

**RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL WOVEN ROVING FIBER
COMPOSITE (E-TYPE) WITH JUSTUS 157 RESIN AND 1 LAYER OF WOVEN
ROVING**

TUGAS AKHIR

Untuk Memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1

Program Studi Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin



Diajukan Oleh :
B DWI ARYANTO
NIM : 995214024
NIRM : 99005112310120024



Kepada
**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA**

2004

TUGAS AKHIR
RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL WOVEN ROVING FIBER
COMPOSITE (E-TYPE) WITH JUSTUS 157 RESIN AND 1 LAYER OF WOVEN
ROVING

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :
NAMA : B DWI ARYANTO
NIM : 995214024

Yang telah dipertahankan didepan Dewan Penguji
Pada tanggal : 23 Juli 2004

Susunan Dewan Penguji :

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.

Anggota Dewan Penguji



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

Pembimbing Kedua



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



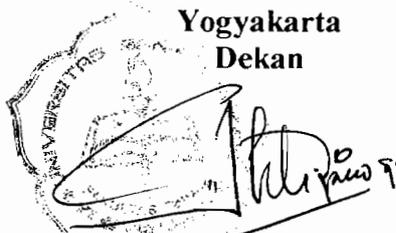
Ir. M. Rines Alapan, M.T.



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

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

Yogyakarta, 13 Agustus 2004
Fakultas Teknik
Universitas Sanata Dharma
Yogyakarta
Dekan



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

PERNYATAAN

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

Yogyakarta, Juni 2004



B. Dwi Aryanto

No.Mhs : 995214024



TUGAS AKHIR/SKRIPSI PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA

No: 421 /FT .USD/TM/ Mei/2004

NAMA : B. Dwi Aryanto
NIM : 995214024
NIRM : 990051123109120024
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik , Univ. Sanata Dharma Yogyakarta
Judul TGA :
Penelitian Sifat Mekanis & Fisis Komposit dengan serat woven roving
(E Type) dan resin Justus 157. Gunakan satu lapis woven roving.
Penelitian sebagai fungsi orientasi serat.

Tanggal dimulai : 23 Pebruari 2004

Yogyakarta , 5 Mei 2004
Pembimbing I

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

Dr. Ir. Viktor Malau, DHA

Halaman Persembahan

TUGAS AKHIR

RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL WOVEN ROVING FIBER
COMPOSITE (E-TYPE) WITH JUSTUS 157 RESIN AND 1 LAYER OF WOVEN
ROVING

Saya persembahkan kepada :

†
Bapak dan Ibu
Kakak
Istri
Bidadari kecilku
Avilla
Adelia

yang telah banyak memberi dorongan, yang selalu membantu, yang selalu setia mendukung, yang selalu memberikan senyuman, keceriaan, kebahagiaan dan memberikan semangat di setiap perjalanan hidupku.



Benedictus Dwi Aryanto
USD

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat komposit *Glass Fiber Reinforced Plastic*, bahan yang digunakan antara lain : resin Justus 157 sebagai bahan pengikat dan katalis *Metoxene (methyle ethyl ketone peroxide)* sebagai bahan pengeras, serat E-gelass jenis (*woven roving*) sebagai bahan penguat. Ruang lingkup pembahasan dikhususkan untuk mengetahui pengaruh orientasi serat terhadap kekuatan tarik komposit

Langkah penelitian ini terdiri dari beberapa tahap antara lain : Tahap pertama dengan membuat bahan matrik pengikat dengan ukuran $20 \times 15 \times 0,3$ cm. Kemudian dilakukan pengujian tarik yang menggunakan standar uji tarik ASTM D 3039. Kedua, menguji serat penguat dengan menggunakan standar uji tarik JIS R 3420. Ketiga, membuat bahan komposit yang menggunakan serat sebanyak 1 lapis dengan ukuran $46 \times 36 \times 0,3$ cm. Kemudian bahan komposit tersebut dipotong sesuai standart uji tarik ASTM A 370. Pengujian tarik untuk bahan komposit dilakukan sesuai arah orientasi serat yaitu 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , dan 90° . Untuk setiap arah orientasi serat dibuat 5 spesimen. Seluruh proses pengujian tarik menggunakan alat uji tarik di Laboratorium Ilmu Logam Fakultas Teknik USD. Keempat mengetahui struktur komposit dengan uji struktur mikro menggunakan bantuan mikroskop. Setelah proses pengujian selesai didapatkan data berupa nilai uji tarik untuk setiap benda uji. Dari nilai uji tarik yang didapat kita mencari nilai rata-rata dari 5 spesimen 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , dan 90° .

Berdasarkan hasil penelitian telah diperoleh kesimpulan sebagai berikut : pertama, kekuatan tarik serat $\sigma_t = 4160,72 \text{ kg/mm}^2$, kekuatan tarik matrik $\sigma_t = 4,08 \text{ kg/mm}^2$, dari hasil tersebut kekuatan tarik serat penguat ternyata lebih besar daripada kekuatan tarik matriks. Kedua, terdapat kemiripan data pada arah orientasi antara lain : sudut 0° dengan 90° ; sudut 15° dengan 75° ; sudut 30° dengan 60° ; dikarenakan penggunaan serat berjenis anyaman (*woven roving*). Ketiga, kekuatan terendah pada arah orientasi sudut 45° yaitu memiliki $\sigma_t = 2,24 \text{ kg/mm}^2$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa orientasi serat sangatlah berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit.

ABSTRACT

The purpose of this research is to recognize the characteristics of *Glass Fiber Reinforced Plastic* composite. The materials used in this research are Justus 157 resins as the bond material, *Metoxene* catalyst (*methyl ethyl ketone peroxide*) as the harden material, glass-E fiber (*woven roving type*) as the strengthen material. The discussion is then specified to find out the influence of fiber orientation toward the strength of the composite pull.

The process of this research covers five steps. The first step is making the 20×15×0,3 cm matrix of the bond material. Then the tensile test of the material is done using the ASTM D 3039 tensile test standard. The tensile test is done five times. The second step is testing the strengthen fiber using the JIS R 3420 tensile test standard. The tensile test is done five times. Next, the third step is taking a composite material that uses one layer of 46×36×3 mm fiber. Then the material is cut according to the ASTM A 370 tensile test standard. The tensile test for the composite is done according to the direction of the fiber orientation at 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, and 90°. For each fiber direction, the test is done five times. The whole process of the tensile test uses the test tools in the metallurgy laboratory of Technical Faculty, Sanata Dharma University. The fourth step is learning the structure of the composite by micro test structure with the help of the microscope. After doing the whole testing process, the researcher gets data in the form of tensile test value for each tested material. Based on the data, the researcher finds out the average value of the 5 specimens, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, and 90°.

The researcher concludes the whole process of the research into three points. First, the tensile strength of the fiber is $\sigma_t = 4160,72 \text{ kg/mm}^2$, and the tensile strength of the matrix is $\sigma_t = 4,08 \text{ kg/mm}^2$. The result shows that the tensile strength of the strengthen fiber is bigger than the matrix. Second, there is similarity of the data in the orientation at the angle of 0° and 90°; 15° and 75°; 30° and 60°; because of the using of woven roving fiber. Third, the lowest strength is found at the orientation of 45°, which has $\sigma_t = 2,24 \text{ kg/mm}^2$. Finally, this research has investigated that the orientation of fiber are influencing the tensile strength of the composite.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kasih atas berkat dan tuntunannya mulai dari tahap pembuatan, pengujian, analisis, presentasi sampai dengan pembuatan laporan Tugas Akhir ini sehingga semuanya dapat berjalan dengan baik dan lancar.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan pendidikan Strata-1 di Universitas Sanata Dharma. Dalam tahap awal sampai dengan penulisan laporan ini, banyak pihak yang telah banyak memberikan kesempatan, bantuan, bimbingan dan dorongan moral kepada penyusun. Oleh karena itu penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada:

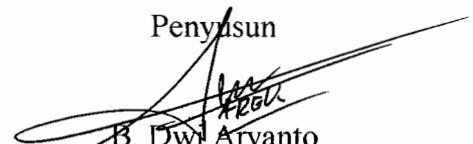
1. Romo Dr. Paul Suparno SJ. MST, Rektor Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.
2. Ir. Greg. Heliarko, SJ., SS., B.ST., MA., M.Sc, Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma.
3. Bapak Yosep Agung Cahyanta, S.T., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.
4. Bapak Dr. Ir. Viktor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

7. Bapak Martono dan Bapak Intan , Karyawan Laboratorium Ilmu logam Teknik Mesin, yang selalu memberikan bantuan dan saran-saran selama ini.
8. Bapak, Ibu yang selalu memberikan dukungan dan dorongan baik secara moral, material, dan spiritual.
9. Kakak Istiono, yang selalu memberikan nasehat, bantuan dalam masa kuliah.
10. Istri Indah Puti, yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang dan pengertiannya.
11. Anakku kakak Avilla dan adik Adelia, yang selalu memberikan senyuman, keceriaan dan kebahagiaan.
12. Gentong (Hartanto), Plolo (Ananto), Teguh, Doyok, Polo, Pelo dan Bayu Gendut atas bantuannya dan saran-sarannya.
13. Teman-teman Teknik Mesin dan semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan memberikan pengetahuan tentang komposit Serat (*Fiber Glass Reinforced Plastics*) bagi penulis pada khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya.

Yogyakarta, - -2004

Penyusun



B. Dwi Aryanto

No.Mhs : 995214024

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN SOAL.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
INTISARI.....	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Pendekatan dan Pemecahan Masalah	5
1.5. Sistematika Pembahasan.....	6
BAB II DASAR TEORI	7
2.1. Komposit serat Fiber Glass Reinforced Plastics.....	7
2.1.1. Polyester.....	10



2.1.2. Serat gelas	13
2.1.3. Bahan-bahan tambahan.....	17
2.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi kekuatan FRP	19
2.2.4. Faktor matrik	19
2.2.5. Fase ikatan (bonding Phase).....	20
2.2.1. Orientasi Serat	20
2.2.2. Jenis Serat	22
2.2.3. Komposisi dan bentuk serat	22
2.3. Mekanika Komposit.....	23
2.4. Modulus Kegagalan Lamina	24
2.4.1. Modulus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal	24
2.4.2. Modulus Kegagalan Akibat Beban Tarik Trasversal.....	26
2.4.3. Modulus Kegagalan Mirooskopik.....	27
BAB III CARA PENELITIAN	29
3.1. Skema Jalan Penelitian	29
3.2. Penyiapan Benda Uji.....	30
3.2.1. Alat dan bahan	30
3.2.2. Pembuatan cetakan	33
3.3. Pembuatan Benda Uji	34
3.3.1. Pembuatan benda uji matrik pengikat	34
3.3.2. Pembuatan benda uji komposit.....	36
3.3.3. Cara pemotongan benda uji komposit	40
3.4. Standar Uji dan Ukuran Benda Uji	42

3.4.1. Benda uji serat penguat.....	42
3.4.2. Benda uji matrik pengikat.....	43
3.4.3. Benda uji komposit	44
3.5. Cara Penelitian.....	45
3.5.1. Pengujian serat	45
3.5.2. Pengujian matrik pengikat.....	45
3.5.2.1. Pengujian tarik matrik pengikat	45
3.5.2.2. Perhitungan massa jenis matrik pengikat	46
3.5.3. Pengujian komposit	46
3.5.3.1. Pengujian tarik komposit.....	46
3.5.3.2. Pengujian massa jenis komposit.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1. Hasil Pengujian Tarik Serat	48
4.2. Hasil Pengujian Tarik Matrik.....	49
4.3. Hasil Pengujian Tarik Komposit.....	51
4.4. Model Kerusakan Komposit	57
4.5. Analisa Kerusakan Pada Komposit.....	59
BAB V PENUTUP	63
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Grafik kekuatan tarik komposit dan komponen penyusunnya	3
Gambar 2.1.	Diagram klasifikasi komposit serat	8
Gambar 2.2.	Diagram hubungan antara kekuatan, fraksi volume dan susunan serat.....	21
Gambar 2.3.	Modulus kerusakan pada bahan komposit akibat beban tarik longitudinal	26
Gambar 2.4.	Modulus kerusakan pada bahan komposit akibat beban tarik transversal.....	27
Gambar 3.1.	Skema jalan penelitian	29
Gambar 3.2.	Dimensi dari cetakan matrik pengikat.....	35
Gambar 3.3.	Rangkaian kesejajaran serat dalam cetakan komposit	40
Gambar 3.4.	Pemotongan benda uji komposit sesuai dengan arah orientasi serat.....	41
Gambar 3.5.	Dimensi benda uji tarik serat	42
Gambar 3.6.	Foto benda uji serat penguat.....	42
Gambar 3.7.	Dimensi benda uji tarik matrik pengikat	43
Gambar 3.8.	Foto benda uji tarik matrik pengikat	43
Gambar 3.9.	Dimensi benda uji tarik komposit	44
Gambar 3.10.	Foto benda uji tarik komposit pada berbagai arah orientasi serat.....	44
Gambar 4.1.	Keterangan dari tabel 4.2.....	49

Gambar 4.2. Foto bentuk patahan matrik pengikat	50
Gambar 4.3. Keterangan dari tabel 4.4.....	52
Gambar 4.4. Grafik hubungan kekuatan tarik dan sudut orientasi serat	55
Gambar 4.5. Grafik hubungan <i>elongation</i> dan sudut orientasi serat.....	56
Gambar 4.6. Foto Kerusakan komposit.....	57
Gambar 4.7. Penampang melintang serat gelas E dan resin.....	58
Gambar 4.8. Penampang komposit mula-mula	60
Gambar 4.9. Kerusakan debonding pada komposit.....	60
Gambar 4.10. Retak mikro pada matrik	60
Gambar 4.11. Void pada komposit.....	60
Gambar 4.12. Foto makro bentuk patahan Pada komposit Dengan Berbagai Variasi orientasi serat Dan matrik Pengikat	61

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Dimensi cetakan matrik pengikat	34
Tabel 4.1. Sifat mekanik serat gelas	48
Tabel 4.2. Ukuran lebar dan tebal matriks pengikat	49
Tabel 4.3. Sifat mekanik matrik pengikat	50
Tabel 4.4. Ukuran lebar dan tebal komposit	52
Tabel 4.5. Kekuatan komposit serat gelas E terhadap variasi arah orientasi serat	53
Tabel 4.6. Harga rata-rata kekuatan tarik komposit	55
Tabel 4.7. Harga rata-rata <i>elongation</i> (ϵ) komposit	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bahan teknik merupakan salah satu komponen yang berpengaruh terhadap kemajuan teknologi. Penggunaan jenis bahan tertentu menunjukkan tingkat perkembangan teknologi yang digunakan pada masa itu.

Dewasa ini teknologi yang ada diseluruh dunia berkembang sangat pesat seiring dengan meningkatnya kemampuan serta kualitas sumberdaya manusia yang ada. Penggunaan jenis bahan komposit memperlihatkan tingkat kemajuan teknologi yang digunakan pada masa ini. Banyak kita ketahui bahan komposit merupakan bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan sehingga menghasilkan satu bahan baru. Gabungan didalam komposit terjadi antara bahan *matriks* atau pengikat dan *reinforcement* atau bahan penguat. Dengan penggabungan dua atau lebih dalam suatu bahan komposit akan didapat sifat-sifat dari bahan baru yang lebih baik dari atau tidak dipunyai oleh bahan penyusunnya¹.

Sifat-sifat yang bisa diperbaiki:

- a. Kekuatan.
- b. Kekakuan.
- c. Ketahanan korosi.

¹ Komposit Hand Book, halaman 3

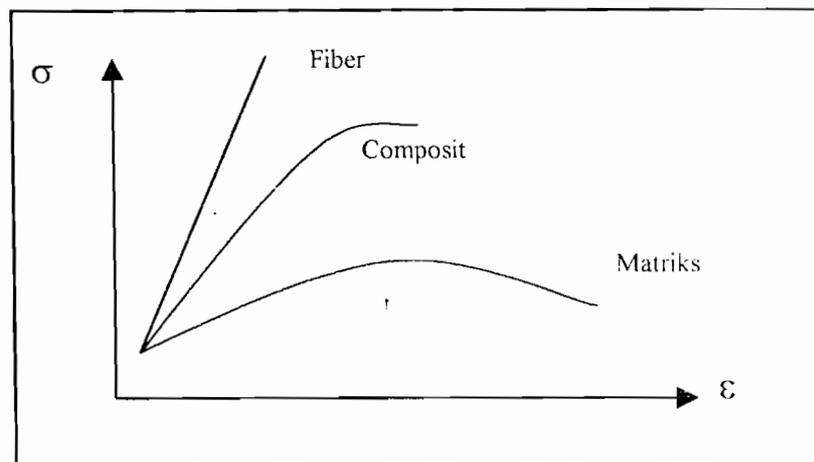
- d. Keindahan.
- e. Berat.
- f. Konduktivitas panas/ listrik.
- g. Isolasi akustik.

Dalam penggolongan maupun penggunaannya bahan komposit sangatlah luas. Untuk mempermudah penggunaannya jenis komposit sering dibedakan menurut bentuk dari bahan penguat dan pengikat yang digunakan dalam pembuatan komposit.

Komposit serat merupakan gabungan dua bahan. Penggabungan ini terjadi antara serat sebagai komponen penguat dan matriks sebagai komponen pengikat serat. Serat mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih besar dari pada matriks dan pada umumnya bersifat ortotropik. Pada saat serat dan matriks dipadukan untuk menghasilkan komposit, kedua komponen tersebut tetap mempertahankan sifat-sifat yang dimilikinya dan secara langsung akan berpengaruh terhadap sifat komposit yang dihasilkan. Secara khusus dapat dikatakan bahwa harga kekuatan maupun kekakuan komposit terletak diantara kekakuan dan kekuatan/ kemampuan serat dan matriks yang digunakan dalam menghasilkan bahan baru².

Dalam gambar 1.1. terlihat bahwa kekuatan serat lebih kuat dari pada kekuatan matriks bila mengalami uji tarik. Dari kedua bahan yang memiliki kekuatan tarik yang berbeda, bila digabungkan menjadi bahan komposit akan menghasilkan satu bahan baru yang kekuatan tariknya diantara masing-masing bahan penyusunnya.

² Mekanika struktur Komposit, halaman 1



Gambar 1.1. Grafik kekuatan tarik komposit dan komponen penyusunnya³

Pada tugas akhir ini membahas tentang komposit GFRP (*Fiber glass reinforced plastic*) adalah salah satu jenis komposit yang menggunakan penguat jenis serat gelas dan matrik pengikat berupa polimer (Plastik). Dalam penelitian bahan yang dipilih untuk matrik pengikat (Resin Justus 157) dan serat gelas E jenis *woven roving* (anyaman). Proses *hand lay-up* paling sering digunakan dalam membuat bahan komposit memakai bahan dasar serat gelas E jenis *woven roving*. Proses *hand lay-up* paling sering digunakan, sebab proses ini sangat mudah dilakukan terutama untuk membuat produk yang besar seperti: kapal, tangki, body mobil dan masih banyak lagi.

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

³ Reinforced Plastics Hand Book, halaman 182

1.2. Permasalahan

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

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

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

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

1.3. Tujuan Penelitian

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

1.4. Pendekatan dan Pemecahan Masalah

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

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

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

- a. Pengujian tarik matriks pengikat.

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

- b. Pengujian tarik matriks pengikat : bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik matriks pengikat secara eksperimental, pengujian menggunakan standart pengujian ASTM D 30391.
- c. Pengujian tarik komposit : bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik komposit pada arah orientasi serat 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° dan 90° . Pengujian menggunakan standart pengujian ASTM A 370.

1.5. Sistematika Pembahasan

Pada bab-bab selanjutnya akan dibahas mengenai komposit berpenguat serat, matriks pengikat, serat penguat, tinjauan teoritis tentang teori kekuatan komposit serat *woven roving*. Proses pembuatan spesimen serta pengujian. Pada bab terakhir akan diberikan kesimpulan dari pengujian yang telah dilakukan.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Komposit Serat (*Fiber Glass Reinforced Plastics*)

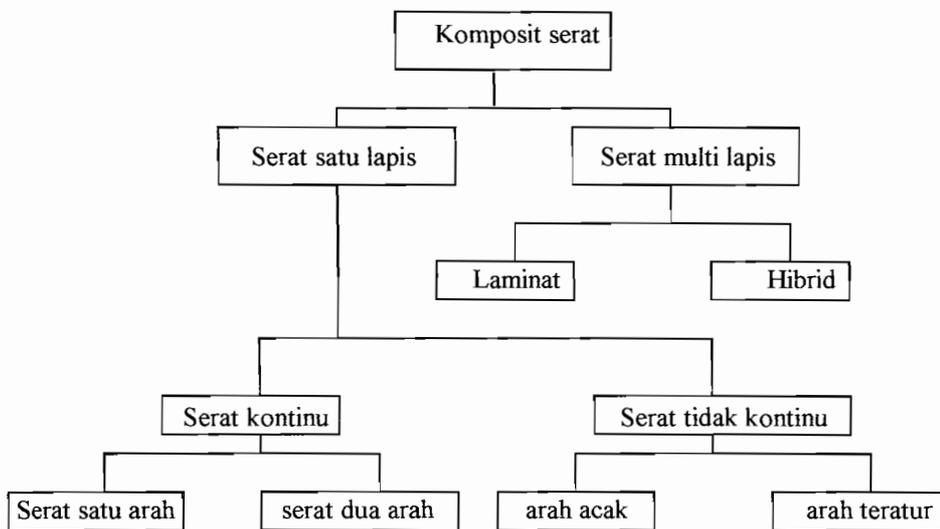
Komposit terbentuk dari dua atau lebih bahan yang digabung secara makroskopis. Kata kunci disini adalah makroskopis. Inibeda dengan paduan atau *alloy*, yang penggabungan unsur-unsurnya dilakukan secara mikroskopis. Pada komposit, sifat-sifat unsur pembentuknya masih terlihat jelas, yang pada paduan sudah tidak lagi tampak secara nyata. Justru keunggulan kamposit disini adalah penggabungan sifat-sifat unggul masing-masing unsur pembentuknya.

Pada umumnya komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat tersebut yang disebut matriks. Unsur utama komposit adalah serat, serat inilah yang terutama menentukan karakteristik 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, glass dan boron. Sedang bahan matriks dipilih bahan yang lunak seperti plastik dan logam-logam lunak.⁴

Komposit serat secara umum dikenal oleh masyarakat dengan nama *Fiber Glass Reinforced Plastic*, paling banyak dipakai dan dibicarakan karena itu

⁴ Mekanika Struktur komposit, halaman 2

pengertian komposit dalam tulisan ini berarti bahan komposit yang berpenguat serat gelas. Komposit serat dapat diklasifikasikan kedalam berbagai jenis tergantung pada geometri dan jenis seratnya. Hal ini dapat dipahami karena serat merupakan unsur utama dalam komposit tersebut. Klasifikasi komposit serat dapat dilihat pada Gambar 2.1. di bawah ini, yang secara garis besar, komposit serat terbagi menjadi dua macam, yaitu serat kontinu (*continuous*) dan serat tidak kontinu (*discontinue*).



Gambar 2.1. Diagram klasifikasi komposit serat⁵

Banyaknya serat dan ukurannya menentukan kemampuan komposit dalam menahan gaya-gaya yang bekerja. Semakin panjang ukuran serat, semakin efisien pula dalam menahan gaya yang bekerja pada arah serat. Serat yang panjang tersebut juga menghilangkan kemungkinan terjadinya retak sepanjang batas pertemuan antar serat dan matriks. Karenanya komposit serat kontinu sangat kuat dan liat (*taugh*) dibandingkan dengan komposit serat tidak kontinu.

⁵ Mekanika Struktur Komposit, halaman 3

Selain 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 keserat lainnya dengan menggunakan mekanisme tegangan geser.

Matriks pada dasarnya dibuat dari bahan-bahan yang mempunyai keliatan dan lunak. Polimer plastik merupakan bahan yang biasa digunakan. Polimer adalah bahan matriks yang tidak dapat menerima suhu tinggi, poliester, vinilester dan epoksi adalah beberapa jenis bahan polimer termoset yang sejak dahulu telah dipakai sebagai bahan matriks. Sedangkan untuk bahan matriks termoplastik yang sering dijumpai adalah *PEEK (Poly-Ether-Ether-Ketone)*, *PEI (Poly-Ether-Imide)*, *PES (Poly-Ether-Sulphone)* dan *Nilon*. Telah disampaikan sebelumnya gabungan dari serat dan matriks ini disebut komposit. Bahan komposit menggabungkan keunggulan-keunggulan, kekuatan dan kekakuan serat dengan massa jenis matriks yang rendah hasilnya adalah suatu bahan yang ringan tetapi kuat dan kaku. Perkembangan Bahan Teknik Manufaktur pada saat ini sangat pesat. Bahan *Fiber Glass Reinforced Plastics (GFRP)* sebagai bahan berbasis plastik juga mulai diaplikasikan dalam pembuatan berbagai produk. Selain ringan bahan ini juga mempunyai keunggulan dibidang ketangguhan dan perlakuan saat pembuatannya. Oleh sebab sifat-sifat tersebut maka semakin luas dalam kegunaannya sebagai salah satu bahan teknik manufaktur.

Bahan *GFRP* ini mulai diperkenalkan pada tahun 1941 penggunaan bahan ini mulai digunakan dengan proses pelapisan dengan tekanan rendah, kemudian pada tahun 1946 bahan resin telah digunakan dalam berbagai aplikasi, baik di Amerika maupun beberapa negara Eropa. Pada masa Perang Dunia II komposit FRP ini telah diaplikasikan pada pembuatan bagian-bagian dari pesawat tempur. Kemudian pada 1952-1955 *Woven roving* mulai diaplikasikan dalam proses pembuatan galangan kapal dan bodi mobil.

Pada dekade 1950 perkembangan FRP ini telah mulai meluas dan merambah pada bidang-bidang industri seperti industri kimia dengan tangki FRP sebagai tangki. Pada masa periode ini penggunaan material FRP menjadi sangat aplikatif serta dapat menyebar pada berbagai bidang. Perkembangan teknologi untuk memproduksi dan membentuk material ini semakin pesat.

2.1.1. Polyester

Resin polyester merupakan bahan termoseting, resin ini yang paling luas dalam penggunaan sebagai matrik pengikat plastik, dikarenakan proses pengerjaan yang sangat sederhana, resin ini dapat berubah menjadi padat melalui suatu proses perlakuan panas, Panas sebagai wujud atau sarana. Proses pengolahan resin dapat melalui proses kimia (menghasilkan panas *exothermic*) atau panas yang diberikan dari luar. Dua perlakuan tersebut dapat dilakukan sebagai proses perlakuan khusus dalam pembuatan FRP untuk menghasilkan pembentukan yang relatif singkat. sampai produk yang dikerjakan dengan proses menggunakan cetakan mesin.

Polyester sebagai resin *thermosetting* mempunyai kekuatan mekanis yang baik, memiliki ketahanan terhadap bahan kimia, isolator listrik selain itu harganya yang cukup murah. Dalam pengerjaan 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.

Penggunaan accelator sebagai formula untuk mempersingkat proses curing dapat dipakai dalam proses suhu rendah maupun proses curing menggunakan suhu tinggi. Resin ini mulai mengalami proses curing saat terjadinya reaksi antara bahan pemicu yaitu katalis. Reaksi panas *exsoterm* yang berlebihan antara kedua bahan ini akan mengakibatkan kerusakan pada hasil.

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

- a. 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, *hidrochloric acid*, *weac acid*, alkohol.

b. Tahan terhadap panas

Resin ini mempunyai berbagai variasi dalam pasaran, tergantung dalam aplikasi penggunaannya. Karakteristik klasifikasi bahan resin, viskositas pada suhu 25° memiliki sifat gel (gel time) pada suhu 30°C, dapat bereaksi pada suhu 80°C. Perubahan bentuk bahan dapat dipertahankan sampai pada suhu 70°C.

c. Kemampuan bahan terhadap beban kejut dan tidak abrasif.

Polyester tak jenuh diperoleh dengan cara mereaksikan asam dibasa dengan alkohol dihidrat. Adanya reaksi kimia antara keduanya menghasilkan ikatan tak jenuh pada rantai utama polymer kemudian dengan mereaksikan 30% *styrene* sebagai monomer termasuk *vinil tolvne*, *methil methacrylate* dan *ally alcohol derivates* dengan polyester sehingga berikatan dengan gugus tak jenuh saat pencetakan.

Resin polyester dapat mengalami proses curing dengan bantuan peroksida organik akan mengakibatkan reaksi polymerisasi yang bersifat radikal bebas. Polyester dapat mengalami proses curing pada temperatur kamar dengan bantuan katalis (peroksida organik) sebagai pemicu initiator yang gabungan dengan accelerator atau promotor. Polyester juga dapat mengalami proses curing dengan penyinaran ultraviolet sampai suhu 90°C. Beberapa polyester yang dipergunakan

sebagai material dalam industri misalnya, *orthophtalic*, *isophtalic*, *iso NPG*, *bispenol*⁶.

2.1.2. Serat Gelas

Serat glass adalah bahan reinforcement yang banyak digunakan dalam pembuatan FRP. Selain mempunyai nilai nominal yang cukup rendah dibanding dengan bahan aramid dan carbon grafit bahan ini juga mempunyai kemampuan cukup tinggi, seperti kekuatan tarik yang tinggi, kekuatan terhadap bending, modulus elastisitas tinggi, sifat isolator listrik yang baik dan mempunyai sifat anti korosi. hal ini menyebabkan material ini aplikatif dalam penggunaan polymer matrik komposit.

Serat gelas diproduksi dengan melebur bahan dasar berupa pasir silika, batu kapur dan bahan tambahan seperti alumunium hidroksida, naterium karbonat dan borax dalam sebuah dapur listrik dengan suhu yang sangat tinggi, kemudian material yang sudah melebur dibentuk menjadi filamen-filamen serat gelas dapat dibedakan dalam berbagai jenis antara lain ⁷:

a. Serat gelas A

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

⁶ Reinforced Plastics Han Book, halaman 18

b. Serat gelas E

Komposisi serat gelas E berupa Calcium, Aluminium Hidroksida, Borosilikat, Pasir Silika, dan memiliki kandungan Alkali yang rendah. Serat gelas ini mempunyai kekuatan tarik dan tekan serta geser yang baik sehingga mempunyai sifat isolator atau penghantar listrik yang baik, tetapi merupakan material yang cukup getas.

c. Serat gelas D

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

d. Serat gelas R dan S

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

Serat glass-E adalah serat glass yang paling familiar digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan FRP. Serat glass -E yang didapatkan dari proses manufaktur mempunyai berbagai tipe produk.

⁷ ibid, hal 56

Berbagai bentuk dari serat gelas sangat berpengaruh dalam produksi, maka diciptakan bermacam-macam bentuk penyusunan serat, untuk menyesuaikan aplikasi penggunaannya sebagai serat penguat. Berikut beberapa tipe bentuk serat pada FRP :

a. Continuous Roving

Adalah gabungan dari serat-serat paralel 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 dipotong-potong pada proses spray up, preform, continuous laminating proses, centrifugal casting ataupun tetap sebagai *continuous reinforcement*, seperti *filament winding*, *pultrusion woven*.

b. Woven Roving

Serat berbentuk lembaran fleksibel yang dianyam 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, body mobil.

c. Reinforcing Mat

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

Ada 3 macam reinforcing mat:

i. Continuous strand mat.

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

ii. 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.

iii. 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. Preform

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 paralel yang telah dipotong dengan ukuran $\frac{1}{8}$ -2 inci. Chopped strand ini lalu dicampur dengan resin dan aditive lain untuk kemudian dipakai pada komponen atau injection molding maupun proses lain.

f. *Nilled Fibers*

Ukurannya lebih pendek dari chopped strand dan dibuat dalam hammer mill yang berkecepatan tinggi. *Reinforcement* ini banyak dipakai pada pencetakan plastik. Reinforced reaction injection molding, karena dapat memperbaiki kestabilan panas dan meningkatkan kualitas. Nilled fibers 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.

2.1.3. Bahan-bahan tambahan

Bahan pemicu (*initiator*) yang berfungsi untuk mempersingkat reaksi curing pada temperatur ruang adalah katalis. Kelebihan katalis akan menimbulkan panas saat curing dan hal ini bisa merusak produk yang dibuat. Katalis yang digunakan sebagai porsen *curing* dalam pembuatan *FRP* 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 *FRP*. Akselerator yang bereaksi dengan katalis, di dalam resin polyester akan memberikan reaksi *exoterm* antara suhu 80°C sampai 120°C. *Cobalt*, *amine*, *vanadium* adalah akselerator yang biasa digunakan

dalam pembuatan FRP. Pada proses *curing* perbandingan komposisi yang dipergunakan sebagai campuran untuk *cobalt* akselerator sekitar 1% volume total, sedangkan untuk katalis menggunakan perbandingan 0,5% dari volume total.

Pigment dan pasta pewarna hanya dipergunakan pada akhir proses dari pembuatan FRP, hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya penurunan kemampuan dari FRP dan memperendah harga pembuatan. Apabila pigment dan pasta pewarna ini harus dipakai pada produksi maka harus dipergunakan bahan yang sesuai karena bahan ini dapat mempengaruhi proses *curing* dari resin. Dalam pelapisan akhir (*Gelcoating*) perbandingan 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 *FRP*.

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

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

2.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan FRP

FRP adalah suatu bahan komposit yang diperkuat dengan serat dimana bahan yang berbentuk serat diikat dalam bahan lain yang disebut matriks. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi sifat bahan komposit yang diperkuat dengan serat adalah orientasi, panjang, bentuk, komposisi serat, dan sifat mekanik dari matrik, serta ikatan di dalam campuran antara serat dan matrik (*interface* atau *bonding*)⁸.

2.2.1. Faktor Matrik

Matriks pada pembuatan komposit, tergantung karakteristik dan sifat yang diinginkan. Adapun fungsi matrik yang diinginkan adalah:

- a. Sebagai pengikat fase serat pada posisinya, pada proses pembuatan bahan komposit yang diperkuat serat dan diikat oleh matrik, matrik harus mempunyai serat adhesi yang baik terhadap serat untuk menghasilkan struktur komposit yang sempurna karena hal ini berhubungan erat dengan transfer beban. Jika matrik mempunyai sifat adhesi yang kurang baik maka transfer beban tidak sempurna dan menyebabkan kegagalan berupa lepasnya ikatan antara matrik dengan serat (*debonding failure*). Secara garis besar kualitas matrik ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah kemampuan membasahi serat, banyak tidaknya rongga (*void*) saat dituang, temperatur atau tekanan curing, viskositas dan *pot life* selama proses *impregnasi*.

⁸ Composite Material hand Book, halaman 1.10

- b. Melindungi permukaan serat permukaan serat penguat dari abrasi yang diakibatkan oleh perlakuan secara mekanik misalnya gesekan antar serat.
- c. Sebagai transfer dari beban, yaitu mendistribusikan beban ke serat sebagai bahan yang mempunyai modulus kekuatan tinggi.

2.2.2. Fase Ikatan (*Bonding Phase*)

Komposit fiber mempunyai kemampuan untuk menahan tegangan yang tinggi dibandingkan unsur pokok yang berdiri sendiri, karena serat dan matrik berinteraksi dan akhirnya terjadi pendistribusian tegangan. Kemampuan ini tergantung dari efektifitas *bonding* antara keduanya. *Bonding* atau ikatan terjadi secara langsung antara kedua fase, tetapi pada umumnya serat yang baik harus mampu untuk menyerap matrik. Pada pengujian tarik, akan berakibat lolosnya serat dari matrik. Hal ini disebabkan oleh karena kekuatan atau ikatan *interfacial* antara matrik dan serat yang kurang baik.

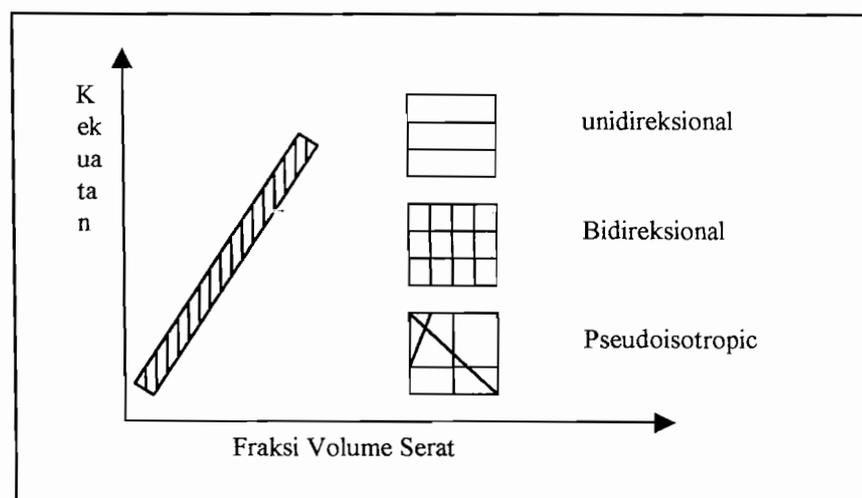
2.2.3. Orientasi serat

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

- a. *Bidirectional* : serat disusun secara tegak lurus satu sama lain (ortogonal).
Pada susunan ini kekuatan tertinggi terdapat pada arah pemasangan serat.

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

Sifat mekanik dari pemasangan satu arah ini adalah jenis yang paling proposional, karena pada pemasangan satu 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 2.2.



Gambar 2.2. 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.

2.2.4. Jenis serat

Berdasarkan ukuran panjang serat menjadi 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 serat dan pada pembuatan bahan komposit, karena pada pemakaian serat panjang akan terjadi ketimpangan dalam penerimaan beban antara serat, sebagian serat mengalami tegangan sedangkan yang lain dalam posisi bebas dari tegangan. Sehingga jika komposit tersebut dibebani sampai mendekati kekuatan patahnya, sebagian serat akan patah mendahului serat lainnya. Komposit yang diperkuat dengan serat pendek dapat dihasilkan kekuatan yang lebih besar dari pada yang diperkuat serat panjang yaitu dengan cara pemasangan orientasi pada arah optimum yang dapat ditahan oleh serat.

2.2.5. Komposisi dan bentuk serat

Berdasarkan bentuk, serat penguat mempunyai penampang lingkaran dan bentuk lain misalnya bujur sangkar. Kekuatan serat dapat juga dilihat dari diameter serat, perbandingan antara panjang dan diameter serat harus cukup besar. Hal ini di syaratkan agar tegangan geser yang terjadi pada permukaan antar serat dan matriks

kecil. Biasanya disyaratkan agar *aspect ratio* lebih besar disbanding 100, agar serat dapat melaksanakan tugasnya dengan baik. Berdasarkan komposisinya serat yang digunakan sebagai bahan penguat komposit dibedakan atas:

- a. Serat organik, yaitu serat yang berasal dari bahan organik, misalnya selulosa, polipropilena, grafit, serat rami, serat kapas, dll.
- b. Serat anorganik yaitu serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik, misalnya glass dan keramik. Adapun serat yang mempunyai kekuatan tinggi dan tahan panas (*hybrid fibre*).

2.3. Mekanika komposit

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

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

Mekanika komposit dapat dianalisa dari dua sudut pandang yaitu dengan analisa mikromekanik bahan komposit dengan memperlihatkan sifat-sifat mekanik bahan penyusunnya, hubungan anatara komponen penyusun tersebut dan sifat-sifat akhir dari komposit yang dihasilkan. Sedangkan analisis makromekanik memperlihatkan sifat-sifat bahan komposit secara umum tanpa memperhatikan sifat maupun hubungan antara komponen penyusunnya⁹. Jika komposit lamina diambil sebagai komponen dasar analisis bahan komposit, analisis makro mekanik dari lamina dapat diambil dari tegangan rata-rata, tegangan rata-rata, maupun sifat mekanik rata-rata dari bahan homogen yang ekuivalen.

2.4. Modus Kegagalan Lamina

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

2.4.1. Modus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal

Pada bahan komposit lamina yang diberi beban tarik searah serat, kegagalan bermula dari serat-serat yang patah pada penampang terlemah. Bila beban semakin membesar, akan semakin banyak pula serat yang patah. Jadi pada kebanyakan kasus, serat tidak patah sekaligus pada saat yang bersamaan. Variasi kerusakan serat secara kumulatif berdasarkan percobaan, serat patah pada beban yang relatif kecil, kurang

⁹ Mechanics Composite material, halaman 11

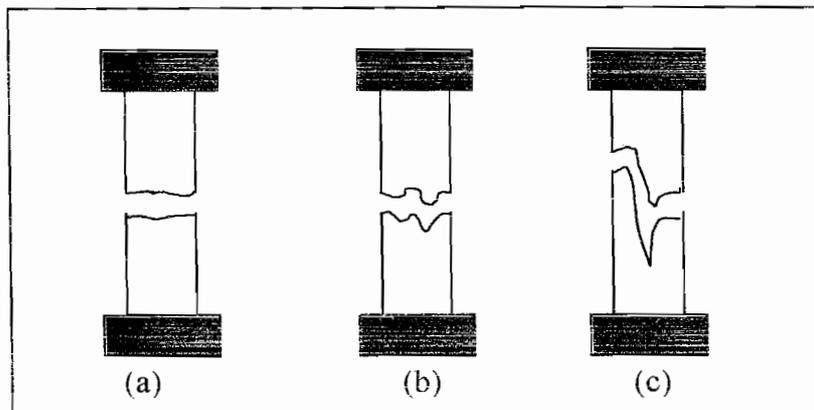
dari 50% beban maksimum. Pada mulanya, ketika jumlah serat yang patah sedikit matriks masih mampu mengulangi lagi hal tersebut dengan mendistribusikan gaya kesekitar atau keserat lainnya.

Bila serat yang patah semakin banyak, maka ada tiga kemungkinan¹⁰ :

- a. Bila matriks mampu menahan gaya geser dan meneruskan keserat sekitar, maka serat yang patah akan semakin banyak sehingga timbul retakan. Bahan komposit akan patah getas (*brittle failure*) seperti nampak pada Gambar 2.3a.
- b. Bila matriks tidak mampu menahan konsentrasi tegangan geser yang timbul diujung serat dapat terlepas dari matriks (*debonding*) dan komposit rusak searah serat seperti nampak pada Gambar 2.3b
- c. Kombinasi dari kedua tipe diatas pada kasus ini patah serat yang terjadi disembarang tempat dibarengi dengan kerusakan matriks. Modus kerusakan berwujud seperti sikat (*brush type*) seperti terlihat pada Gambar 2.3c



¹⁰ Mekanika Struktur Komposit, halaman 136



Gambar 2.3 Modus kerusakan pada bahan komposit akibat beban tarik longitudinal

Modus kegagalan diatas dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti kekuatan serat dan matriks, maupun fraksi volume serat dan matriks. Bila fraksi volume serat pada bahan komposit mengecil, modus patahan yang terjadi kebanyakan bertipe getas. Suatu percobaan dengan bahan komposit serat gelas (fiber glass) menunjukkan bahwa bila fraksi volume serat, $V_f < 0,40$, modus kegagalan yang terjadi bertipe getas. Pada fraksi volume menengah, $0,40 < V_f < 0,65$, modus yang terjadi adalah patah getas dan debonding, sedang $V_f > 0,65$, menunjukkan patah getas, *debonding*, serat tercabut dari matriks atau bahkan matriks rusak akibat gaya geser. Ini akan terjadi bila kandungan *void* (gelembung udara) pada bahan tersebut diabaikan¹¹.

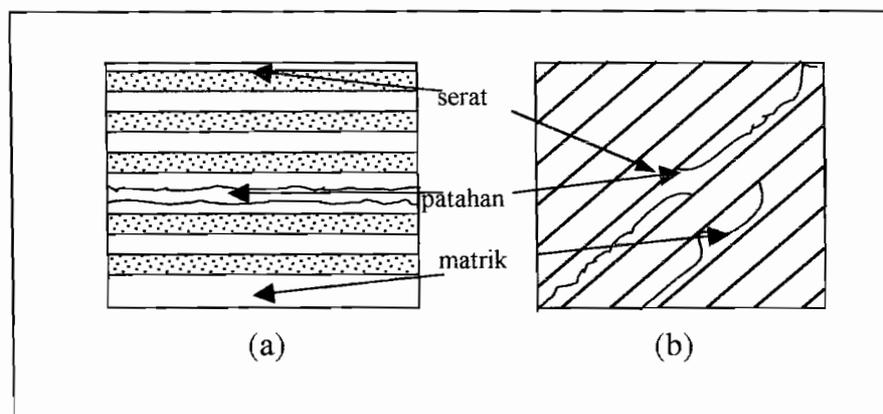
2.4.2. Modus Kegagalan Akibat beban Tarik Transversal

Serat yang tegak lurus arah pembebanan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada *interface* antara serat dan matriks dan pada matriks itu sendiri karena itu bahan komposit yang mendapat beban transversal akan gagal pada *interface* antar serat dan matriks meskipun kadang-kadang terjadi juga kegagalan transversal pada

¹¹ Mekanika Struktur Komposit, halaman 137

serat bila arah arah serat sangat acak dan lemah dalam arah transversal. Dengan demikian modulus kegagalan akibat beban tarik transversal terjadi karena ¹²:

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



Gambar 2.4 Kegagalan pada komposit akibat beban tarik transversal ¹³

2.4.3. Modus Kegagalan Internal Mikroskopik

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

Hal ini sangat mencolok terlihat pada bahan komposit. Pada bahan ini, kerusakan internal mikroskopik (yang tidak dapat diamati oleh mata) dapat jauh

¹² ibid, hal 141

¹³ ibid, hal 141

terjadi sebelum kerusakan nyata terlihat. Kerusakan internal mikroskopik ini terjadi dalam beberapa bentuk seperti:

- a. patah pada serat (*fiber breaking*)
- b. retak mikro pada matrik (*matrik micro crack*)
- c. terkelupasnya serat dari matrik (*debonding*)
- d. terpisahnya lamina satu samalain (*delamination*)

Foto mikrograf pada Gambar 2.8 menunjukkan jenis-jenis kerusakan internal mikroskopik tersebut. Kerusakan ini sama sekali tidak dapat diamati dengan mata telanjang dan baru dapat terlihat mata bila kerusakan cukup besar ditempat yang sama. Karena itu pada kondisi sebenarnya sangat susah untuk menentukan kapan suatu bahan komposit dikatakan rusak atau gagal.

Karena rumitnya masalah tersebut pada kebanyakan kasus struktur, bahan komposit dikatakan gagal bila bahan tersebut telah rusak total ketika mendapat beban tertentu atau kurva tegangan-regangan yang ditunjukkan tidak lagi linier. Dan ini berlaku baik untuk lapisan tunggal (lamina) maupun laminat.¹⁴

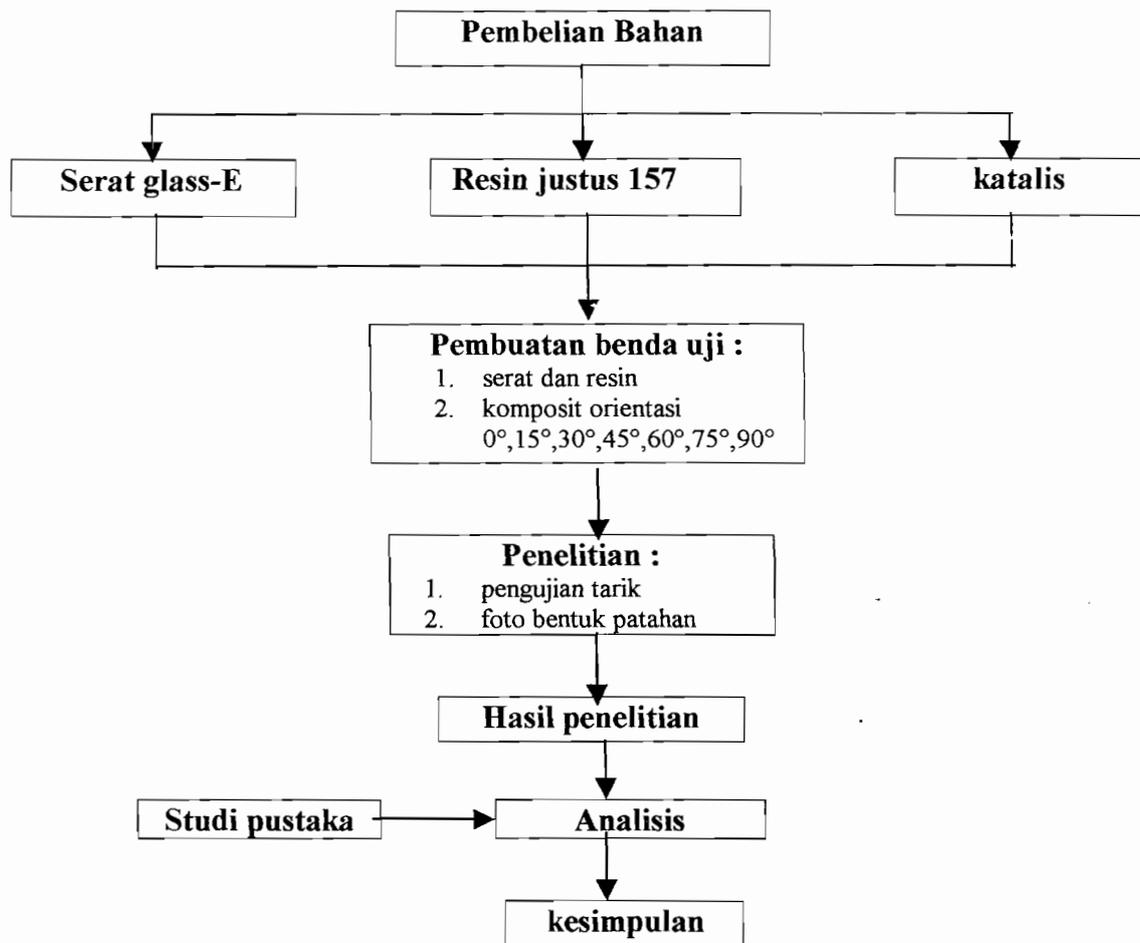
¹⁴ *ibid*, hal 133

BAB III

CARA PENELITIAN

3.1. Skema Jalan Penelitian

Agar lebih sistematis dalam penelitian maka dibuat alur jalannya penelitian seperti ditunjukkan pada gambar skema penelitian berikut:



Gambar 3.1. Skema jalan Penelitian

3.2. Penyiapan Benda Uji

3.2.1. Alat dan Bahan

Dalam pembuatan komposit serat gelas dipergunakan alat-alat sebagai berikut:

- a. Bahan cetakan yaitu kaca tebal 0,5 cm dan 0,3 cm dengan ukuran :
 - i. $56 \times 46 \times 0,5$ cm dua lembar.
 - ii. $56 \times 5 \times 0,3$ cm dua lembar.
 - iii. $35 \times 5 \times 0,3$ cm dua lembar.
- b. Alat pemotong (gergaji, kater, gunting)
- c. Tempat mencampur resin. (ember kecil, besi pengaduk)
- d. Alat bantu dalam pencetakan. (alat perata, scraber, kuas, roler lay-up)
- e. Alat ukur gelas ukur 5cc dan 1000cc, neraca, penggaris, jangka sorong, jangka)
- f. Alat finishing (kikir, kertas amplas, gerenda,)

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

a. Resin

Menggunakan resin produksi P.T. Justus Sakti Raya Jakarta dengan tipe 157. Ciri-ciri fisik resin ini berwarna kecoklat-coklatan, dalam perdagangan yang dikenal dengan sebutan resin justus keruh.

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

b. Serat

Dalam penelitian ini serat penguat yang digunakan adalah serat gelas-E yang diproduksi oleh P.T. Asahi Fiber glass dengan jenis serat berbentuk *woven roving*. Didalam penelitian resin yang dipakai tidak disertai spesifikasi khusus, jadi untuk mengetahui sifat-sifat mekaniknya dilakukan pengujian tarik terhadap resin pengikat tanpa serat. Data dan perhitungan selengkapnya disajikan dalam lampiran tabel dan perhitungan.

c. Katalis

Dalam pembuatan komposit tidak hanya menggunakan serat dan resin saja, tetapi harus ada bahan lain yang gunanya membantu dan mempercepat proses pengeringan. Bahan tersebut dinamakan katalis, sebab tanpa katalis bahan komposit ini tidak dapat kering. Waktu yang dibutuhkan resin menjadi bentuk plastik tergantung pada jumlah katalis yang dicampurkan, semakin banyak katalis akan semakin cepat proses curing. Pada penambahan katalis dengan rasio perbandingan 0,5% volume total, sehingga terjadi reaksi yang bersifat eksoterm. Ketika reaksi dimulai akan timbul panas (60° - 90° °C) yang cukup untuk mereaksikan resin hingga diperoleh kekuatan maksimal dan bentuk plastik. Dalam penelitian ini digunakan katalis *metoxene* (*methyle ethyl ketone peroxide*) untuk mempercepat laju curing komposit. Laju curing komposit ditentukan oleh jumlah katalis yang ditambahkan kedalam resin, semakin banyak katalis yang ditambahkan semakin cepat laju curing yang dihasilkan. Namun jika katalis yang digunakan terlalu banyak, matriks komposit yang dihasilkan cenderung bersifat getas, sehingga penggunaan katalis harus disesuaikan dengan kebutuhan. Dengan menggunakan katalis *metoxene* waktu yang dibutuhkan untuk curing berkisar antara 8-12 jam.

d. Releas agent

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

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

e. Acetone

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

3.2.2. Pembuatan Cetakan

Proses pembuatan komposit *GFRP*, dibutuhkan cetakan yang nantinya akan membentuk komposit yang kita inginkan. Langkah pertama kita menyiapkan kaca dengan ukuran sebagai berikut :

a. $56 \times 46 \times 0,5$ cm dua lembar.

b. $56 \times 5 \times 0,3$ cm dua lembar.

c. $35 \times 5 \times 0,3$ cm dua lembar.

Catatan : Penggunaan aceton untuk membersihkan peralatan dari resin sebelum proses resin menjadi keras dan kering.

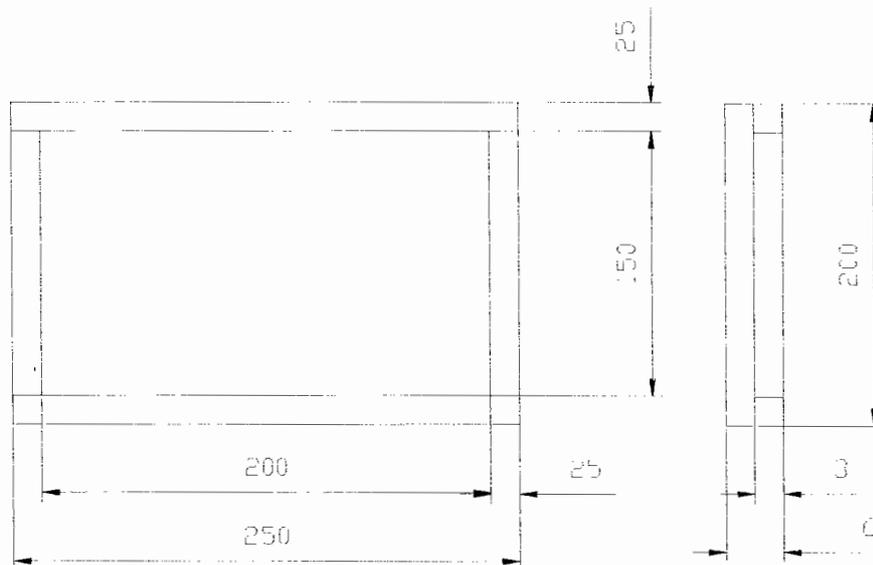
3.3. Pembuatan Benda Uji

3.3.1. Pembuatan Benda Uji Matrik Pengikat

Pembuatan benda uji matrik pengikat dikerjakan dengan metode *hand lay-up*, dikarenakan proses yang sangat sederhana dan hasil cukup baik, cetakan yang digunakan untuk pembuatan matriks pengikat ini mempunyai dimensi $20 \times 15 \times 0,3$ cm. 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.

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



Gambar 3.2. Dimensi dari cetakan matriks pengikat.

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

- Proses pertama pelapisan permukaan cetakan dengan oli, hal ini dilakukan untuk mempermudah pemisahan produk dari cetakan.
- Menyiapkan resin sebesar 89,55 cc (99,5 %) dan katalis 0,45 cc (0,5 %) dari volume total.
- Aduk campuran resin dan katalis hingga rata (gel time 10 – 20 menit). Setelah resin dan katalis tercampur dengan rata, dilakukan penuangan pada cetakan.
- Tutup cetakan bagian atas dengan kaca yang telah dilapisi oli. Cetakan yang sudah dipres kemudian di clamp/diberibeban di atasnya agar tidak terjadi penggelembungan.

- e. Proses curing dalam waktu 8 – 12 jam. Angkat tutup cetakan dan keluarkan matrik dari cetakan dengan bantuan scraber.
- f. Potong-potong produk sesuai dengan ukuran spesimen.

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

3.3.2. Pembuatan Benda Uji Komposit

Langkah pertama dalam pembuatan komposit terlebih dahulu menghitung komposisi serat, resin dan katalis yang digunakan pada pembuatan benda uji komposit agar mendapatkan hasil yang sesuai.

Sebelum mencampur serat dengan matrik, terlebih dahulu kita harus mengetahui berat serat yang akan dipergunakan dalam pembuatan komposit serat. Cara untuk mengetahui berat serat adalah dengan cara menimbang serat yang akan digunakan menggunakan timbangan digital. Berat serat *woven roving* sebanyak satu lapis adalah seberat 132,4 g. Langkah kedua adalah menghitung volume serat dengan cara berat serat yang telah diketahui dimasukkan kedalam persamaan berikut:

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

$$2,54 = \frac{132,4}{V_s} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$V_s = 52,13 \text{ cm}^3 = 0,05213 \text{ dm}^3$$

Dari persamaan (3.1.) diperoleh bahwa volume serat (V_S) adalah $52,13 \text{ cm}^3 = 0,05213 \text{ dm}^3$.

Langkah ketiga mencari volume resin dan katalis yang digunakan dalam pembuatan komposit. Resin yang digunakan dalam pembuatan komposit sebanyak $442,12 \text{ cc} = 0,44212 \text{ dm}^3$ dan katalis sebanyak $1 \text{ cc} = 0,001 \text{ dm}^3$.

Langkah keempat adalah membuat perbandingan antara volume serat, resin dan katalis. Perbandingan untuk ketiga bahan tersebut dapat dilihat pada persamaa dibawah ini.

$$V_S : V_R : V_K = 0,05213 : 0,44212 : 0,001 \dots\dots\dots (3.2)$$

$$= 52,13 : 442,12 : 1$$

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

$$= 0,05213 + 0,44212 + 0,001$$

$$= 0,49525 \text{ dm}^3 = 495,25 \text{ cm}^3$$

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

$$\text{Serat} = \frac{52,13}{495,25} = 0,1053 = 10,53 \%$$

$$\text{Resin} = \frac{442,12}{495,25} = 0,8927 = 89,27 \%$$

$$\text{Katalis} = \frac{1}{495,25} = 0,002 = 0,2 \%$$

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

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

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

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

Dari perhitungan diatas didapat komposisi untuk bahan komposit sebagai berikut : serat satu lapis dengan berat 132,4 g (10,53 %), resin 442,12 cc (89,27 %), katalis 2,5 cc (0,5 %).

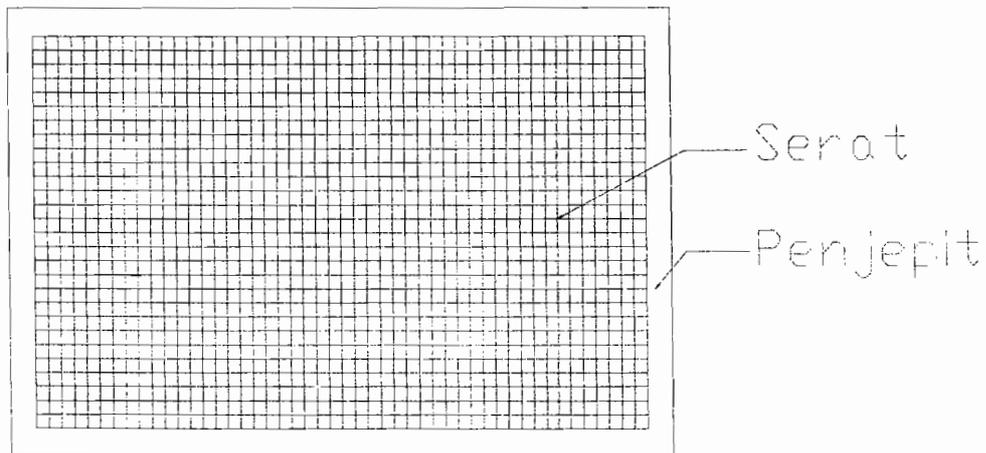
Benda uji komposit dibuat dengan ketebalan 3 mm sesuai volume cetakan. Untuk benda uji komposit proses pembuatan dan percetakan hampir sama dengan proses percetakan matrik pengikat, hanya perlu diperhatikan adanya serat dalam produk.

Langkah-langkah percetakan benda uji komposit adalah sebagai berikut:

- a. Cetakan yang sudah disiapkan sebelumnya dilapisi dengan oli.

-
- b. Serat glass disiapkan dengan ukuran (46 × 36 cm). Untuk menghasilkan kesejajaran dan posisi yang tidak berubah-ubah pada waktu proses pembuatan maka di setiap sisi serat perlu dilakukan penjepitan pada keempat sisinya (gambar 3.3).
 - c. Siapkan resin 442,12 cc (89,27 %) dan katalis 2,5 cc (0,5 %).
 - d. Setelah serat diatur kelurusan dan kesejajarannya maka campurkan resin dan katalis (442,12 / 2,5 cc) yang telah dipersiapkan, kemudian kedua bahan itu diaduk hingga tercampur rata.
 - e. Resin dan katalis yang telah tercampur rata kemudian dituangkan ke dalam cetakan. Resin dan katalis yang tidak dituangkan langsung seluruhnya, melainkan dibagi dua untuk dituangkan diatas serat.
 - f. Setelah rata letakan rangkaian serat dan selanjutnya dilakukan pengerolan terhadap permukaan serat agar celah daripada serat dapat terisi resin.
 - g. Setelah serat terisi resin dilakukan penuangan resin yang tersisa dan untuk mendapat hasil yang diharapkan dapat dilakukan dengan sapuan kuas dan roler *hand lay-up* yang sudah dipersiapkan.
 - h. Setelah 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.

penekanan dengan cara menjepit kaca yang terdapat pada setiap sisi cetakan.



Gambar 3.3. Rangkaian kesejajaran serat dalam cetakan komposit.

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

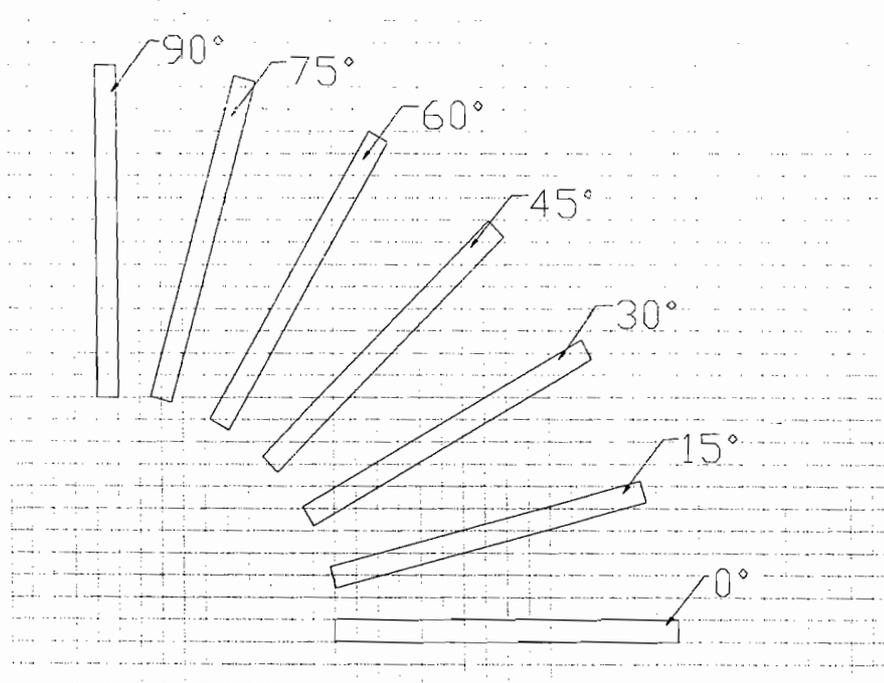
Catatan: Pergunakan acetone untuk membersihkan peralatan dari resin (lakukan sebelum resin mengering dan menjadi keras).

3.3.3. Cara pemotongan Benda Uji Komposit

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

- a. Menentukan sudut orientasi yang diinginkan dengan bantuan busur derajat dan penggaris. Untuk lebih jelas lihat gambar 3.4.

- b. Gambar pada lembaran komposit berbentuk persegi panjang dengan ukuran $22 \times 2,5$ cm pada orientasi serat yang telah ditentukan.
- c. Memotong lembaran komposit sesuai gambar untuk mendapatkan persegi panjang dengan ukuran $22 \times 2,5$ cm, dengan bantuan gergaji.
- d. Untuk pembuatan specimen menggunakan alat berupa mesin milling agar mendapat spesimen yang ukurannya sesuai standart uji ASTM A 370.
- e. Proses terakhir adalah finishing, yaitu menghaluskan sisi-sisi bekas pemotongan menggunakan ampelas.

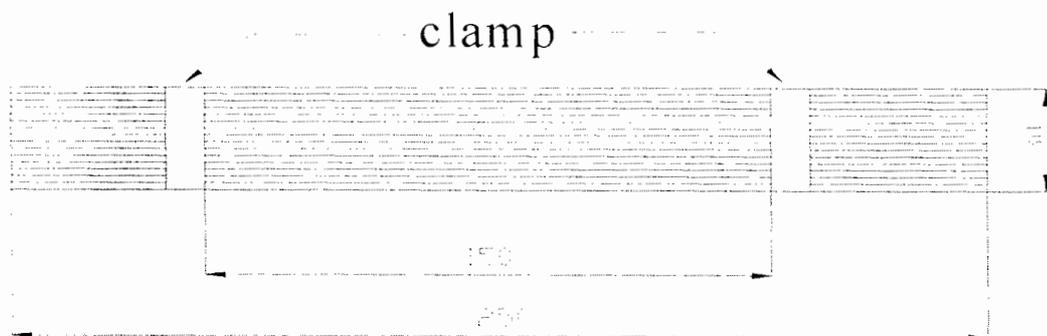


Gambar 3.4. Pemotongan benda uji komposit sesuai dengan arah orientasi serat yang digunakan.

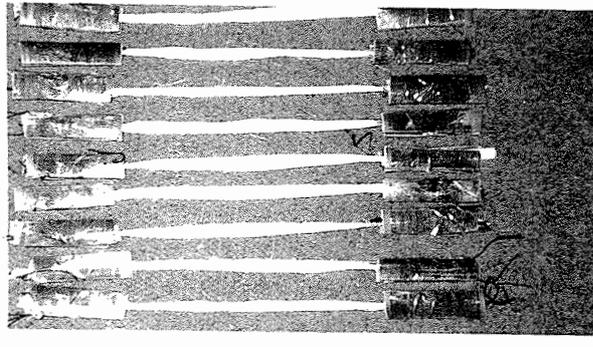
3.4. Standart dan ukuran Benda Uji

3.4.1. Benda uji serat pengikat

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



Gambar 3.5. Dimensi Benda Uji Tarik Serat.



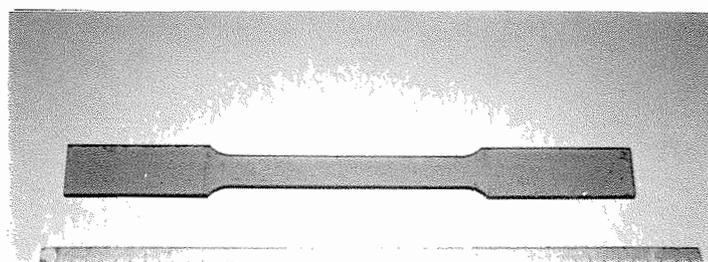
Gambar 3.6. Foto benda Uji Tarik Serat.

3.4.2. Benda uji matriks pengikat

Pengujian matriks pengikat dilakukan dengan standar pengujian ASTM D3039 (*Standart Test Method for Tensile Properties of Plastic*). Sesuai dengan standar pengujian ASTM D3039, dimensi benda uji yang digunakan adalah sebagai berikut:



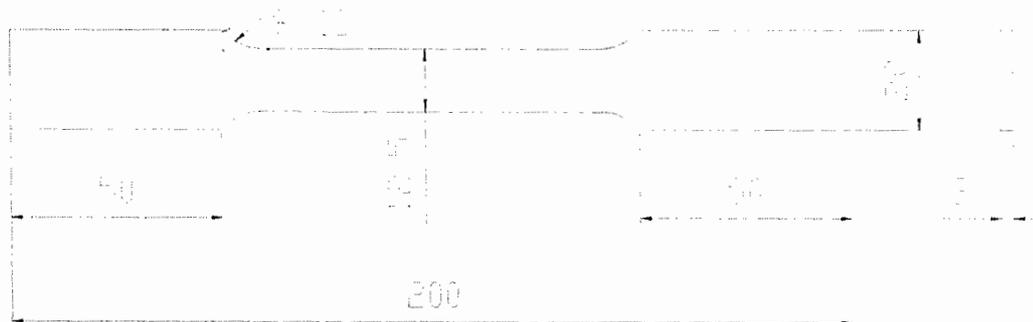
Gambar 3.7. Dimensi benda uji tarik matriks pengikat.



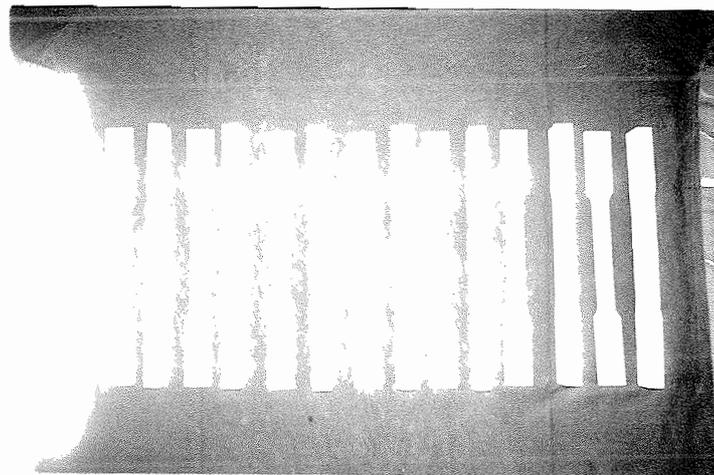
Gambar 3.8. Foto benda uji matriks pengikat.

3.4.3. Benda uji komposit

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



Gambar 3.9. Dimensi benda uji tarik komposit.



Gambar 3.10. Foto benda uji tarik komposit pada berbagai arah orientasi serat.

3.5. Cara Penelitian

3.5.1. Pengujian serat

Dalam pengujian ini serat penguat secara terpisah dari matrik dilakukan pengujian tarik dengan menggunakan mesin uji tarik Universal. Dalam pengujian tarik serat penguat digunakan 5 buah benda uji dengan dimensi benda uji sesuai standar *JIS R 3420*.

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

3.5.2. Pengujian matriks pengikat

3.5.2.1. Pengujian tarik matriks pengikat

Dalam pengujian ini matrik pengikat secara terpisah dari serat dilakukan pengujian tarik dengan menggunakan mesin uji tarik Universal. Dalam pengujian tarik matriks pengikat digunakan 5 buah benda uji dengan dimensi benda uji sesuai standar ASTM D3039.

Pada pengujian ini didapat hasil berupa data print-out grafik hubungan tegangan dan regangan selama pengujian berlangsung.

3.5.2.2. Perhitungan massa jenis matriks pengikat

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 beratnya dan diukur volume masing-masing benda uji.

Persamaan untuk menghitung massa jenis matriks pengikat :

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

dengan:

v = volume (cm³)

ρ = massa jenis (gr/cm³)

m = bobot (gr)

3.5.3. Pengujian komposit

3.5.3.1. Pengujian tarik komposit

Pengujian komposit dilakukan dengan arah orientasi serat 0⁰, 15⁰, 30⁰, 45⁰, 60⁰, 75⁰, dan 90⁰ dengan menggunakan mesin uji tarik universal.

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

Pada pengujian ini didapat hasil berupa data print-out grafik hubungan tegangan dan regangan selama pengujian berlangsung.

3.5.3.2. Perhitungan massa jenis komposit

Massa jenis komposit ditentukan dengan persamaan (3.1) dengan membuat 5 buah benda uji dengan dimensi tebal 3 mm panjang 200 mm, dengan lebar 20 mm. Seluruh benda uji tersebut ditimbang untuk mengetahui bobotnya dan diukur volume masing-masing benda uji.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, kita melakukan pengujian terpisah untuk mendapatkan sifat mekanik serat penguat, matrik pengikat dan komposit dalam berbagai orientasi. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel hasil analisis dan perhitungan. Sedangkan data selengkapnya mengenai hasil pengujian disajikan dalam lampiran.

4.1. Hasil Pengujian Tarik Serat

Pada pengujian ini didapat hasil berupa data *print-out* grafik hubungan tegangan dan regangan selama pengujian berlangsung pada kondisi suhu tertentu hingga mencapai beban maksimum (F_{maks}) dan regangan yang terjadi pada saat beban maksimum sehingga hasil pengujian tarik serat perlu dikonversi dahulu dalam bentuk hubungan tegangan dan regangan. Dari hasil analisis dan perhitungan pengujian tarik serat diperoleh beberapa sifat mekanik serat gelas E seperti disajikan dalam Tabel 4.1.

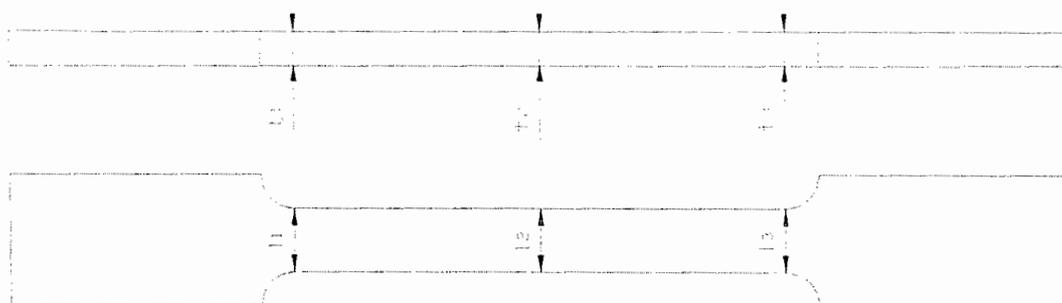
Tabel 4.1. Sifat mekanik serat gelas.

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

4.2. Hasil Pengujian Tarik Matriks

Pada pengujian ini didapat hasil berupa data print-out grafik hubungan tegangan dan regangan selama pengujian berlangsung. Dari pembacaan grafik kita mendapat hasil tegangan maksimum dengan regangan pada tegangan maksimum.

Metode analisis terhadap pengujian tarik serat dan komposit dapat pula dilakukan seperti metode analisis terhadap pengujian tarik matriks, sehingga dari analisis grafik pengujian dan perhitungan diperoleh beberapa sifat mekanis yang disajikan dalam Tabel 4.3.



Gambar 4.1. Keterangan Tabel 4.2.

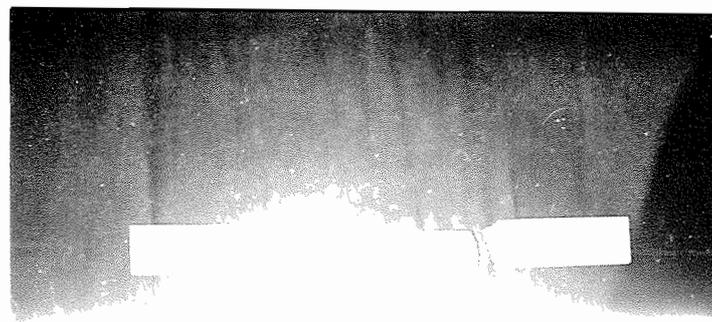
Tabel 4.2. Ukuran lebar dan tebal matriks pengikat.

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

Tabel 4.3. Sifat mekanik matriks pengikat.

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

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

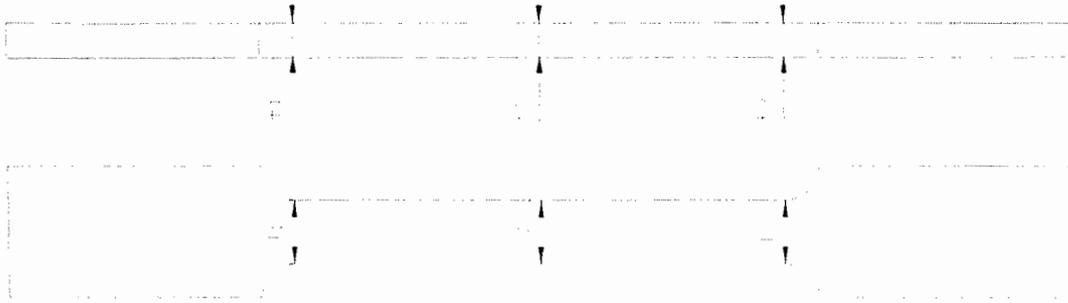
**Gambar 4.2. Foto bentuk perpatahan matriks pengikat.**

Dari Tabel 4.1 dan 4.3 dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik serat lebih besar dari daripada matriknya. ($\sigma_{f\text{maks}} > \sigma_{m\text{maks}}$) sedangkan regangan matriks lebih tinggi dari regangan serat ($\epsilon_m \text{ maks} > \epsilon_f \text{ maks}$) hal ini menunjukkan dari bahan kamposit memiliki keunggulan masing-masing bahan paduannya ini menunjukkan karakteristik khusus dari komposit dengan matriks polimer.

4.3. Hasil Pengujian Tarik Komposit

Pada pengujian ini didapat hasil berupa data print-out grafik hubungan tegangan dan regangan selama pengujian berlangsung, yang disajikan pada lampiran. Dengan pembacaan grafik tegangan regangan pada saat tegangan maksimum.

Dengan analisis grafik pengujian tarik diperoleh beberapa sifat mekanik komposit yang ditunjukkan dalam Tabel 4.5. Dari pengujian tarik terhadap komposit pada orientasi arah serat telah diperoleh beberapa sifat mekanik pada setiap orientasi arah serat yang ditentukan. Berdasarkan Tabel 4.5 dapat disimpulkan bahwa serat memberikan kekuatan maksimum pada orientasi 0° dan 90° , pada saat itu komposit memiliki harga kekuatan tarik yang terbesar karena hampir semua beban dapat ditanggung oleh serat.



Gambar 4.3. Keterangan dari Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Ukuran lebar dan tebal komposit.

Orientasi	Nama	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	t_3 (mm)	l_{rata} (mm)	t_{rata} (mm)
0^0	A ₁	12,5	12,6	12,5	3,2	3,2	3,2	12,5	3,2
	A ₂	12,5	12,6	12,5	2,8	2,8	2,8	12,5	2,8
	A ₃	12,5	12,6	12,5	2,8	2,8	2,8	12,5	2,9
	A ₄	12,5	12,6	12,5	2,8	2,8	2,8	12,5	2,8
	A ₅	12,5	12,6	12,5	3,2	3,2	3,2	12,5	3,2
15^0	B ₁	12,6	12,7	12,6	3,1	3,1	3,1	12,6	3,1
	B ₂	12,5	12,5	12,5	3,1	3,1	3,1	12,5	3,1
	B ₃	12,4	12,5	12,4	3,1	3,1	3,1	12,4	3,1
	B ₄	12,5	12,6	12,5	3,1	3,1	3,1	12,5	3,1
	B ₅	12,6	12,7	12,6	3,1	3,1	3,1	12,6	3,1
30^0	C ₁	12,5	12,5	12,5	3,2	3,2	3,2	12,5	3,2
	C ₂	12,5	12,6	12,5	3,2	3,2	3,2	12,5	3,2
	C ₃	12,6	12,5	12,5	3,2	3,2	3,2	12,5	3,2
	C ₄	12,5	12,6	12,5	3,2	3,2	3,2	12,5	3,2
	C ₅	12,5	12,6	12,5	3,2	3,2	3,2	12,5	3,2
45^0	D ₁	12,5	12,6	12,5	3,2	3,2	3,2	12,5	3,2
	D ₂	12,5	12,6	12,5	3,2	3,2	3,2	12,5	3,2
	D ₃	12,5	12,6	12,5	3,2	3,2	3,2	12,6	3,2
	D ₄	12,5	12,6	12,5	3,2	3,2	3,2	12,6	3,2
	D ₅	12,5	12,6	12,5	3,2	3,2	3,2	12,5	3,2
60^0	E ₁	12,5	12,6	12,6	3,1	3,1	3,1	12,6	3,1
	E ₂	12,4	12,6	12,5	3,1	3,1	3,1	12,5	3,1
	E ₃	12,5	12,6	12,5	3,1	3,1	3,1	12,5	3,1
	E ₄	12,5	12,6	12,5	3,1	3,1	3,1	12,5	3,1
	E ₅	12,5	12,6	12,5	3,1	3,1	3,1	12,5	3,2
75^0	F ₁	12,6	12,6	12,5	3,2	3,2	3,2	12,56	3,2
	F ₂	12,6	12,7	12,6	3,2	3,2	3,2	12,6	3,2
	F ₃	12,5	12,5	12,5	3,2	3,2	3,2	12,5	3,2
	F ₄	12,6	12,7	12,6	3,2	3,2	3,2	12,6	3,2
	F ₅	12,5	12,6	12,5	3,2	3,2	3,2	12,5	3,2
90^0	G ₁	12,5	12,5	12,6	3,2	3,2	3,2	12,5	3,2
	G ₂	12,5	12,5	12,5	2,8	2,8	2,8	12,5	2,8
	G ₃	12,5	12,6	12,5	3,1	3,1	3,1	12,5	3,1
	G ₄	12,5	12,6	12,5	2,8	2,8	2,8	12,5	2,8
	G ₅	12,6	12,7	12,6	3,2	3,2	3,2	12,6	3,2

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

Orientasi	Nama	Beban (kg)	Luas Penampang (mm ²)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	L ₀ (mm)	L (mm)	δ (mm)	ε maks (%)
0 ⁰	A ₁	293,2	40,3	7,27	100	102,9	2,9	2,9
	A ₂	253,6	35	7,24	100	102,6	2,6	2,6
	A ₃	250,4	35,3	7,09	100	102,9	2,9	2,9
	A ₄	242,2	35	6,92	100	102,8	2,8	2,8
	A ₅	294,3	40	7,36	100	102,5	2,5	2,5
15 ⁰	B ₁	181,8	39,1	4,65	100	102	2	2
	B ₂	191,1	38,7	4,93	100	102,3	2,3	2,3
	B ₃	184,5	38,4	4,79	100	102,2	2,2	2,2
	B ₄	190,9	38,7	4,93	100	102,4	2,4	2,4
	B ₅	187,4	39,1	4,79	100	102,1	2,1	2,1
30 ⁰	C ₁	133,9	40	3,45	100	101,7	1,7	1,7
	C ₂	141,0	40	3,64	100	101,8	1,8	1,8
	C ₃	99,4	40	2,56	100	101,5	1,5	1,5
	C ₄	144,0	40	3,72	100	101,9	1,9	1,9
	C ₅	138,2	40	3,57	100	101,8	1,8	1,8
45 ⁰	D ₁	89,5	40	2,25	100	101,3	1,3	1,3
	D ₂	83,5	40	2,11	100	101,1	1,1	1,1
	D ₃	93,1	40,3	2,33	100	101,4	1,4	1,4
	D ₄	93,4	40	2,35	100	101,3	1,3	1,3
	D ₅	86,7	40	2,18	100	101,2	1,2	1,2
60 ⁰	E ₁	124,4	38,7	3,21	100	101,8	1,8	1,8
	E ₂	132,7	38,7	3,42	100	101,7	1,7	1,7
	E ₃	112,0	38,7	2,91	100	101,6	1,6	1,6
	E ₄	134,2	38,7	3,46	100	101,9	1,9	1,9
	E ₅	135,5	38,7	3,45	100	101,8	1,8	1,8
75 ⁰	F ₁	193,0	40	4,83	100	102,2	2,2	2,2
	F ₂	198,6	40,3	4,93	100	102,3	2,3	2,3
	F ₃	184,5	40	4,61	100	102,5	2,5	2,5
	F ₄	197,9	40,3	4,91	100	102,3	2,3	2,3
	F ₅	159,7	40	3,99	100	102,3	2,3	2,3
90 ⁰	G ₁	245,5	40	6,14	100	102,8	2,8	2,8
	G ₂	239,1	35	6,83	100	102,5	2,5	2,5
	G ₃	271,8	39,1	6,95	100	102,8	2,8	2,8
	G ₄	243,7	35	6,96	100	102,7	2,7	2,7
	G ₅	317,9	40,3	7,87	100	102,9	2,9	2,9

Dalam pembuatan komposit serat berpenguat serat jenis woven roving didapat harga minimal (pada arah orientasi 45⁰). Sedang harga maksimal pada arah orientasi 0⁰ dan 90⁰. Dikarenakan pada saat itu tegangan tarik yang terjadi posisi

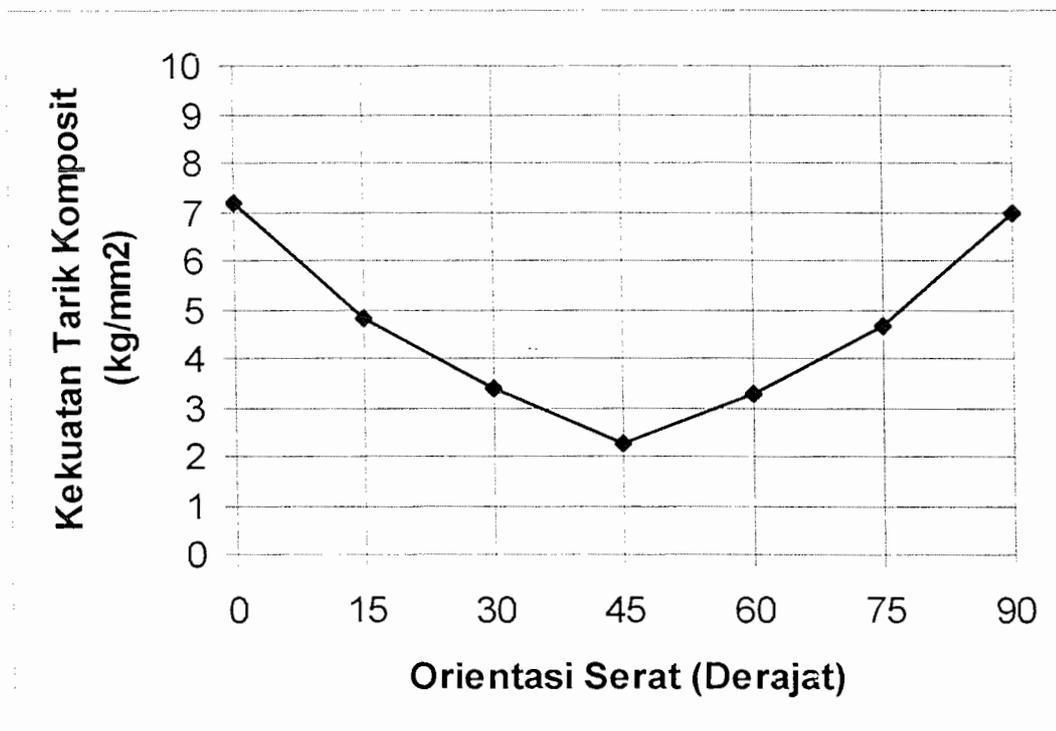
serat lurus dengan arah pembebanan jadi beban yang bekerja dapat ditopang secara penuh oleh serat penguat dan ditransfer pada serat penguat yang lain melalui *interface* antar serat dan matriks pengikat, serat penguat dan matriks pengikat mengalami besar tegangan yang sama, jika kedua komponen komposit tersebut memiliki sifat mekanik yang berbeda maka masing-masing komponen tersebut memiliki harga regangan yang berbeda dan regangan total komposit merupakan rata-rata harga regangan kedua komponen penyusunnya.

Harga kekuatan tarik komposit terendah pada sudut orientasi 45^0 dapat juga dikatakan pada sudut orientasi 45^0 merupakan sudut orientasi kritis. Dalam perancangan, sudut orientasi kritis harus dihindari sehingga diharapkan struktur komposit dapat menahan beban yang diberikan. Dengan adanya variasi arah orientasi ini pula memungkinkan kekuatan komposit dapat disesuaikan dengan arah pembebanannya dalam perancangan.

Tabel 4.5 dapat pula disajikan dalam bentuk grafik yaitu grafik kekuatan tarik dengan sudut orientasi serat dan grafik *elongation* dengan orientasi serat. Grafik dicari dengan cara mengambil nilai rata-rata kekuatan tarik dan nilai rata-rata *elongation*.

Tabel 4.6. Harga rata-rata kekuatan tarik komposit.

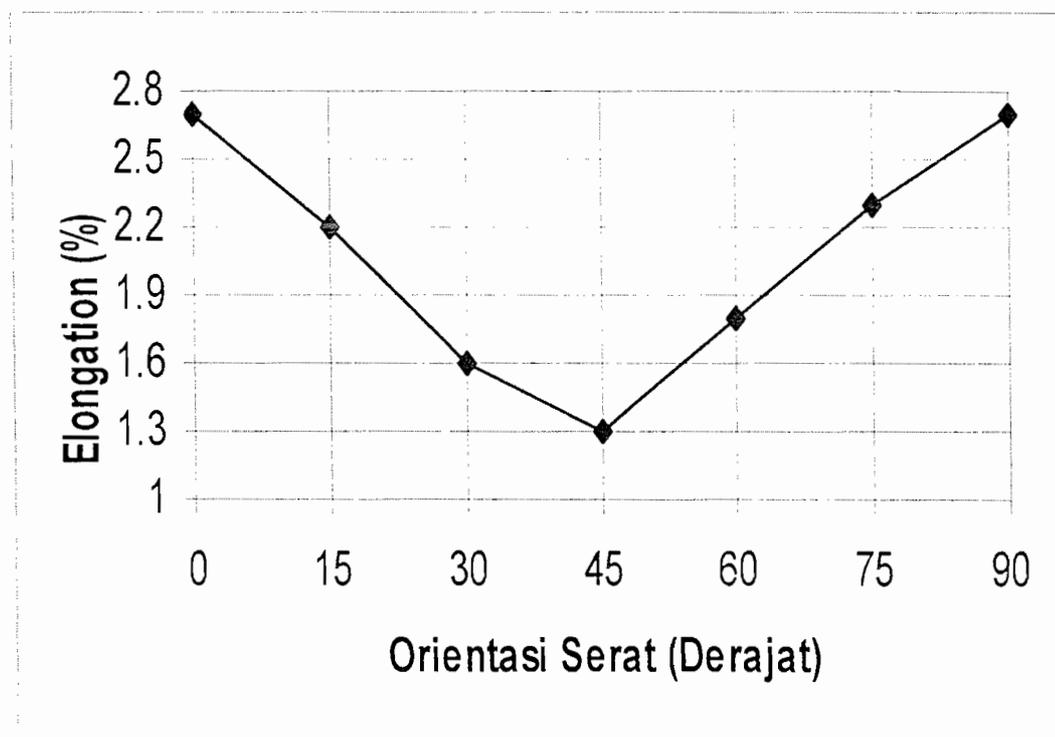
Orientasi	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm ²)
0 ⁰	7,17
15 ⁰	4,82
30 ⁰	3,38
45 ⁰	2,24
60 ⁰	3,29
75 ⁰	4,65
90 ⁰	6,95



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

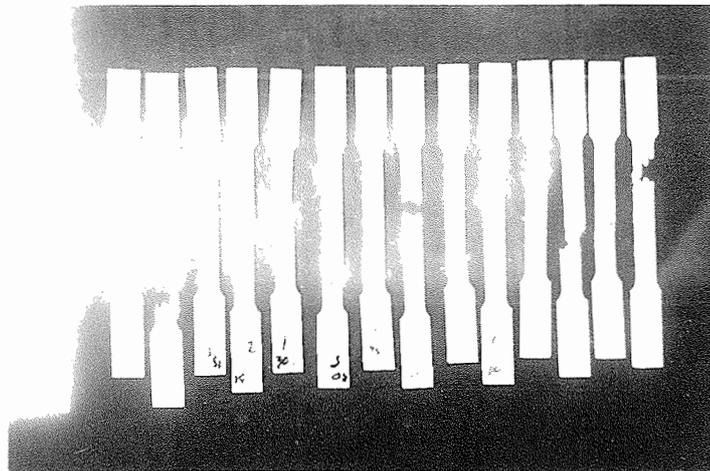
Tabel 4.7. Harga rata-rata elongatoin (ϵ) komposit.

Orientasi	ϵ maks (%)
0^0	2,7
15^0	2,2
30^0	1,6
45^0	1,3
60^0	1,8
75^0	2,3
90^0	2,,7

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

4.4. Model Kerusakan Komposit

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



Gambar 4.6. Foto kerusakan komposit.

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

Tipe patahan yang terjadi pada komposit dengan sudut arah orientasi serat 15° – 75° disebabkan matriks tidak mampu menahan gaya geser yang terjadi sehingga

terjadi *debonding*. Kerusakan yang timbul pada komposit searah dengan arah orientasi serat.

Grafik yang dihasilkan pada sudut pembebanan 15° – 75° menunjukkan bahwa setelah matriks retak kemampuan untuk mendukung beban akan segera berkurang. Namun komposit masih mampu menahan beban walaupun beban yang mampu ditahan lebih kecil daripada beban maksimum saat matrik retak, beban akan dikonsentrasikan dari komposit ke serat ditempat persinggungan retak. Selanjutnya kemampuan untuk mendukung beban berasal dari serat seiring dengan bertambahnya *deformasi*., serat akan tercabut dari matrik yang mengakibatkan kemampuan untuk mendukung beban semakin kecil, sehingga kerusakan yang terjadi pada komposit searah dengan orientasi serat.



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

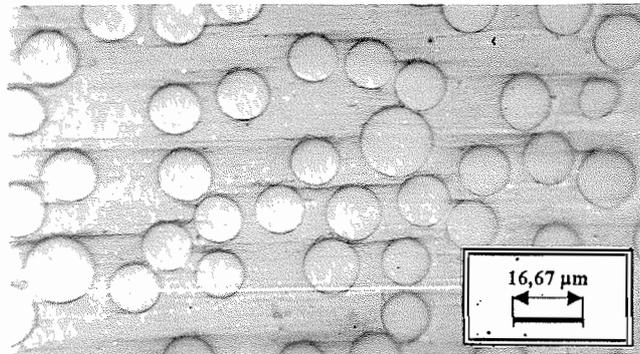
4.5. Analisa Kerusakan Pada Komposit

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

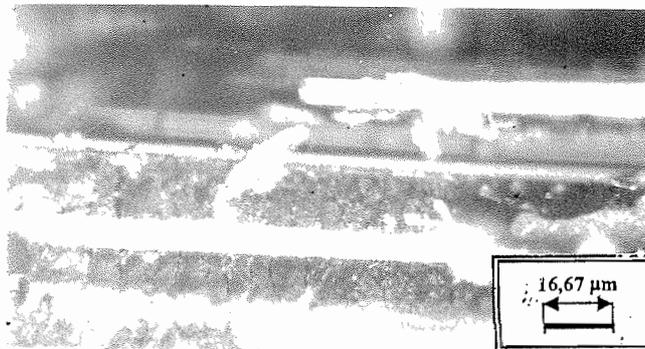
Pada penampang komposit mula yang dapat dilihat dengan bantuan mikroskop setelah komposit dihaluskan dan dipoles dapat menampilkan bentuk penampang serat serta matrik. Dari foto mikro dengan pembesaran 400 \times , yang dapat dilihat pada Gambar 4.8, menampilkan bentuk penampang komposit sebelum mengalami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

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

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



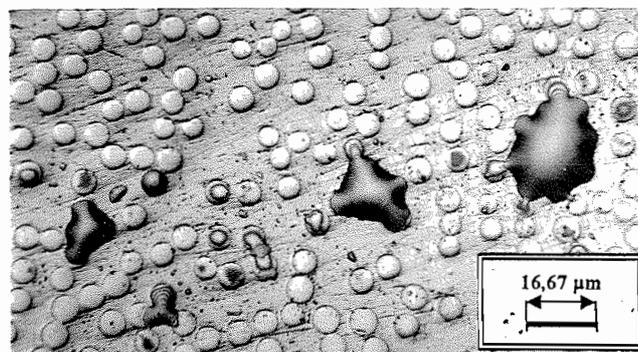
Gambar 4.8. Penampang Komposit Mula.



Gambar 4.9. Kerusakan *debonding* pada Komposit.

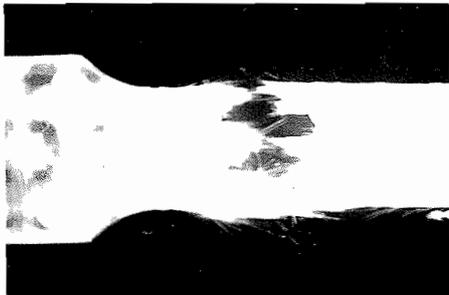


Gambar 4.10. Retak Mikro pada Matrik.

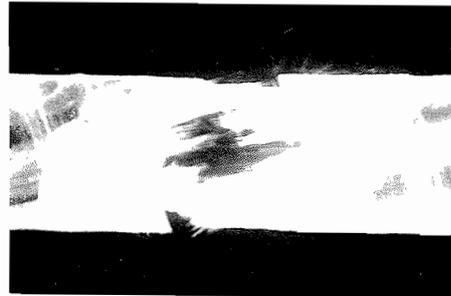


Gambar 4.11. Void pada Komposit.

Gambar 4.12. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat dan Matrik Pengikat



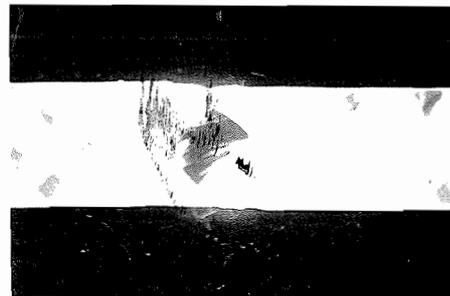
Serat 0°



Serat 15°



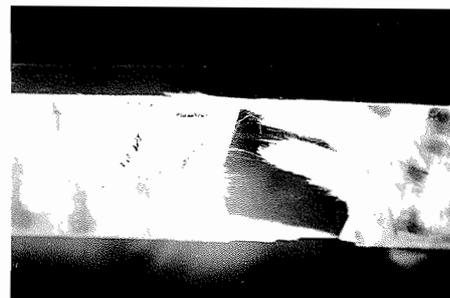
Serat 30°



Serat 45°



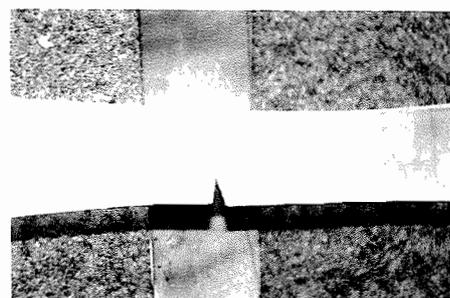
Serat 60°



Serat 75°



Serat 90°



Matrik Pengikat

Dari hasil analisa pemotretan dan pengamatan pada makro struktur patahan berbagai bentuk patahan berbagai bentuk patahan yang bebeda- beda. Perbedaan ini dikarenakan pengujian pada bahan yang memiliki orientasi serat yang berbeda-beda. dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahan patah pada beban tertentu dan mengalami perpatahan menurut orientasi seratnya. Penampang komposit yang memiliki kekuatan tarik tinggi penampang patahannya akan terlihat semakin kasar, karena serat-serat yang tercabut dan patah semakin banyak. Dari hasil pengamatan penampang patahan memiliki pola atau bentuk perpatahan sesuai dengan orientasi serat yang terdapat pada komposit. Menurut bentuk patahan yang terjadi pada pengujian tarik komposit merupakan bentuk patah getas. Sedangkan pada pengujian tarik resin, memiliki variasi bentuk patahan seperti di tunjukan pada Gambar 4.12. Untuk pengujian matrik resin memiliki jenis patahan juga berupa patah getas.

Dari hasil analisa pemotretan dan pengamatan pada makro struktur patahan berbagai bentuk patahan berbagai bentuk patahan yang berbeda- beda. Perbedaan ini dikarenakan pengujian pada bahan yang memiliki orientasi serat yang berbeda-beda. dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahan patah pada beban tertentu dan mengalami perpatahan menurut orientasi seratnya. Penampang komposit yang memiliki kekuatan tarik tinggi penampang patahannya akan terlihat semakin kasar, karena serat-serat yang tercabut dan patah semakin banyak. Dari hasil pengamatan penampang patahan memiliki pola atau bentuk perpatahan sesuai dengan orientasi serat yang terdapat pada komposit. Menurut bentuk patahan yang terjadi pada pengujian tarik komposit merupakan bentuk patah getas. Sedangkan pada pengujian tarik resin, memiliki variasi bentuk patahan seperti di tunjukan pada Gambar 4.12. Untuk pengujian matrik resin memiliki jenis patahan juga berupa patah getas.

BAB V

PENUTUP

Dari hasil penelitian bahan komposit berpenguat serat gelas E jenis *woven roving* (1 lapis) diperoleh beberapa kesimpulan antara lain :

- a. Kekuatan tarik rata-rata serat gelas E sebesar 4161 kg/mm^2 dan kekuatan tarik rata-rata matrik pengikat sebesar $4,08 \text{ kg/mm}^2$.
- b. Hasil pengujian menunjukkan bahwa orientasi serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit. Hal ini ditunjukkan oleh hasil pengujian tarik pada orientasi 0° $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 7,17 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 15° $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 4,82 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 30° $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 3,38 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 45° $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 2,24 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 60° $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 3,29 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 75° yaitu memiliki $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 4,65 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 90° $\sigma_{t \text{ rata-rata}} = 6,95 \text{ kg/mm}^2$. Bahan komposit yang menggunakan bahan berpenguat serat jenis *woven roving* memperoleh nilai maksimum pada arah orientasi 0° dan 90° , sebab serat dapat berfungsi secara optimal menahan beban yang diberikan pada komposit. Pada arah orientasi 45° memperoleh nilai minimum. Sedang untuk model kerusakan komposit cenderung berupa patah getas (*brittle failure*) hal ini disebabkan komposit mempunyai sifat dan kemampuan terhadap ikatan permukaan (*interface*) serat dan matriks

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

DAFTAR PUSTAKA

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

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

JIS Hand Book Plastics , JIS, 1991

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

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

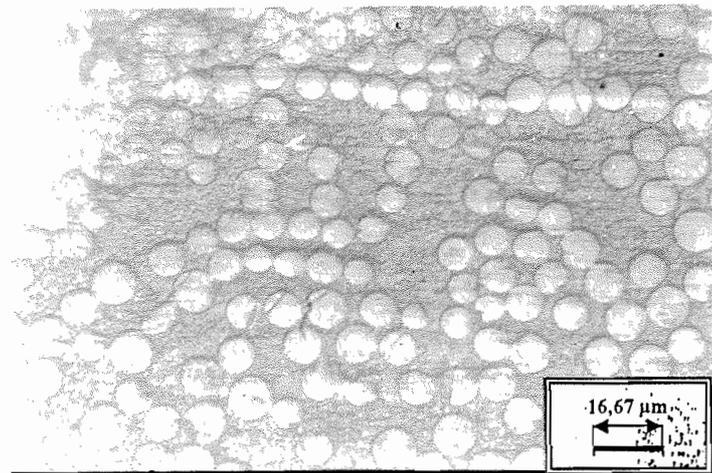
Schwartz. M.M, *Composites Material Hand Book*, Mc Graw Hill Book Company, 1984.

LAMPFRAN

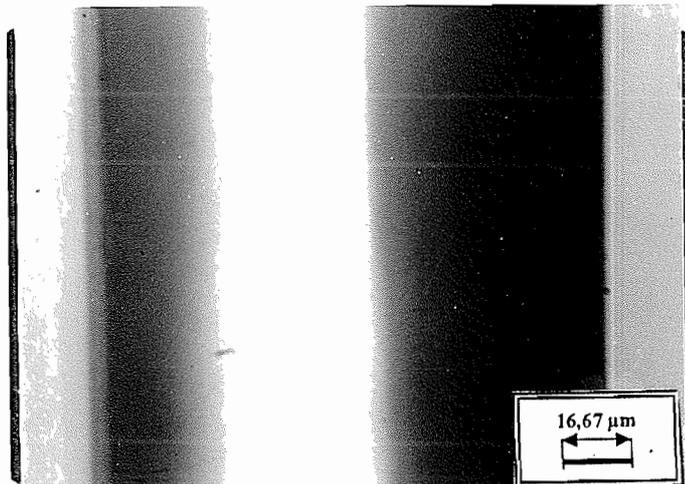
Perbandingan kekuatan dan kekakuan bahan serat dan bahan padatan

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

LAMPIRAN



Gambar L.1. Fotomikro penampang komposit.



Gambar L.2. Foto mikro kawat tembaga 110 μm

Dari 20 sampel serat pada fotomikro yang telah dicetak tersebut dapat diukur diameter serat. Diameter serat yang terukur tersebut harus dikonversikan dahulu dengan membandingkan fotomikro kawat tembaga 110 μm pada

pembesaran 400×. Dari foto tersebut diameter kawat tembaga terukur 66mm, sehingga untuk 1mm pada cetakan foto sebanding dengan 110 μm/66. Data pengukuran diameter serat glass disajikan dalam Tabel L.2.

Tabel L.2. Data diameter serat glass

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

Keterangan : d = diameter serat yang diperbesar 400 × pada mikroskop dan dicetak pada kertas foto dengan ukuran 3R.

Diameter rata-rata = 8 mm

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

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

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

Jadi diameter rata-rata serat glass adalah 0,0131 mm = 13,1 μm

1. Data perhitungan berat jenis matrik

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

Tabel L.4. Data Berat jenis matrik

Berat (gr)	Volume (cm ³)	Berat jenis (gr/cm ³)
11,889	9,991	1,189
11,282	9,492	1,189
11,203	9,405	1,191
10,352	8,686	1,192
10,825	9,097	1,189

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

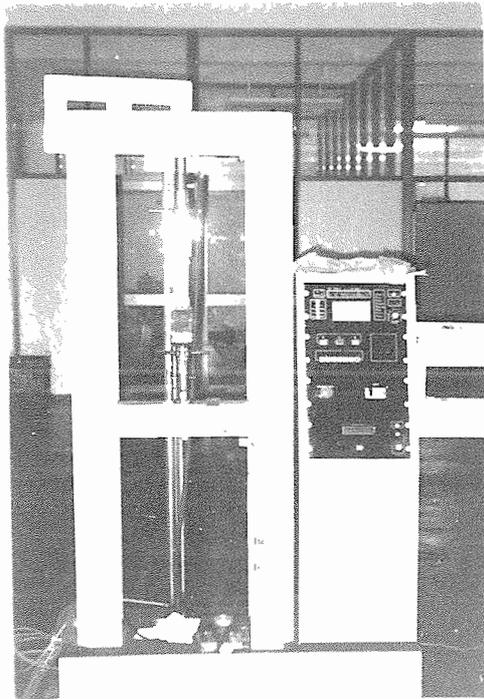
2. Data perhitungan Berat jenis komposit

Dengan menggunakan Persamaan 3.4. dapat dihitung berat jenis untuk komposit. Pada perhitungan ini harus diketahui volume dan berat masing-masing specimen. Untuk menghitung volume dengan cara mengalikan panjang, lebar dan tebal specimen. Sedang untuk menghitung berat specimen ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Pada tabel L.5. menunjukkan hasil perhitungan berat jenis komposit.

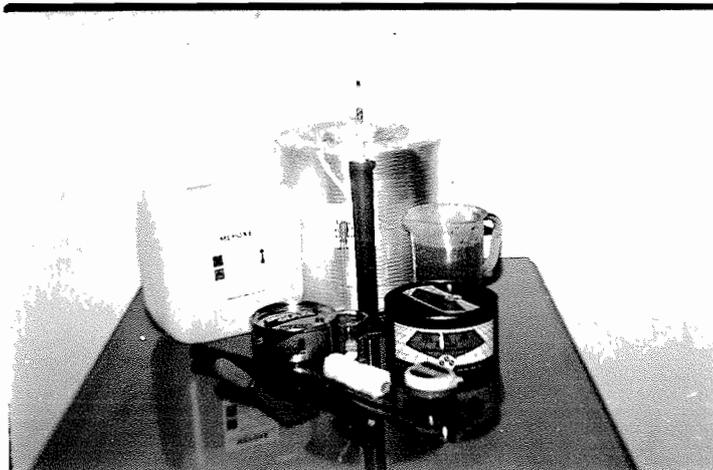
Tabel L.5. Data berat jenis komposit

Berat (gr)	Volume (cm³)	Berat jenis (gr/cm³)
16,44	11,6	1,42
16,99	12,4	1,37
16,69	12	1,39
17,39	12,8	1,36
16,69	12	1,39

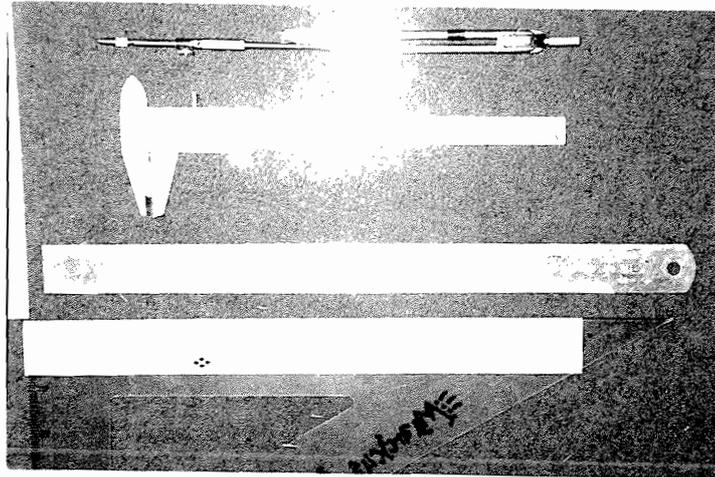
$$\text{Berat jenis rata-rata untuk komposit} = 1,39 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$



Gambar L-3. Foto mesin uji tarik

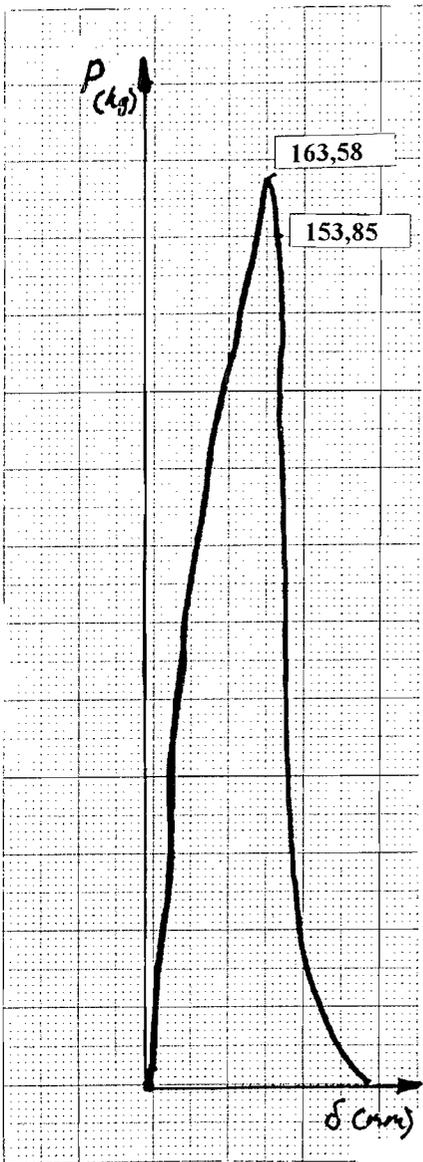


Gambar L-4. Bahan-bahan pembuat komposit

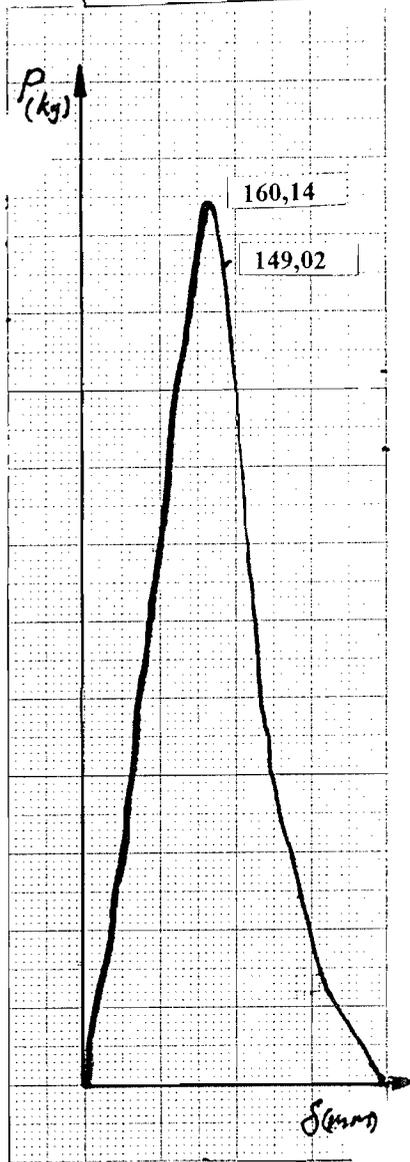


Gambar L-5. Foto alat ukur bantu

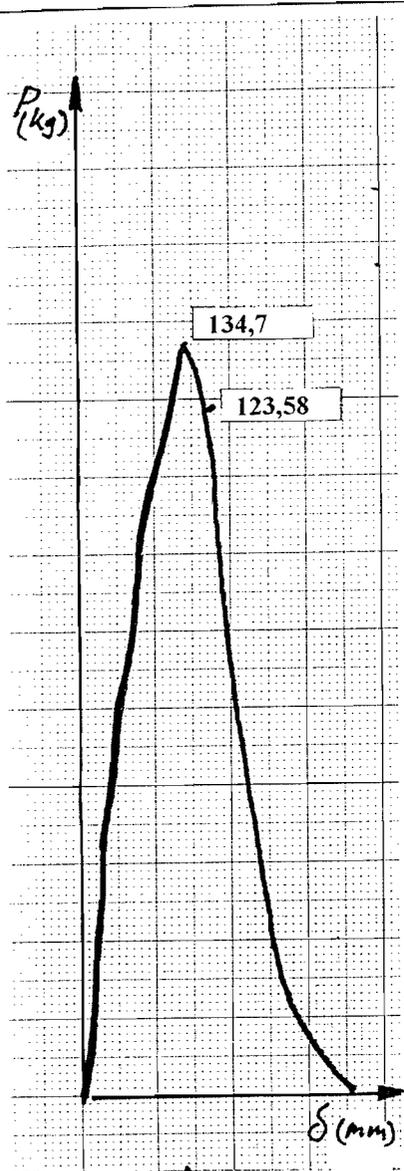
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada Matrik



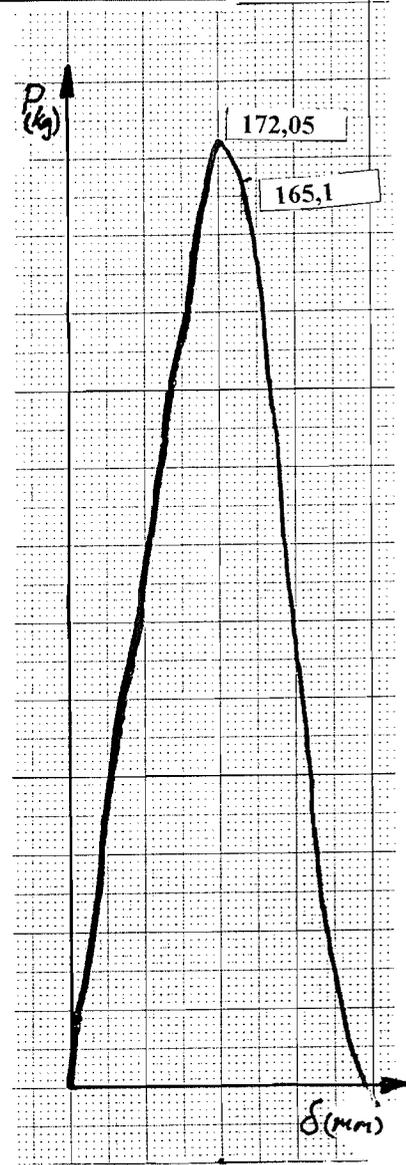
1



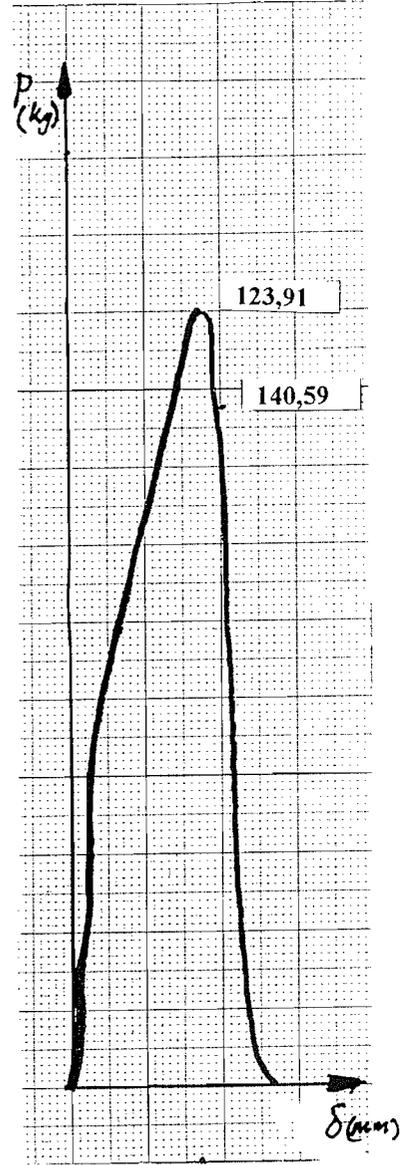
2



4

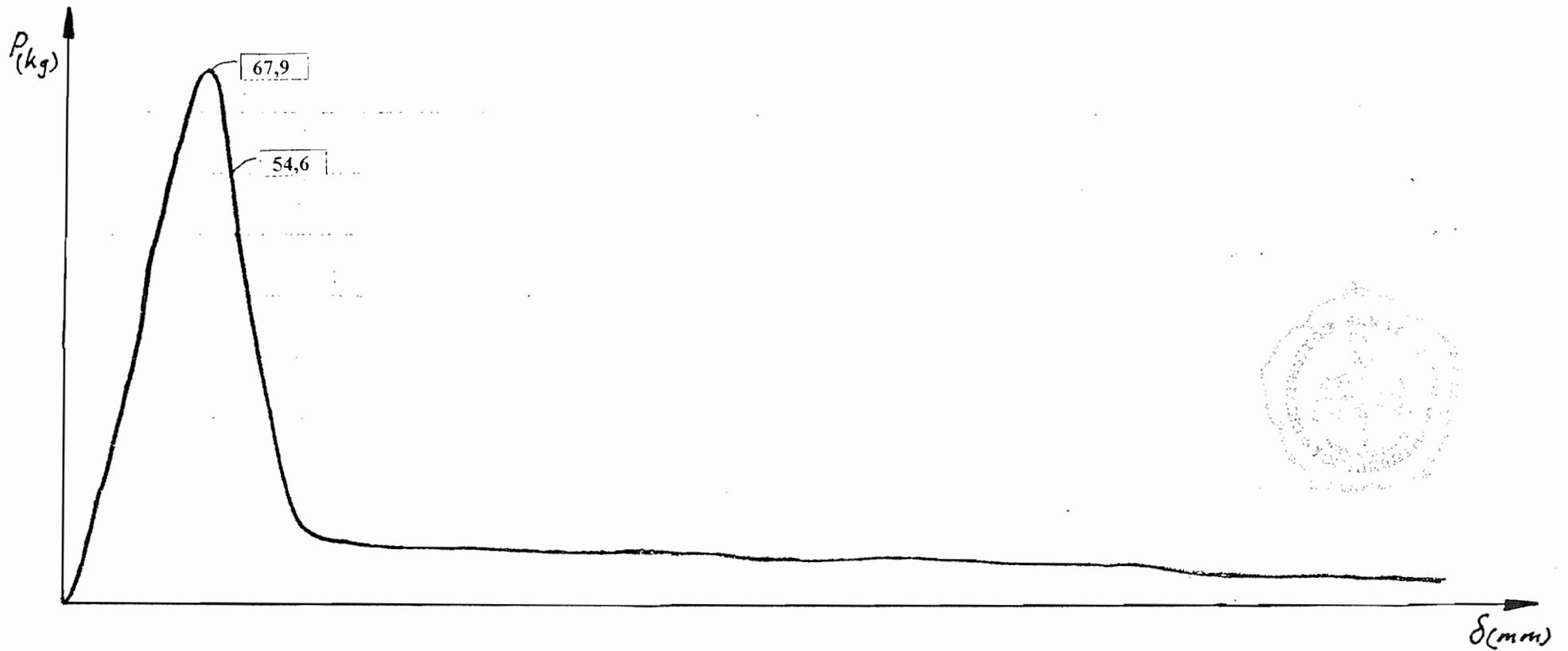


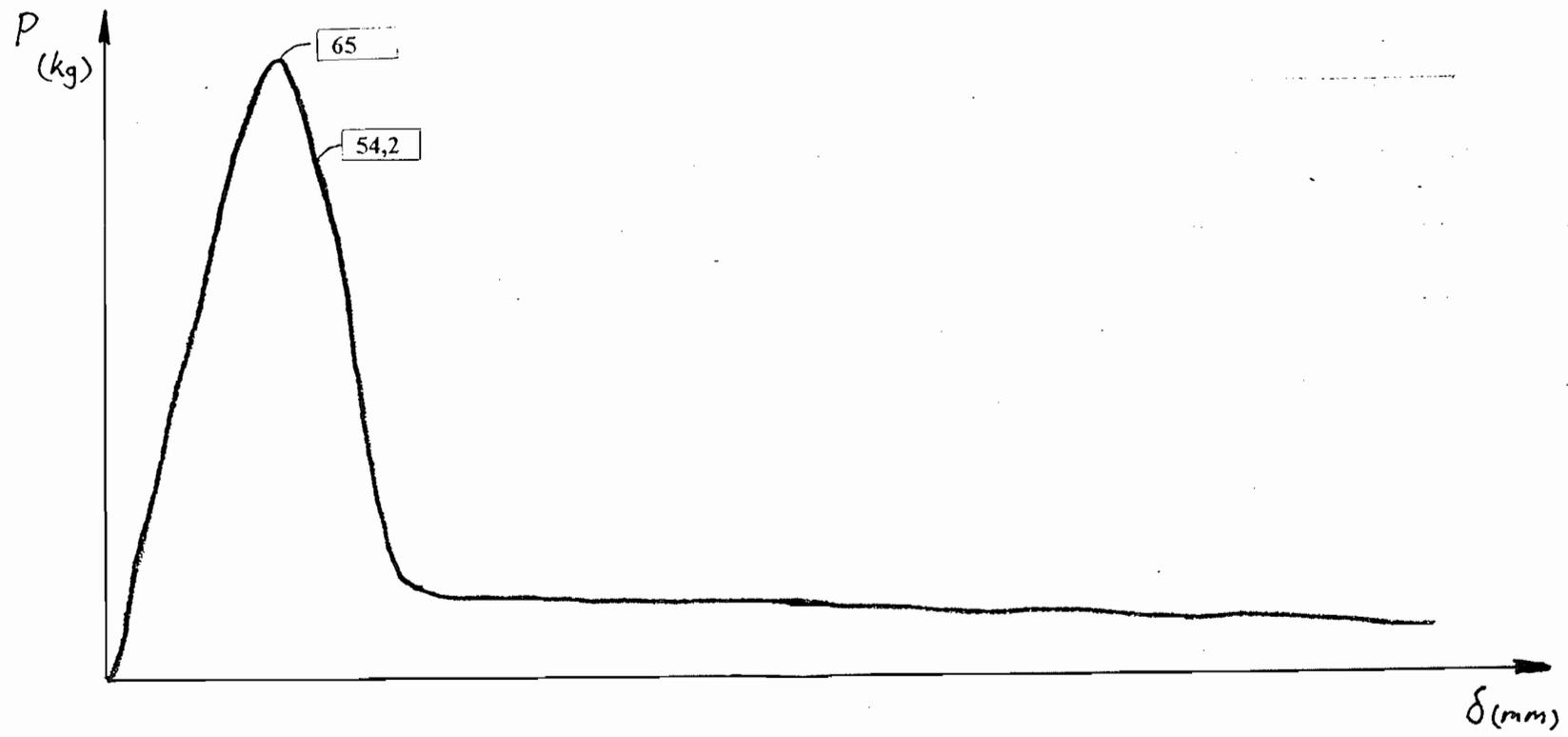
3

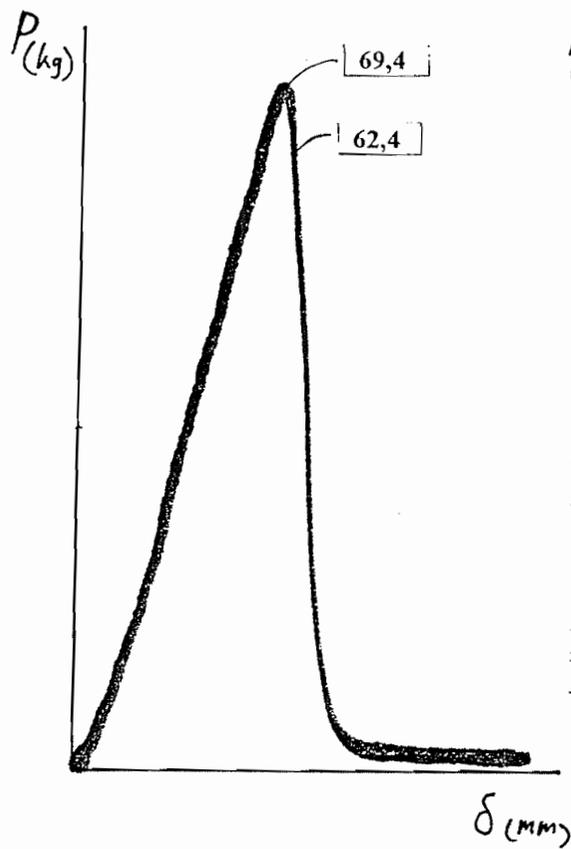


5

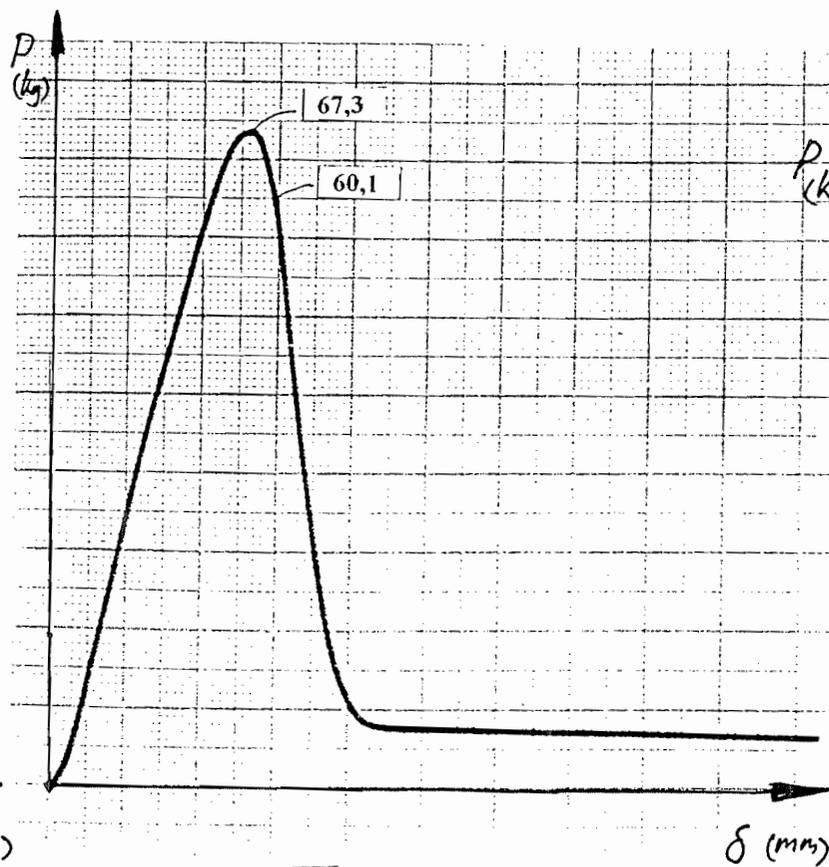
Grafik Beban VS Pertambahan Panjang Pada serat



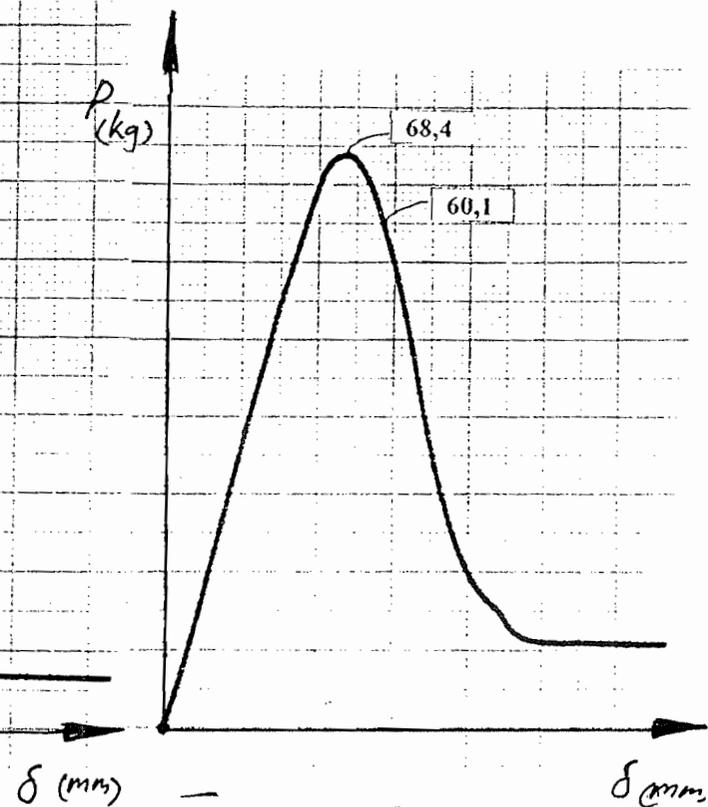




3



4



5

Grafik Tegangan VS Regangan Pada Masing-masing Orientasi Serat

Uji Tarik Komposit Orientasi 0 ⁰				
No	Beban (Kg)	Pertambahan panjang (mm)	Tegangan Tarik (Kg/mm ²)	Elongasi (%)
1	293,2	2,9	7,27	2,9
2	253,6	2,6	7,24	2,6
3	250,4	2,9	7,09	2,9
4	242,2	2,8	6,92	2,8
5	294,3	2,5	7,36	2,5

Speed : 10 mm/menit
 Date : 26 Maret 2004
 Clock : 11.30 AM
 Temperature : 28⁰ celcius

Catatan :

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

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

σ_1 : Deformasi

l : Panjang setelah pengujian

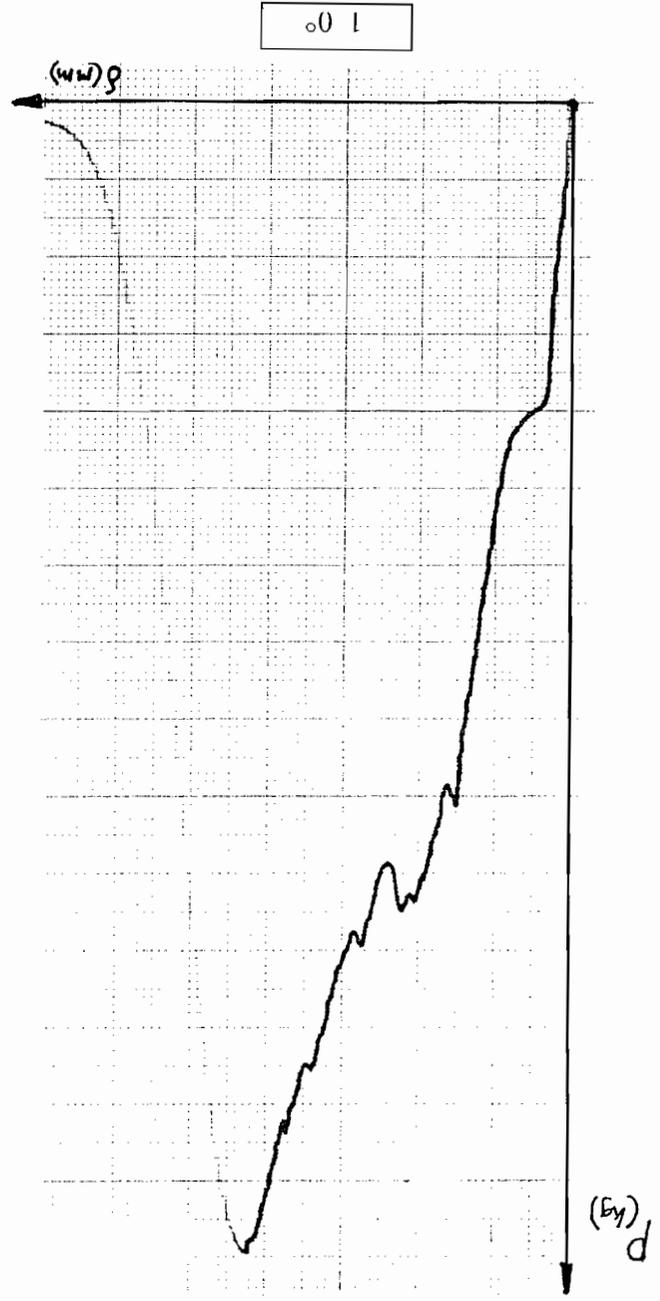
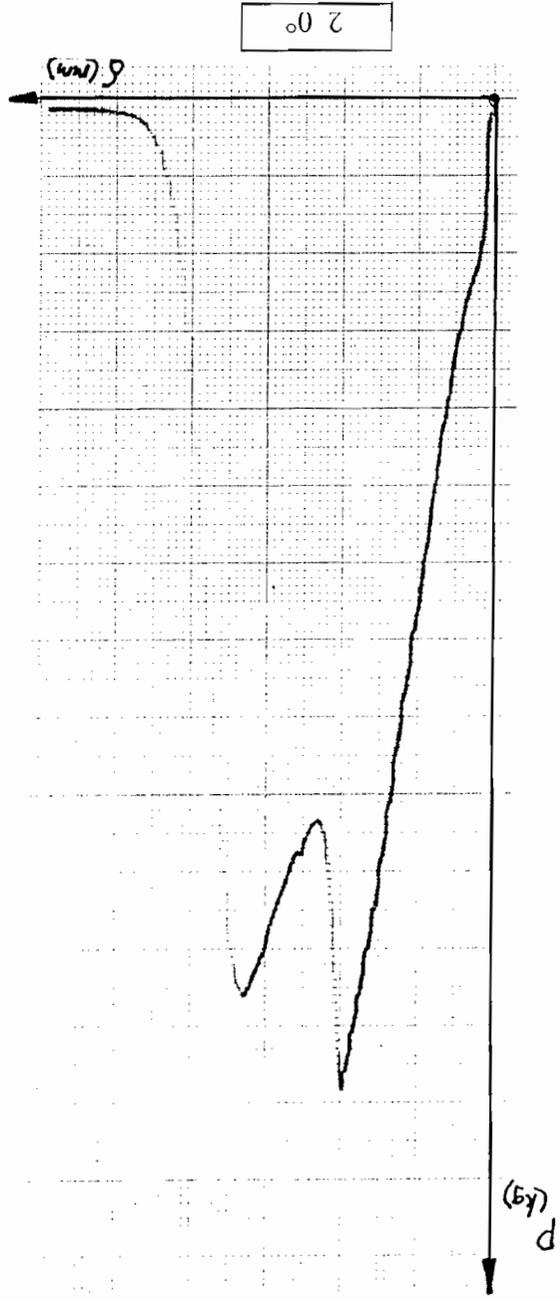
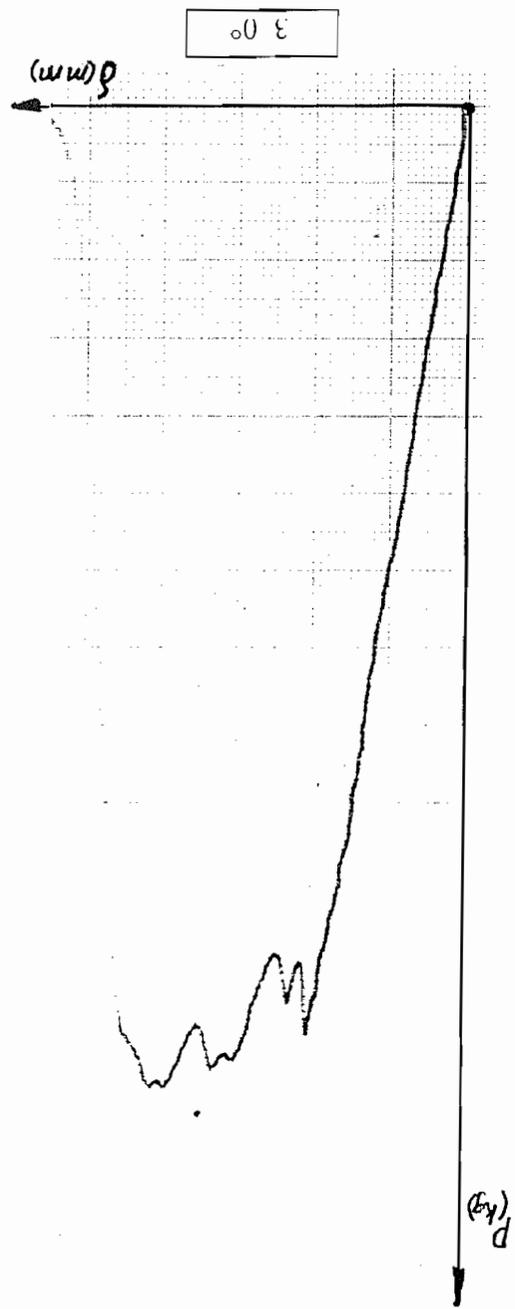
l_0 : Panjang mula-mula

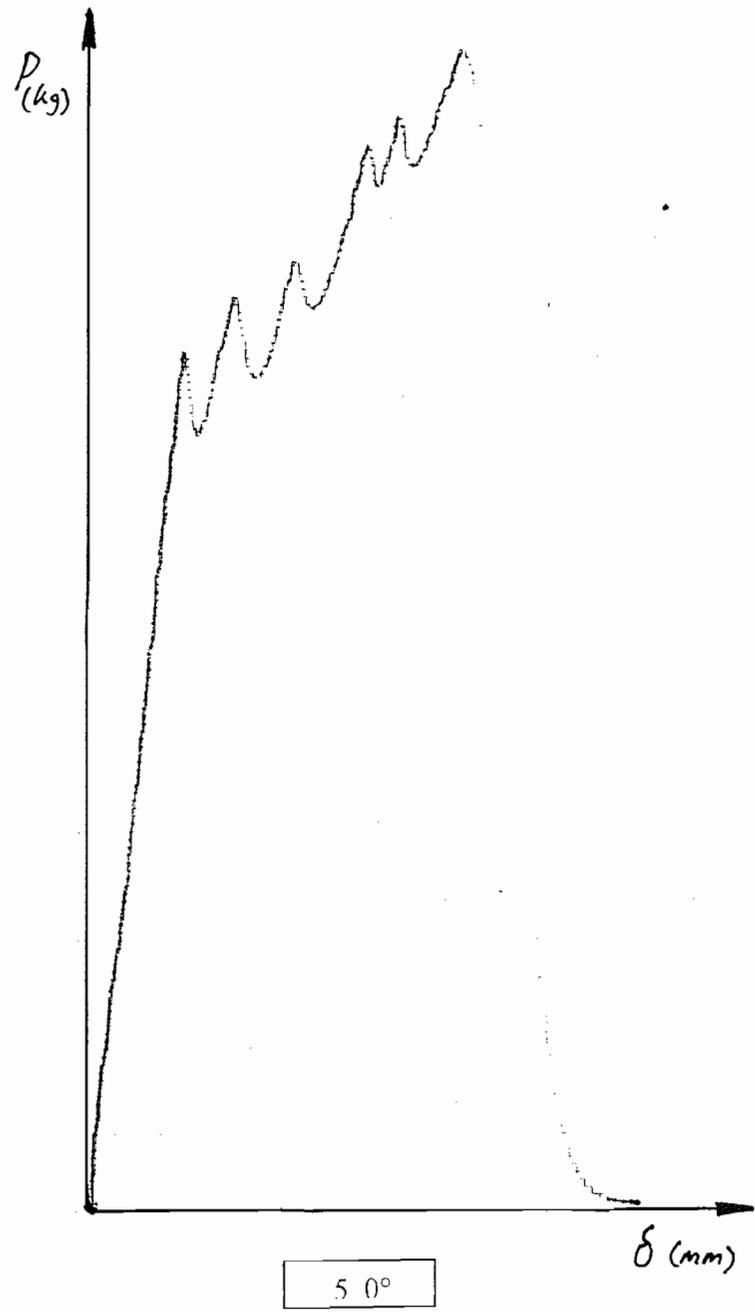
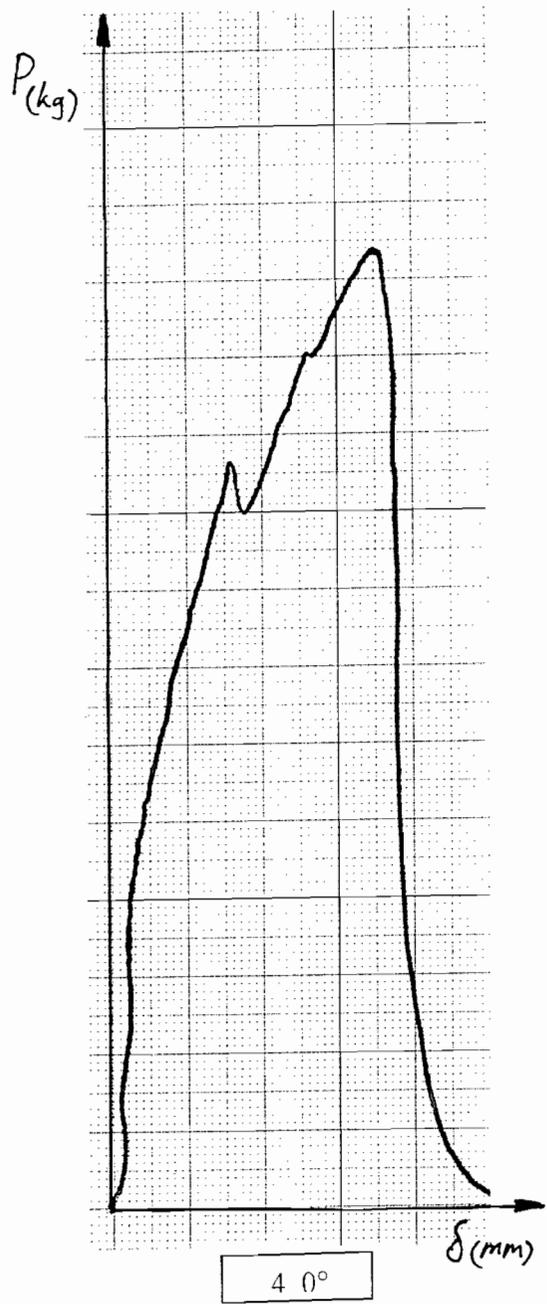
$$\varepsilon = \frac{\sigma_1}{l_0}$$

ε : regangan

σ_1 : deformasi

l_0 : panjang mula





Uji Tarik Komposit Orientasi 15 ⁰				
No	Beban (Kg)	Pertambahan panjang (mm)	Tegangan Tarik (Kg/mm ²)	Elongasi (%)
1	181,8	2	4,65	2
2	191,1	2,3	4,93	2,3
3	184,5	2,2	4,79	2,2
4	190,9	2,4	4,93	2,4
5	187,4	2,1	4,79	2,1

Speed : 10 mm/menit
Date : 26 Maret 2004
Clock : 11.30 AM
Temperature : 28⁰ celcius

Catatan :

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

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

σ_1 : Deformasi

l : Panjang setelah pengujian

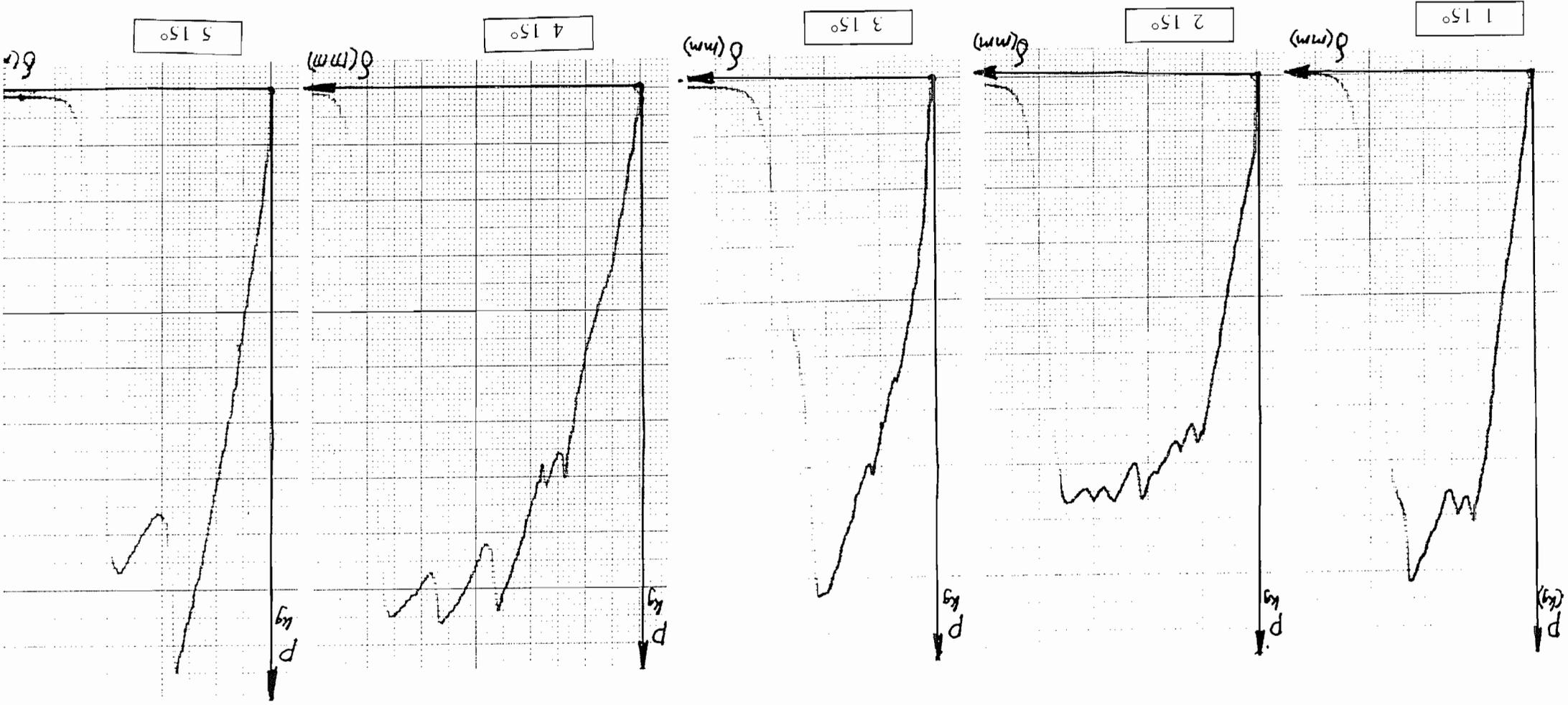
l_0 : Panjang mula-mula

$$\varepsilon = \frac{\sigma_1}{l_0}$$

ε : regangan

σ_1 : deformasi

l_0 : panjang mula



Uji Tarik Komposit Orientasi 30 ⁰				
No	Beban (Kg)	Pertambahan panjang (mm)	Tegangan Tarik (Kg/mm ²)	Elongasi (%)
1	133,9	1,7	3,45	1,7
2	141,0	1,8	3,64	1,8
3	99,4	1,5	2,56	1,5
4	144,0	1,9	3,72	1,9
5	138,2	1,8	3,57	1,8

Speed : 10 mm/menit
Date : 26 Maret 2004
Clock : 11.30 AM
Temperature : 28⁰ celcius

Catatan :

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

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

σ_1 : Deformasi

l : Panjang setelah pengujian

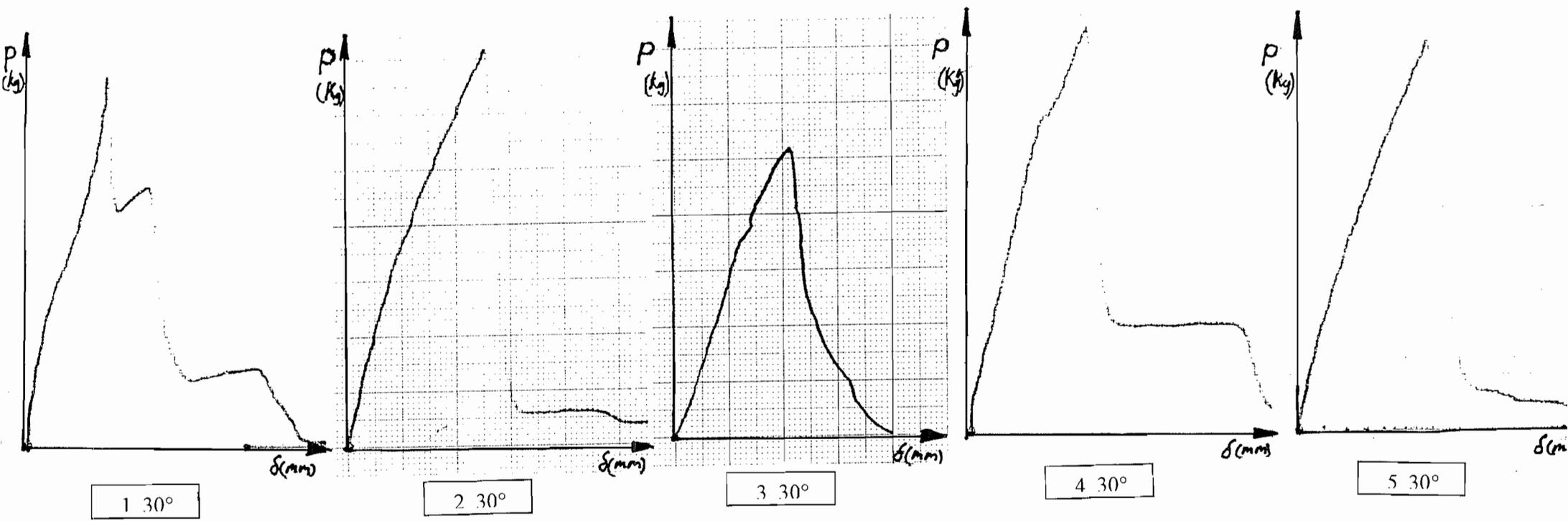
l_0 : Panjang mula-mula

$$\varepsilon = \frac{\sigma_1}{l_0}$$

ε : regangan

σ_1 : deformasi

l_0 : panjang mula



Uji Tarik Komposit Orientasi 45 ⁰				
No	Beban (Kg)	Pertambahan panjang (mm)	Tegangan Tarik (Kg/mm ²)	Elongasi (%)
1	89,5	1,3	2,25	1,3
2	83,5	1,1	2,11	1,1
3	93,1	1,4	2,33	1,4
4	93,4	1,3	2,35	1,3
5	86,7	1,2	2,18	1,2

Speed : 10 mm/menit
Date : 26 Maret 2004
Clock : 11.30 AM
Temperature : 28⁰ celcius

Catatan :

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

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

σ_1 : Deformasi

l : Panjang setelah pengujian

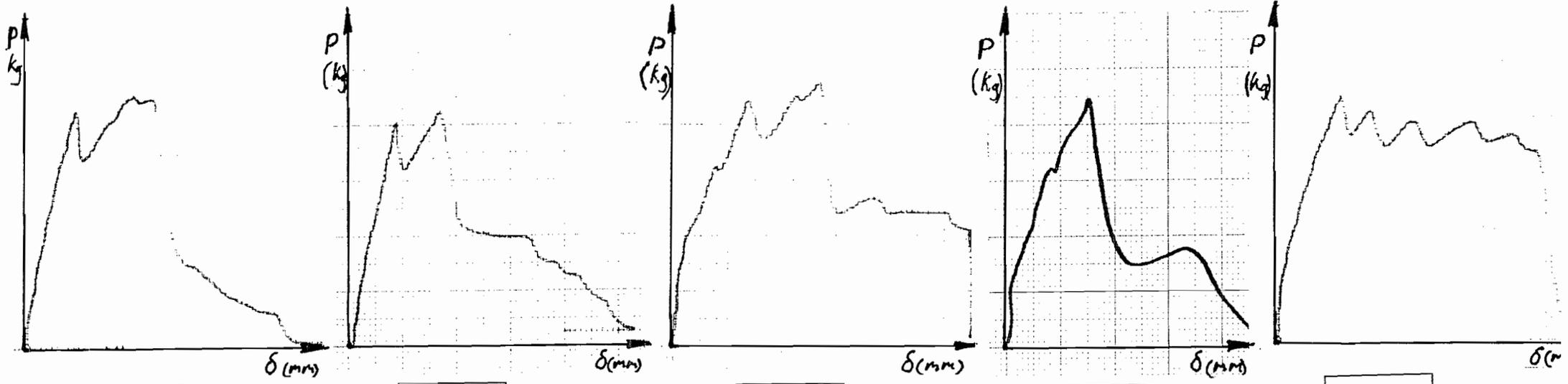
l_0 : Panjang mula-mula

$$\varepsilon = \frac{\sigma_1}{l_0}$$

ε : regangan

σ_1 : deformasi

l_0 : panjang mula



1 45°

2 45°

3 45°

4 45°

5 45°

Uji Tarik Komposit Orientasi 60 ⁰				
No	Beban (Kg)	Pertambahan panjang (mm)	Tegangan Tarik (Kg/mm ²)	Elongasi (%)
1	124,4	1,8	3,21	1,8
2	132,7	1,7	3,42	1,7
3	112,6	1,6	2,91	1,6
4	134,2	1,9	3,46	1,9
5	135,5	1,8	3,45	1,8

Speed : 10 mm/menit
Date : 26 Maret 2004
Clock : 11.30 AM
Temperature : 28⁰ celcius

Catatan :

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

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

σ_1 : Deformasi

l : Panjang setelah pengujian

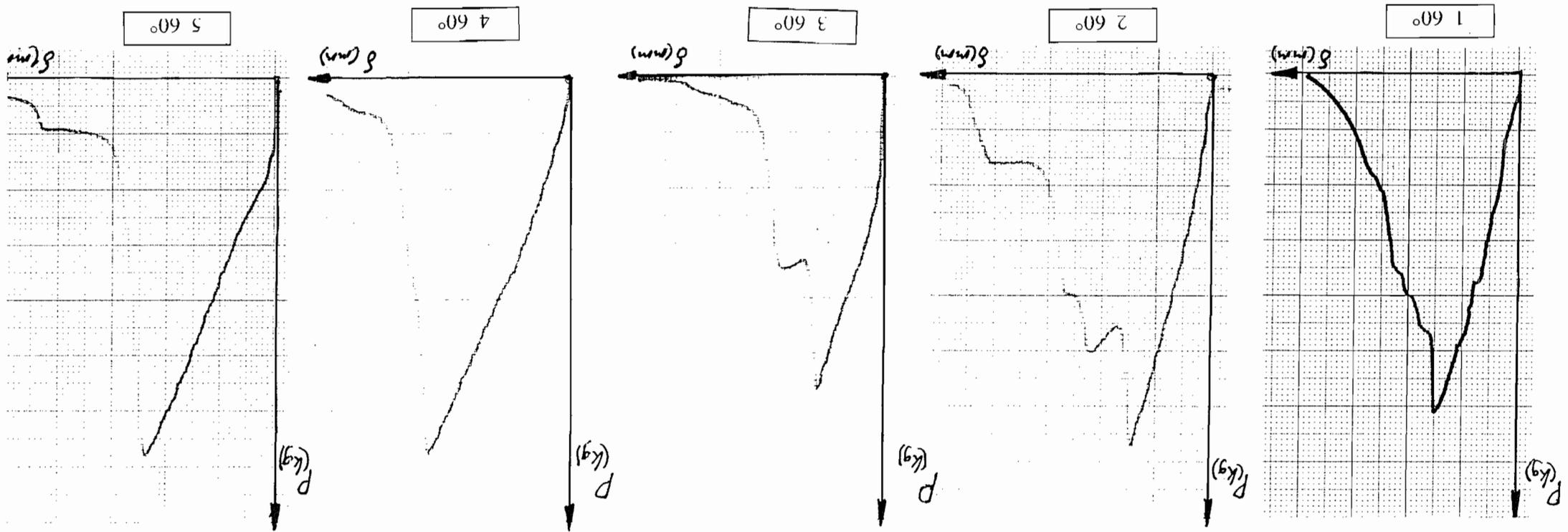
l_0 : Panjang mula-mula

$$\varepsilon = \frac{\sigma_1}{l_0}$$

ε : regangan

σ_1 : deformasi

l_0 : panjang mula



Uji Tarik Komposit Orientasi 75 ⁰				
No	Beban (Kg)	Pertambahan panjang (mm)	Tegangan Tarik (Kg/mm ²)	Elongasi (%)
1	193,0	2,2	4,83	2,2
2	198,6	2,3	4,93	2,3
3	184,5	2,5	4,61	2,5
4	197,9	2,3	4,91	2,3
5	159,7	2,3	3,99	2,3

Speed : 10 mm/menit
Date : 26 Maret 2004
Clock : 11.30 AM
Temperature : 28⁰ celcius

Catatan :

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

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

σ_1 : Deformasi

l : Panjang setelah pengujian

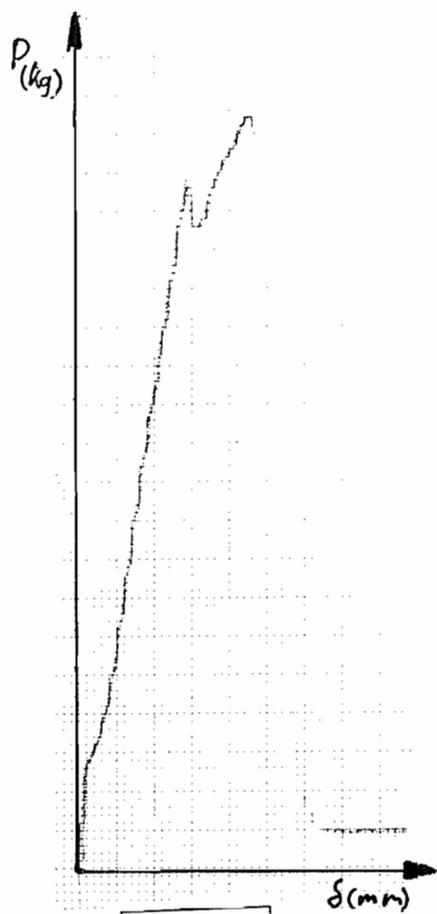
l_0 : Panjang mula-mula

$$\varepsilon = \frac{\sigma_1}{l_0}$$

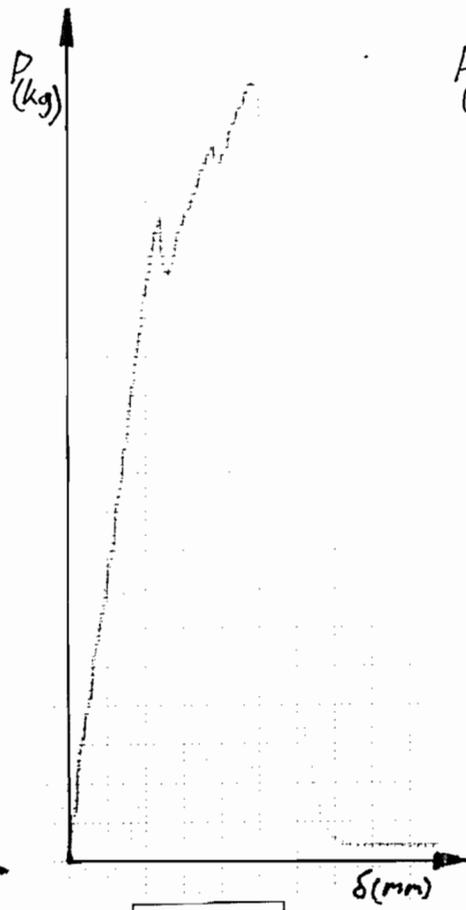
ε : regangan

σ_1 : deformasi

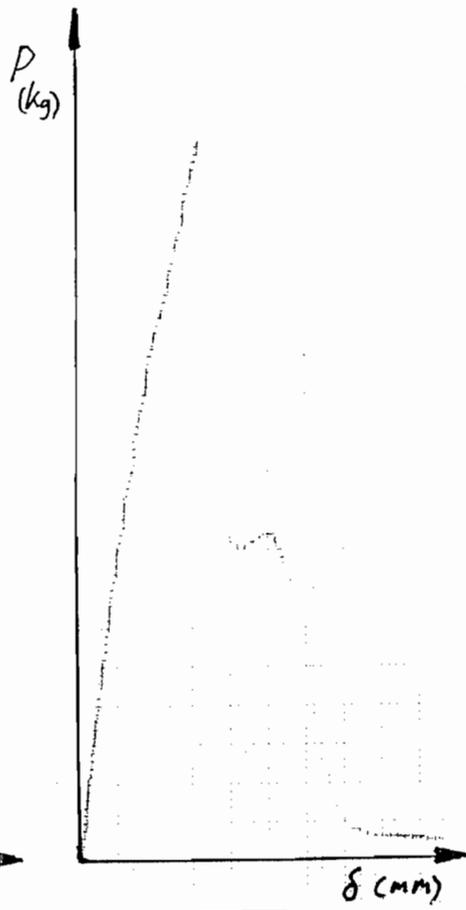
l_0 : panjang mula



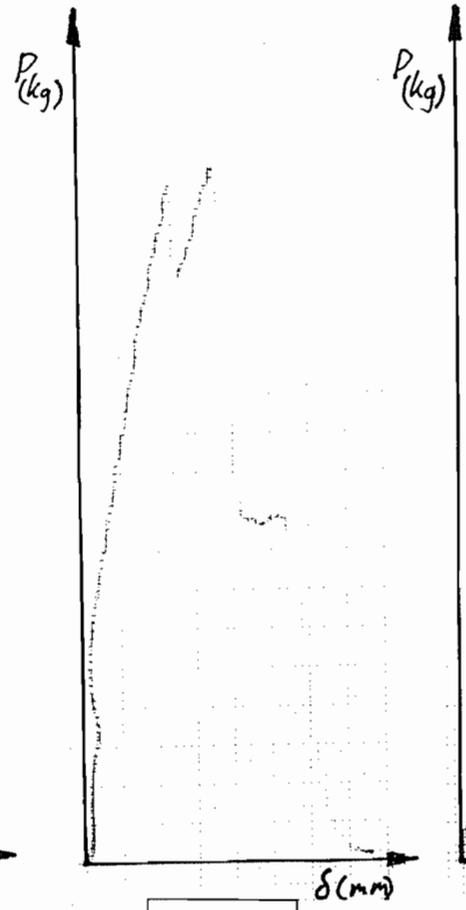
1 75°



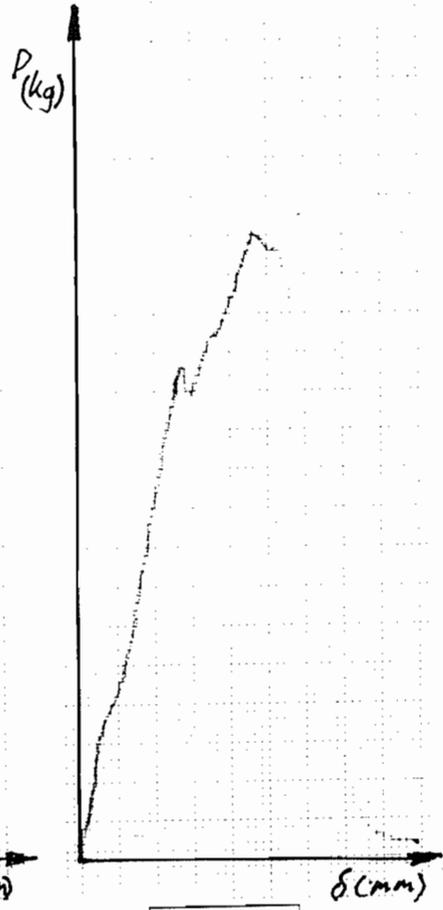
2 75°



3 75°



4 75°



5 75°

Uji Tarik Komposit Orientasi 90 ⁰				
No	Beban (Kg)	Pertambahan panjang (mm)	Tegangan Tarik (Kg/mm ²)	Elongasi (%)
1	245,5	2,8	6,14	2,8
2	239,1	2,5	6,83	2,5
3	271,8	2,8	6,95	2,8
4	243,7	2,7	6,96	2,7
5	317,9	2,9	7,87	2,9

Speed : 10 mm/menit
Date : 26 Maret 2004
Clock : 11.30 AM
Temperature : 28⁰ celcius

Catatan :

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

$$\sigma_1 = l - l_0$$

dengan :

σ_1 : Deformasi

l : Panjang setelah pengujian

l_0 : Panjang mula-mula

$$\varepsilon = \frac{\sigma_1}{l_0}$$

ε : regangan

σ_1 : deformasi

l_0 : panjang mula

