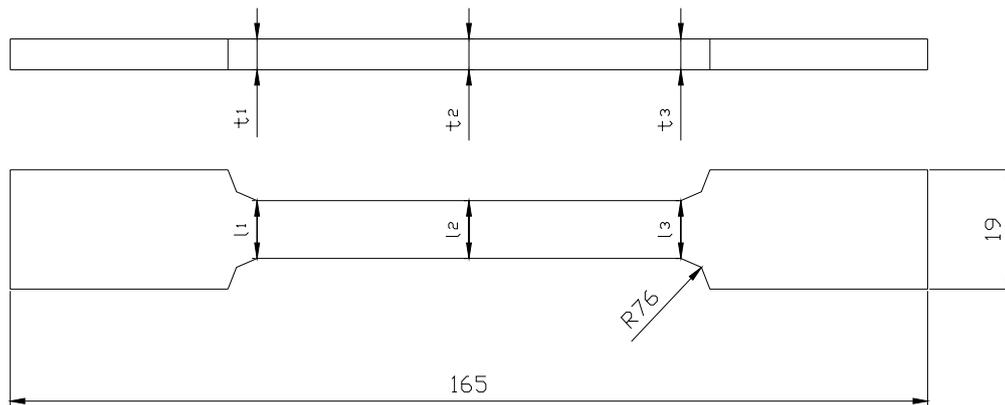
**Tabel 4.1. Sifat mekanik serat gelas.**

Serat	Diameter serat (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban (kg)	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )
1	0,07	0,0038	0,07	18,42
2	0,11	0,0094	0,17	18,10
3	0,07	0,0038	0,07	18,42
4	0,09	0,0063	0,14	22,22
5	0,08	0,0050	0,16	32,00

#### 4.2. Hasil Pengujian Tarik Matriks

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

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



**Gambar 4.1. Keterangan Ukuran lebar dan tebal matriks pengikat.**

**Tabel 4.2. Ukuran lebar dan tebal matriks pengikat.**

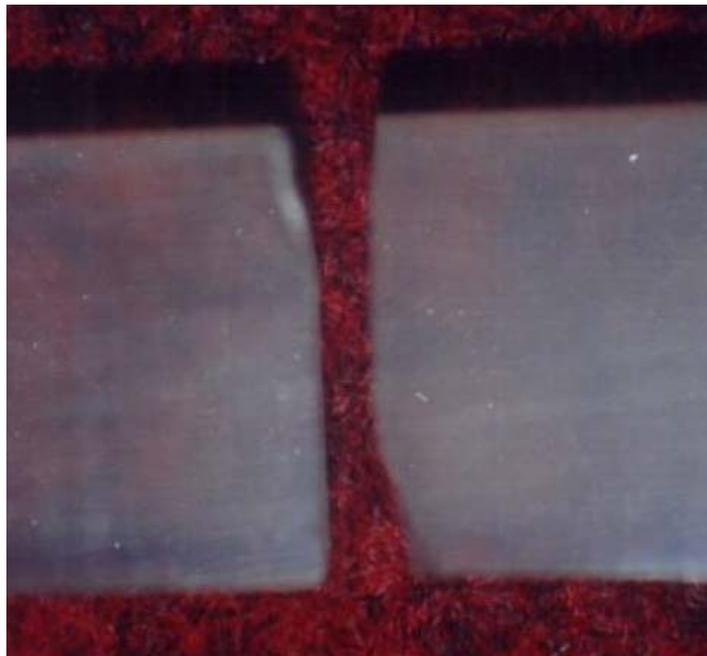
Matriks	$l_1$ (mm)	$l_2$ (mm)	$l_3$ (mm)	$t_1$ (mm)	$t_2$ (mm)	$t_3$ (mm)	$l_{rata}$ (mm)	$t_{rata}$ (mm)
1	13	13	12,8	2,8	3	2,8	12,93	2,86
2	13	13	13	2,9	2,9	2,8	13	2,86
3	12,8	13	13	2,8	2,8	3	12,93	2,86
4	12,8	12,9	12,8	2,9	3	2,8	12,83	2,90
5	12,9	13	12,9	2,9	2,9	3	12,93	2,93

**Tabel 4.3. Sifat mekanik matriks pengikat.**

Matriks	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	$L_0$ (mm)	Beban (kg)	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	L (mm)	$\delta$ (mm)	$\epsilon$ (%)
1	36,97	57	163,58	4,26	58,02	1,02	1,8
2	37,18	57	160,14	4,18	58,02	1,02	1,8
3	36,97	57	134,7	3,63	57,91	0,91	1,6
4	37,20	57	172,05	4,61	58,3	1,3	2,3
5	37,88	57	140,59	3,74	58,14	1,14	2,0

Dari pengujian tarik terhadap matriks pengikat, menunjukkan sifat perpanjangan yang cukup tinggi matriks polimer termoset dalam aplikasi komposit secara umum dikenal dengan sifat regangan yang tinggi jika meninjau model kerusakan matriks yang terjadi, model kerusakan yang terjadi cenderung berupa

patah getas seperti ditunjukkan pada *gambar 4.2* sehingga matriks pengikat yang digunakan bersifat getas.

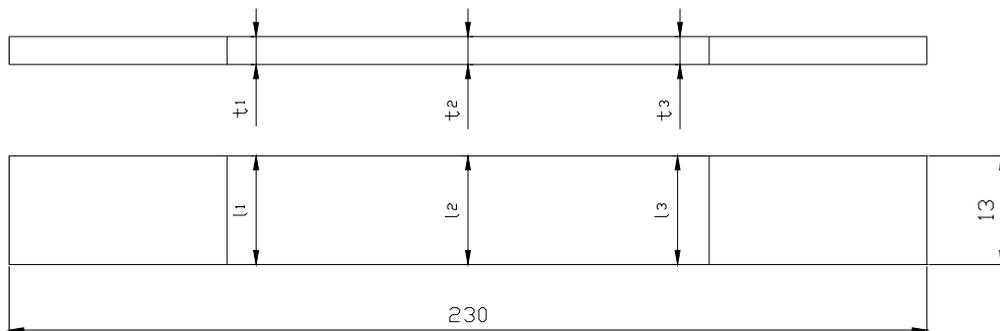


**Gambar 4.2.** Foto makro bentuk perpatahan matriks pengikat.

Dari *tabel 4.1* dan *tabel 4.3* dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik serat sebagai serat penguat lebih besar daripada kekuatan tarik resin sebagai matrik pengikat ( $\sigma_{fmaks} > \sigma_{mmaks}$ ).

### 4.3. Hasil Pengujian Tarik Komposit

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



**Gambar 4.3. Keterangan Ukuran lebar dan tebal komposit.**

**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)
$0^0$	A <sub>1</sub>	14.1	14.1	14.3	3.1	3.2	3.1	14.1	3.1
	A <sub>2</sub>	14.1	14	14.2	3.2	3	3.3	14.1	3.3
	A <sub>3</sub>	14.1	14.2	14	3.1	3.2	3	14.1	3.1
	A <sub>4</sub>	14	14.2	14.1	3	3.1	3.1	14.1	3.1
	A <sub>5</sub>	14.1	14	14.1	3	3.2	3.1	14	3.1
$15^0$	B <sub>1</sub>	13.5	13.6	13.6	3.1	3.1	3.2	13.5	3.1
	B <sub>2</sub>	13.5	14	14	3.1	3.2	3.2	13.8	3.1
	B <sub>3</sub>	14.1	14.2	14	3.2	3.2	3.2	14.1	3.2
	B <sub>4</sub>	14.3	14.2	14	3.2	3.2	3.1	14.1	3.2
	B <sub>5</sub>	13.3	13.2	14	3.3	3.3	3.2	13.4	3.3
$30^0$	C <sub>1</sub>	14	14	14	3.1	3.2	3.1	14	3.1
	C <sub>2</sub>	14	13.8	14	3.1	3.2	3.1	13.9	3.1
	C <sub>3</sub>	14.2	14	14	3.2	3.1	3.2	14.1	3.2
	C <sub>4</sub>	14.2	14	14.1	3.1	3	3.1	14.1	3.1
	C <sub>5</sub>	14.1	14	14.2	3.2	3.1	3.1	14.1	3.1
	D <sub>1</sub>	13.4	13.4	13.8	3.3	3.2	3.2	13.6	3.2

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)
45 <sup>0</sup>	D <sub>2</sub>	14.1	14.1	14	3.1	3.2	3.1	14.1	3.1
	D <sub>3</sub>	14.1	13.9	14	3.3	3.3	3	14	3.2
	D <sub>4</sub>	14.1	14	14.1	3.1	3	3.1	14.1	3.1
	D <sub>5</sub>	14.2	14.1	14	3	3.2	3.1	14.1	3.1
60 <sup>0</sup>	E <sub>1</sub>	13.4	13.7	14	3.1	3.2	3.1	13.7	3.1
	E <sub>2</sub>	14.1	13.8	14.1	3	3.1	3.1	14	3.1
	E <sub>3</sub>	14	13.8	14.1	3.2	3	3.1	13.9	3.1
	E <sub>4</sub>	14.2	14.1	14	3.2	3	3.1	14.1	3.1
	E <sub>5</sub>	14.1	13.9	14	3.3	3.2	3.1	14	3.1
75 <sup>0</sup>	F <sub>1</sub>	14.1	14.1	14	3.2	3.1	3.1	14.1	3.1
	F <sub>2</sub>	14.1	14	14.1	3.1	3	3.2	14.1	3.1
	F <sub>3</sub>	14.2	14.1	14.1	3.2	3.1	3	14	3
	F <sub>4</sub>	14	14	14.1	3	3	3.1	14.1	3
	F <sub>5</sub>	14.2	14.1	14.1	3	3	3.1	14.1	3

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

Orientasi	Nama	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	$L_0$ (mm)	Beban (kg)	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	L (mm)	$\delta$ (mm)	$\epsilon$ (%)
0 <sup>0</sup>	A <sub>1</sub>	43.7	150	490.4	9.36	156	6	4
	A <sub>2</sub>	43.7	150	439.7	10.06	157	7	4.6
	A <sub>3</sub>	43.7	150	462.7	10.58	160	10	6.6
	A <sub>4</sub>	43.7	150	462.6	9.76	156	6	4
	A <sub>5</sub>	43.4	150	449.7	10.36	156	6	4
15 <sup>0</sup>	B <sub>1</sub>	41.8	150	278.7	6.66	155	5	3
	B <sub>2</sub>	42.7	150	267.8	6.27	153	3	2
	B <sub>3</sub>	45.1	150	296.4	6.57	154	4	2.6
	B <sub>4</sub>	45.1	150	308.4	6.83	158	8	5.3
	B <sub>5</sub>	44.2	150	257	5.81	155	5	3.3
30 <sup>0</sup>	C <sub>1</sub>	43	150	230.5	5.36	155	5	3.3
	C <sub>2</sub>	43.1	150	223.1	5.17	155	5	3.3
	C <sub>3</sub>	45.1	150	232.1	5.14	154	4	2.6
	C <sub>4</sub>	43.7	150	195.3	4.46	155	5	3.3
	C <sub>5</sub>	43.7	150	220.3	5.04	153	3	2
	D <sub>1</sub>	43.5	150	196.5	4.51	153	3	2
45 <sup>0</sup>	D <sub>2</sub>	43.7	150	185.5	4.24	154	4	2.6
	D <sub>3</sub>	44.8	150	245	5.46	154	4	2.6

Orientasi	Nama	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	L <sub>0</sub> (mm)	Beban (kg)	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	L (mm)	δ (mm)	ε (%)
	D <sub>4</sub>	43.7	150	181.1	4.14	154	4	2.6
	D <sub>5</sub>	43.7	150	197	4.50	153	3	2
60°	E <sub>1</sub>	42.5	150	205.2	4.82	153	3	2
	E <sub>2</sub>	43.4	150	235.5	5.42	153	3	2
	E <sub>3</sub>	43.1	150	242.4	5.62	155	5	3.3
	E <sub>4</sub>	43.7	150	269.8	6.17	154	4	2.6
	E <sub>5</sub>	43.1	150	256.3	5.94	155	5	3.3
75°	F <sub>1</sub>	43.7	150	319.9	7.32	154	4	2.6
	F <sub>2</sub>	43.7	150	280.3	6.41	155	7	4.6
	F <sub>3</sub>	43.7	150	291.5	6.67	157	7	4.6
	F <sub>4</sub>	42	150	314.1	7.47	156	6	4
	F <sub>5</sub>	43.4	150	247.1	5.69	154	4	2.6

Dari pengujian tarik terhadap komposit dapat 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°, pada saat itu komposit mempunyai harga kekuatan tarik yang terbesar karena hampir semua beban dapat ditanggung oleh serat.

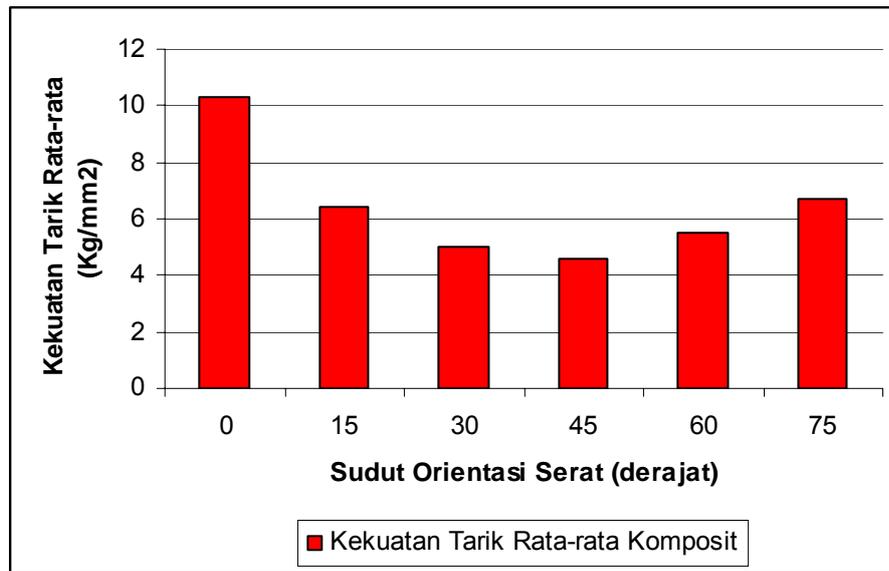
Namun dengan bertambahnya sudut arah orientasi serat, sifat mekanik komposit terutama kekuatannya akan berkurang ( pada arah orientasi 45° ), pada arah orientasi ini komposit mencapai harga minimal. Sedang pada arah orientasi 0° komposit mencapai harga maksimal. Pada saat itu tegangan tarik yang terjadi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

*tabel 4.5* dapat pula disajikan dalam bentuk grafik yaitu grafik kekuatan tarik dengan sudut orientasi serat (*gambar 4.4*) dan grafik penambahan panjang dengan orientasi serat (*gambar 4.5*). Grafik dicari dengan cara mengambil nilai rata-rata kekuatan tarik dan nilai rata-rata penambahan panjang.

**Tabel 4.6. Harga rata-rata kekuatan tarik komposit.**

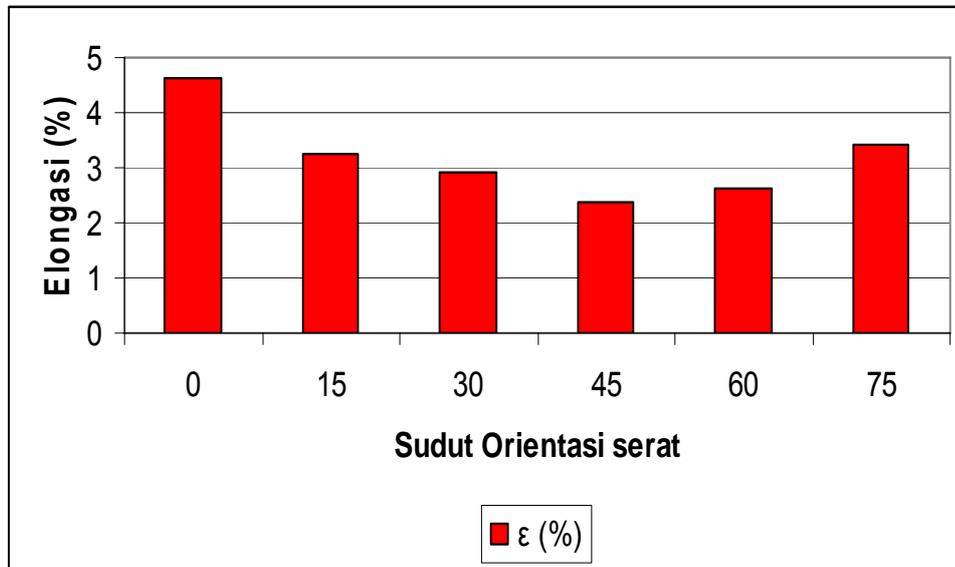
<b>Orientasi</b>	<b>Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm<sup>2</sup>)</b>
0 <sup>0</sup>	10.3
15 <sup>0</sup>	6.4
30 <sup>0</sup>	5
45 <sup>0</sup>	4.57
60 <sup>0</sup>	5.5
75 <sup>0</sup>	6.71



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

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

Orientasi	$\epsilon$ maks (%)
0 <sup>0</sup>	4.64
15 <sup>0</sup>	3.24
30 <sup>0</sup>	2.9
45 <sup>0</sup>	2.36
60 <sup>0</sup>	2.64
75 <sup>0</sup>	3.42



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

#### 4.4. Analisa Kerusakan Pada Komposit

Bentuk kerusakan komposit akibat pengujian tarik yang dilakukan ditunjukkan oleh *gambar 4.6*. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa patahan yang terjadi membentuk sudut yang sesuai dengan sudut pembebanan terhadap arah utama serat.



**Gambar 4.6.** Foto kerusakan komposit.

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

Model kerusakan yang terjadi pada komposit dengan sudut arah orientasi serat  $15^0-75^0$  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  $15^0 - 75^0$  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 matriks retak, beban akan dikonsentrasikan dari matriks ke serat ditempat persinggungan retak. Selanjutnya kemampuan untuk mendukung beban hanya berasal dari serat saja, hal ini mengakibatkan serat akan tercabut dari matriks sehingga kemampuan untuk mendukung beban semakin kecil, sehingga kerusakan yang terjadi pada komposit searah dengan orientasi serat.

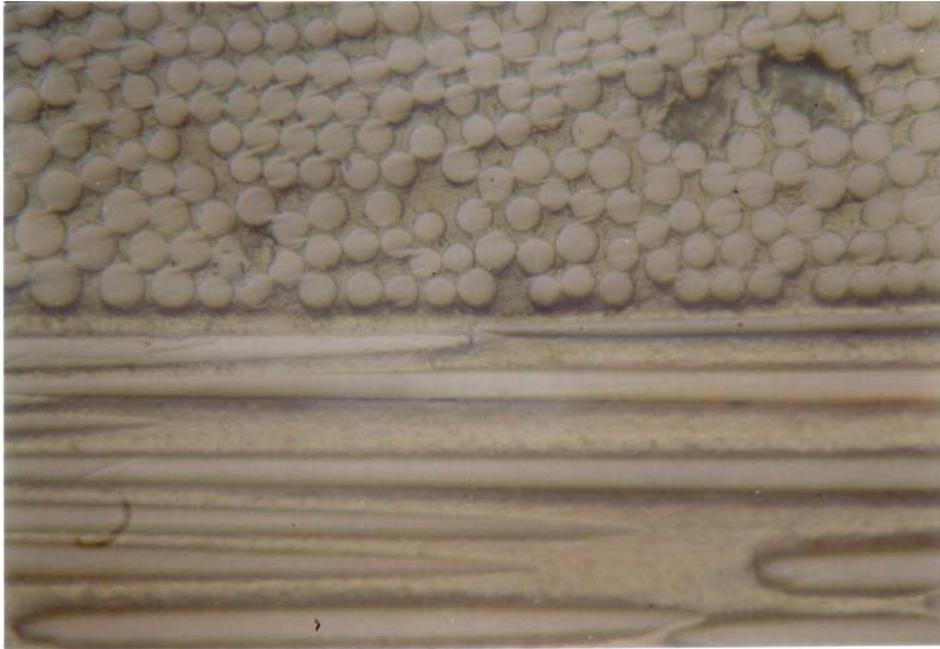
Selain dengan menggunakan grafik hasil pengujian dan foto makro dari bentuk kerusakan komposit, digunakan juga foto mikro pada struktur komposit.

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

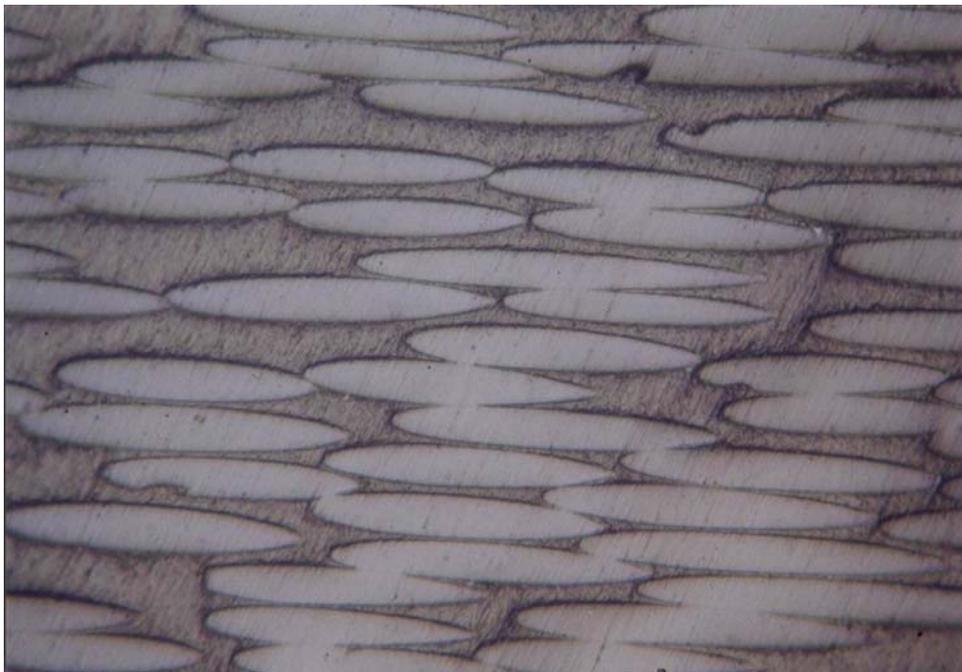
Pada penampang komposit mula yang dapat dilihat dengan bantuan mikroskop setelah komposit dihaluskan dan dipoles dapat menampilkan bentuk penampang serat serta matrik. Dari foto mikro dengan pembesaran 200×, yang dapat dilihat pada *gambar 4.8*, menampilkan bentuk penampang komposit sebelum mengalami uji tarik.

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

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



**Gambar 4.7. Penampang melintang serat gelas-E dan resin  
(perbesaran 200x).**



**Gambar 4.8. Penampang Komposit Mula. (Perbesaran 200x)**



**Gambar 4.9.** Kerusakan *debonding* pada Komposit.



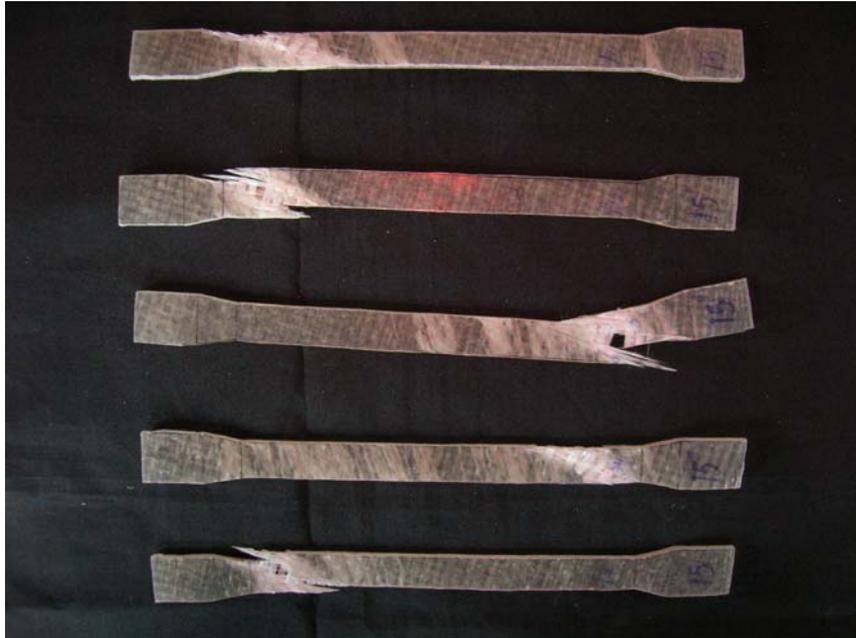
**Gambar 4.10.** Retak Mikro pada Matrik (perbesaran 200x).



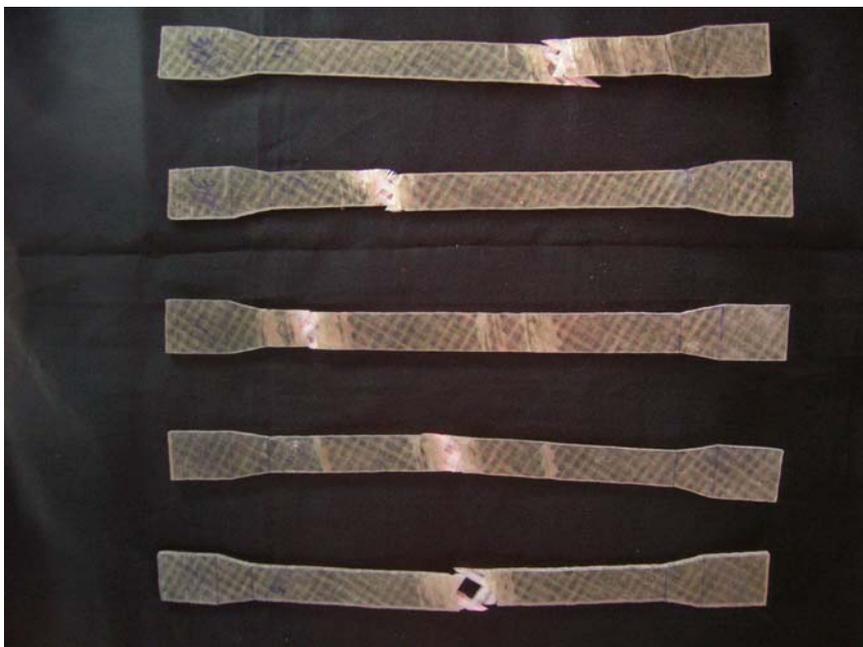
**Gambar 4.11. Void pada Komposit (perbesaran 200x).**



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



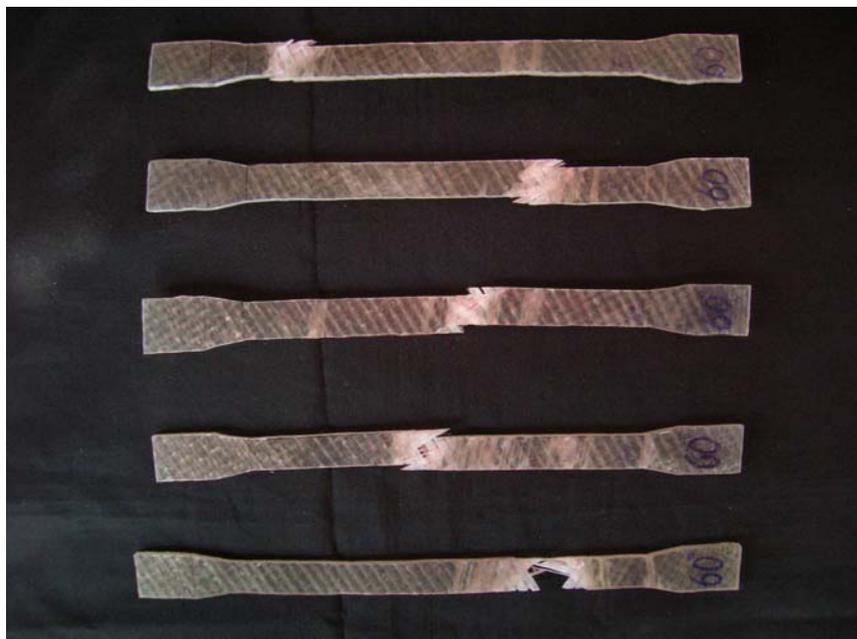
**Gambar 4.13. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 15°.**



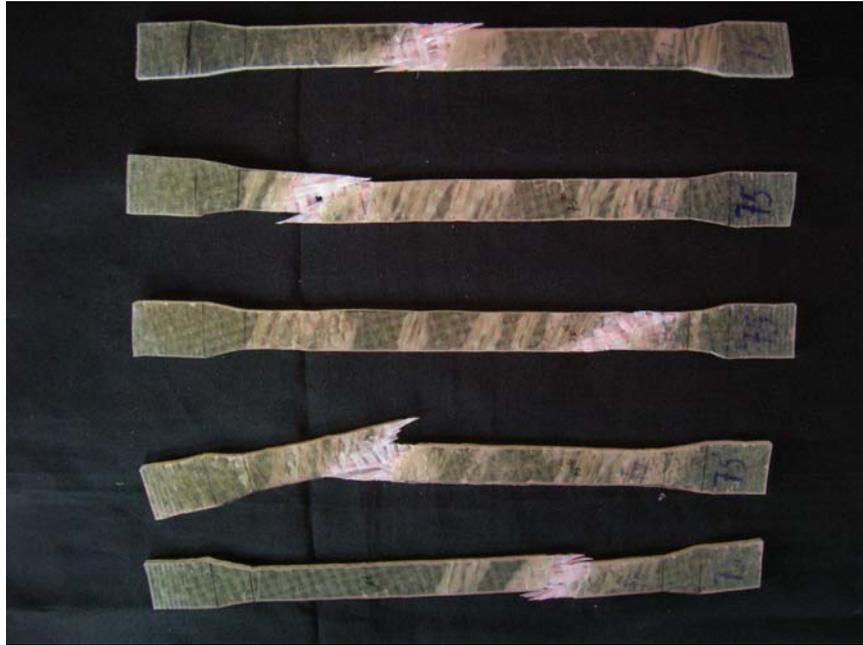
**Gambar 4.14. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 30°.**



**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°.**

#### **4.5 Analisa data dan Pembahasan**

Dari pengujian pada serat, matriks, dan komposit dapat diketahui kekuatan tariknya dari masing-masing benda uji. Dari data yang didapatkan menunjukkan bahwa kekuatan tarik komposit berada diantara kekuatan tarik serat dan matrik pengikatnya, hal ini menunjukkan bahwa bahan komposit yang digunakan sebagai bahan pengujian telah memenuhi standar uji bahan komposit. Kekuatan tarik rata-rata serat sebesar 21,832 kg/mm<sup>2</sup> sedangkan kekuatan tarik rata-rata untuk matriks adalah sebesar 4,064 kg/mm<sup>2</sup>.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa orientasi serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit. Hal ini ditunjukkan oleh hasil pengujian tarik pada orientasi 0°  $\sigma_t$  rata-rata = 10.4 kg/mm<sup>2</sup>, orientasi 15°  $\sigma_t$  rata-rata = 6.3 kg/mm<sup>2</sup>,

orientasi  $30^{\circ}$   $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 5 \text{ kg/mm}^2$ , orientasi  $45^{\circ}$   $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 4.57 \text{ kg/mm}^2$ , orientasi  $60^{\circ}$   $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 5.5 \text{ kg/mm}^2$ , orientasi  $75^{\circ}$  yaitu memiliki  $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 4.71 \text{ kg/mm}^2$ . Bahan komposit yang menggunakan bahan berpenguat serat jenis *woven roving* memperoleh nilai maksimum pada arah orientasi  $0^{\circ}$ , sebab serat dapat berfungsi secara optimal menahan beban yang diberikan pada komposit. Kemampuan bahan komposit terus menurun hingga arah orientasi  $45^{\circ}$  yang merupakan nilai minimum kekuatan tarik bahan komposit.

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.

Dari hasil analisa pemotretan dan pengamatan pada makro struktur berbagai bentuk patahan yang berbeda-beda. Perbedaan ini dikarenakan pengujian pada bahan yang mempunyai orientasi serat yang berbeda-beda. Dari *gambar 4.12* sampai *gambar 4.17* 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 matrik pengikat, mempunyai variasi bentuk patahan seperti di tunjukkan pada *gambar 4.2.* yang juga berupa patah getas. Untuk serat E-glass yang di gunakan bersifat sangat getas dan sangat mudah patah hal ini dapat dilihat dari kekuatan tarik serat yang sangat rendah yaitu sebesar  $21,832 \text{ kg/mm}^2 = 0,214 \text{ GPa}$ . Sedangkan kekuatan tarik serat yang ditunjukkan oleh tabel perbandingan kekuatan dan kekakuan bahan serat dan bahan padatan ( Hadi B.K), kekuatan tarik serat E-glass sebesar 3,5 GPa.

## BAB V

### PENUTUP

Dari hasil pengujian bahan komposit berpenguat serat gelas-E (*woven roving*) dengan volume serat 20 % diperoleh kesimpulan :

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik maksimal terjadi pada orientasi  $0^{\circ}$   $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 10.3 \text{ kg/mm}^2$ , sedangkan kekuatan tarik minimum terjadi pada orientasi  $45^{\circ}$   $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 4,57 \text{ kg/mm}^2$ . Kekuatan tarik menurun sampai minimum pada orientasi  $45^{\circ}$ . Hal ini membuktikan bahwa orienttasi serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit, hal tersebut dapat dilihat dari hasil pengujian tarik pada berbagai sudut orientasi yaitu :

$$0^{\circ} \sigma_{t \text{ rata-rata}} = 10,3 \text{ Kg/mm}^2$$

$$15^{\circ} \sigma_{t \text{ rata-rata}} = 6,4 \text{ Kg/mm}^2$$

$$30^{\circ} \sigma_{t \text{ rata-rata}} = 5 \text{ Kg/mm}^2$$

$$45^{\circ} \sigma_{t \text{ rata-rata}} = 4,57 \text{ Kg/mm}^2$$

$$60^{\circ} \sigma_{t \text{ rata-rata}} = 5,5 \text{ Kg/mm}^2$$

$$75^{\circ} \sigma_{t \text{ rata-rata}} = 6,71 \text{ Kg/mm}^2$$

Dari data-data hasil penelitian tersebut maka dapat pula diketahui bahan komposit yang menggunakan bahan penguat serat jenis *woven roofing*

memperoleh nilai maksimum pada arah orientasi  $0^\circ$ , sebab serat dapat berfungsi secara optimal menahan beban yang diberikan pada komposit, dan pada arah orientasi  $45^\circ$  merupakan sudut kritis dari bahan komposit, sehingga dalam perancangan sudut kritis tersebut harus dihindari sehingga struktur komposit dapat menahan beban yang diberikan. Selain itu dari hasil pengujian terhadap serat dan matriks yang digunakan juga dapat diketahui kekuatan tarik rata-rata serat gelas- E sebesar  $21,832 \text{ kg/mm}^2 = 0,214 \text{ GPa}$ , dan kekuatan tarik rata-rata untuk matrik pengikat sebesar  $4,084 \text{ Kg/mm}^2$ . Dan bentuk kerusakan pada matrik pengikat akibat dari pengujian tarik yang dilakukan adalah berupa patah getas.

Dengan adanya variasi arah orientasi ini pula memungkinkan kekuatan komposit dapat disesuaikan dengan arah pembebanannya dalam perancangan.

## DAFTAR PUSTAKA

Hadi, B.K., November, 2000. *Mekanika Struktur Komposit*.

Departemen Pendidikan Nasional.

Philadhelphia, P.A., 1985. *Annual Book Of ASTM Standard*

*(American Society For Testing Material)*.

Smith, W.F, 1996. *Principals Of Material Science And Engineering*.

Mc Graw Hill. Inc.

# **LAMPIRAN**

Tabel 1.1.

Perbandingan kekuatan dan kekakuan bahan serat dan bahan padatan

Bahan	Modulus tarik ( $E$ , GPa)	Kekuatan tarik ( $\sigma_u$ , GPa)	Masa jenis ( $\rho$ , g/cm <sup>3</sup> )	Modulus spesifik ( $E/\rho$ )	Kekuatan spesifik ( $\sigma_u/\rho$ )
<b>Serat</b>					
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
<b>Bahan konvensional</b>					
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

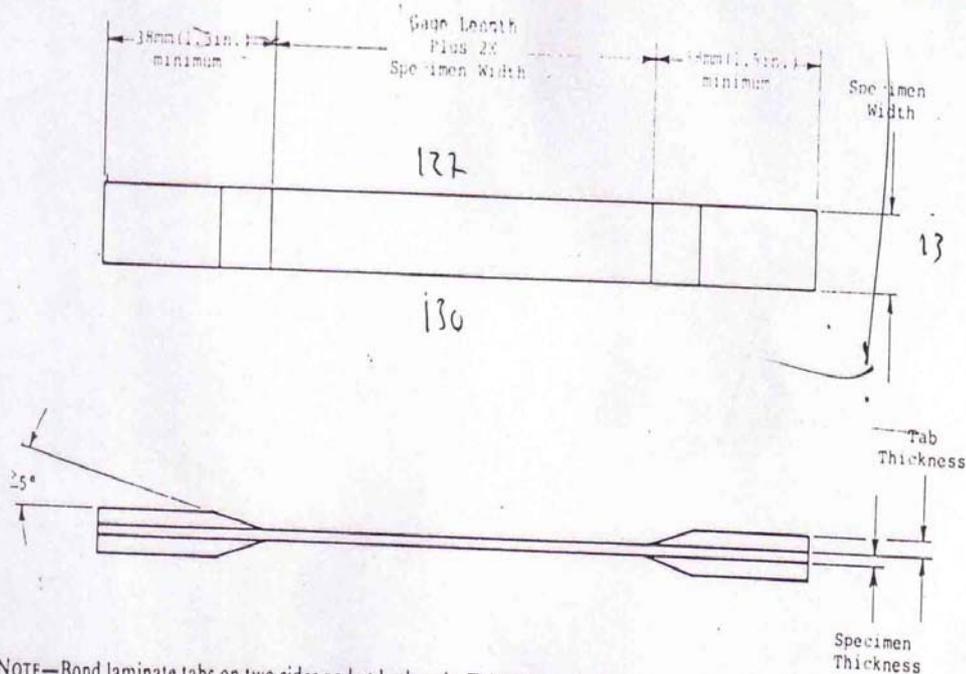
TABLE 1 Widths and Gage Lengths of Specimens

Fiber Orientation	Recommended Specimen Width		Recommended Minimum Gage Length	
	mm	in.	mm	in.
0 deg (angle)	12.7	0.5	127	5
90 deg (angle)	25.4	1.0	38.1	1.5
0/90 deg (angle) balanced crossply	25.4	1.0	127	5

1612  
= 967,7  
= 3225,8

TABLE 2 Recommended Thicknesses for Various Reinforcements

Type of Reinforcement	Continuous Fibers		Discontinuous Fibers	
	mm	in.	mm	in.
Boron	0.508 to 2.54	0.020 to 0.100	1.016 to 5.08	0.040 to 0.200
Graphite	0.508 to 2.54	0.020 to 0.100	1.016 to 5.08	0.040 to 0.200
Glass	0.762 to 2.275	0.030 to 0.125	1.524 to 6.55	0.060 to 0.250



NOTE—Bond laminate tabs on two sides and at both ends. Tabs are applied to the end of the test composite with a suitable adhesive. Each tab is a minimum of 38 mm (1.5 in.) long by the width of the laminate and a thickness of approximately 1.5 to 4 times the thickness of the test composite.

FIG. 1 Tensile Test Specimen

### Grafik Tegangan Vs Regangan pada Matrik Pengikat

No	Beban (Kg)	Tegangan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Pertambahan Panjang (mm)	Elongasi (%)
1	163,58	4,26	0,9	1,8
2	160,14	4,18	0,9	1,8
3	134,7	3,63	0,8	1,6
4	172,05	4,61	1,15	2,3
5	140,59	3,74	1,0	2,0

Catatan :

1. Beban dan Elongasi diperoleh dari mesin uji tarik.
2. Pertambahan panjang dengan rumus

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l$  : Panjang setelah pengujian.

$l_0$  : Panjang mula-mula.

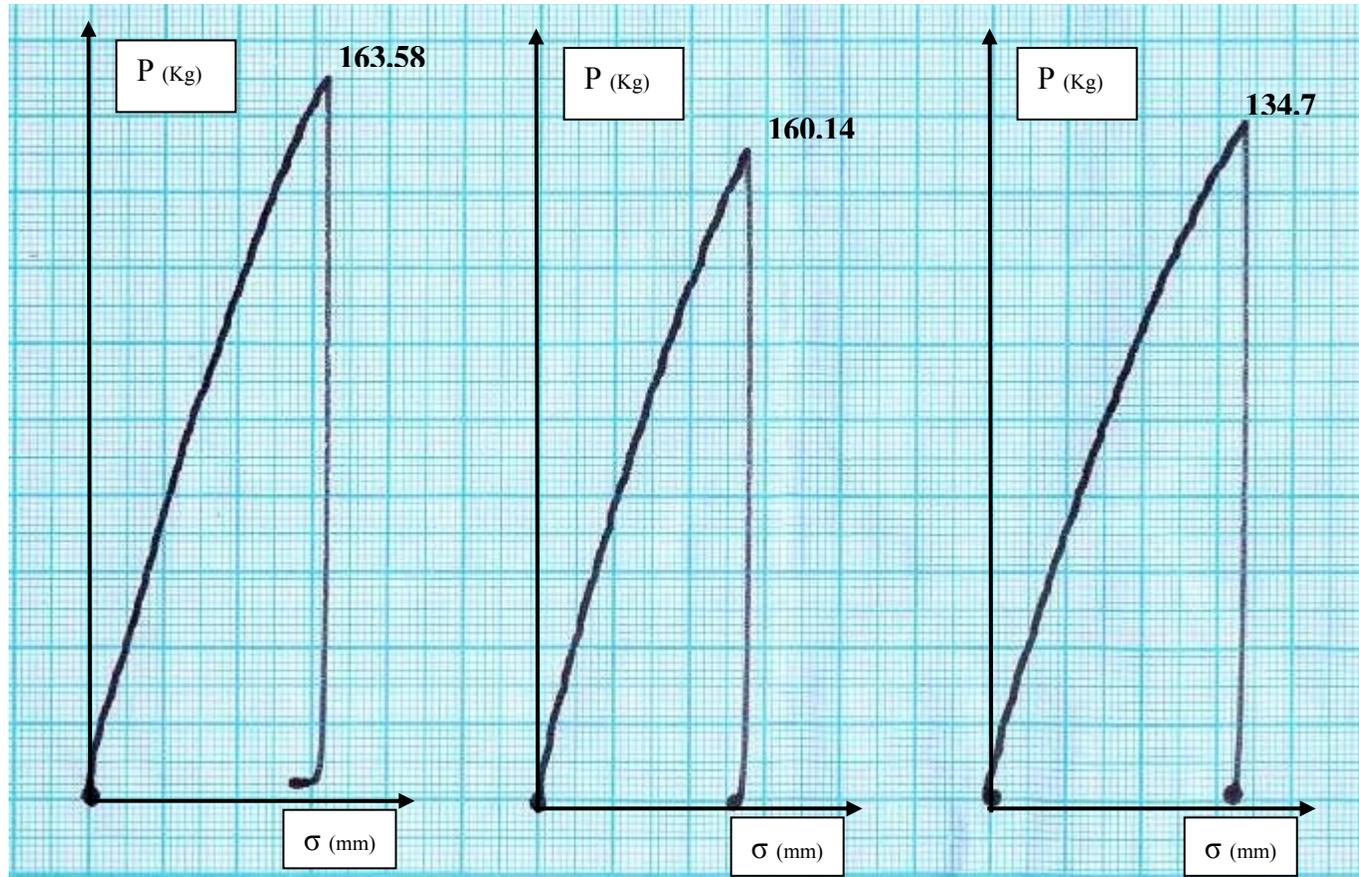
$$\varepsilon = \sigma_1 / l_0$$

dengan :

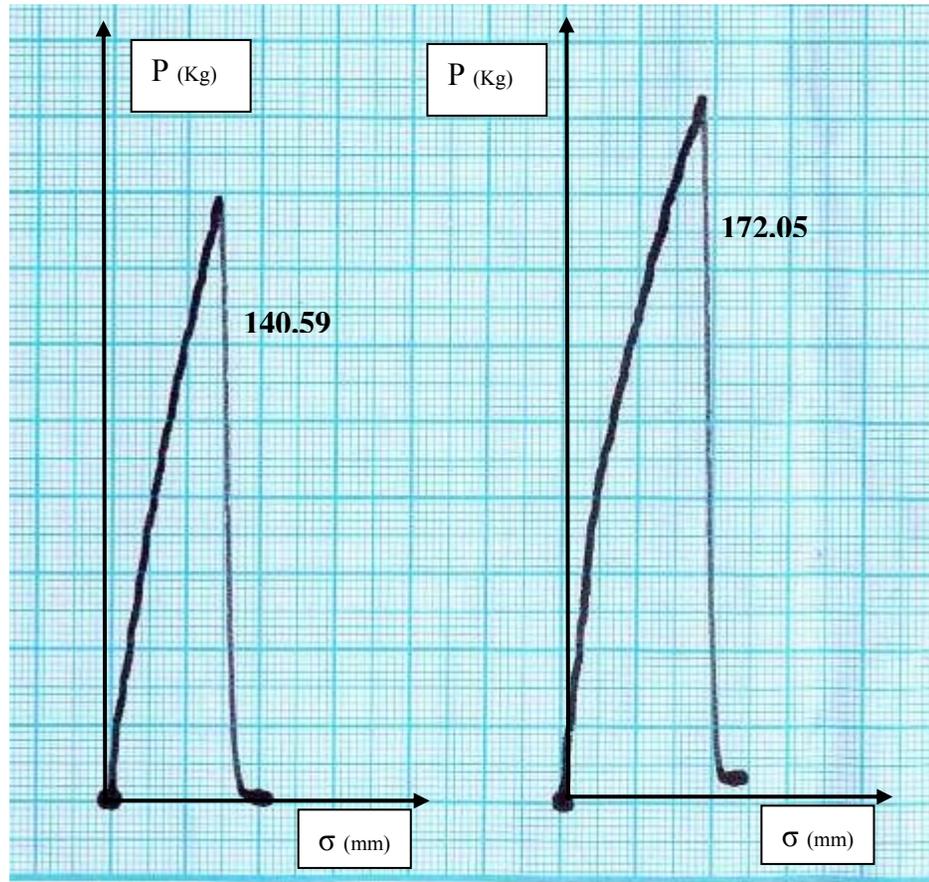
$\varepsilon$  : Regangan.

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l_0$  : Panjang mula.



**Grafik pengujian tarik matrik pengikat**



Grafik pengujian tarik matrik pengikat

## Grafik Tegangan Vs Regangan pada masing-masing Orientasi Serat

### Uji Tarik Komposit Orientasi 0°

No	Beban (Kg)	Tegangan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Pertambahan Panjang (mm)	Elongasi (%)
A1	490.4	9.36	6	4
A2	439.7	10.06	7	4.6
A3	462.7	10.58	10	6.6
A4	462.6	9.76	6	4
A5	449.7	10.36	6	4

Catatan :

1. Beban dan Elongasi diperoleh dari mesin uji tarik.
2. Pertambahan panjang dengan rumus

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l$  : Panjang setelah pengujian.

$l_0$  : Panjang mula-mula.

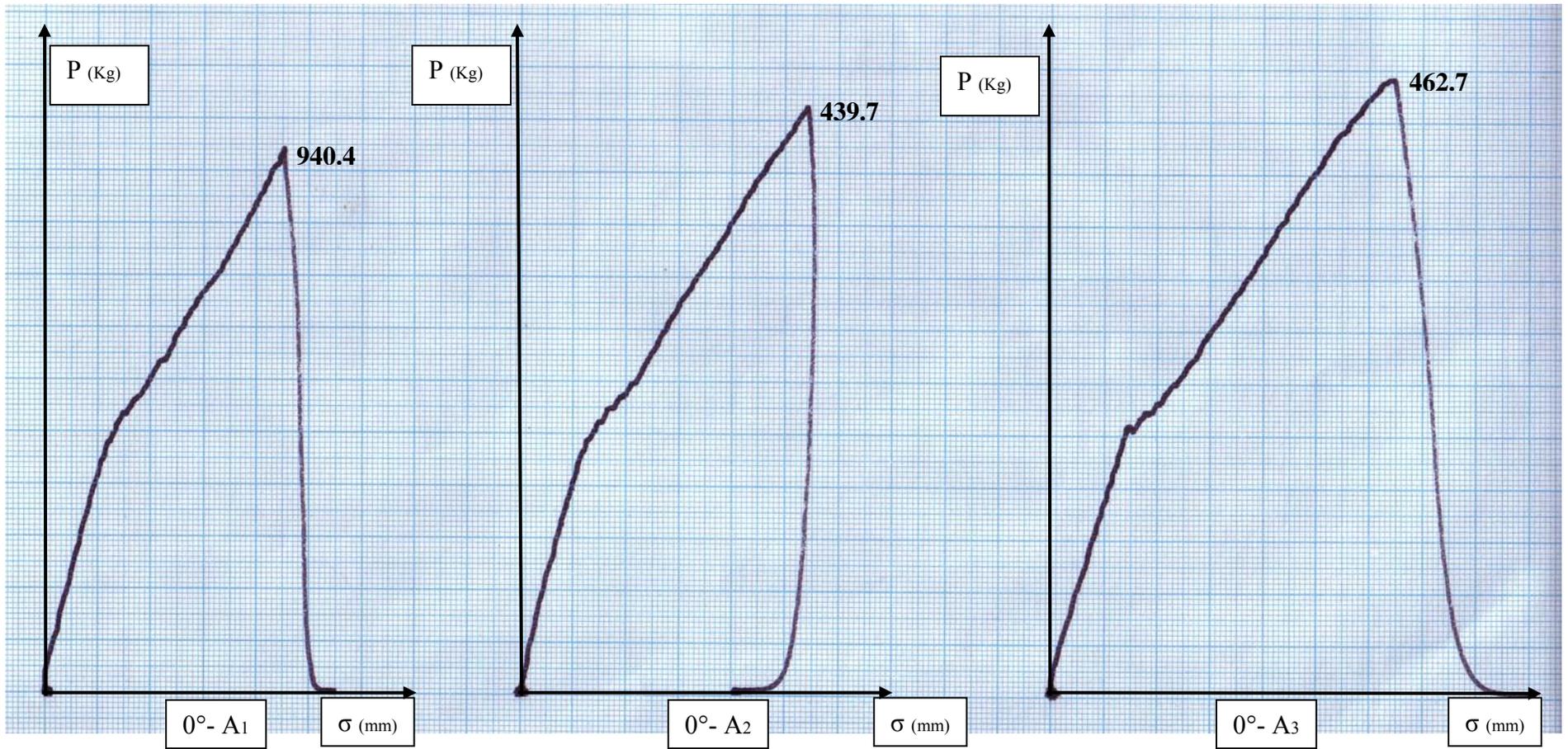
$$\varepsilon = \sigma_1 / l_0$$

dengan :

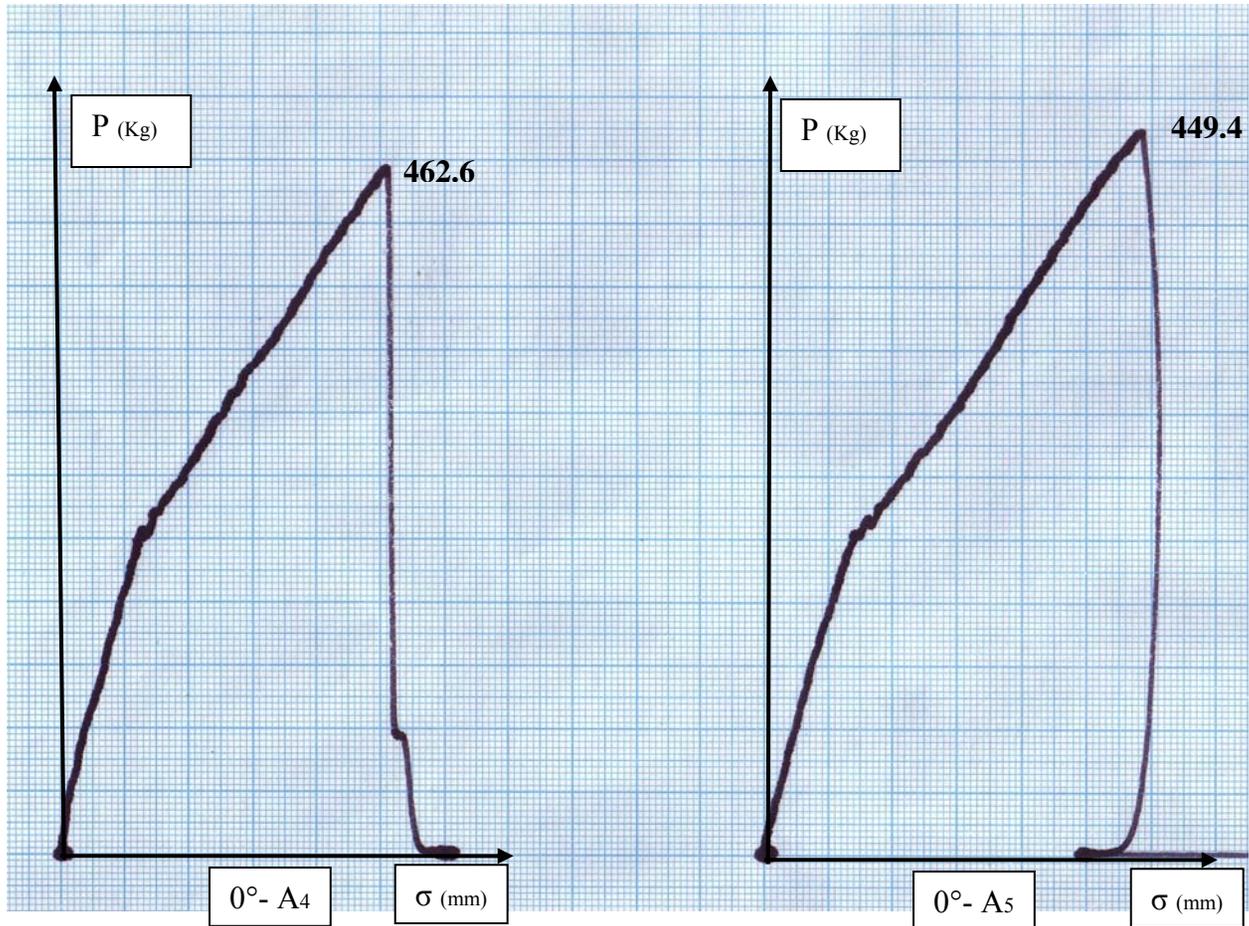
$\varepsilon$  : Regangan.

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l_0$  : Panjang mula.



Grafik pengujian tarik komposit dengan sudut orientasi 0°



Grafik pengujian tarik komposit dengan sudut orientasi 0°

## Grafik Tegangan Vs Regangan pada masing-masing Orientasi Serat

### Uji Tarik Komposit Orientasi 15°

No	Beban (Kg)	Tegangan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Pertambahan Panjang (mm)	Elongasi (%)
B <sub>1</sub>	278.7	6.66	5	3
B <sub>2</sub>	267.8	6.27	3	2
B <sub>3</sub>	296.4	6.57	4	2.6
B <sub>4</sub>	308.4	6.83	8	5.3
B <sub>5</sub>	257	5.81	5	3.3

Catatan :

1. Beban dan Elongasi diperoleh dari mesin uji tarik.
2. Pertambahan panjang dengan rumus

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l$  : Panjang setelah pengujian.

$l_0$  : Panjang mula-mula.

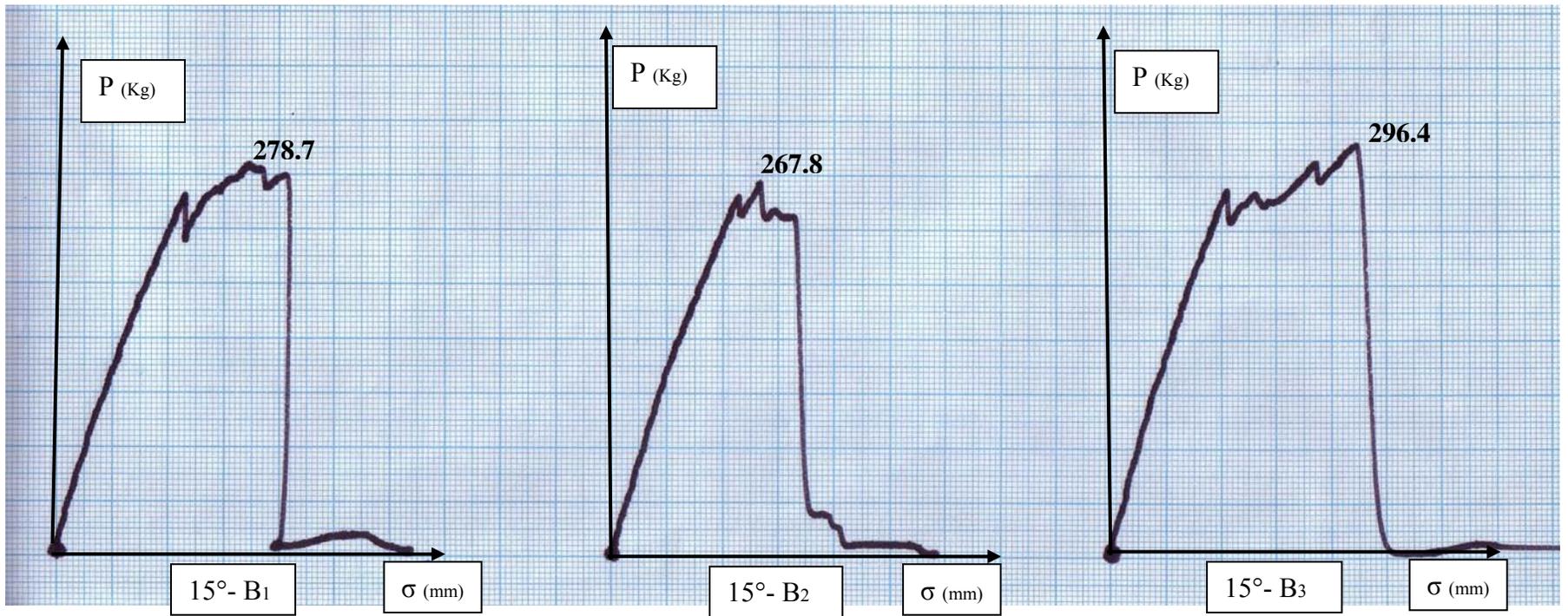
$$\varepsilon = \sigma_1 / l_0$$

dengan :

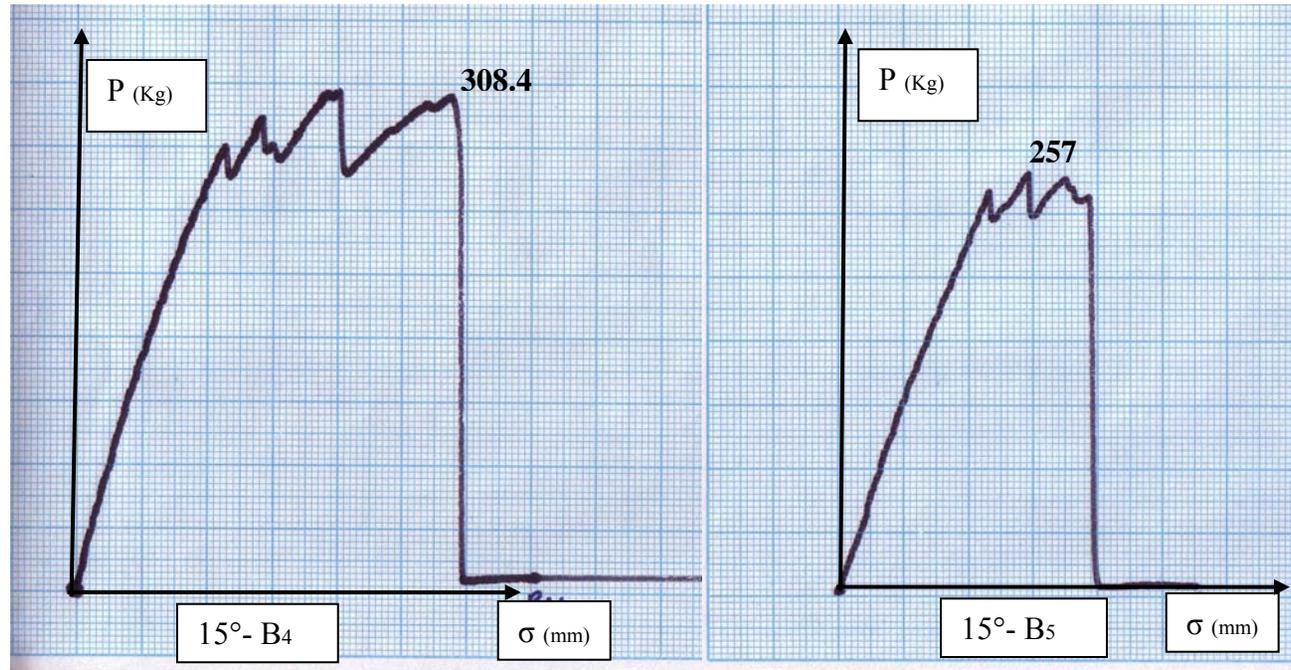
$\varepsilon$  : Regangan.

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l_0$  : Panjang mula.



Grafik pengujian tarik komposit dengan sudut orientasi 15°



**Grafik pengujian tarik komposit dengan sudut orientasi 15°**

## Grafik Tegangan Vs Regangan pada masing-masing Orientasi Serat

### Uji Tarik Komposit Orientasi 30°

No	Beban (Kg)	Tegangan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Pertambahan Panjang (mm)	Elongasi (%)
C <sub>1</sub>	230.5	5.36	5	3.3
C <sub>2</sub>	223.1	5.17	5	3.3
C <sub>3</sub>	232.1	5.14	4	2.6
C <sub>4</sub>	195.3	4.46	5	3.3
C <sub>5</sub>	220.3	5.04	3	3

Catatan :

1. Beban dan Elongasi diperoleh dari mesin uji tarik.
2. Pertambahan panjang dengan rumus

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l$  : Panjang setelah pengujian.

$l_0$  : Panjang mula-mula.

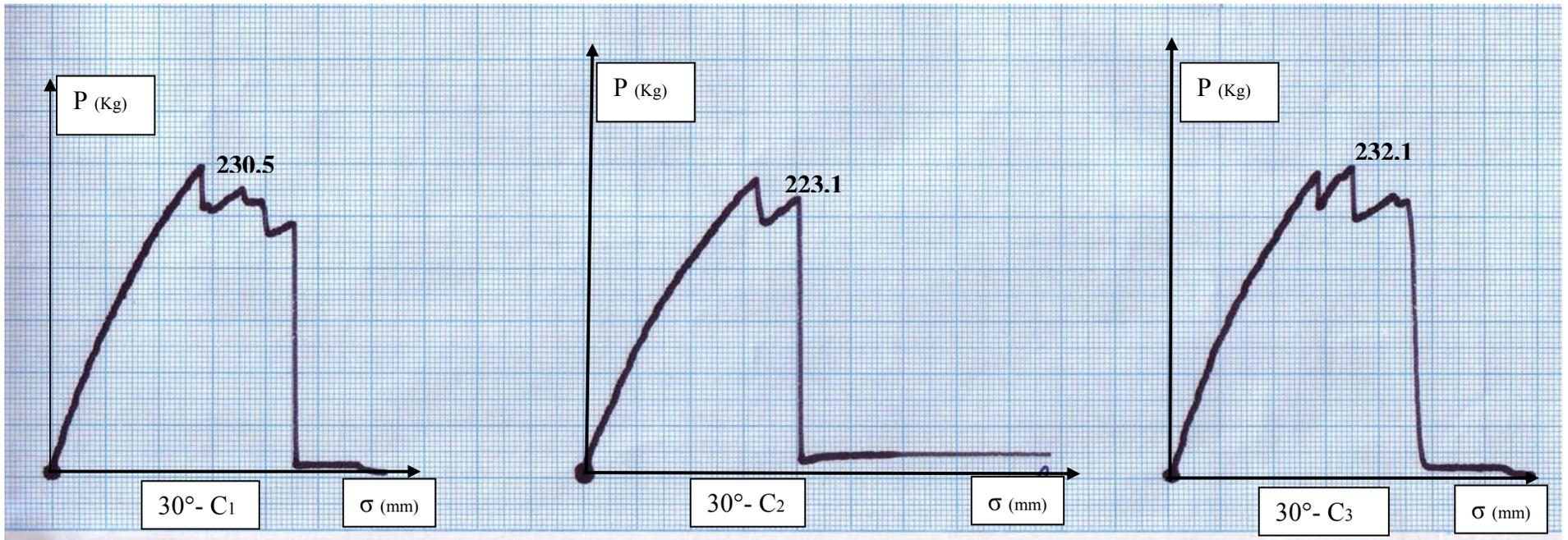
$$\epsilon = \sigma_1 / l_0$$

dengan :

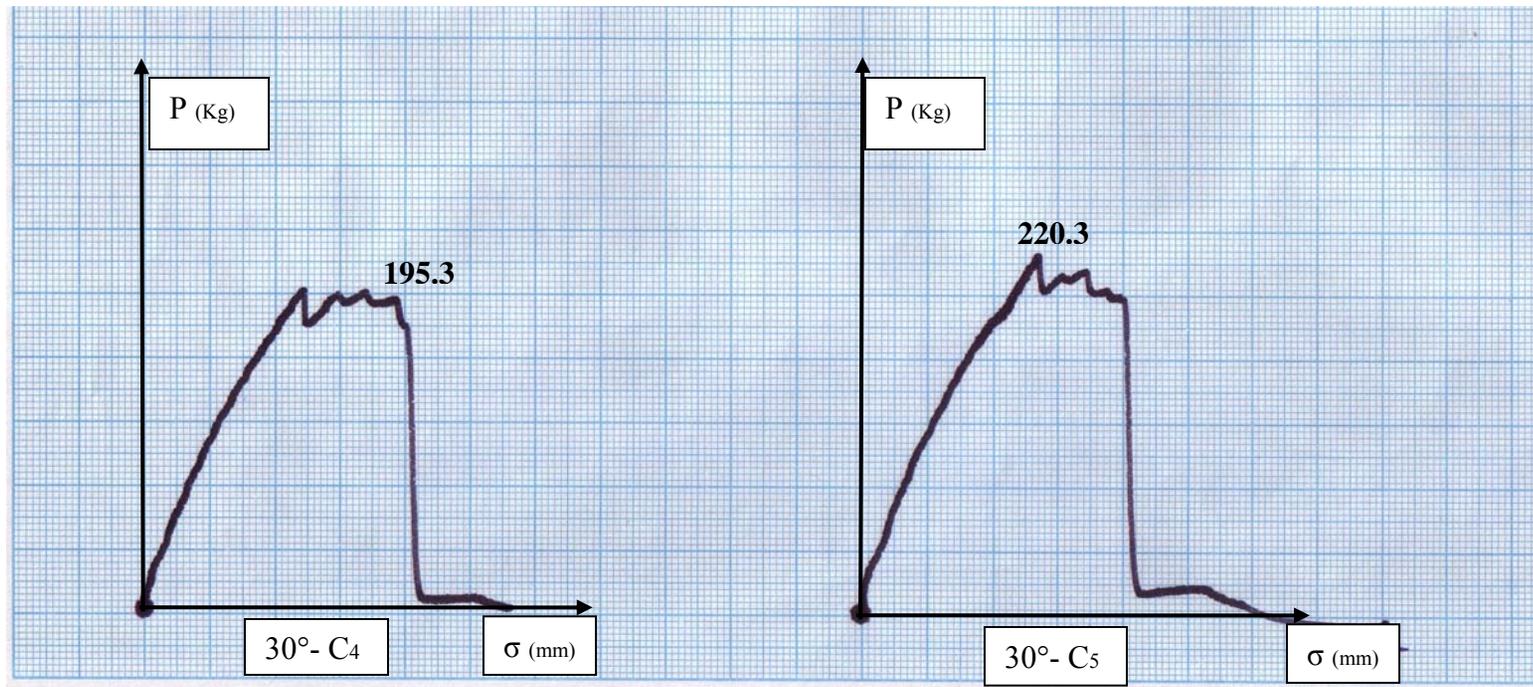
$\epsilon$  : Regangan.

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l_0$  : Panjang mula.



**Grafik pengujian tarik komposit dengan sudut orientasi 30°**



Grafik pengujian tarik komposit dengan sudut orientasi 30°

## Grafik Tegangan Vs Regangan pada masing-masing Orientasi Serat

### Uji Tarik Komposit Orientasi 45°

No	Beban (Kg)	Tegangan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Pertambahan Panjang (mm)	Elongasi (%)
D <sub>1</sub>	196.5	4.51	3	2
D <sub>2</sub>	185.5	4.24	4	2.6
D <sub>3</sub>	245	5.46	4	2.6
D <sub>4</sub>	181.1	4.14	4	2.6
D <sub>5</sub>	197	4.50	3	2

Catatan :

1. Beban dan Elongasi diperoleh dari mesin uji tarik.
2. Pertambahan panjang dengan rumus

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l$  : Panjang setelah pengujian.

$l_0$  : Panjang mula-mula.

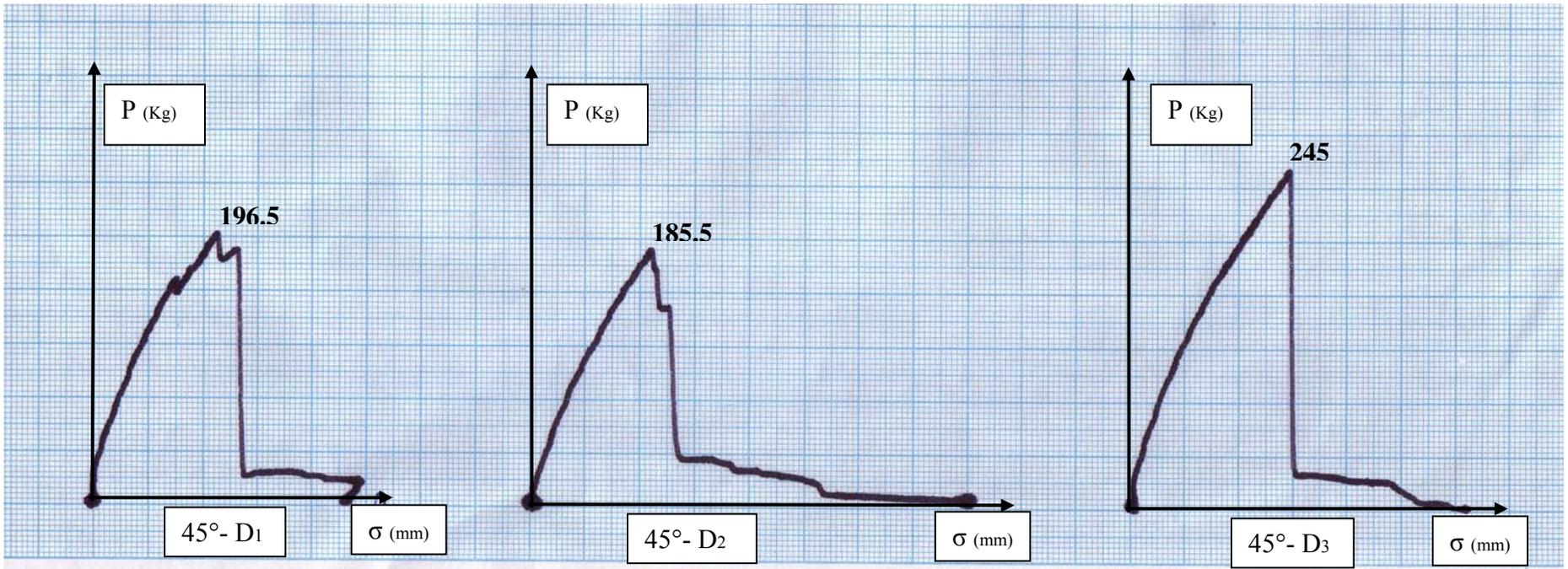
$$\varepsilon = \sigma_1 / l_0$$

dengan :

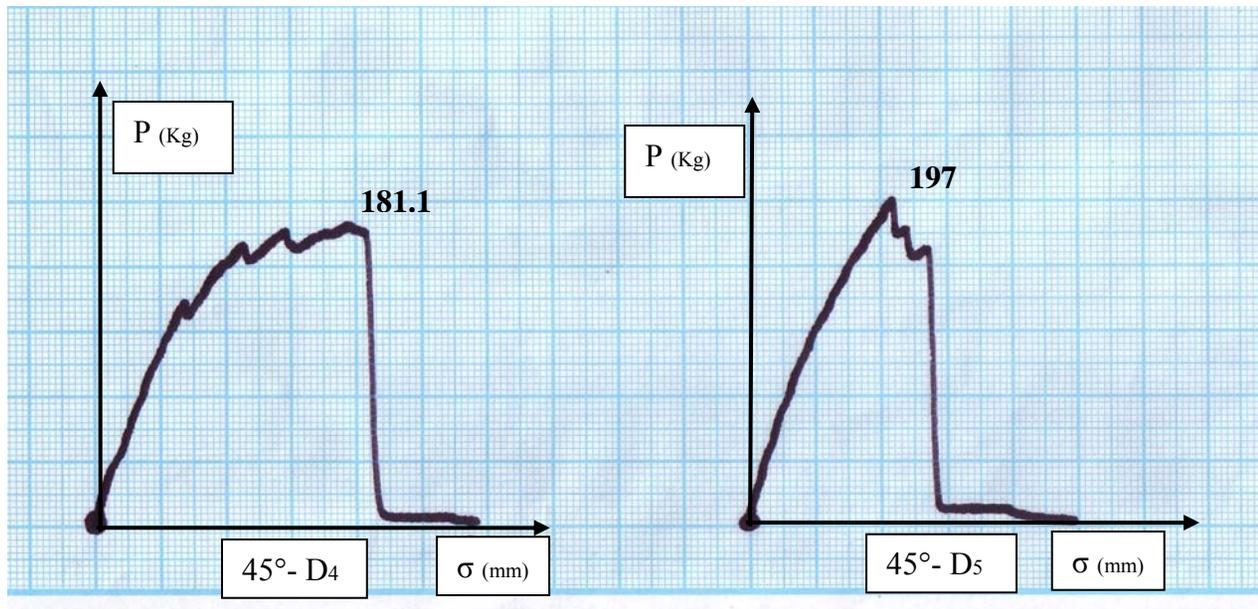
$\varepsilon$  : Regangan.

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l_0$  : Panjang mula.



**Grafik pengujian tarik komposit dengan sudut orientasi 45°**



**Grafik pengujian tarik komposit dengan sudut orientasi 45°**

## Grafik Tegangan Vs Regangan pada masing-masing Orientasi Serat

### Uji Tarik Komposit Orientasi 60°

No	Beban (Kg)	Tegangan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Pertambahan Panjang (mm)	Elongasi (%)
E <sub>1</sub>	205.2	4.82	3	2
E <sub>2</sub>	235.5	5.42	3	2
E <sub>3</sub>	242.4	5.62	5	3.3
E <sub>4</sub>	269.8	6.17	4	2.6
E <sub>5</sub>	256.3	5.94	5	3.3

Catatan :

1. Beban dan Elongasi diperoleh dari mesin uji tarik.
2. Pertambahan panjang dengan rumus

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l$  : Panjang setelah pengujian.

$l_0$  : Panjang mula-mula.

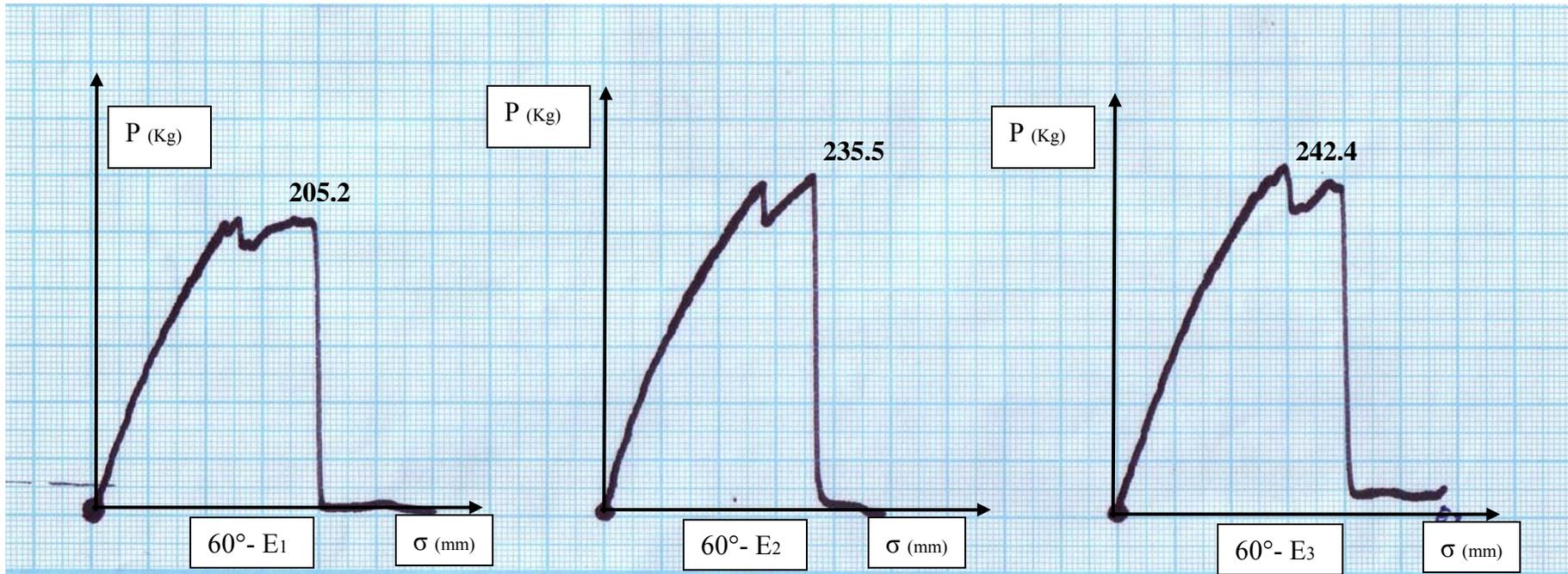
$$\varepsilon = \sigma_1 / l_0$$

dengan :

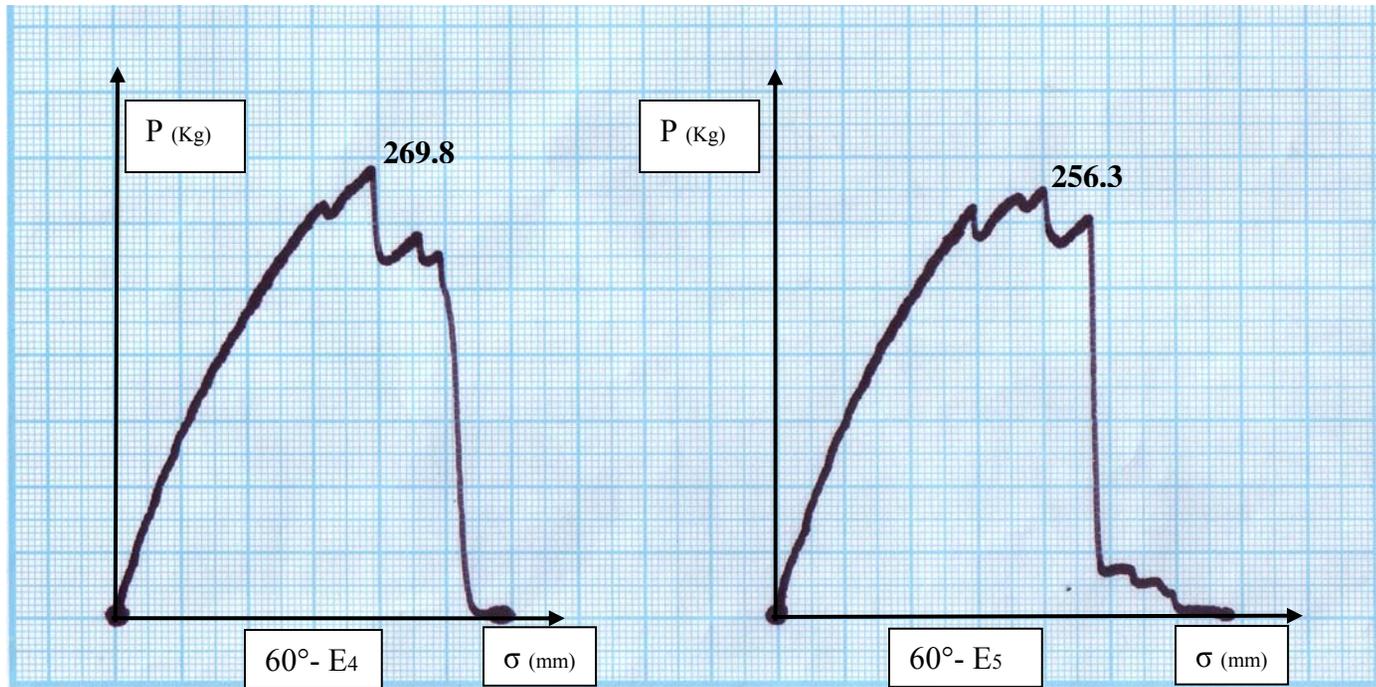
$\varepsilon$  : Regangan.

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l_0$  : Panjang mula.



Grafik pengujian tarik komposit dengan sudut orientasi 60°



**Grafik pengujian tarik komposit dengan sudut orientasi 60°**

## Grafik Tegangan Vs Regangan pada masing-masing Orientasi Serat

### Uji Tarik Komposit Orientasi 75°

No	Beban (Kg)	Tegangan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Pertambahan Panjang (mm)	Elongasi (%)
F <sub>1</sub>	319.9	7.32	4	2.6
F <sub>2</sub>	280.3	6.41	7	4.6
F <sub>3</sub>	291.5	6.67	7	4.6
F <sub>4</sub>	314.1	7.47	6	4
F <sub>5</sub>	247.1	5.69	4	2.6

Catatan :

1. Beban dan Elongasi diperoleh dari mesin uji tarik.
2. Pertambahan panjang dengan rumus

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l$  : Panjang setelah pengujian.

$l_0$  : Panjang mula-mula.

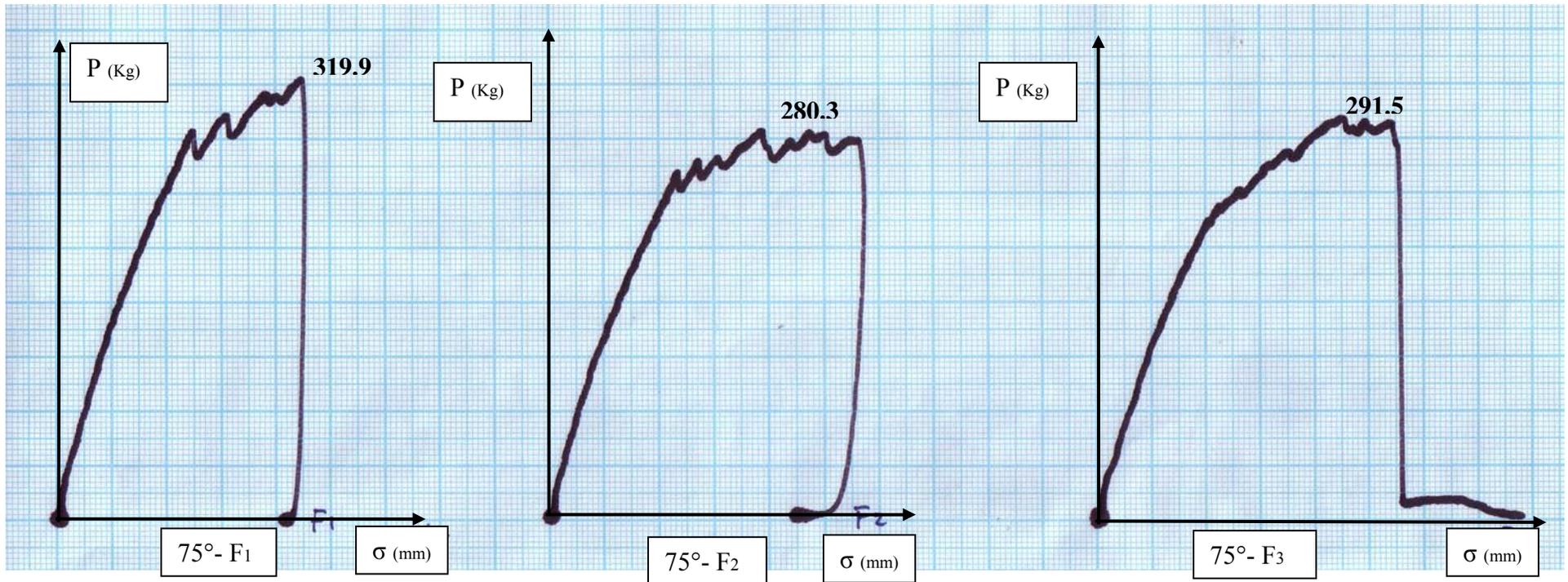
$$\varepsilon = \sigma_1 / l_0$$

dengan :

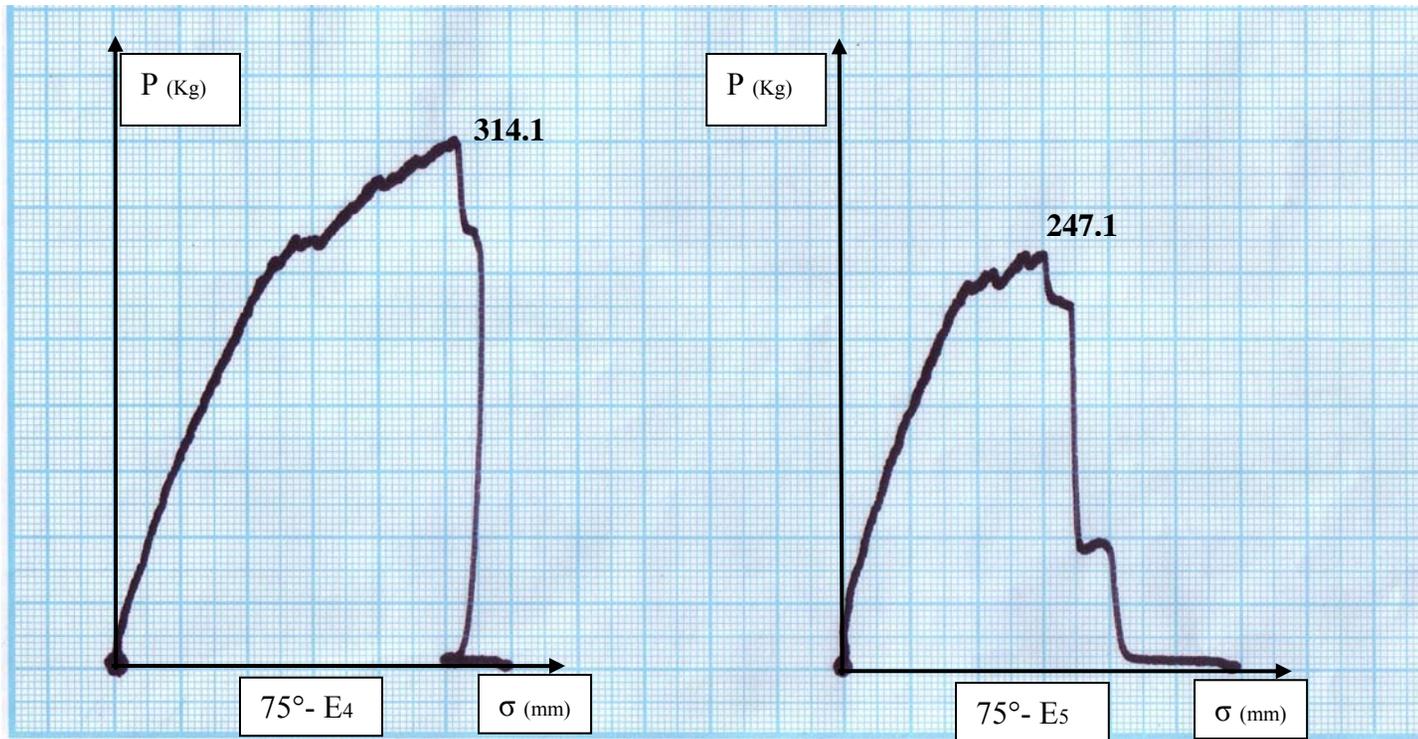
$\varepsilon$  : Regangan.

$\sigma_1$  : Deformasi.

$l_0$  : Panjang mula.



**Grafik pengujian tarik komposit dengan sudut orientasi 75°**



**Grafik pengujian tarik komposit dengan sudut orientasi 75°**