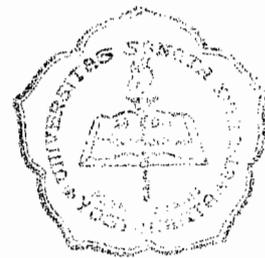


**PENGARUH ORIENTASI SERAT E-GLASS
TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS KOMPOSIT
(30% SERAT E-GLASS, RESIN JUSTUS 157)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk memenuhi Salah satu syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

**Nama : Bambang Agung Santoso
NIM : 995214036**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA
2006**

**THE EFFECT OF FIBER ORIENTATION
ON COMPOSITE PROPERTIES
(30% E-GLASS FIBER, JUSTUS RESIN 157)**

FINAL PROJECT
Presented as Partial Fulfillment of the Requirements
To Obtain the *Sarjana Teknik* Degree
In Mechanical Engineering



Bambang Agung Santoso
Student Number : 995214036

MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
ENGINEERING FACULTY
SANATA DHARMA UNIVERSITY
YOGYAKARTA
2006

TUGAS AKHIR

**PENGARUH ORIENTASI SERAT E-GLASS
TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS KOMPOSIT
(30% SERAT E-GLASS, RESIN JUSTUS 157)**

Disusun oleh :

Bambang Agung Santoso

NIM : 995214036

Telah disetujui oleh :

Pembimbing I



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

Tanggal

3 - 4 - 2006

TUGAS AKHIR

**PENGARUH ORIENTASI SERAT E-GLASS
TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS KOMPOSIT
(30% SERAT E-GLASS, RESIN JUSTUS 157)**

Dipersiapkan dan ditulis oleh :
Nama : Bambang Agung Santoso
NIM : 995214036

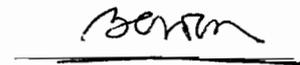
Telah dipertahankan di depan Panitia Penguji
Pada tanggal 28 Maret 2006
Dan dinyatakan memenuhi syarat

Susunan Panitia Penguji

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



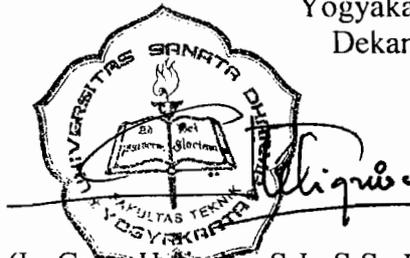
Sekretaris : Wibowo Kusbandono, S.T., M.T.



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



Yogyakarta, 8 APRIL 2006
Fakultas Teknik
Universitas Sanata Dharma
Yogyakarta
Dekan



(Ir. Greg. Heharko, S.J., S.S., B.ST., M.A., M.Sc.)



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

No : 600 / TA / FT-USD / TM Oktober/ 2005

Nama : A. Bambang Agung Santoso
NIM : 995214036
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Univ. Sanata Dharma Yogyakarta

Judul :

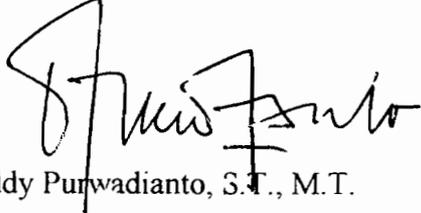
*Pengaruh orientasi serat E-Glass terhadap sifat fisis dan mekanis komposit
(30% serat E-Glass, resin Justus 157).*

Tanggal dimulai : 7 Oktober 2005

Pembimbing II

Yogyakarta, 7 Oktober 2005

Pembimbing I


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

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, 28 Maret 2006

Penulis



Bambang Agung Santoso

HALAMAN PERSEMBAHAN

*“Hidup ini adalah bagaikan roda berputar, kadang diatas
kadang pula dibawah.*

*Perjuanganlah yang menentukan semuanya ini. Ingat,
kita berusaha Tuhanlah yang menentukan.”*

Tugas akhir ini kupersembahkan kepada:

- *TUHAN*
- *Ayah & Ibu, Adikku, keluargaku serta kawanku*

KATA PENGANTAR

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

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

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

1. Romo Ir. Greg. Heliarko, S.J., S.S., B.ST., M.A., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma.
2. Bapak Yosef Agung Cahyanta, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.
3. Bapak Doddy Purwadianto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak membantu dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Bapak I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T., Dosen dan Kepala Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma.
5. Bapak Ir. Samsudin, selaku Dosen Jurusan Teknik Mesin di Universitas Gajah Mada.
6. Bapak Martono dan Bapak Intan, Laboran Ilmu Logam Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.
7. Romo Mardi Prasetya, S.J., yang banyak membantu dengan berkat dan doa.

8. Suster Hermin, C.B., Suster Elia Kato, C.B., dan keluarga besar yayasan Santikara yang banyak memberikan bantuan.
9. Suster Magdeline, O.S.F., Suster Imaculata, A.D.M., Suster Yulita, C.B., yang banyak membantu.
10. Keluarga besar Prawiro Wiharjo, Ayah dan Ibu, adik.
11. Teman-teman mahasiswa Teknik Mesin dan semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

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

Yogyakarta , 28 Maret 2006



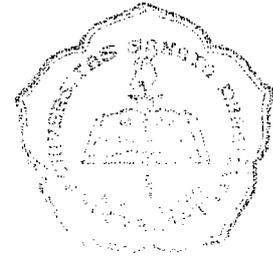
Penulis

INTISARI

Penelitian ini membahas tentang pengaruh orientasi serat pada bahan komposit berpenguat serat gelas-E. Komposit yang dibuat terdiri atas : 30% serat E-Glass jenis *woven roving* sebagai bahan penguat, resin Justus 157 dan katalis *Metoxene (methyle ethyl ketone peroxide)* sebagai bahan pengikat. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui kekuatan tarik serat penguat, kekuatan tarik matriks pengikat, kekuatan tarik dan faktor kerusakan pada komposit terhadap orientasi serat.

Langkah pertama adalah menguji serat penguat dengan menggunakan standart uji tarik buatan sendiri. Kedua, membuat bahan matriks pengikat dengan ukuran $20 \times 15 \times 0,3$ cm. Kemudian penulis melakukan pengujian tarik matrik pengikat menggunakan standar uji tarik ASTM D 638 yang dimodifikasi. Pengujian tarik yang dilakukan baik pada serat penguat, bahan matriks pengikat maupun dilakukan sebanyak 4 kali. Ketiga, membuat bahan komposit yang menggunakan 30% serat E-Glass dengan ukuran $46 \times 36 \times 0,3$ cm. Kemudian bahan komposit tersebut dipotong sesuai standart uji tarik ASTM D 3039 yang dimodifikasi. Pengujian tarik untuk bahan komposit dilakukan sesuai arah orientasi serat yaitu 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , dan 75° . Untuk setiap arah orientasi serat dilakukan 4 kali pengujian. Seluruh proses pengujian tarik menggunakan alat uji tarik yang terdapat di Laboratorium Ilmu Logam Fakultas Teknik USD kecuali untuk uji serat dilakukan di Laboratorium Ilmu logam Fakultas Teknik UGM. Setelah proses pengujian selesai didapatkan data berupa nilai uji tarik untuk setiap benda uji. Dari nilai uji tarik tersebut diambil nilai rata-rata.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut : pertama, kekuatan tarik serat penguat ternyata lebih besar daripada kekuatan tarik matriks pengikat bahan komposit yaitu sebesar $261,09 \text{ N/mm}^2$; kedua, terdapat kemiripan data pada arah orientasi dari serat yang berjenis *woven roving* antara lain : sudut 15° dengan 75° ; sudut 30° dengan 60° ; ketiga, arah orientasi serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit.



DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Persetujuan	iii
Halaman Pengesahan	iv
Halaman Soal	v
Halaman Pernyataan.....	vi
Halaman Persembahan	vii
Kata Pengantar	viii
Intisari	x
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar.....	xiv
Daftar Tabel	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan	5
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Pendekatan dan Pemecahan Masalah	6
1.5. Sistematika Pembahasan.....	7
BAB II DASAR TEORI	8
2.1. Komposit <i>Fiber Glass Reinforced Plastics</i>	8
2.1.1. Serat Gelas	11
2.1.2. Polyester.....	13
2.1.3. Bahan-bahan tambahan.....	15

2.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi kekuatan GFRP	17
2.2.1. Jenis Serat.....	17
2.2.2. Orientasi Serat	18
2.2.3. Komposisi dan bentuk serat	19
2.2.4. Faktor matriks.....	20
2.2.5. Fase ikatan (<i>bonding Phase</i>)	20
2.3. Mekanika Komposit.....	21
2.4. Modus Kegagalan Laminat	22
2.4.1. Modus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal.	22
2.4.2. Modus Kegagalan Akibat Beban Tarik Transversal...	24
2.4.3. Modus Kegagalan Mikroskopik.....	25
2.5. Fraksi Volume Serat	26
2.6. Hubungan Tegangan dan Regangan Komposit	28
2.7. Patah Getas dan Patah Ulet	28
BAB III CARA PENELITIAN	30
3.1. Skema Jalan Penelitian	30
3.2. Penyiapan Benda Uji.....	31
3.2.1. Alat dan bahan	31
3.2.2. Pembuatan cetakan	34
3.3. Pembuatan Benda Uji	35
3.3.1. Pembuatan benda uji matriks pengikat	35
3.3.2. Pembuatan benda uji komposit.....	37
3.3.3. Cara pemotongan benda uji komposit	41

3.4. Standar dan Ukuran Benda Uji	42
3.4.1. Benda uji serat penguat	42
3.4.2. Benda uji matriks pengikat	44
3.4.3. Benda uji komposit	45
3.5. Metode Penelitian	46
3.5.1. Pengujian serat	46
3.5.1.1. Pengujian tarik serat	46
3.5.2. Pengujian matriks pengikat	46
3.5.2.1. Pengujian tarik matriks pengikat	46
3.5.2.2. Perhitungan massa jenis matriks pengikat.....	47
3.5.3. Pengujian komposit	47
3.5.3.1. Pengujian tarik komposit.....	47
3.5.3.2. Perhitungan massa jenis komposit	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1. Hasil Pengujian Tarik Serat	49
4.2. Hasil Pengujian Tarik Matriks	50
4.3. Hasil Pengujian Tarik Komposit.....	53
4.4. Model Kerusakan Komposit	60
4.5. Analisa Kerusakan Pada Komposit.....	62
BAB V KESIMPULAN.....	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Grafik kekuatan tarik komposit dan komponen penyusunnya..	4
Gambar 2.1.	Diagram klasifikasi komposit serat	9
Gambar 2.2.	Diagram hubungan antara kekuatan, fraksi volume serat dan susunan serat.....	19
Gambar 2.3	Modus kerusakan pada bahan komposit akibat beban tarik longitudinal	23
Gambar 2.4.	Modus kerusakan pada bahan komposit akibat beban tarik transversal.....	24
Gambar 2.5.	Grafik hubungan tegangan regangan bahan	29
Gambar 3.1.	Skema jalan penelitian.....	30
Gambar 3.2.	Dimensi dari cetakan matriks pengikat	35
Gambar 3.3.	Dimensi dari cetakan komposit	37
Gambar 3.4.	Rangkaian kesejajaran serat dalam cetakan komposit.....	41
Gambar 3.5.	Pemotongan benda uji komposit sesuai dengan arah orientasi serat.....	42
Gambar 3.6.	Dimensi benda uji tarik serat.....	43
Gambar 3.7.	Foto benda uji tarik serat	43
Gambar 3.8.	Dimensi benda uji tarik matriks pengikat.....	44
Gambar 3.9.	Foto benda uji matriks pengikat	44
Gambar 3.10.	Dimensi benda uji tarik komposit.....	45
Gambar 3.11.	Foto benda uji tarik komposit pada berbagai	

arah orientasi serat	45
Gambar 4.1. Grafik sifat mekanik serat penguat	50
Gambar 4.2. Keterangan dari tabel 4.2.....	51
Gambar 4.3. Grafik sifat mekanik matriks	52
Gambar 4.4. Foto bentuk patahan matriks pengikat.....	52
Gambar 4.5. Keterangan dari tabel 4.4.....	53
Gambar 4.6. Grafik tegangan tarik komposit	56
Gambar 4.7. Grafik regangan komposit	57
Gambar 4.8. Grafik hubungan kekuatan tarik dan sudut orientasi serat	58
Gambar 4.9. grafik sifat mekanik komposit	59
Gambar 4.10. Grafik hubungan <i>elongation</i> dan sudut orientasi serat	60
Gambar 4.11. Foto kerusakan komposit.....	61
Gambar 4.12. Penampang melintang serat gelas E dan resin.....	63
Gambar 4.13. Penampang komposit mula-mula	63
Gambar 4.14. Retak mikro pada matriks.....	64
Gambar 4.15. Retak komposit penampang	64
Gambar 4.16. Penampang samping komposit	65
Gambar 4.17. Foto mikro pada orientasi arah serat 0^0	65
Gambar 4.18. Foto mikro pada orientasi arah serat 15^0	66
Gambar 4.19. Foto mikro pada orientasi arah serat 30^0	66
Gambar 4.20. Foto mikro pada orientasi arah serat 45^0	67
Gambar 4.21. Foto mikro pada orientasi arah serat 60^0	67
Gambar 4.22. Foto mikro pada orientasi arah serat 75^0	68

Gambar 4.23. Foto makro bentuk patahan komposit	
pada orientasi arah serat 0°	68
Gambar 4.24. Foto makro bentuk patahan komposit	
pada orientasi arah serat 15°	69
Gambar 4.25. Foto makro bentuk patahan komposit	
pada orientasi arah serat 30°	69
Gambar 4.26. Foto makro bentuk patahan komposit	
pada orientasi arah serat 45°	70
Gambar 4.27. Foto makro bentuk patahan komposit	
pada orientasi arah serat 60°	70
Gambar 4.28. Foto makro bentuk patahan komposit	
pada orientasi arah serat 75°	71

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Dimensi cetakan matrik pengikat.....	35
Tabel 3.2. Dimensi cetakan komposit.....	37
Tabel 4.1. Sifat mekanik serat gelas.....	49
Tabel 4.2. Ukuran lebar dan tebal matriks pengikat	51
Tabel 4.3. Sifat mekanik matriks pengikat.....	51
Tabel 4.4. Ukuran lebar dan tebal komposit	54
Tabel 4.5. Kekuatan komposit serat gelas E terhadap variasi arah orientasi serat	55
Tabel 4.6. Harga rata-rata kekuatan tarik komposit.....	58
Tabel 4.7. Harga rata-rata elongation komposit.....	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi akan bahan teknik berkembang sangat pesat. Manusia selalu berusaha menciptakan penemuan baru yang lebih baik dibandingkan penemuan-penemuan terdahulunya. Bahan komposit merupakan salah satu penemuan yang banyak digunakan karena mempunyai sifat-sifat yang unggul, ringan, kuat, kaku serta tahan korosi dan beban lelah. Dengan alasan tersebut, bahan ini semakin banyak digunakan terutama didunia penerbangan dan perkapalan. Akhir-akhir ini bahkan industri-industri mulai menggunakan bahan komposit sebagai bahan baru untuk perakitan bagian dari mobil, pesawat udara maupun alat-alat lainnya. Karena itu bahan komposit ini perlu untuk dipelajari dan dikembangkan (Hadi, B.K., 2000 : 2).

Pada tahun-tahun terakhir ini komposit merupakan bahan teknik yang banyak digunakan dan dikembangkan, sebagaimana kita ketahui komposit merupakan penggabungan dua bahan atau lebih yang memiliki fase berbeda, yaitu gabungan antara bahan matriks atau pengikat dan *reinforcement* atau bahan penguat. Penggabungan kedua unsur ini dicampur secara makroskopis. Berbeda dengan paduan atau *alloy*, yang penggabungan unsur-unsurnya dilakukan secara mikroskopis (tidak bias dibedakan atau dilihat, pemisahan bahan sulit dilakukan). Pada bahan komposit, sifat-sifat unsur pembentuknya masih terlihat jelas, sedang pada paduan sudah tidak terlihat secara nyata. Keunggulan dari bahan komposit

ini adalah penggabungan sifat-sifat unggul masing-masing unsur pembentuknya tersebut. Keunggulan bahan komposit bila dibandingkan dengan bahan logam lainnya. Dalam berbagai aplikasi komposit terbukti efektif digunakan sebagai bahan teknik. Dengan menggabungkan dua atau lebih bahan menjadi bahan komposit akan didapat sifat-sifat dari bahan baru yang lebih baik atau tidak dimiliki oleh bahan penyusunnya. Sifat-sifat yang bisa diperoleh dari bahan komposit yaitu (Robert, J. M., 1975:1):

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

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

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

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

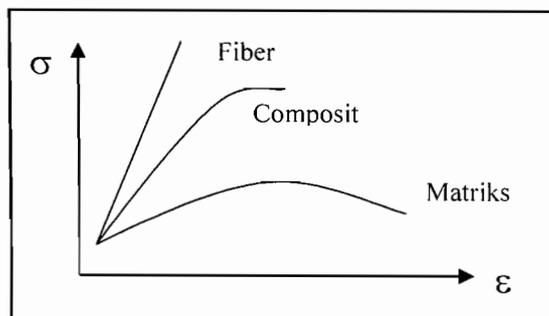
Klasifikasi bahan komposit yang didasarkan pada phase matriks adalah, untuk komposit matriks logam disebut (*Metal Matrix Composit, MMC*), komposit ini berisi campuran logam dan keramik seperti karbida wolfram, sedangkan komposit dengan matriks keramik disebut (*Ceramic Matrix Composite, CMC*). Pada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

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

gelas, serat karbon, nilon dan *polyester*. Sedangkan serat organik atau yang dari alam dapat berupa kapas, rami, wol, dan sutera. Untuk komposit yang berpenguat non serat seperti *flakes* dan bahan yang digunakan sebagai *reinforcement agent* dapat berupa serbuk kayu, karbida wolfram, mika mineral, talk, serbuk logam (Murphy, J., 1994:56).

Penggabungan antara serat-serat sebagai komponen penguat dan matriks sebagai komponen pengikat serat disebut komposit serat. Serat biasanya mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih besar daripada matriks. Pada saat serat dan matriks dipadukan untuk menghasilkan komposit, kedua komponen tersebut tetap mempertahankan sifat-sifat yang dimilikinya dan secara langsung akan berpengaruh terhadap sifat komposit yang dihasilkan.

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



Gambar 1.1. Grafik kekuatan tarik komposit dan komponen penyusunnya (Murphy, J., 1994: 182)

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

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

1.2. Permasalahan

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

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

- a. Komponen penguat harus memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada komponen matriksnya.

- b. Harus ada ikatan permukaan (*interface*) antara komponen penguat dan matriks.
- c. Orientasi, panjang, bentuk dan komposisi dari serat.

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

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai setelah melakukan penelitian adalah :

- a. Mengetahui kekuatan tarik serat penguat (30% serat gelas-E) dan kekuatan tarik matriks pengikat (Resin Justus157) sebagai bahan penyusunan komposit.
- b. Mengetahui kekuatan tarik dan jenis patahan yang terjadi pada komposit sesuai orientasi serat setelah diuji tarik.

1.4. Pendekatan dan Pemecahan Masalah

Komposit yang akan diteliti adalah komposit serat kontinu *woven roving* dari bahan 30 % serat gelas-E dan matrik pengikatnya berupa resin *Justus 157*.

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

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

a. Pengujian tarik serat penguat.

Untuk mengetahui kekuatan tarik serat penguat, maka pengujian menggunakan dimensi benda uji buatan penulis.

b. Pengujian tarik matriks pengikat.

Untuk mengetahui kekuatan tarik matriks pengikat, maka pengujian menggunakan standart benda yang dimodifikasi mengacu pada uji ASTM D 638.

c. Pengujian tarik komposit.

Untuk mengetahui kekuatan tarik komposit pada arah orientasi serat 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , dan 75° . Pengujian menggunakan standart benda yang dimodifikasi mengacu pada ASTM D 3039.

1.5. Sistematika Pembahasan

Dalam bab-bab selanjutnya akan diuraikan mengenai komposit berpenguat 30% serat gelas-E, resin Justus 157 matriks pengikat, bahan-bahan tambahan dan cara pembuatan bahan komposit. Proses pengujian mekanik pada bahan komposit dapat dilihat pada Bab IV. Dan pada bab terakhir akan diberikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

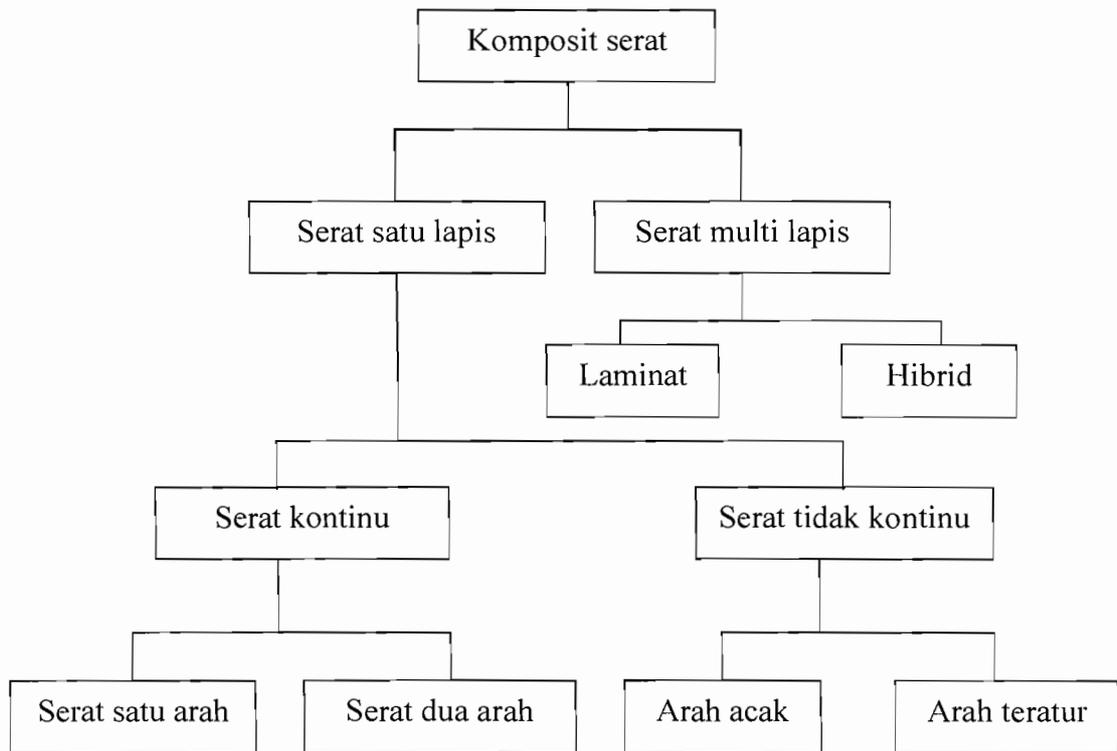
DASAR TEORI

2.1. Komposit Fiber Glass Reinforced Plastics

Pengertian komposit dalam bahan komposit berarti terdiri dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis. Pada umumnya bahan komposit serat terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat tersebut yang disebut matriks. Unsur utama bahan komposit adalah serat, serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik yang lain. Seratlah yang menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja pada komposit sedang matriks bertugas melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Karena itu untuk bahan serat digunakan bahan yang kuat dan getas, seperti : karbon, gelas dan boron. Sedang bahan matriks dipilih bahan yang lunak seperti plastik dan logam-logam lunak (Hadi, B.K., 2000 : 2).

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

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



Gambar 2.1. Diagram klasifikasi komposit serat (Hadi, B.K., 2000 : 3)

Besarnya serat penguat menentukan kemampuan bahan komposit dalam menahan gaya-gaya luar. Semakin panjang ukuran serat, semakin efisien pula dalam menahan gaya dalam arah serat. Serat yang panjang tersebut juga menghilangkan kemungkinan terjadinya retak sepanjang batas pertemuan antar serat dan matriks. Karenanya bahan komposit serat kontinu sangat kuat dan liat (*taugh*) dibandingkan dengan komposit serat tidak kontinu (Hadi, B.K., 2000 : 3).

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

gaya dari satu serat ke serat lainnya dengan menggunakan mekanisme tegangan geser.

Pada umumnya matriks terbuat dari bahan-bahan yang lunak dan liat. Polimer plastik merupakan bahan yang biasa digunakan. Polimer termoset adalah bahan matriks yang dapat menerima suhu tinggi/tidak berubah karena panas. Polyester vinilester dan epoksi adalah beberapa jenis bahan polimer termoset yang sejak dahulu telah dipakai sebagai bahan matriks. Untuk bahan matriks termoplastik yang sering dijumpai adalah *PEEK (Poly-Ether-Ether-Ketone)*, *PEI (Poly-Ether-Imide)*, *PES (Poly-Ether-Sulphone)* dan Nilon. Bahan polimer yang paling banyak digunakan adalah bahan polimer termoplastik, karena bahan ini mempunyai keunggulan-keunggulan yaitu lebih liat, lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan, tahan terhadap suhu tinggi serta tidak adanya batas waktu dalam penggunaan (Hadi, B.K., 2000 : 9).

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

Pada tahun 1941 di Amerika Serikat *Fiber Glass Reinforced Plastics (GFRP)* mulai dipergunakan sebagai bahan berbasis plastik berpenguat serat gelas-E. *Fiber Glass Reinforced Plastics (GFRP)* mulai merambah di negara-negara bagian Amerika Serikat dan Eropa sekitar tahun 1946. Pada dekade 50-an antusiasme dari penggunaan material baru ini, mulai memasuki di berbagai bidang

industri, sebagai contoh : tangki dan pipa. Sedang untuk bidang industri yang bergerak dalam dunia transportasi adalah pembuatan bodi kapal dan bodi mobil balap. Dan dalam bidang kesehatan adalah berupa alat-alat olah raga. Beberapa contoh diatas menunjukkan bahwa bahan komposit dapat digunakan dalam banyak bidang kehidupan.

2.1.1. Serat Gelas

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

Serat gelas diproduksi dengan cara melebur bahan dasar berupa pasir silika, batu kapur dan bahan tambahan seperti aluminium hidroksida, natrium karbonat dan borax dalam sebuah dapur listrik dengan suhu yang sangat tinggi, kemudian material yang sudah melebur dibentuk menjadi filamen-filamen serat gelas. Proses produksi serat gelas dengan cara mencairkan bahan dasar berupa sand, kaolin, limestone, dan colemanite. Bahan-bahan tersebut kemudian dicampur dan dipanaskan sampai suhu 1600°C dalam sebuah dapur listrik. Material-material yang sudah melebur kemudian dibentuk menjadi ribuan filamen dengan cara dialirkan ke *bushing* dari platinum yang memiliki ribuan lubang. Filamen-filamen ini berdiameter 10 - 24 μm , tetapi secara komersial serat gelas ini diproduksi dengan

diameter 8 - 15 μm dan yang banyak dipasaran sekitar 11 μm . Langkah selanjutnya adalah menggulung dan membentuk serat sesuai dengan bentuk serat yang diinginkan, sebelum digunakan lebih lanjut untuk berbagai aplikasi *Fiber Glass Reinforced Plastics* (GFRP) yang dapat dibedakan dalam berbagai jenis antara lain (Hadi, B.K, 2000 : 63) :

a. Serat gelas A

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

b. Serat gelas E

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

c. Serat gelas C

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

d. Serat gelas D

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

e. Serat gelas R dan S

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

2.1.2. Polyester

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

Kemampuan resin polyester termoplastik selain sebagai matriks pengikat serat yang bagus juga mempunyai karakteristik sebagai berikut : titik leleh yang relatif tinggi, permukaan yang halus dan mengkilat, unggul dalam kestabilan dimensi karena serapan airnya rendah, mempunyai kekakuan dan kekuatan mekanik yang tinggi (ketahanan abrasi, ketahanan impact, ketahanan melar, ketahanan retak tegangan, koefisien gesek dan ketahanan cuaca). Bahan ini apabila dicampur dengan serat gelas maka ketahanan panasnya akan lebih baik. Ketahanan kimianya, bahan ini mudah membentuk asam *trifluoroasetat*, *fenol*, *m-kresol* dan *tetrakloroetan*. Secara khusus terurai baik dalam asam sulfat pekat maupun dalam asam nitrat (Tata Surdia, 1999 : 232).

Polyester sebagai resin *thermosetting* mempunyai kekuatan mekanis yang cukup bagus, memiliki kemampuan isolator listrik dan ketahanan terhadap bahan kimia, selain itu harganya yang relatif cukup murah. Dalam pengerjaannya, resin ini juga cukup mudah, karena tidak mengalami perubahan dimensi yang disignifikan saat proses curing. Dalam pemakaian resin poliester, untuk mendapatkan hasil sebagai matriks pengikat harus melalui proses curing. Kemampuan proses curing ini dapat dipercepat dengan mereaksikan resin polyester bersama katalis (sebagai peroksida organik) dan komponen *accelator* berupa cobalt. Penggunaan *accelator* sebagai formula untuk mempersingkat proses *curing* dapat dipakai dalam proses suhu rendah maupun proses curing menggunakan suhu tinggi.

Proses curing dapat dilakukan pada suhu kamar dengan cara mereaksikan peroksida organik atau dapat juga melalui penyinaran ultraviolet sampai suhu 90° C. Agar proses *curing* dapat berlangsung lebih cepat, resin poliester dapat dicampur dengan katalis sebagai pemicu (peroksida organik). Beberapa polyester yang digunakan sebagai bahan material dalam industri misalnya, *orthophthalic*, *isophthalic*, *iso NPG*, *bispenol*. Kemampuan resin polyester selain sebagai matrik pengikat serat yang bagus juga mempunyai karakteristik sebagai berikut:

1. Tahan terhadap panas.
2. Resin ini mempunyai berbagai variasi dalam pasaran, tergantung dalam aplikasi penggunaannya. Karakteristik klasifikasi bahan resin, viskositas mengalami sifat gel (gel time) pada suhu 25⁰ C, dapat bereaksi pada suhu

80⁰ C .Dan perubahan bentuk bahan dapat dipertahankan sampai pada suhu 70⁰ C.

3. Ketahanan terhadap bahan kimia.
4. Bahan ini mempunyai kemampuan tahan terhadap pengaruh korosi bahan-bahan kimia. Dibandingkan dengan bahan besi logam dan baja, poliester mempunyai keunggulan terhadap korosi air laut, *hydrochloric acid, weak acid, alcohol*.
5. Kemampuan bahan terhadap beban kejut dan tidak abrasive.

Bahan polyester banyak digunakan untuk komposit berpenguat serat gelas, film dan botol. Bahan komposit yang berpenguat serat banyak kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari seperti tempat duduk di halte bis, tangki penyimpan air *feed water* (FW), pot tanaman dan masih banyak lagi. Sedangkan bahan komposit berpenguat film seperti video, kaset, fotografi, isolasi listrik, film yang digunakan untuk komputer, isolasi panas, bahan pengemas dan sebagainya (Murpy, J. 1994 :19).

2.1.3. Bahan-bahan tambahan

Bahan tambahan berupa katalis digunakan sebagai pemicu (*initiator*) untuk memulai dan mempersingkat reaksi curing pada temperatur ruang. Pemakaian katalis yang berlebih akan menimbulkan panas saat curing dan hal ini bisa merusak produk yang dibuat. Katalis yang digunakan sebagai proses *curing* dalam pembuatan *Fiber Glass Reinforced Plastics* (GFRP) berasal dari *organic peroxide* seperti *methyl ethyl ketone peroxide* dan *Acetyl acetone peroxide*. Katalis yang bereaksi dengan resin menimbulkan panas.

Panas yang ditimbulkan pada proses pembuatan komposit dengan (30% serat *woven roving*) dan susunan tiga lapis sekitar 80° C- 120 ° C. Pada saat proses *curing* penambahan katalisnya adalah 0,5 % dari volume total komposit.

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

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

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

2.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan GFRP

Fiber Glass Reinforced Plastics (GFRP) merupakan 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 matriks, serta ikatan dalam campuran antara serat dan matriks (*interface* atau *bounding*) (Schwartz, M.M., 1984 : 110).

2.2.1 Jenis serat

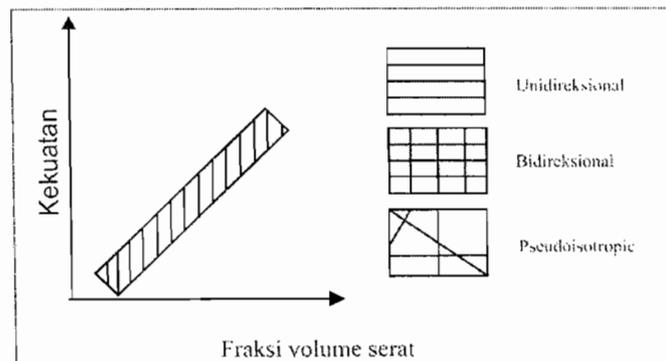
Dilihat dari susunannya, serat dibedakan menjadi dua jenis yaitu serat kontinu (*continue*) dan serat tidak kontinu (*discontinue*). Secara teori serat panjang akan lebih efektif dalam hal transmisi beban dibandingkan serat pendek. Namun hal tersebut sulit untuk diwujudkan dalam praktek, mengingat faktor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

2.2.2. Orientasi serat

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

1. *Unidirectional* : serat disusun secara searah paralel satu sama lain, sehingga didapat kekakuan dan kekuatan optimal pada arah serat, sedangkan kekuatan paling kecil terjadi pada arah tegak lurus serat.
2. *Bidirectional* : serat disusun secara tegak lurus satu sama lain (*woven roving*). Pada susunan ini kekuatan tertinggi terdapat pada arah pemasangan serat 0° , sedangkan kekutan terendah pada arah pemasangan serat 45° .
3. *Pseudoisotropic* : penyusunan serat dilakukan secara acak, sifat dari susunan ini adalah isotropik yaitu kekuatan pada satu titik pengujian mempunyai kekuatan yang sama.

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



Gambar 2.2. Diagram Hubungan Antara Kekuatan,Fraksi Volume Serat dan Susunan Serat (Schwartz, M.M; 1984 :10).

2.2.3. Komposisi dan bentuk serat

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

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

2.2.4. Faktor Matriks

Matriks yang digunakan sebagai bahan pembuat komposit ada bermacam-macam jenis. Dari berbagai jenis matriks yang ada mempunyai fungsi yang sama yaitu adalah (Robert, J.M., 1975 : 9) :

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

2.2.5. Fase ikatan (*Bonding Phase*)

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

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

2.3. Mekanika komposit

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

Sifat mekanik bahan komposit merupakan fungsi dari :

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

Mekanika komposit dapat dianalisa dari dua sudut pandang yaitu dengan analisa mikromekanik bahan komposit dengan memperhatikan sifat-sifat mekanik bahan penyusunnya, hubungan antara komponen penyusun tersebut dan sifat-sifat akhir dari komposit yang dihasilkan. Sedangkan analisis makromekanik memperlihatkan sifat-sifat bahan komposit secara umum tanpa memperhatikan

sifat maupun hubungan antara komponen penyusunnya (Robert, J. M., 1975 : 11). Jika komposit laminat diambil sebagai komponen dasar analisis bahan komposit, analisis makro mekanik dari laminat dapat diambil dari tegangan rata-rata, regangan rata-rata, maupun sifat mekanik rata-rata dari bahan *homogen* yang *ekivalen*.

2.4. Modus Kegagalan Laminat

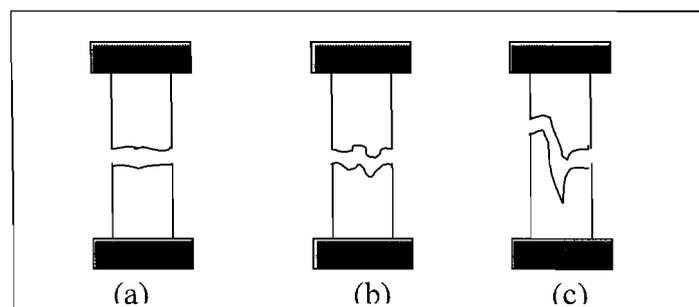
Secara umum ada tiga macam pembebanan yang menyebabkan suatu bahan komposit rusak, yaitu pembebanan tarik baik dalam arah longitudinal maupun transversal, serta geser.

2.4.1. Modus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal

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

Bila serat yang patah semakin banyak, maka ada tiga kemungkinan (Hadi, B.K., 2000 :136) :

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



Gambar 2.3. Modus kerusakan pada bahan komposit akibat beban tarik longitudinal,

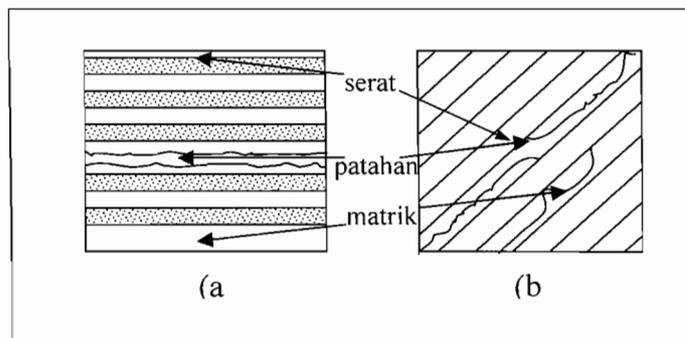
Modus kegagalan diatas dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti kekuatan serat dan matriks, maupun fraksi volume serat dan matriks. Bila fraksi volume serat pada bahan komposit mengecil, modus patahan yang terjadi kebanyakan bertipe getas. Suatu percobaan dengan bahan komposit serat gelas (*fiber glass*)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

2.4.2. Modus Kegagalan Akibat beban Tarik Transversal

Serat yang tegak lurus arah pembebanan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada interface antara serat dan matriks dan pada matriks itu sendiri karena itu bahan komposit yang mendapat beban transversal akan gagal pada interface antar serat dan matriks meskipun kadang-kadang terjadi juga kegagalan transversal pada serat bila arah serat sangat acak dan lemah dalam arah transversal. Dengan demikian modus kegagalan akibat beban tarik transversal terjadi karena (Hadi, B.K., 2000 : 140) :

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



Gambar 2.4. Kegagalan pada komposit akibat beban tarik transversal.



2.4.3. Modus Kegagalan Internal Mikroskopik

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

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

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

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

Karena rumitnya masalah tersebut pada kebanyakan kasus struktur, bahan komposit dikatakan gagal bila bahan tersebut telah rusak total ketika mendapat beban tertentu atau kurva tegangan-regangan yang ditunjukkan

tidak lagi linier. Dan ini berlaku baik untuk lapisan tunggal (lamina) maupun laminat (Hadi, B.K., 2000 : 133).

2.5. Fraksi Volume Serat

Komponen penyusun bahan komposit mempunyai pengaruh terhadap sifat mekanik akhir bahan komposit. Besar pengaruh terhadap sifat mekanik akhir bahan komposit dapat ditinjau dari seberapa banyak komponen tersebut terdapat dalam bahan komposit. Dalam analisa sifat mekanik bahan komposit persamaan-persamaan yang digunakan menggunakan komponen fraksi volume, namun dalam kenyataannya pengukuran dapat dilakukan berdasarkan fraksi berat. Fraksi volume merupakan ratio antara volume komponen penyusun dengan volume total komposit.

Pada bahan komposit jumlah fraksi volume komponen penyusunya harus sama dengan satu, dengan mengasumsikan tidak adanya void :

$$V_f + V_m = 1 \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan V_f = fraksi volume

V_m = fraksi volume matriks

Sedang fraksi berat dapat ditulis sebagai berikut :

$$W_f + W_m = 1 \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan W_f = fraksi berat serat

W_m = fraksi berat matriks

Massa jenis total komposit merupakan gabungan dari massa jenis komponen penyusunnya :

$$\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m V_m \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan ρ_c = massa jenis komposit

ρ_f = massa jenis serat

ρ_m = massa jenis matriks

V_f = volume serat

V_m = volume matriks

Persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m (1 - V_f) \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\begin{aligned} \rho_c &= \rho_f V_f + \rho_m - \rho_m V_f \\ &= (\rho_f - \rho_m) V_f + \rho_m \end{aligned}$$

$$V_f = \frac{\rho_c - \rho_m}{\rho_f - \rho_m} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dengan mengetahui besar massa jenis total komposit dan komponen penyusunnya maka fraksi volume serat akan dapat diketahui. Fraksi volume serat dalam komposit merupakan parameter paling penting dalam mengatur sifat mekanik komposit lamina yang dihasilkan. Pada umumnya besar fraksi volume bahan komposit berkisar sekitar 20% sampai 65%. Terdapat berbagai macam cara untuk mengetahui besarnya fraksi volume komposit, salah satunya adalah dengan menimbang bobot total komposit dan komponen-komponen penyusunnya untuk menghitung massa jenisnya kemudian diselesaikan dengan persamaan diatas.

2.6. Hubungan Tegangan dan Regangan Komposit

Secara makro mekanik bahan komposit dapat ditinjau sebagai bahan yang homogen tanpa memperhatikan hubungan antara komponen penyusunnya. Dengan Penyederhanaan ini sifat mekanik dapat didekati dengan persamaan-persamaan mekanika bahan.

Pada penelitian ini untuk menghitung kekuatan tarik dan regangan adalah :

1. Kekuatan Tarik

$$\sigma_u = \frac{\text{beban } (F)}{\text{Luas Penampang } (A)} \dots\dots\dots (2.6)$$

2. Regangan

$$\varepsilon = \frac{\text{Pertambahan Panjang } (\Delta L)}{\text{Panjang Awal } (L_0)} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.7)$$

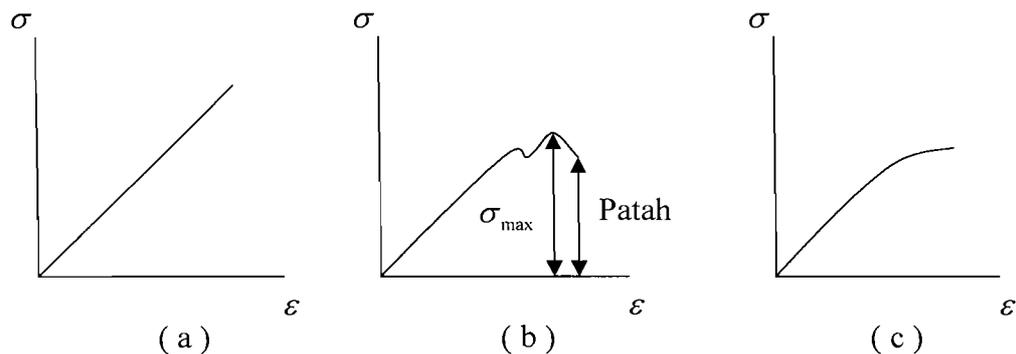
2.7. Patah Getas dan Patah Ulet

Perilaku umum bahan yang dibebani dapat diklasifikasikan sebagai patah getas atau patah ulet, tergantung apakah bahan itu memperlihatkan kemampuan untuk mengalami deformasi plastik atau tidak.

Gambar a melukiskan garis lengkung tegangan-regangan untuk bahan getas sempurna. Bahan yang getas adanya deformasi akan patah hampir pada batas elastik.

Gambar b melukiskan garis lengkung tegangan-regangan tarik suatu bahan ulet.

Gambar c melukiskan garis lengkung tegangan-regangan untuk bahan getas dengan sedikit keuletan, memperlihatkan plastik dalam jumlah kecil sebelum patah.



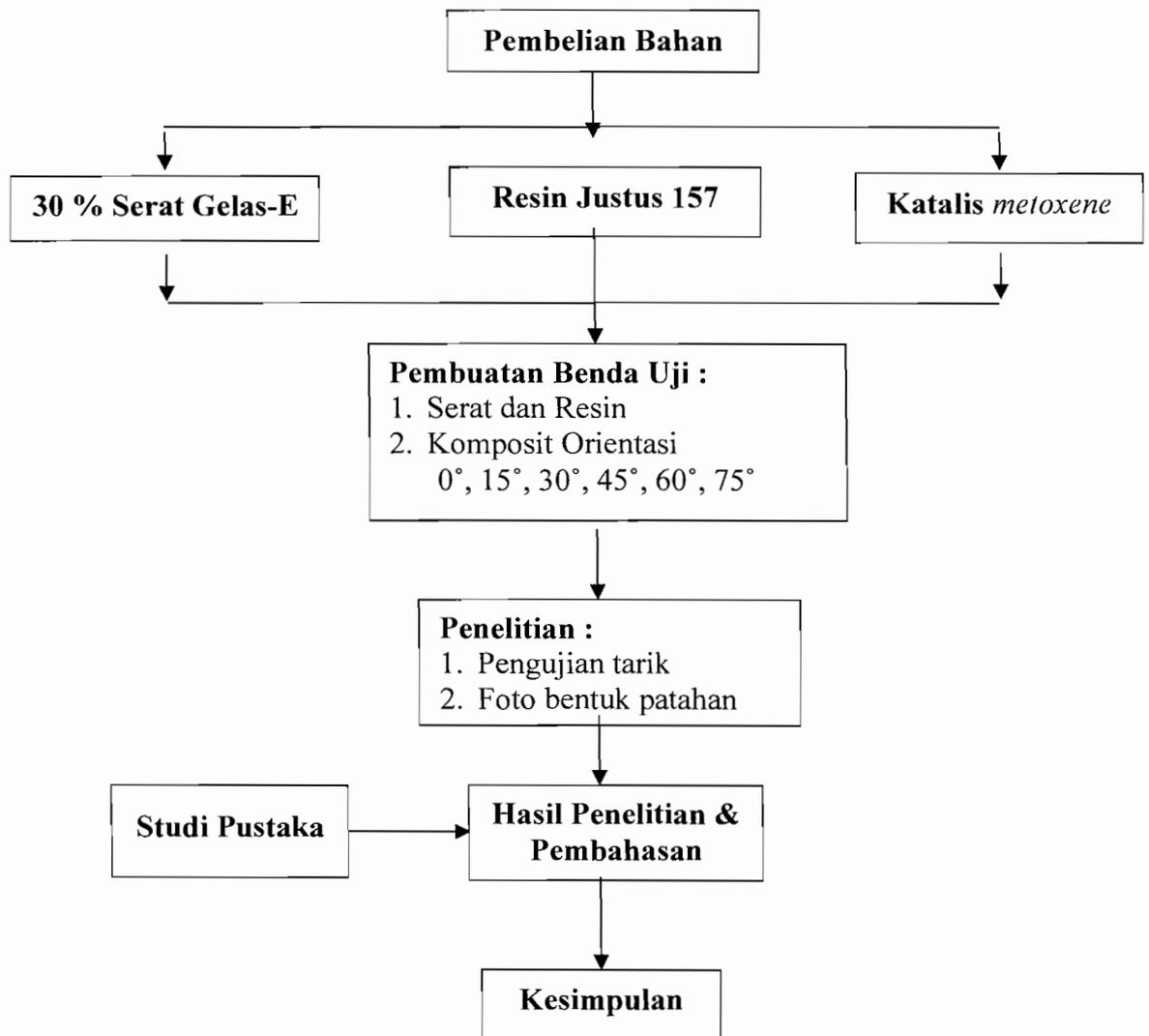
Gambar 2.5. Grafik hubungan tegangan regangan bahan.

Keuletan yang memadai merupakan suatu pertimbangan rekayasa yang penting, sebab keuletan memberi kesempatan kepada bahan untuk mendistribusi ulang tegangan setempat. Bilamana tegangan disekitar takik dan patah konsentrasi tegangan lain kebetulan tidak perlu diperhatikan, ada kemungkinan membuat desain untuk situasi statis atas dasar tegangan rata-rata. Tetapi dengan bahan yang getas tegangan yang dialokasikan terus menerus bertambah besar, apabila tidak terjadi luluh lokal (*local yielding*). Akhirnya terbentuklah retak pada satu atau lebih dari suatu konsentrasi tegangan yang menjalar dengan cepat. Bahkan, apabila tidak terdapat konsentrasi tegangan luluh praktis identik dengan kekuatan tarik. (Dieter, G.E., 1990 : 9)

BAB III
CARA PENELITIAN

3.1. Skema Jalan Penelitian

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



Gambar 3.1. Skema Jalan Penelitian.

3.2. Penyiapan Benda Uji

3.2.1. Alat dan Bahan

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

- a. Bahan pembuat cetakan yaitu kaca dengan ketebalan 0,5 cm dan 0,3 cm dengan ukuran :
 - i. $56 \times 46 \times 0,5$ cm sebanyak dua lembar.
 - ii. $56 \times 5 \times 0,3$ cm sebanyak dua lembar.
 - iii. $36 \times 5 \times 0,3$ cm sebanyak dua lembar.
- b. Alat pemotong (gergaji, pisau, gunting).
- c. Alat ukur volume (gelas ukur 1000 cc dan 5 cc)
- d. Alat ukur panjang dan berat (penggaris / meteran, jangka sorong, jangka, timbangan digital).
- e. Tempat untuk mengaduk dan mencampur resin. (kaleng / ember, stik pengaduk).
- f. Alat untuk membantu dalam pencetakan. (alat perata, kuas, roler lay-up, scraber).
- g. Alat untuk finishing (gerenda, kertas amplas ukuran 150, 500, 1000).

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

1. Serat

Pada penelitian komposit ini, serat penguat yang digunakan adalah 30 % serat gelas-E dengan jenis serat berbentuk *woven roving*. Karena serat

yang dipakai tidak disertai spesifikasi khusus maka untuk mengetahui sifat-sifat mekaniknya harus dilakukan pengujian secara langsung untuk mengetahui kekuatan tarik dan massa jenis serat secara aktual. Data dan perhitungan dari pengujian serat yang digunakan, selengkapnya ditampilkan dalam lampiran tabel dan perhitungan.

2. Resin

Resin yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah resin *Justus* dengan tipe 157. Ciri-ciri fisik resin ini berwarna kecoklat-coklatan.

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

3. Katalis

Katalis merupakan bahan tambahan dalam pembuatan bahan komposit. Katalis digunakan sebagai pemicu dalam proses *curing*. Penambahan katalis dengan rasio perbandingan 0,5% dari volume total, sehingga terjadi reaksi yang bersifat eksoterm. Katalis akan bereaksi dengan resin dan menimbulkan panas yang berkisar antara 60⁰ - 90⁰ C yang cukup untuk mereaksikan resin hingga diperoleh kekuatan maksimal dan bentuk plastik.

Dalam penelitian ini digunakan katalis *metoxene (methyle ethyl ketone peroxide)* untuk mempercepat laju curing komposit. Laju curing komposit ditentukan oleh jumlah katalis yang ditambahkan ke dalam resin, semakin banyak katalis yang ditambahkan semakin cepat laju curing yang dihasilkan. Namun jika katalis yang digunakan terlalu banyak, matriks komposit yang dihasilkan cenderung bersifat getas, sehingga penggunaan katalis harus disesuaikan dengan kebutuhan. Dengan menggunakan katalis *metoxene* waktu yang dibutuhkan untuk curing berkisar antara 8 -12 jam.

4. Release agent

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

Pemakaian minyak pelumas digunakan dengan cara mengoleskan dan melapisi seluruh cetakan yang akan mengalami kontak langsung dengan resin saat pembuatan. Pelapisan cetakan dengan bahan anti *adhesive* (minyak pelumas) ini akan mempermudah proses pelepasan produk yang dibuat dari *moulding/cetakan*. Pelapisan minyak pelumas dilakukan satu kali dalam setiap proses pembuatan, sebab semakin banyak proses pelapisan akan

banyak menimbulkan cacat pada permukaan komposit. Usahakan saat pelapisan benar-benar merata.

5. Acetone

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

3.2.2. Pembuatan Cetakan

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

- i. $56 \times 46 \times 0,5$ cm sebanyak dua lembar.
- ii. $56 \times 5 \times 0,3$ cm sebanyak dua lembar.
- iii. $36 \times 5 \times 0,3$ cm sebanyak dua lembar.

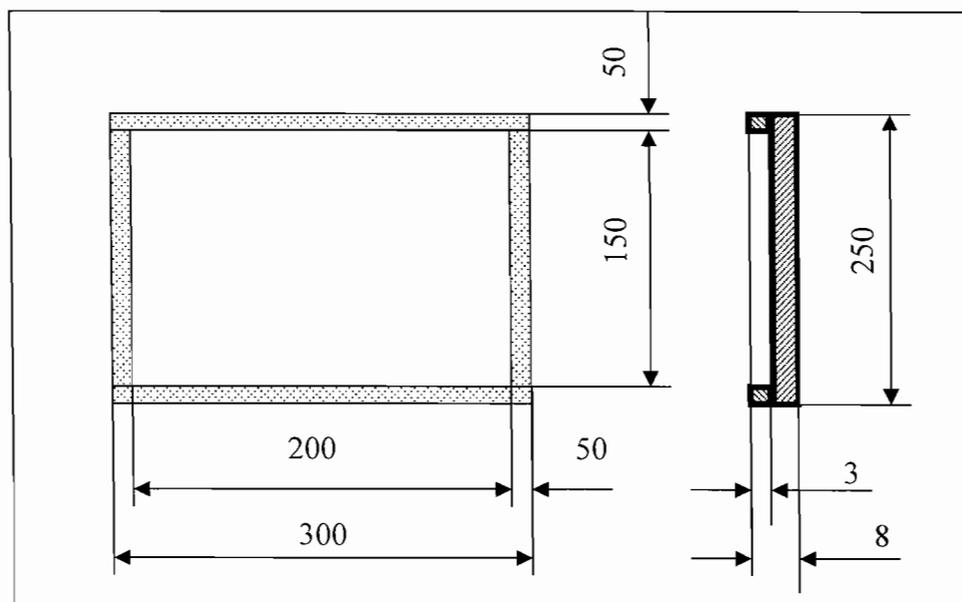
3.3. Pembuatan Benda Uji

3.3.1. Pembuatan Benda Uji Matriks Pengikat

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

Tabel 3.1. Dimensi cetakan matriks pengikat.

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



Sat : mm.

Gambar 3.2. Dimensi dari cetakan matriks pengikat.

Urutan pencetakan benda uji matriks pengikat adalah sebagai berikut :

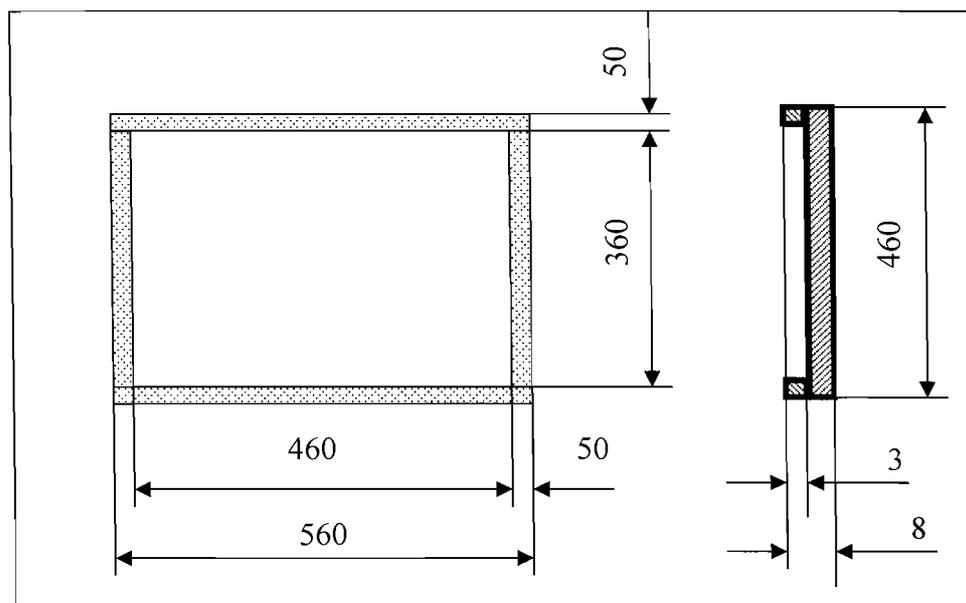
- a. Permukaan cetakan dilapisi dengan minyak pelumas, pelapisan ini dilakukan untuk mempermudah pemisahan produk dari cetakan. Diusahakan saat pelapisan minyak pelumas benar-benar merata.
- b. Resin disiapkan sesuai dengan volume cetakan sebesar 89,55 cc (99,5%). Kemudian resin yang telah diletakkan pada tempat pencampur ditambahkan katalis dengan perbandingan 0,5% dari volume total, jadi sebesar 0,45 cc katalis.
- c. Campuran resin dan katalis diaduk hingga rata (gel time 10 – 20 menit). Setelah resin dan katalis tercampur dengan merata, kemudian dituang pada cetakan. Resin yang dituang pada cetakan diusahakan benar-benar rata permukaannya.
- d. Cetakan bagian atas kemudian ditutup dengan kaca yang telah dilapisi minyak pelumas. Cetakan yang sudah disiapkan kemudian di clamp agar tidak terjadi penggelembungan.
- e. Proses *curing* berlangsung antara 8 – 12 jam. Cetakan bagian atas (penutup) dilepas dan matriks dikeluarkan dari cetakan dengan bantuan scraber.
- f. Produk selanjutnya dipotong sesuai dengan ukuran benda uji dengan standart uji ASTM D 638 yang dimodifikasi.

3.3.2. Pembuatan Benda Uji Komposit

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

Tabel 3.2. Dimensi cetakan komposit

Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Volume (cm ³)
460	360	3	496,8



Sat : mm

Gambar 3.3. Dimensi dari cetakan komposit.

Langkah pertama adalah menghitung berat serat yang akan digunakan dengan cara menimbang serat sesuai dengan ukuran cetakan. Berat serat *woven roving* sebanyak tiga lapis adalah seberat 378,56 gram.

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

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

$$2,54 = \frac{378,56}{V_s} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$V_s = 149,04 \text{ cm}^3 = 0,14904 \text{ dm}^3$$

Dari Persamaan (3.1) diketahui bahwa volume serat (V_s) adalah

$$149,04 \text{ cm}^3 = 0,14904 \text{ dm}^3.$$

Langkah ketiga adalah mencari banyaknya resin dan katalis yang digunakan dalam pencetakan komposit. Karena untuk komposisi serat sudah ditentukan sebanyak 30% dari volume total, maka kebutuhan resin dapat dihitung mengandaikan katalisnya 0,5% dari volume total. Resin yang digunakan dalam pembuatan komposit sebanyak $345,28 \text{ cc} = 0,34528 \text{ dm}^3$ dan katalis sebanyak $2,48 \text{ cc} = 0,00248 \text{ dm}^3$.

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

$$V_s : V_R : V_K = 0,14904 : 0,34528 : 0,00248 \dots\dots\dots (3.2)$$

$$= 60 : 139 : 1$$

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

$$= 0,14904 + 0,34528 + 0,00248$$

$$= 0,4968 \text{ dm}^3$$

$$= 496,8 \text{ cc}$$

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

$$\text{Serat} = \frac{149,04}{496,8} = 0,3 = 30 \%$$

$$\text{Resin} = \frac{345,28}{496,8} = 0,695 = 69,5 \%$$

$$\text{Katalis} = \frac{2,48}{496,8} = 0,005 = 0,5 \%$$

Berdasar perhitungan diatas didapat komposisi untuk bahan komposit sebagai berikut : serat tiga lapis dengan berat 378,56 gram (30 %), resin 345,28 cc (69,5 %), katalis 2,48 cc (0,5 %).

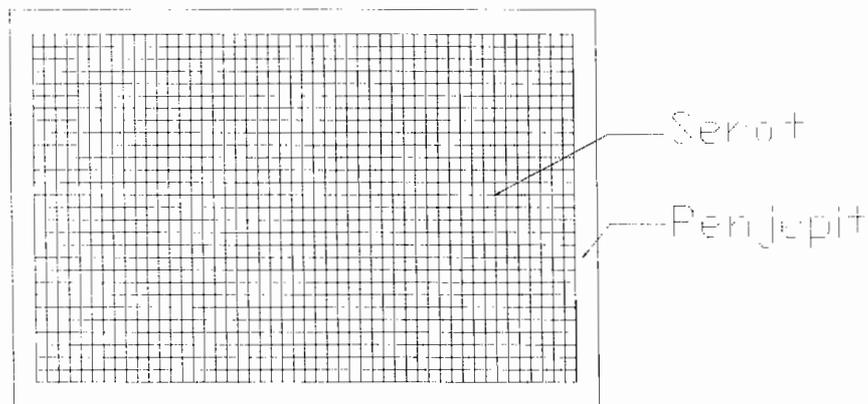
Selanjutnya benda uji komposit dibuat dengan ketebalan 3 mm sesuai dengan ketebalan pembatas yang digunakan pada cetakan. Untuk benda uji komposit proses pembuatan dan percetakan hampir sama dengan proses percetakan matriks pengikat, namun perlu diperhatikan adanya penambahan serat dalam produk.

Urutan pencetakan benda uji komposit adalah sebagai berikut :

- a. Cetakan yang sudah dipersiapkan dilapisi dengan minyak pelumas, agar komposit tidak lengket dengan cetakannya.
- b. Serat gelas dalam bentuk *woven roving* yang telah terpotong-potong sesuai dengan ukuran (46 × 36 cm) disiapkan sebanyak 3 lembar. Untuk

menghasilkan kesejajaran dan posisi yang tidak berubah-ubah pada waktu proses pembuatan maka di setiap sisi serat perlu dilakukan penjepitan pada keempat sisinya (Gambar 3.4.).

- c. Resin dan katalis sebanyak 345,28 cc (69,5 %) dan 2,48 cc (0,5 %), diaduk hingga benar-benar merata.
- d. Setelah serat diatur kelurusan dan kesejajarannya, maka adukan resin dan katalis (345,28 cc / 2,48 cc) dapat dituangkan ke dalam cetakan, agar resin dapat meresap ke seluruh bagian cetakan dan dapat membasahi serat dengan merata dapat dilakukan dengan sapuan kuas yang sudah dipersiapkan.
- e. Setelah 3 kali proses penyusunan serat dan ketebalan dari produk telah tercapai maka dilakukan pemasangan cetakan bagian atas dan memberikan penekanan dengan cara menjepit kaca yang terdapat pada setiap sisi cetakan.
- f. Setelah 8 – 12 jam proses curing selesai, hasil cetakan dapat dilepas dengan bantuan scraber. Hasil cetakan benda uji komposit dipotong sesuai dengan orientasi arah serat yang dibutuhkan.

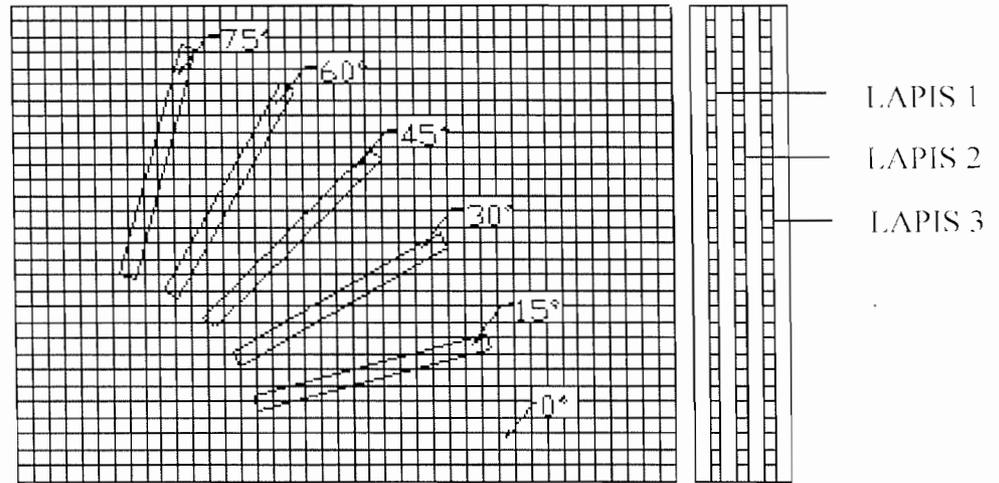


Gambar 3.4. Rangkaian kesejajaran serat dalam cetakan komposit.

3.3.3. Cara Pemotongan Benda Uji Komposit

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

- a. Sudut orientasi yang diinginkan dapat ditentukan dengan bantuan busur derajat dan penggaris. Untuk lebih jelas lihat Gambar 3.5.
- b. Lembaran komposit digambar membentuk persegi panjang dengan ukuran $20,3 \times 1,27$ cm pada orientasi serat yang telah ditentukan.
- c. Lembaran komposit kemudian dipotong sesuai gambar dengan bantuan gergaji.
- d. Untuk pembuatan benda uji agar sesuai dengan standart uji ASTM D 3039 yang dimodifikasi, dibuat menggunakan mesin milling.
- e. Proses terakhir adalah finishing, yaitu menghaluskan sisi-sisi bekas pemotongan menggunakan amplas.

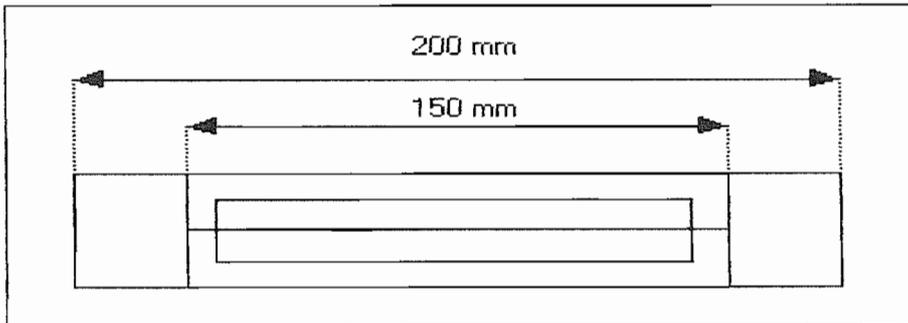


Gambar 3.5. Pemotongan benda uji komposit sesuai dengan arah orientasi serat yang digunakan.

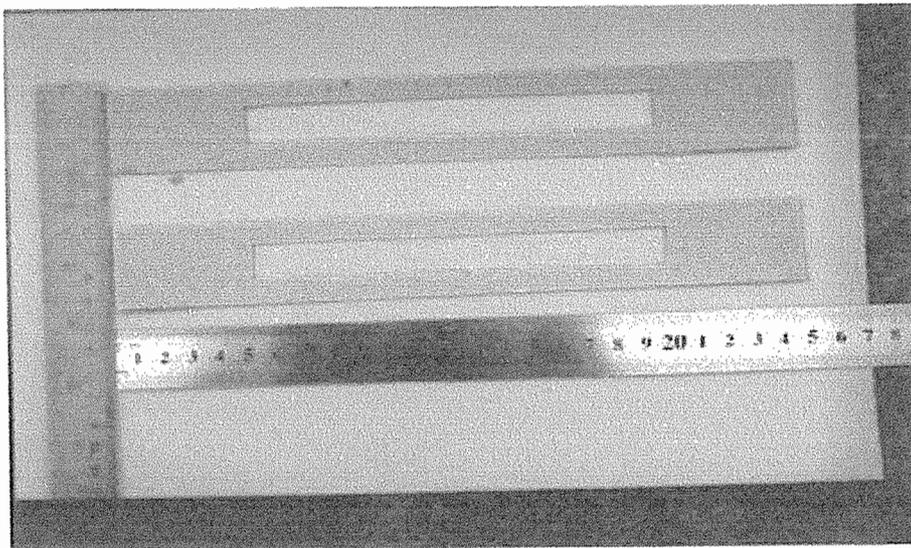
3.4. Standart dan ukuran Benda Uji

3.4.1. Benda uji serat penguat

Pada pengujian tarik serat penguat ini penulis membuat dimensi benda uji sendiri, dengan menggunakan media kertas karton dan satu helai serat gelas. Serat dibentangkan pada kertas karton, pada ujung-ujung serat kemudian dilem dengan Alteco, lalu ujung dari karton tersebut dilipat supaya serat dapat melekat pada karton lebih kuat dan mencegah serat mulur saat pengujian tarik, pada tengah karton diberi lubang dan pada saat pengujian tarik karton bagian kiri dan kanan dipotong. Dimensi serat penguat yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.6. Dimensi benda uji serat penguat.



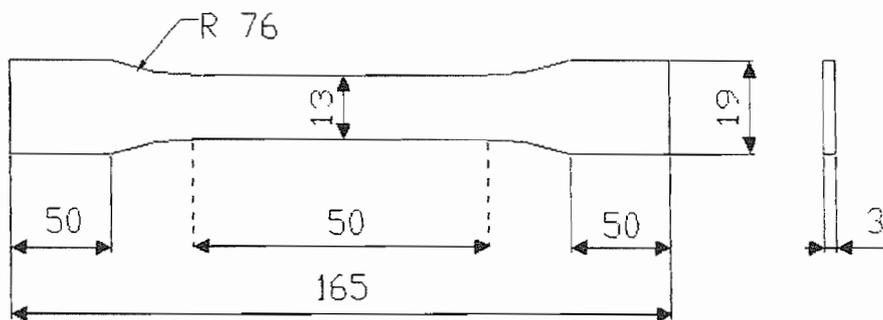
Gambar 3.7. Foto Benda Uji Serat Penguat.

Luas penampang untuk serat penguat :

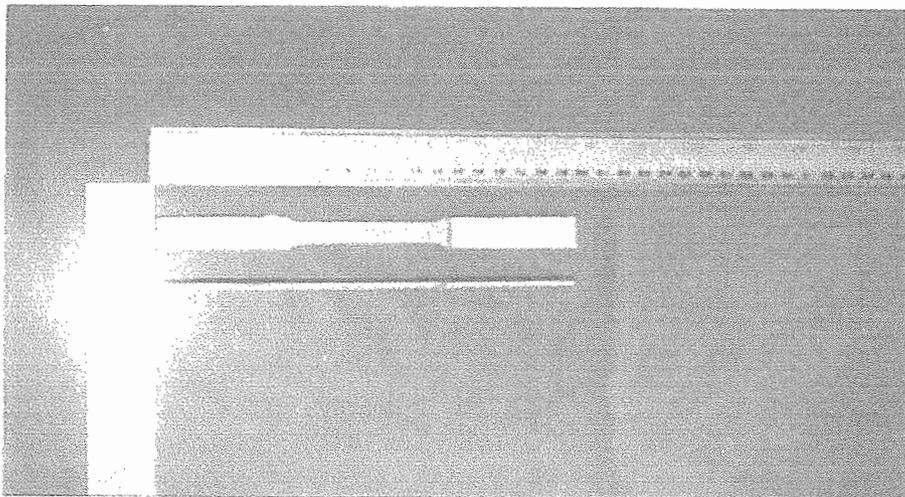
$$A = \frac{\pi}{4} (d^2) \dots \dots \dots (3.4)$$

3.4.2. Benda uji matriks pengikat

Untuk mengetahui sifat matriks pengikat dapat dilakukan sesuai dengan standar benda uji yang dimodifikasi mengacu pada ASTM D 638, ukuran benda uji yang dipergunakan adalah sebagai berikut :



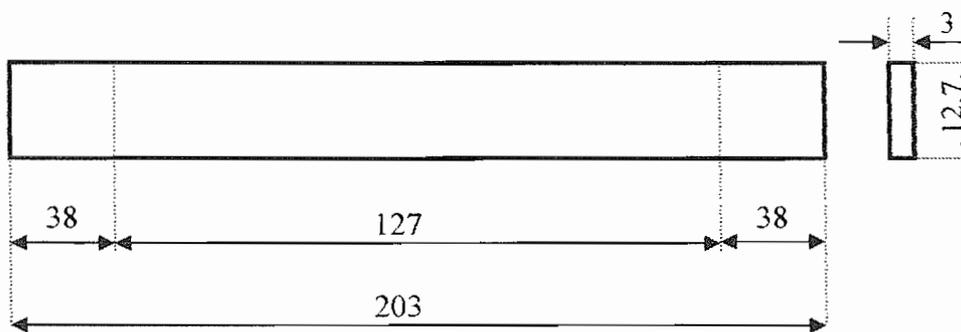
Gambar 3.8. Dimensi benda uji tarik matriks pengikat.



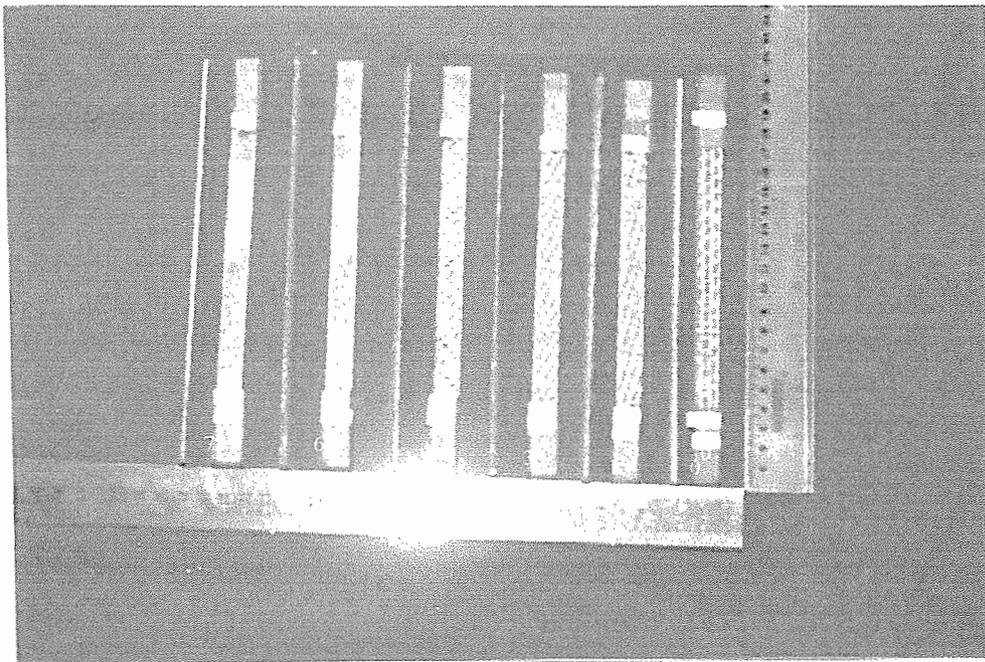
Gambar 3.9. Foto benda uji matriks pengikat.

3.4.3. Benda uji komposit

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



Gambar 3.10. Dimensi benda uji tarik komposit.



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

3.5. Metode Penelitian

3.5.1. Pengujian serat

3.5.1.1. Pengujian tarik serat

Dalam penelitian ini pengujian tarik serat menggunakan mesin uji tarik yang berada di laboratorium Ilmu Logam Universitas Gajah Mada. Pengujian tarik serat penguat dilakukan dengan membuat benda uji sendiri, dengan menggunakan media kertas karton dan satu helai serat gelas. Serat dibentangkan pada kertas karton, pada ujung-ujung serat ditarik kemudian dilem, lalu ujung dari karton tersebut dilipat supaya serat dapat melekat pada karton lebih kuat dan mencegah serat mulur saat pengujian tarik. Setelah pengujian akan didapat beban yang dipakai untuk menguji serat.

3.5.2. Pengujian matriks pengikat

3.5.2.1. Pengujian tarik matriks pengikat

Untuk mengetahui sifat-sifat mekanik matriks pengikat secara terpisah dilakukan pengujian tarik dengan menggunakan mesin uji tarik universal. Dalam pengujian tarik matriks pengikat digunakan 4 buah benda uji dengan dimensi benda uji yang dimodifikasi mengacu pada standar ASTM D 638.

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

3.5.2.2. Perhitungan massa jenis matriks pengikat

Untuk menghitung massa jenis matriks pengikat ditentukan dengan Persamaan (3.1) dengan membuat 4 buah benda uji dengan dimensi tebal 3 mm panjang 165 mm. dengan lebar 19 mm. Seluruh benda uji tersebut ditimbang untuk mengetahui bobotnya dan diukur volume masing-masing benda uji.

Persamaan untuk menghitung massa jenis matriks pengikat :

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

dengan:

v = volume (cm³)

ρ = massa jenis (gr/cm³)

m = bobot (gr)

3.5.3. Pengujian komposit

3.5.3.1. Pengujian tarik komposit

Untuk mengetahui sifat komposit dengan arah orientasi serat 0⁰, 15⁰, 30⁰, 45⁰, 60⁰, dan 75⁰ dapat dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik universal diLaboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma.

Pada pengujian tarik komposit digunakan 4 buah benda uji untuk masing-masing sudut orientasi serat dengan dimensi benda uji yang dimodifikasi mengacu pada standar ASTM D 3039. Setelah data keempat benda uji didapat, kemudian dicari harga rata-rata.

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

3.5.3.2. Perhitungan massa jenis komposit

Untuk mengetahui massa jenis matriks pengikat ditentukan dengan Persamaan (3.1) dengan membuat 4 buah benda uji dengan dimensi tebal 3 mm panjang 203 mm, dengan lebar 12.7 mm. Seluruh benda uji tersebut ditimbang untuk mengetahui bobotnya dan diukur volume masing-masing benda uji.

Persamaan untuk menghitung massa jenis komposit pengikat :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (3.6)$$

dengan:

v = volume (cm^3)

ρ = massa jenis (gr/cm^3)

m = bobot (gr)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

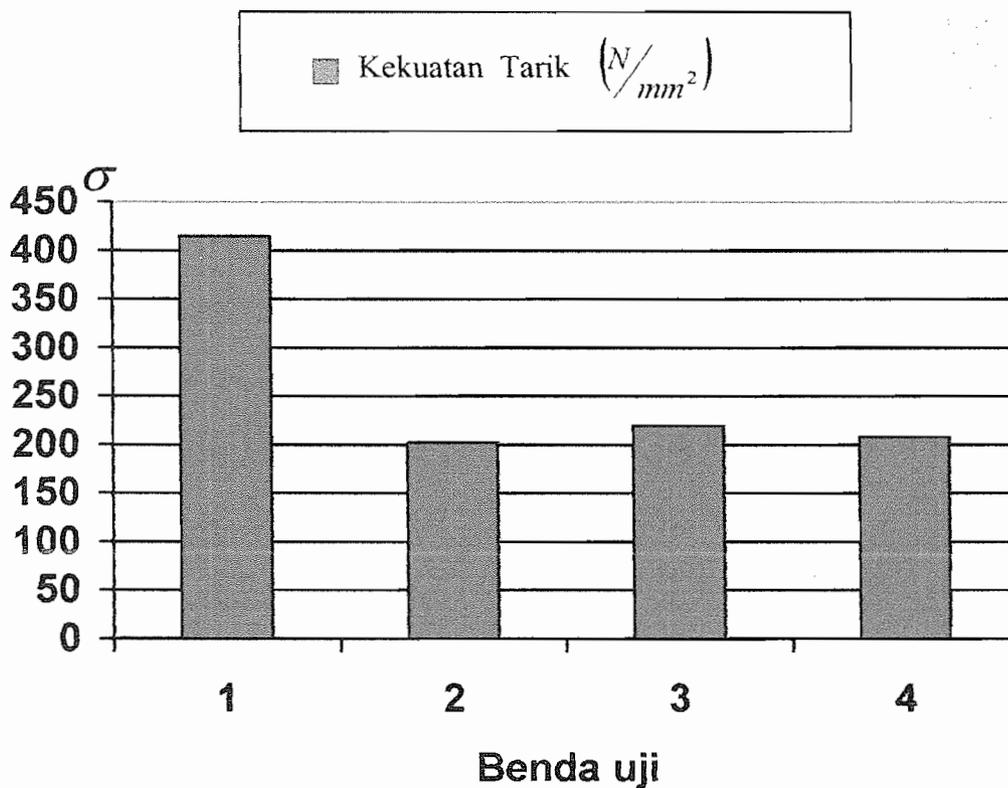
Untuk mengetahui sifat-sifat mekanik matriks, serat penguat dan komposit yang dihasilkan, maka dilakukan pengujian secara terpisah berupa pengujian kekuatan tarik serat, pengujian tarik matriks dan pengujian tarik komposit. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel hasil analisis dan perhitungan.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

4.1. Hasil Pengujian Tarik Serat

Pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik serat di laboratorium Ilmu Logam di Universitas Gajah Mada. Dari hasil analisis dan perhitungan pengujian tarik serat diperoleh beberapa sifat mekanik serat gelas-E seperti disajikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Sifat mekanik serat gelas.

Serat	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	L ₀ (mm)	Beban (N)	Kekuatan Tarik (N/mm ²)
1	0.0526	0.00217	150	0.9	414.75
2	0.0973	0.00743	150	1.5	201.88
3	0.105	0.00865	150	1.9	219.65
4	0.105	0.00865	150	1.8	208.09
Rata-rata					261.09



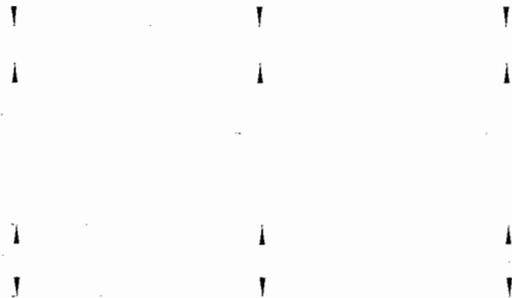
Gambar 4.1. Grafik Sifat Mekanik Serat Penguat.

Dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.4 dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik serat sebagai serat penguat lebih besar dari pada kekuatan tarik resin sebagai matrik pengikat ($\sigma_{f\text{maks}} > \sigma_{m\text{maks}}$).

4.2. Hasil Pengujian Tarik Matriks

Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik menghasilkan grafik print-out berupa grafik hubungan beban dengan pertambahan panjang dan dapat dilihat pada lampiran.

Metode analisis terhadap pengujian tarik pada matriks, sehingga dari analisis grafik pengujian dan perhitungan diperoleh beberapa sifat mekanis yang disajikan dalam Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.



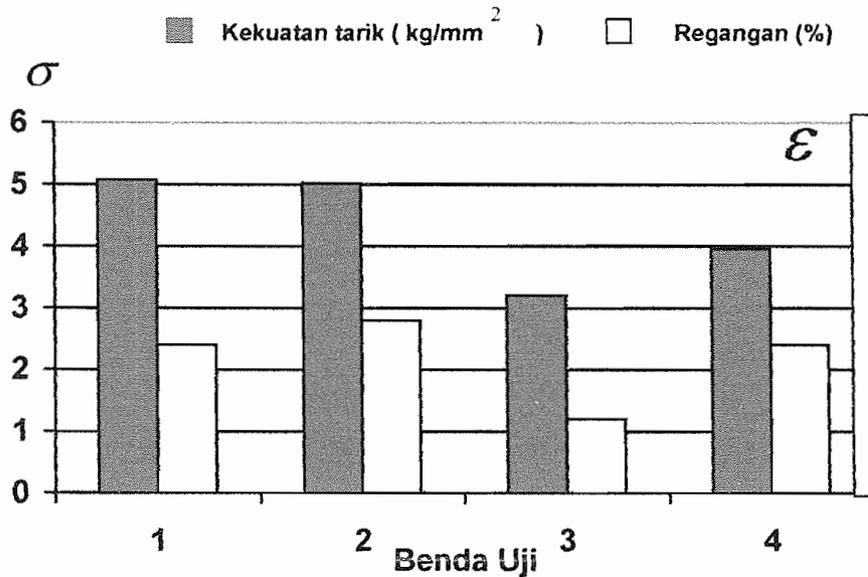
Gambar 4.2. Keterangan Tabel 4.2.

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

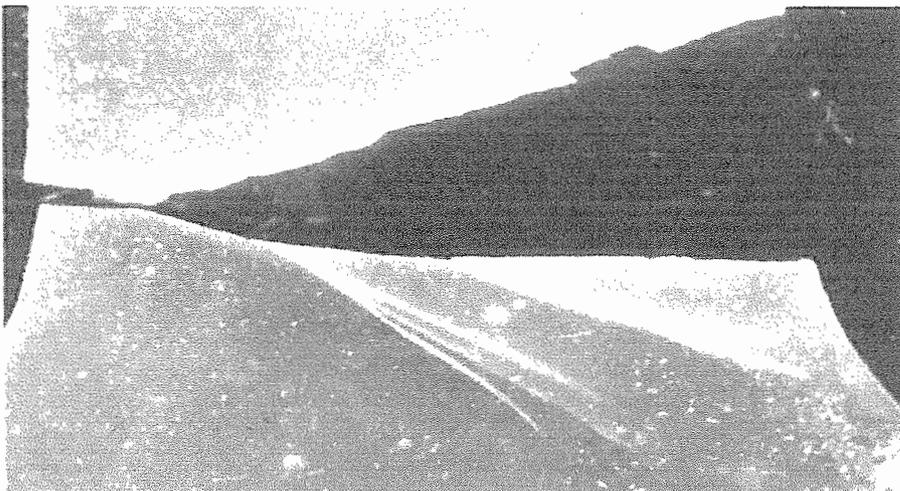
Tabel 4.3. Sifat mekanik matriks pengikat.

M	A (mm ²)	L_0 (mm)	Beban (kg)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	L (mm)	δ (mm)	ϵ maks (%)
1	38.4	50	194.5	5.07	51.2	1.2	2.4
2	38.3	50	191.7	5.01	51.4	1.4	2.8
3	37.11	50	118.6	3.2	50.6	0.6	1.2
4	37.32	50	147.6	3.96	51.2	1.2	2.4
Rata-rata				4.31			2.2



Gambar 4.3. Grafik Sifat Mekanik Matriks.

Dari pengujian tarik terhadap matriks pengikat, menunjukkan jika meninjau model kerusakan matriks yang terjadi, model kerusakan yang terjadi cenderung berupa patah getas seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4 sehingga matriks pengikat yang digunakan bersifat getas.

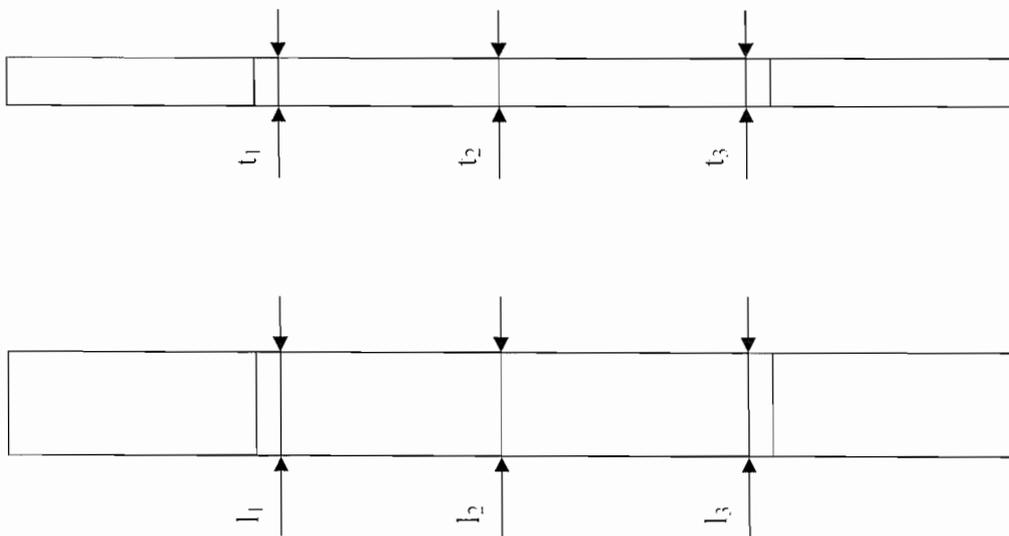


Gambar 4.4. Foto Bentuk Perpatahan Matriks Pengikat.

4.3. Hasil Pengujian Tarik Komposit

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

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



Gambar 4.5. Keterangan dari Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Ukuran lebar dan tebal komposit.

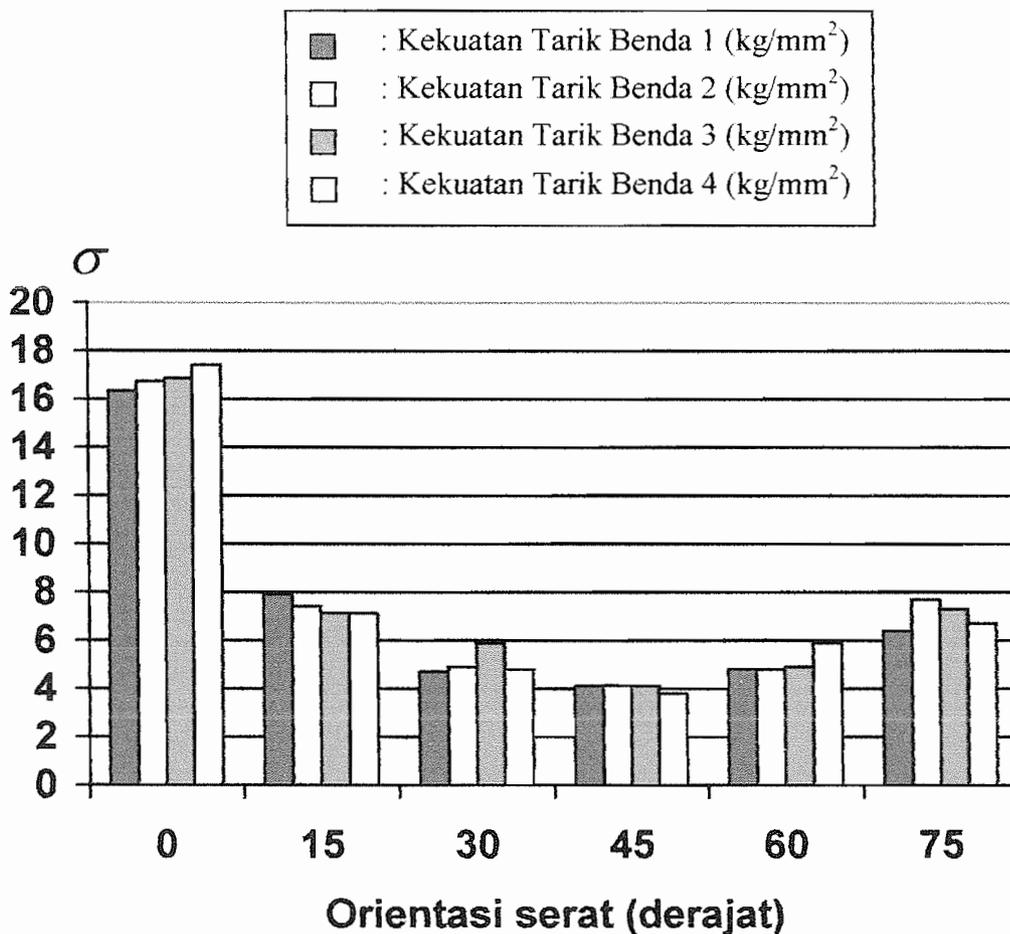
Orientasi	Nama	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	t_3 (mm)	l_{rata} (mm)	t_{rata} (mm)
0°	A ₁	12.5	12.3	12.4	2.9	2.9	3	12.4	2.9
	A ₂	12.3	12.4	12.5	3	2.8	3	12.4	2.9
	A ₃	12.4	12.5	12.3	2.8	3	2.8	12.4	2.9
	A ₄	12.5	12.4	12.3	2.8	2.9	2.8	12.4	2.8
15°	B ₁	12.4	12.3	12.5	3	2.8	3	12.4	2.9
	B ₂	12.5	12.3	12.4	3	2.8	3	12.4	2.9
	B ₃	12.5	12.4	12.3	2.8	2.9	2.8	12.4	2.8
	B ₄	12.4	12.4	12.3	2.8	3	2.9	12.4	2.9
30°	C ₁	12.4	12.5	12.3	2.9	3	3	12.4	2.9
	C ₂	12.5	12.4	12.4	3	2.8	3	12.4	2.9
	C ₃	12.3	12.5	12.4	3	3	2.8	12.4	2.9
	C ₄	12.3	12.5	12.4	2.8	2.8	2.9	12.4	2.8
45°	D ₁	12.5	12.4	12.3	3	2.8	2.9	12.4	2.9
	D ₂	12.4	12.3	12.5	3	2.8	2.9	12.4	2.9
	D ₃	12.4	12.4	12.4	2.9	3	2.9	12.4	2.9
	D ₄	12.3	12.5	12.4	2.8	2.8	2.9	12.4	2.8
60°	E ₁	12.3	12.5	12.4	2.8	2.8	2.9	12.4	2.8
	E ₂	12.4	12.5	12.3	2.9	3	3	12.4	2.9
	E ₃	12.5	12.4	12.4	3	2.8	3	12.4	2.9
	E ₄	12.3	12.5	12.4	3	3	2.8	12.4	2.9
75°	F ₁	12.3	12.3	12.5	2.8	2.9	2.9	12.4	2.8
	F ₂	12.5	12.4	12.4	2.9	2.8	2.8	12.4	2.8
	F ₃	12.4	12.5	12.4	2.9	2.8	2.8	12.4	2.8
	F ₄	12.5	12.4	12.3	2.8	2.9	2.9	12.4	2.8

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

Orientasi	Nama	Luas Penampang (mm ²)	L ₀ (mm)	Beban (kg)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	L (mm)	δ (mm)	ε maks (‰)
0°	A ₁	35.96	127	586.7	16.32	129.6	2.6	2
	A ₂	35.96	127	601.6	16.73	129.4	2.4	1.9
	A ₃	35.96	127	605.8	16.85	129.7	2.7	2.1
	A ₄	34.72	127	603.9	17.4	129.9	2.9	2.3
15°	B ₁	35.96	127	248.4	7.91	129.2	2.2	1.7
	B ₂	35.96	127	265.4	7.4	129.5	2.5	2
	B ₃	34.72	127	247.8	7.14	130.5	3.5	2.8
	B ₄	35.96	127	256.5	7.13	129.7	2.7	2.1
30°	C ₁	35.96	127	170.6	4.7	129.5	2.5	2
	C ₂	35.96	127	175.3	4.9	129.5	2.5	2
	C ₃	35.96	127	211.6	5.9	129.8	2.8	2.2
	C ₄	34.72	127	166.8	4.8	130.8	3.8	3
45°	D ₁	35.96	127	145.8	4.1	130.3	3.3	2.6
	D ₂	35.96	127	148.7	4.14	131.1	4.1	3.2
	D ₃	35.96	127	147.1	4.1	130.4	3.4	2.7
	D ₄	34.72	127	132.9	3.8	130.2	3.2	2.5
60°	E ₁	34.72	127	167.1	4.81	130.9	3.9	3
	E ₂	35.96	127	171.1	4.8	129.8	2.8	2.2
	E ₃	35.96	127	175.4	4.9	129.5	2.5	2
	E ₄	35.96	127	212.5	5.9	129.8	2.8	2.2
75°	F ₁	34.72	127	221.3	6.4	128.3	1.3	1
	F ₂	34.72	127	268.4	7.7	129.3	2.3	1.8
	F ₃	34.72	127	254.3	7.3	128.8	1.8	1.4
	F ₄	34.72	127	232.2	6.7	128.9	1.9	1.5

Namun dengan bertambahnya sudut arah orientasi serat, sifat mekanik komposit terutama kekuatannya akan berkurang (pada arah orientasi 45°), pada arah orientasi ini komposit mencapai harga minimal. Sedang pada arah orientasi 0° komposit mencapai harga maksimal. Pada saat itu tegangan tarik yang terjadi ditransfer pada serat penguat melalui *interface* antar serat dan matriks pengikat. Serat penguat dan matriks pengikat mengalami besar tegangan yang sama, jika

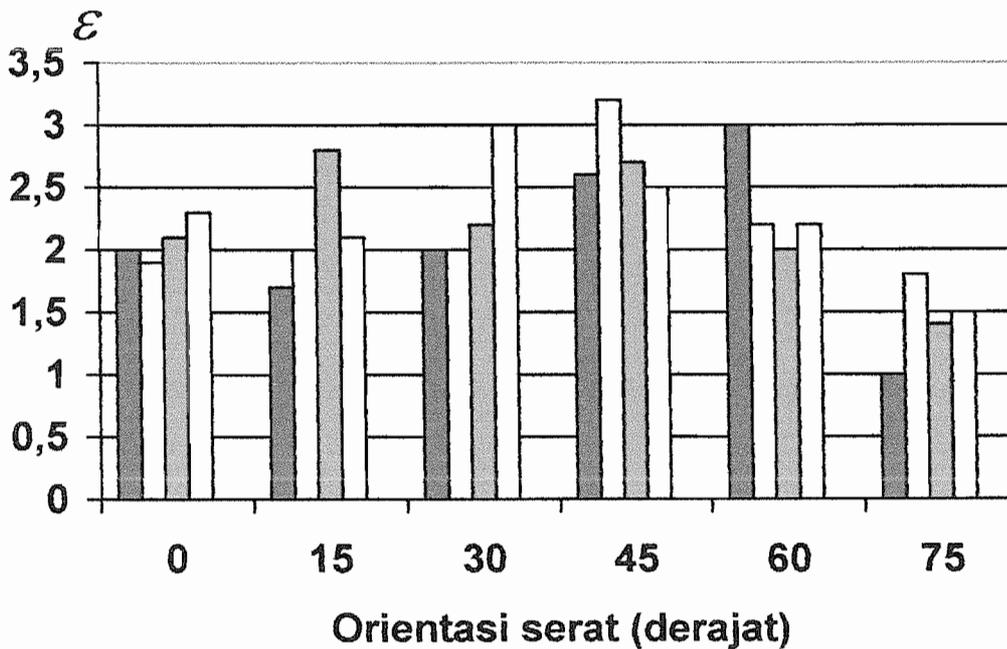
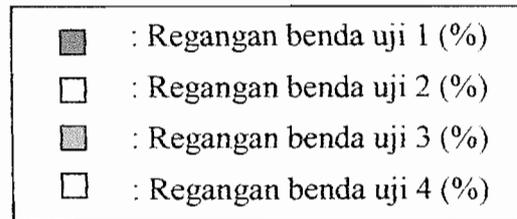
kedua komponen tersebut mempunyai sifat mekanik yang berbeda maka masing-masing komponen tersebut mempunyai harga regangan yang berbeda dan regangan total komposit merupakan rata-rata harga regangan kedua komponen penyusunnya.



Gambar 4.6. Grafik tegangan tarik komposit.

Harga kekuatan tarik komposit jauh berkurang pada sudut orientasi 45⁰ dapat dikatakan pada sudut orientasi tersebut merupakan sudut orientasi kritis. Dalam perancangan, sudut orientasi kritis harus dihindari sehingga diharapkan struktur komposit dapat menahan beban yang diberikan. Dengan adanya variasi

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

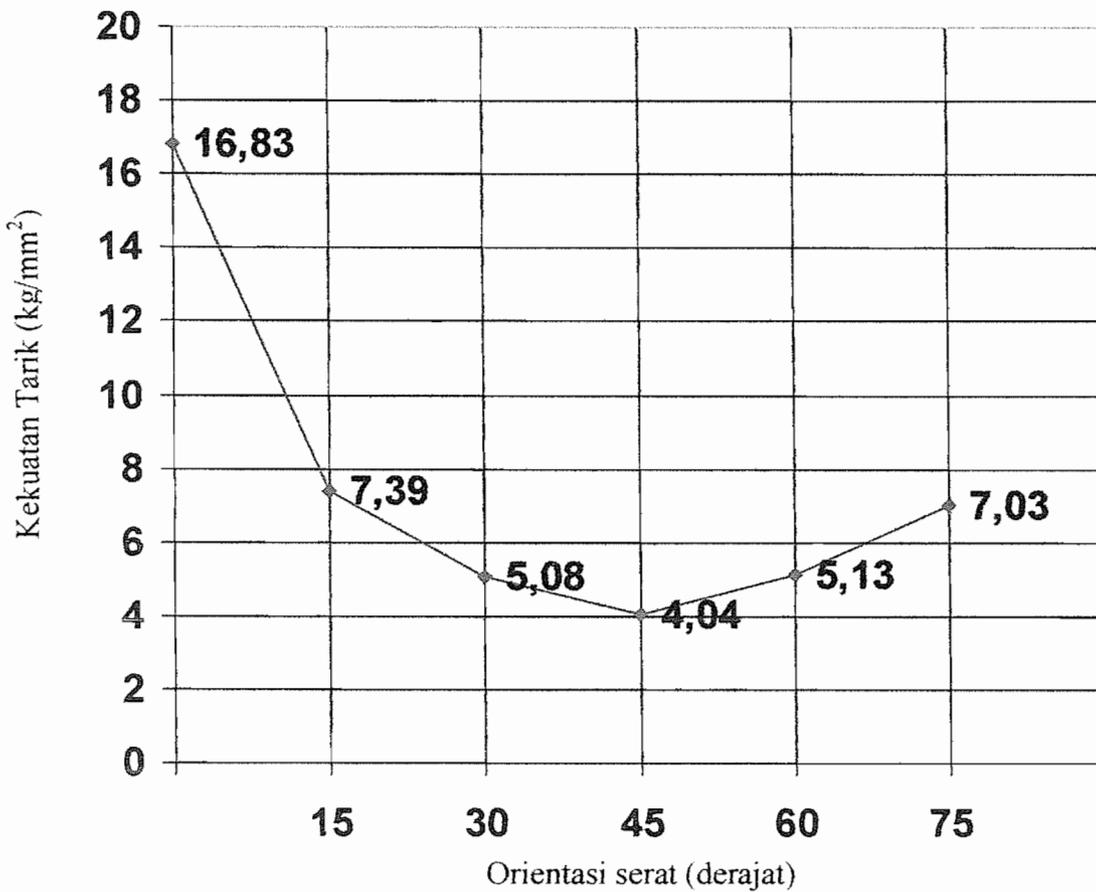


Gambar 4.7. Grafik regangan komposit.

Tabel 4.5 dapat pula disajikan dalam bentuk grafik yaitu grafik kekuatan tarik dengan sudut orientasi serat (Gambar 4.8) dan grafik pertambahan panjang dengan orientasi serat (Gambar 4.10). Grafik dicari dengan cara mengambil nilai rata-rata kekuatan tarik dan nilai rata-rata pertambahan panjang.

Tabel 4.6. Harga rata-rata kekuatan tarik komposit.

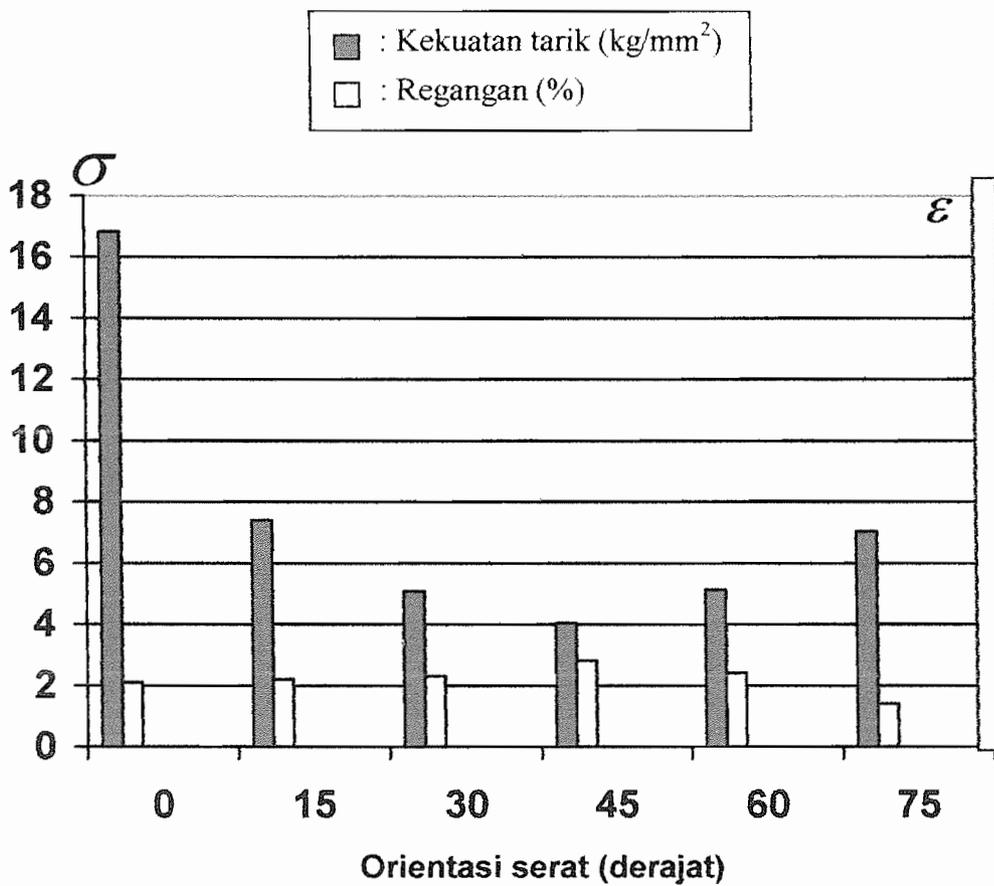
Orientasi	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm ²)
0 ⁰	16,83
15 ⁰	7,39
30 ⁰	5,08
45 ⁰	4,04
60 ⁰	5,13
75 ⁰	7,03



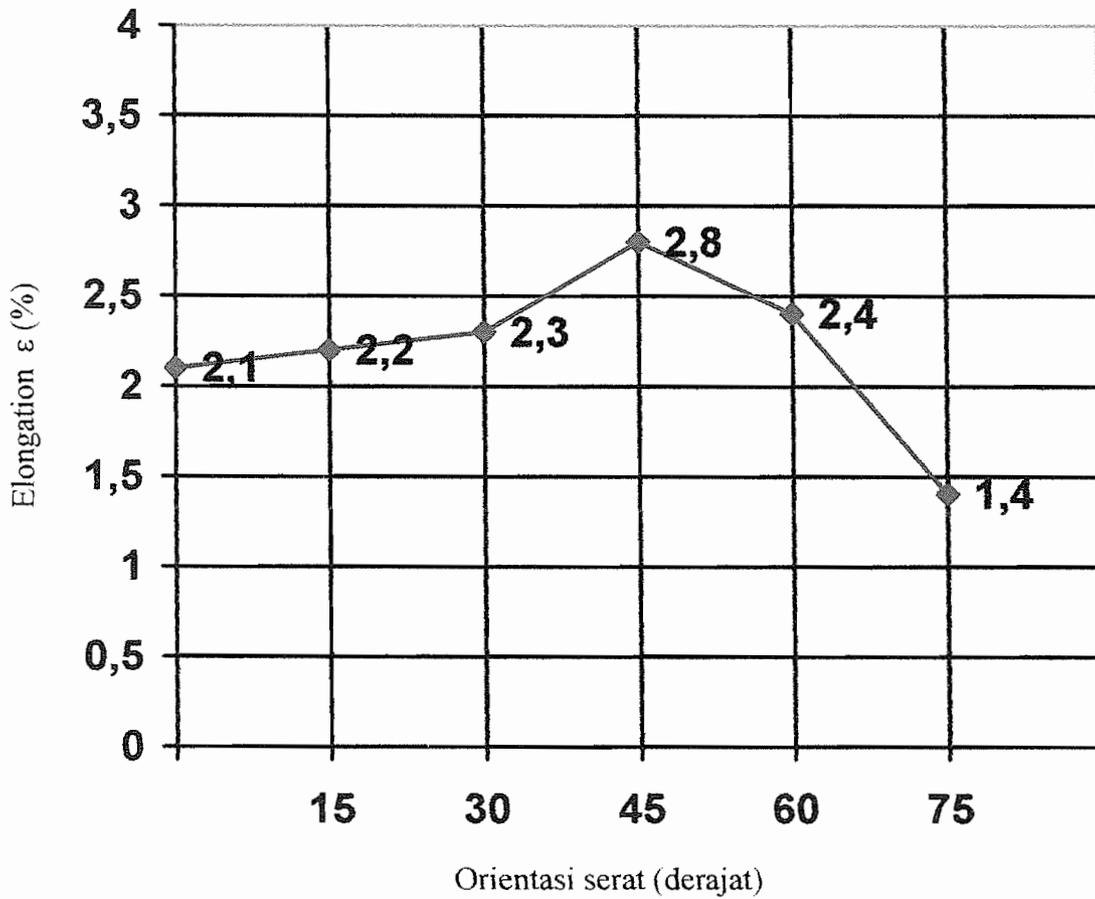
Gambar 4.8. Grafik hubungan kekuatan tarik dan sudut orientasi serat.

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

Orientasi	ϵ maks (%)
0^0	2,1
15^0	2,2
30^0	2,3
45^0	2,8
60^0	2,4
75^0	1,4



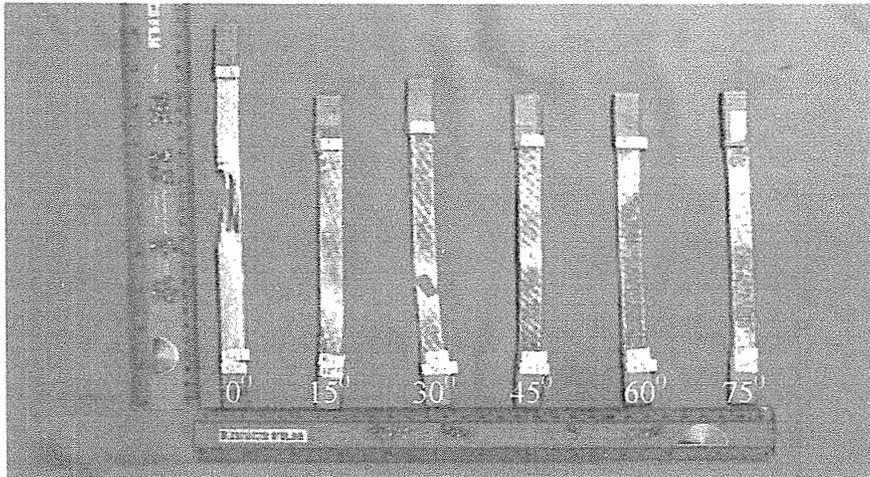
Gambar 4.9. Grafik sifat mekanik komposit.



Gambar 4.10. Grafik hubungan *elongation* dan sudut orientasi serat.

4.4. Model Kerusakan Komposit

Foto kerusakan komposit ditunjukkan oleh Gambar 4.11. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa patahan yang terjadi membentuk sudut yang sesuai dengan sudut pembebanan terhadap arah utama serat.



Gambar 4.11. Foto kerusakan komposit.

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

Model kerusakan yang terjadi pada komposit dengan sudut arah orientasi serat 15^0-75^0 disebabkan matriks tidak mampu menahan gaya geser sehingga terjadi *debonding*. Kerusakan yang timbul pada komposit searah dengan arah orientasi serat.

Grafik yang dihasilkan pada sudut pembebanan $15^0 - 75^0$ menunjukkan bahwa setelah matriks retak kemampuan untuk mendukung beban akan segera berkurang. Namun komposit masih mampu menahan beban walaupun beban yang

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

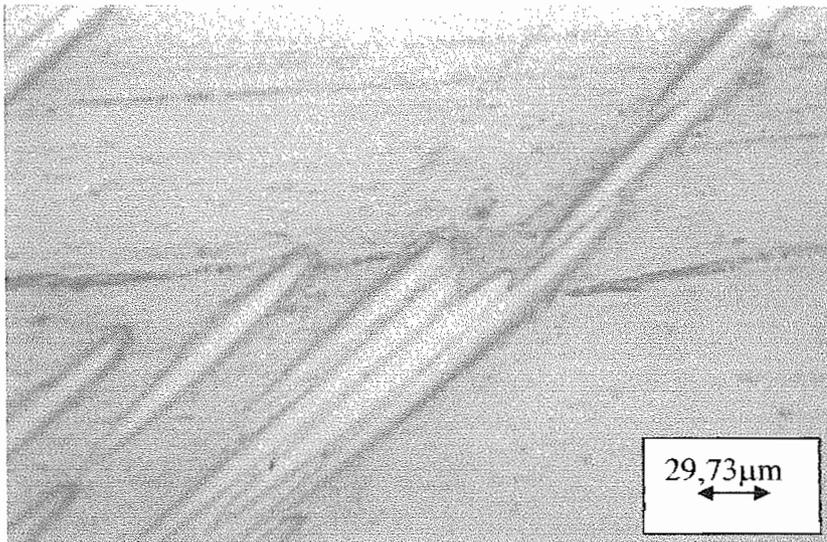
4.5. Analisa Kerusakan Pada Komposit

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

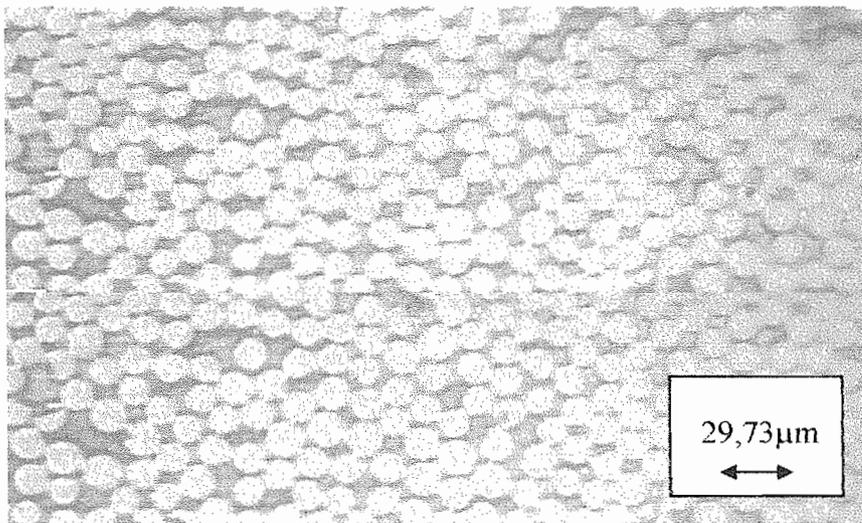
Pada penampang komposit mula yang dapat dilihat dengan bantuan mikroskop setelah komposit dihaluskan dan dipoles dapat menampilkan bentuk penampang serat serta matriks. Dari foto mikro dengan pembesaran 200 \times , yang dapat dilihat pada Gambar 4.13, menampilkan bentuk penampang komposit sebelum mengalami uji tarik.

Setelah mengalami uji tarik, penampang struktur mikro bahan komposit telah mengalami perubahan yaitu kerusakan yang terjadi pada matriks dan penampang serat, penampang matrik dan serat terlihat pecah-pecah dan tidak utuh lagi. Beban tarik pada komposit selain mengakibatkan kerusakan matriks dan serat juga berakibat terhadap lepasnya ikatan matriks-serat (*interface*) yang biasa disebut *debonding* yang terlihat pada Gambar 4.12 sampai Gambar 4.17.

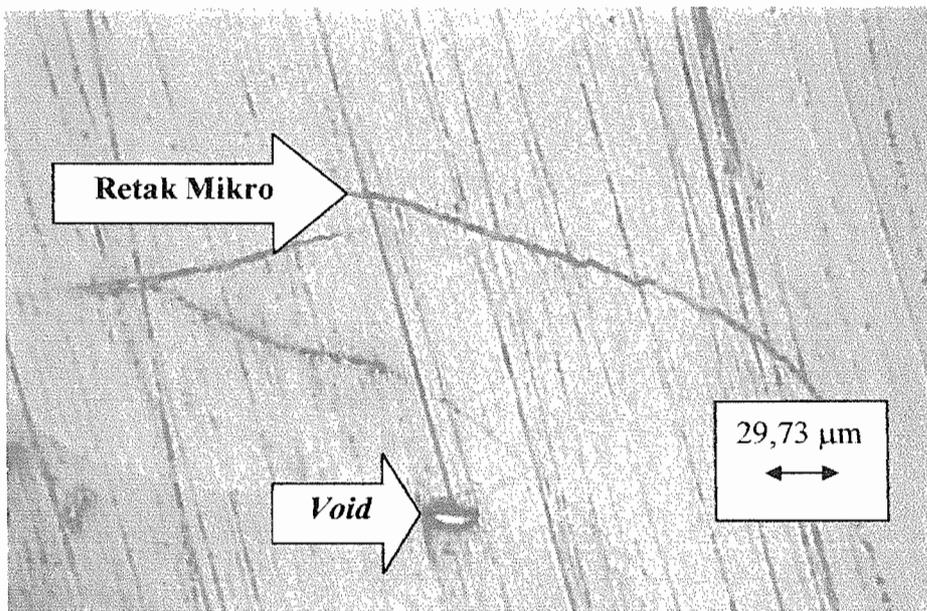
Pada analisa struktur mikro, juga menampilkan beberapa konfigurasi kerusakan internal komposit antara lain kerusakan retak mikro pada matriks, seperti yang terlihat pada Gambar 4.14 kemudian gambar retak komposit penampang adanya *Void* (Gambar 4.15).



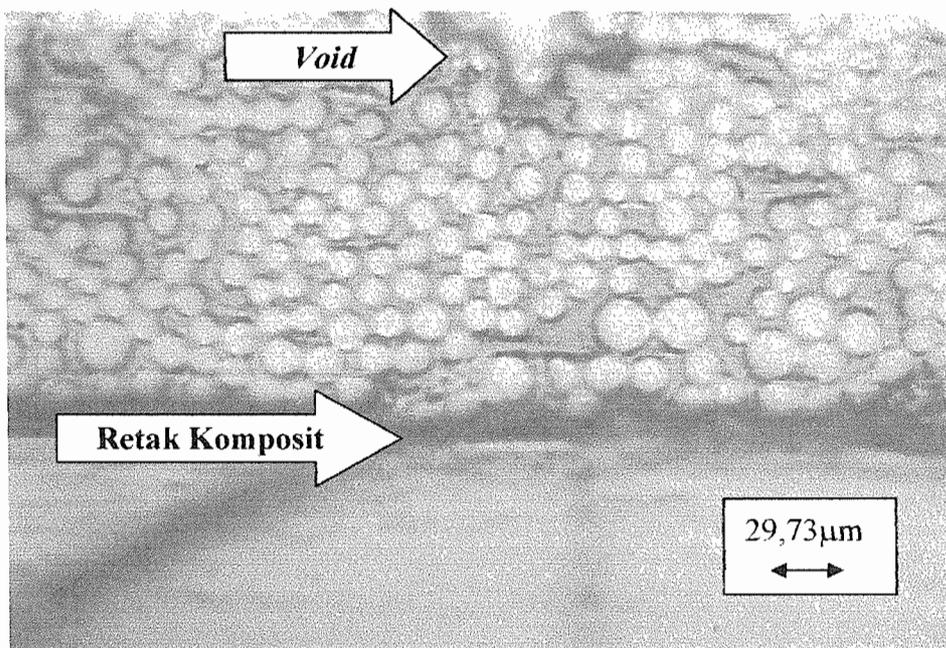
Gambar 4.12. Penampang melintang serat gelas-E dan resin.



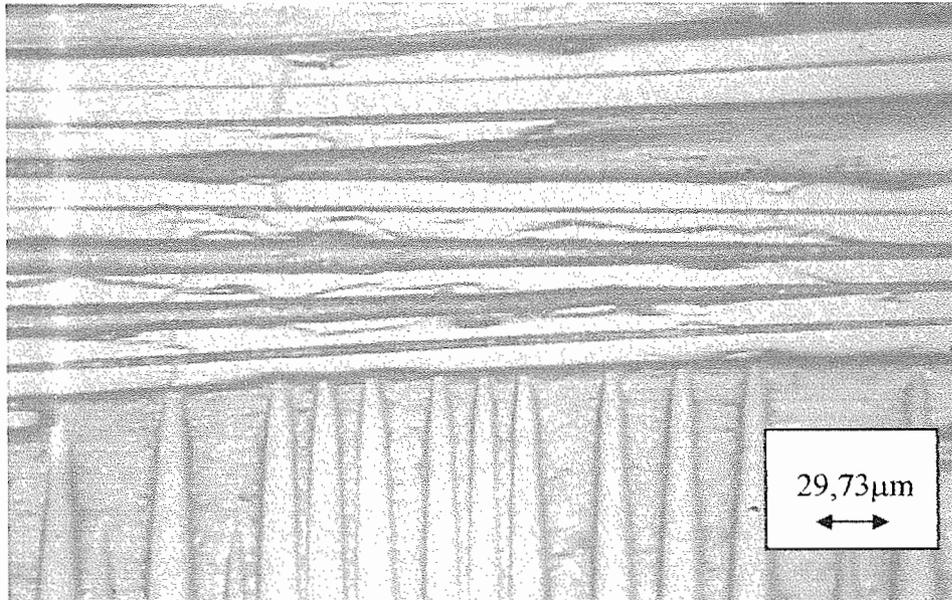
Gambar 4.13. Penampang Komposit Mula.



Gambar 4.14. Retak Mikro Pada Matriks.

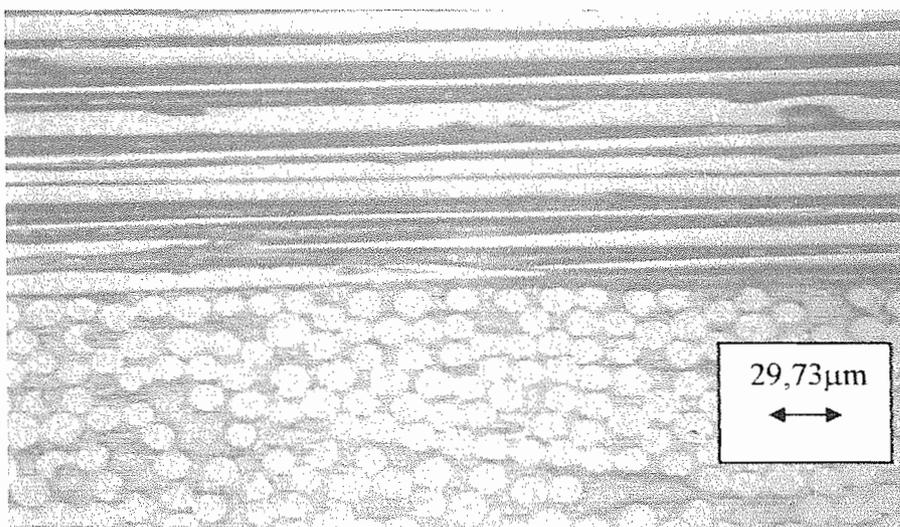


Gambar 4.15 Retak Komposit Penampang.

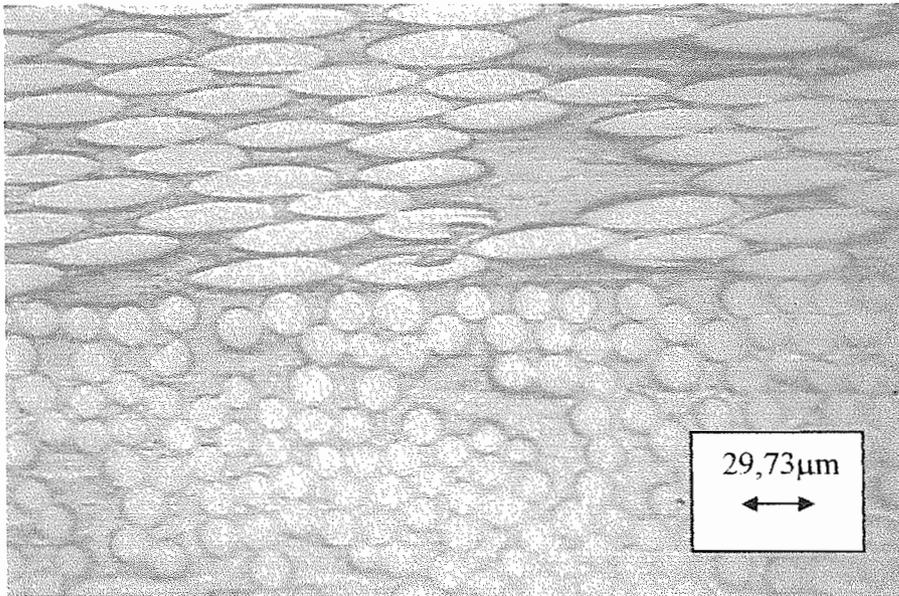


Gambar 4.16. Penampang Samping Komposit.

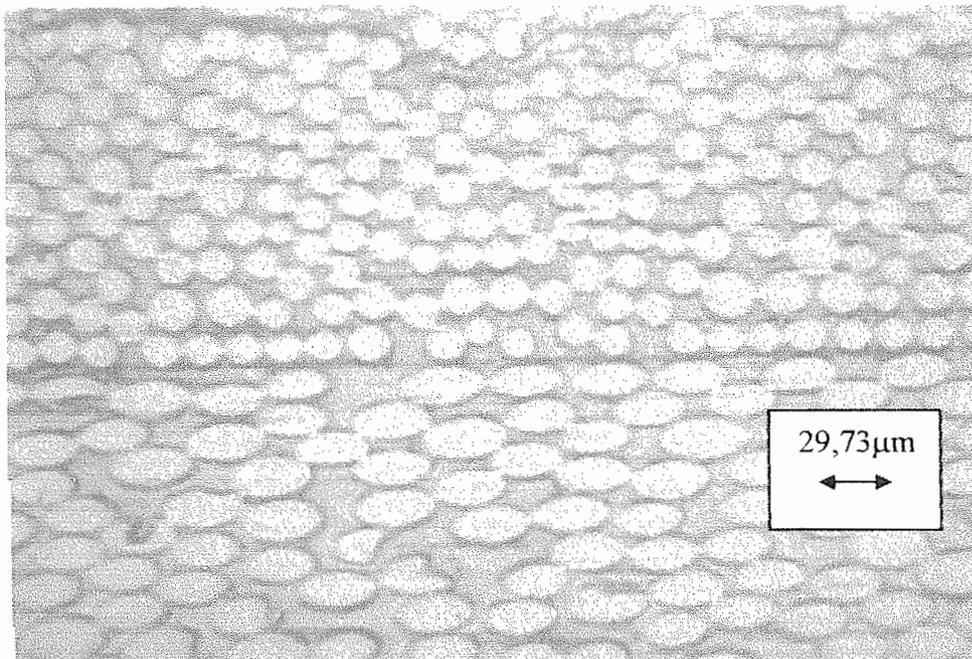
Dari foto mikro dengan perbesaran 200x tiap arah orientasi serat dapat dilihat pada gambar 4.17 sampai gambar 4.22 menampilkan bentuk penampang komposit setelah mengalami pengujian tarik.



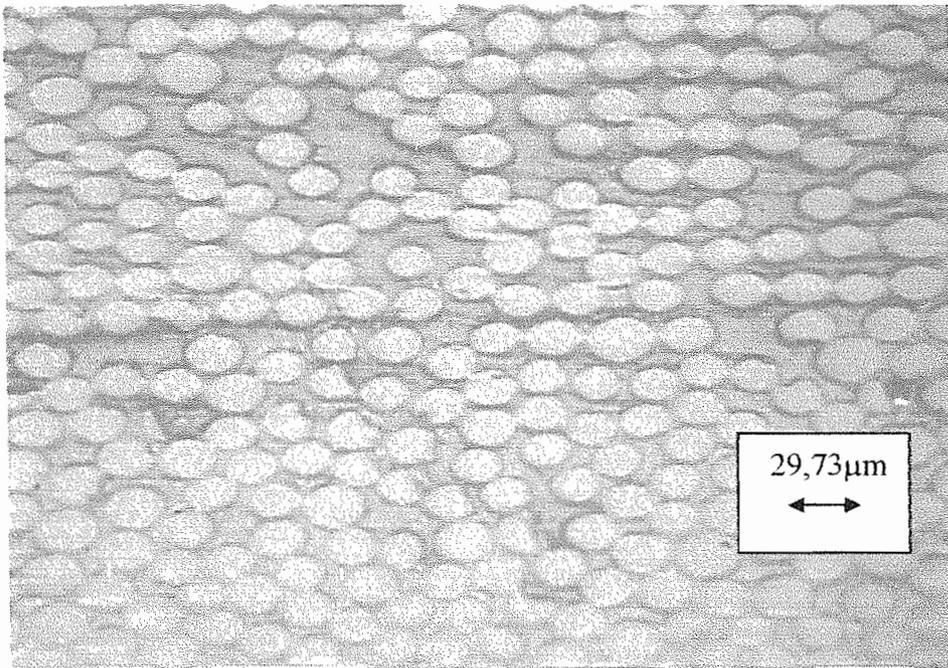
Gambar 4.17. Foto Mikro pada Orientasi arah Serat 0°.



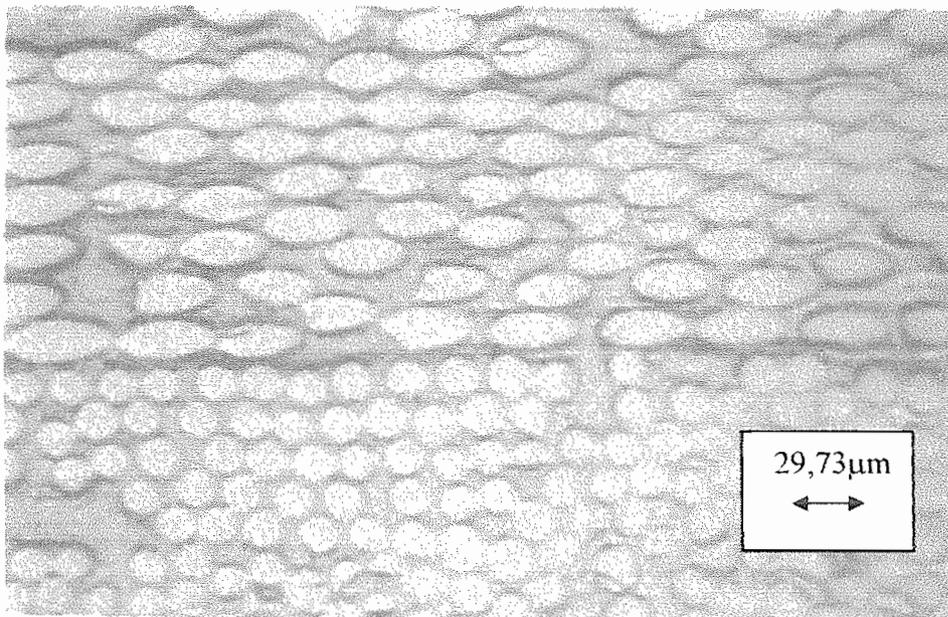
Gambar 4.18. Foto Mikro pada Orientasi arah Serat 15⁰.



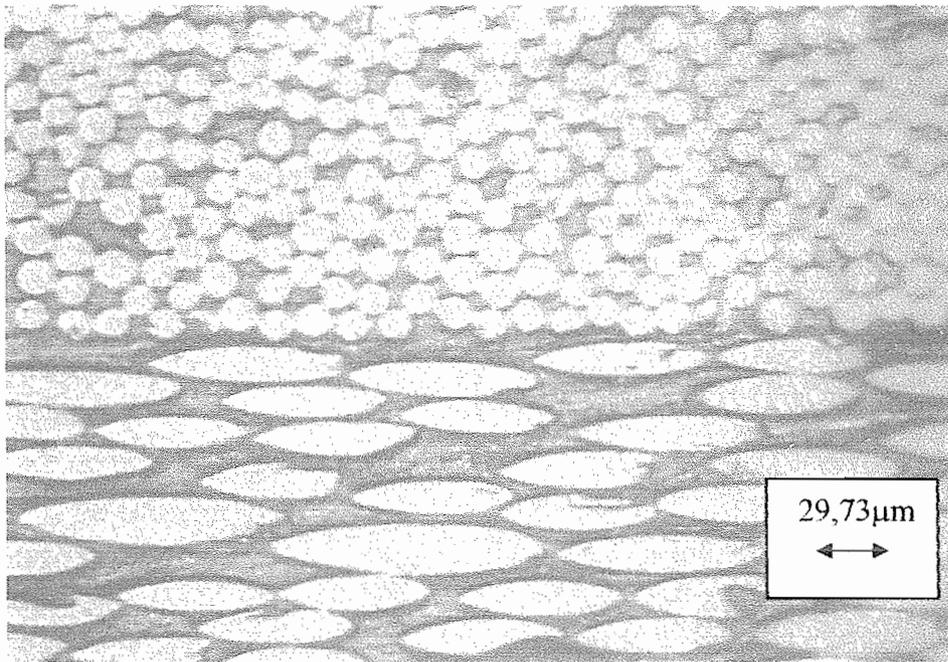
Gambar 4.19. Foto Mikro pada Orientasi arah Serat 30⁰.



Gambar 4.20. Foto Mikro pada Orientasi arah Serat 45⁰.



Gambar 4.21. Foto Mikro pada Orientasi arah Serat 60⁰.



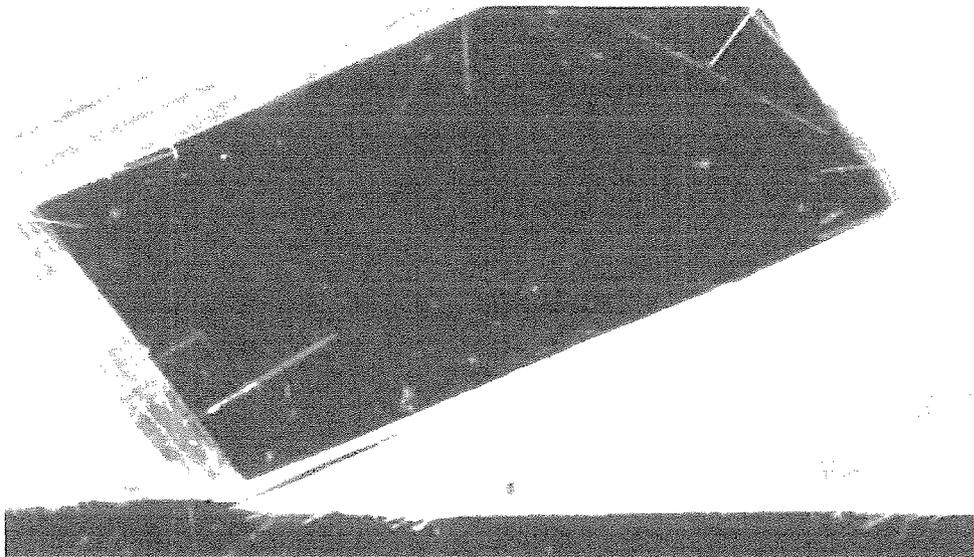
Gambar 4.22. Foto Mikro pada Orientasi arah Serat 75°.



Gambar 4.23. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 0°.



Gambar 4.24. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 15°.



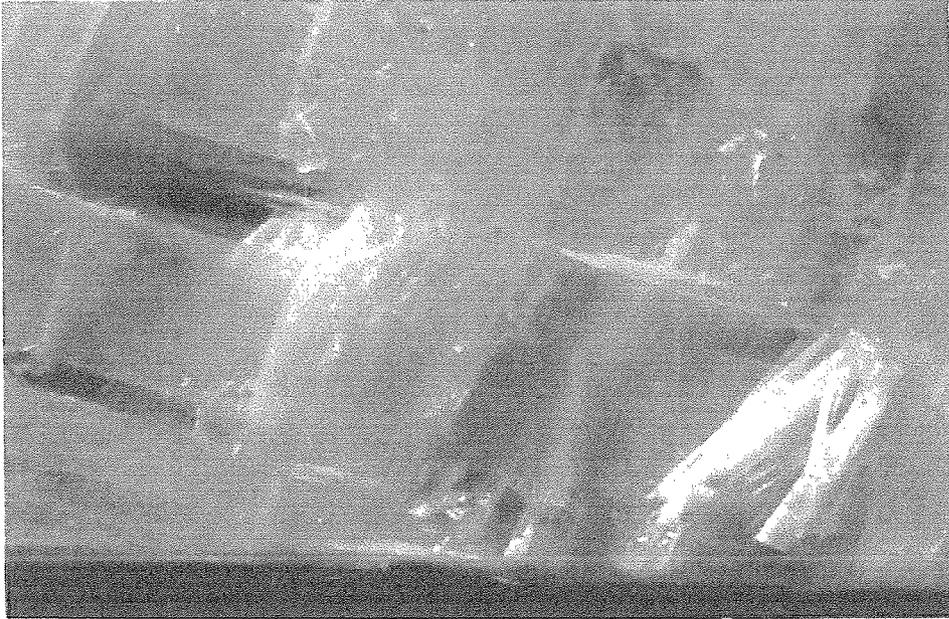
Gambar 4.25. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 30°.



Gambar 4.26. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 45°.



Gambar 4.27. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 60°.



Gambar 4.28. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Pada Orientasi Arah Serat 75°.

Dari pengujian pada resin dan matriks, dapat diketahui kekuatan tariknya. Kekuatan tarik rata-rata serat sebesar $261,09 \text{ N/mm}^2$ sedangkan kekuatan tarik rata-rata untuk matriks adalah sebesar $4,31 \text{ kg/mm}^2$.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa orientasi serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit. Hal ini ditunjukkan oleh hasil pengujian tarik pada orientasi 0° σ rata-rata = $16,83 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 15° σ rata-rata = $7,39 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 30° σ rata-rata = $5,08 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 45° σ rata-rata = $4,04 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 60° σ rata-rata = $5,13 \text{ kg/mm}^2$, orientasi 75° yaitu memiliki σ rata-rata = $7,03 \text{ kg/mm}^2$. Bahan komposit yang menggunakan bahan berpenguat serat jenis *woven roving* memperoleh nilai maksimum pada arah orientasi 0° , sebab serat dapat berfungsi secara optimal menahan beban yang diberikan pada komposit. Pada arah orientasi 45° memperoleh nilai minimum.

Dari hasil analisa pemotretan dengan pembesaran 8 x dan pengamatan pada makro struktur berbagai bentuk patahan yang berbeda- beda. Perbedaan ini dikarenakan pengujian pada bahan yang mempunyai orientasi serat yang berbeda-beda. Dari Gambar 4.23 sampai Gambar 4.28 dapat dilihat, bahan patah pada beban tertentu dan mengalami perpatahan menurut orientasi seratnya. Penampang komposit yang mempunyai kekuatan tarik tinggi penampang patahannya akan terlihat semakin kasar, karena serat-serat yang tereabut dan patah semakin banyak. Dari hasil pengamatan penampang patahan mempunyai pola atau bentuk perpatahan sesuai dengan orientasi serat yang terdapat pada komposit. Menurut bentuk patahan yang terjadi pada pengujian tarik komposit merupakan bentuk patah getas. Sedangkan pada pengujian tarik matriks, mempunyai variasi bentuk patahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2. Untuk pengujian tarik matriks mempunyai jenis patahan juga berupa patah getas.

BAB V

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian bahan komposit berpenguat 30 % serat gelas-E jenis *woven roving* diperoleh kesimpulan :

Kekuatan tarik rata-rata serat gelas E sebesar 261.09 N/mm². Sedangkan kekuatan tarik rata-rata untuk matriks pengikat sebesar 4.31 kg/mm².

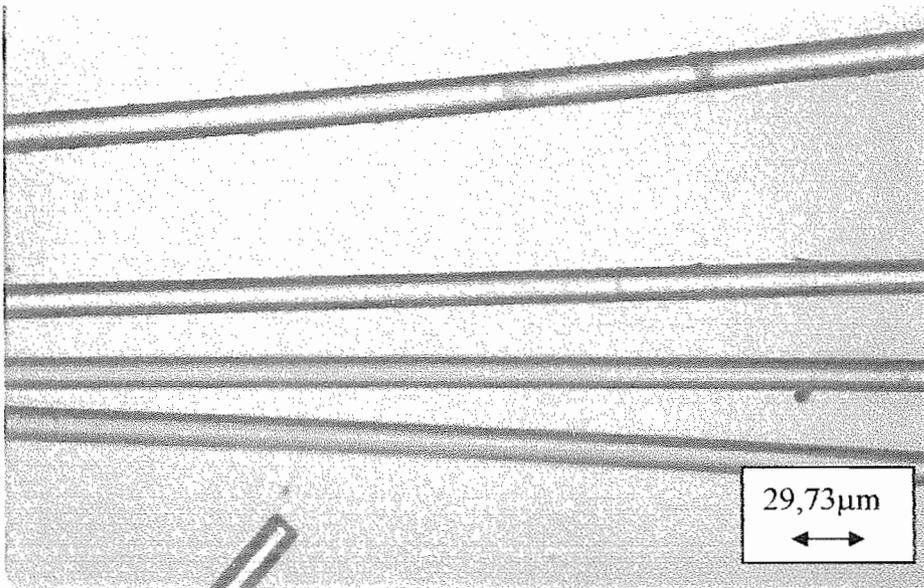
Orientasi serat sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit. Hal ini ditunjukkan oleh hasil pengujian tarik pada orientasi 0⁰ σ rata-rata = 16.83 kg/mm², orientasi 15⁰ σ rata-rata = 7.39 kg/mm², orientasi 30⁰ σ rata-rata = 5.08 kg/mm², orientasi 45⁰ σ rata-rata = 4.04 kg/mm², orientasi 60⁰ σ rata-rata = 5.13 kg/mm², orientasi 75⁰ yaitu memiliki σ rata-rata = 7.03 kg/mm².

Kekuatan tarik maksimal terjadi pada orientasi 0⁰ σ rata-rata = 16.83 kg/mm², sedangkan kekuatan tarik minimum terjadi pada orientasi 45⁰ σ rata-rata = 4.04 kg/mm². Kekuatan tarik menurun sampai minimum pada orientasi 45⁰. Sedangkan regangan (*elongation*), naik sampai pada orientasi 45⁰. Menurut bentuk patahan yang terjadi pada pengujian tarik komposit merupakan jenis patah getas. Untuk pengujian tarik matriks mempunyai jenis patahan juga berupa patah getas.

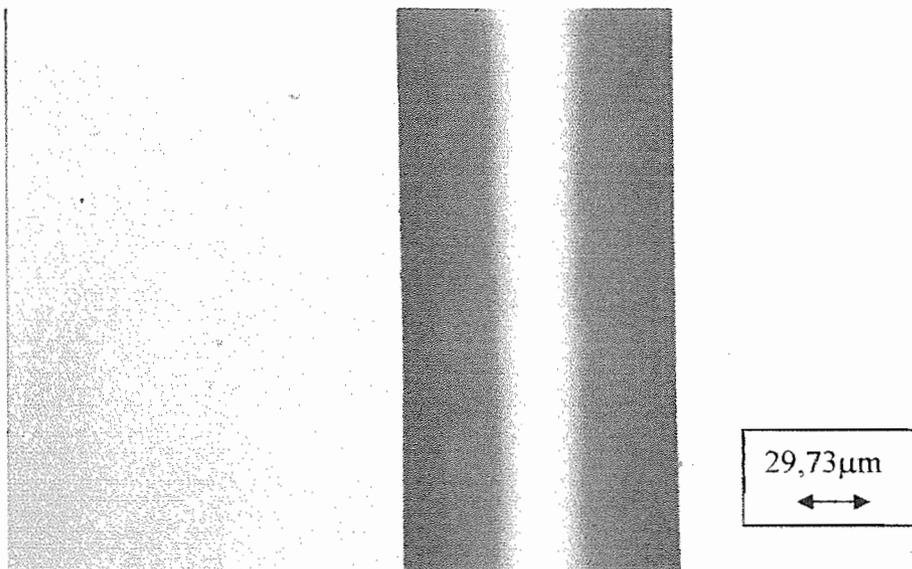
DAFTAR PUSTAKA

- , *Annual Book of ASTM Standard*, 1981, Part 35 , Plastics-General Test Methods, Nomenclature, American Society For Testing Material 1916 Race St. Philadelphia PA.
- , *Annual Book of ASTM Standard*, 1981, Part 36 , Plastics- Material, Film, Reinforced and cellular Plastics, High Modulus Fiber and Composit, American Society For Testing Material 1916 Race St. Philadelphia PA.
- Dieter , G.E., 1990, *Metalurgi Mekanik*, Erlangga, Jakarta.
- Gibson, R.F., 1994, *Principle of Composite Material Mechanics*, McGraw Hill Book Company.
- Hadi. B.K., November 2000, *Mekanika Struktur Komposit*, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- Malau Viktor, 1999, *Bahan Teknik Manufaktur*, Diktat Kuliah, Yogyakarta.
- Murphy, J., 1994, *Reinforced Plastics Hand Book*, Elsevier Advanced Technology.
- Robert, J. M., 1975, *Mechanics of Composite Material*, McGraw Hill, New York.
- Schwartz, M.M., 1984, *Composites Material Hand Book*, McGraw Hill Book Company.
- Setyahandana Budi, 1999, *Metalurgi Fisik*, Diktat Kuliah, Yogyakarta.
- Surdia Tata, 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Institut Teknologi Bandung.
- Van Vlack, L.H., 1985, *Ilmu dan Tehnologi Bahan*, Edisi kelima, Erlangga, Jakarta.

LAMP IRAN



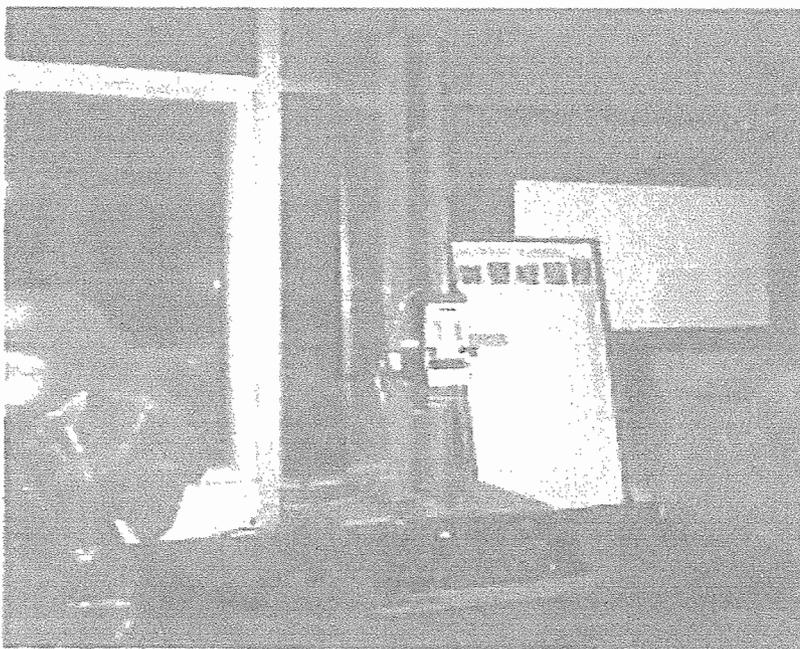
Gambar L.1. Foto mikro serat E-glass.



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



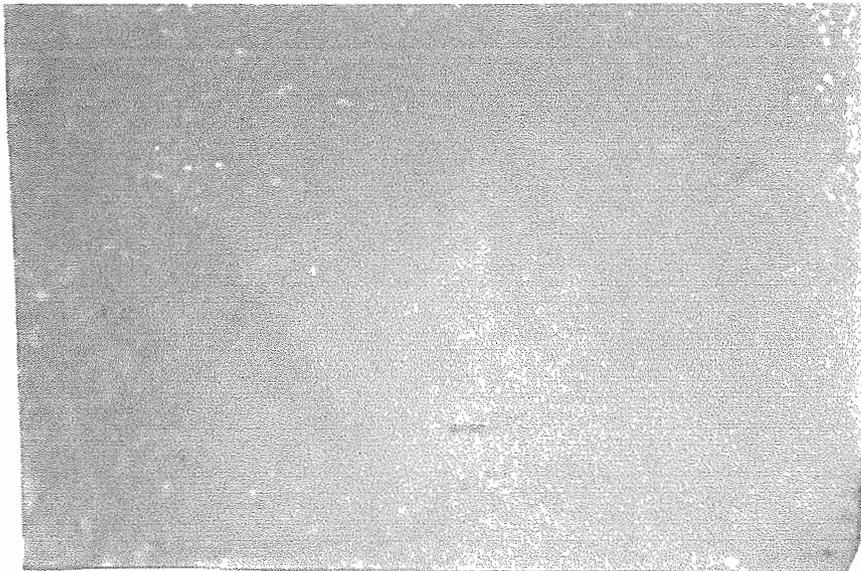
Gambar L.3. Foto mesin uji tarik di USD.



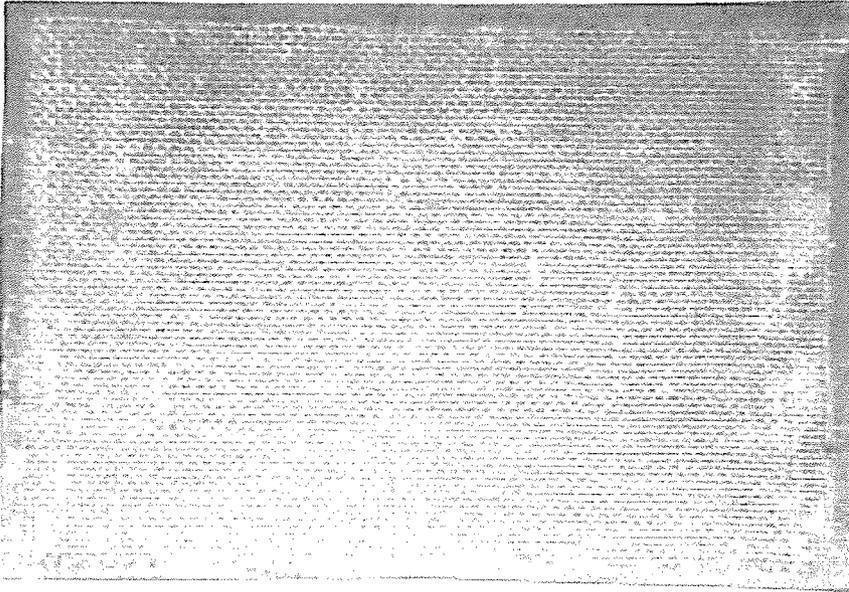
Gambar L.4. Foto mesin Uji Tarik di UGM.



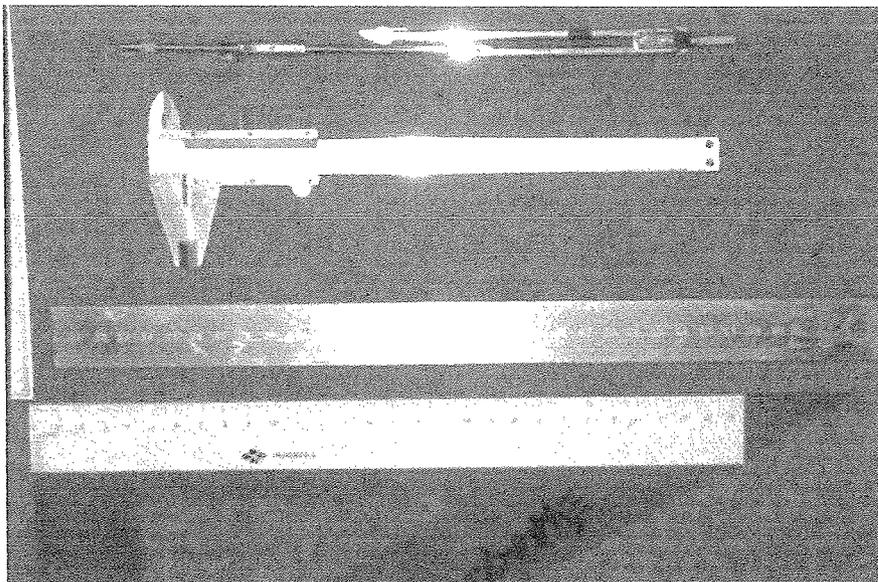
Gambar L.5. Bahan-bahan pembuat komposit.



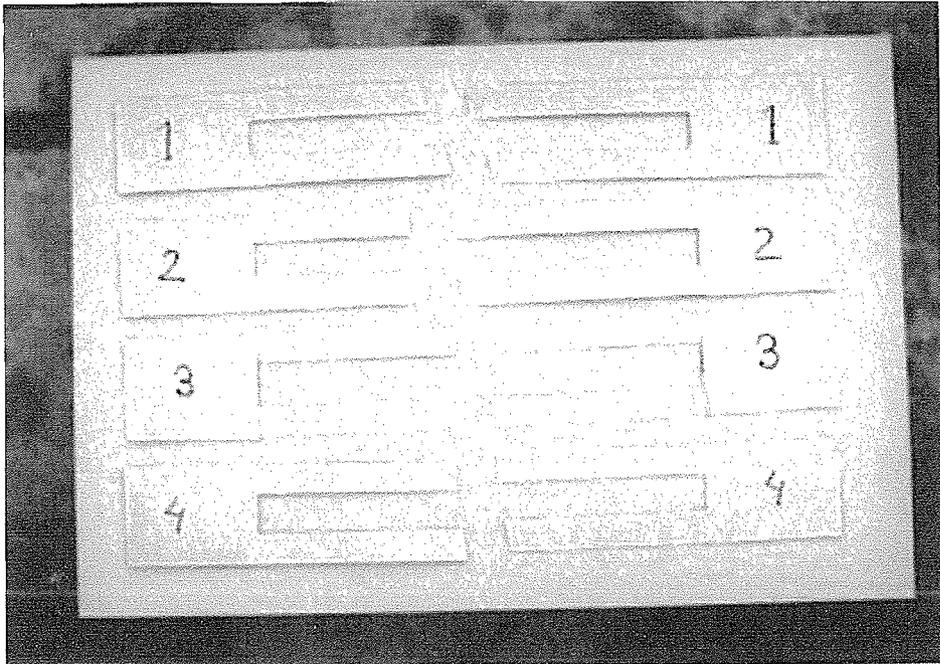
Gambar L.6. Foto Matriks Ukuran 20 cm x 15 cm.



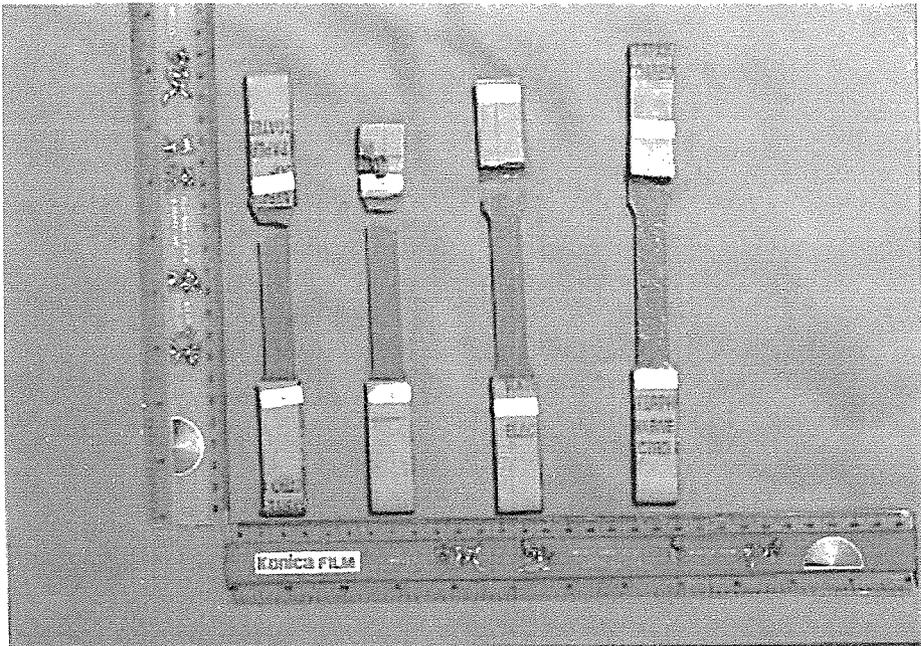
Gambar L.7. Komposit Ukuran 46 cm x 36 cm.



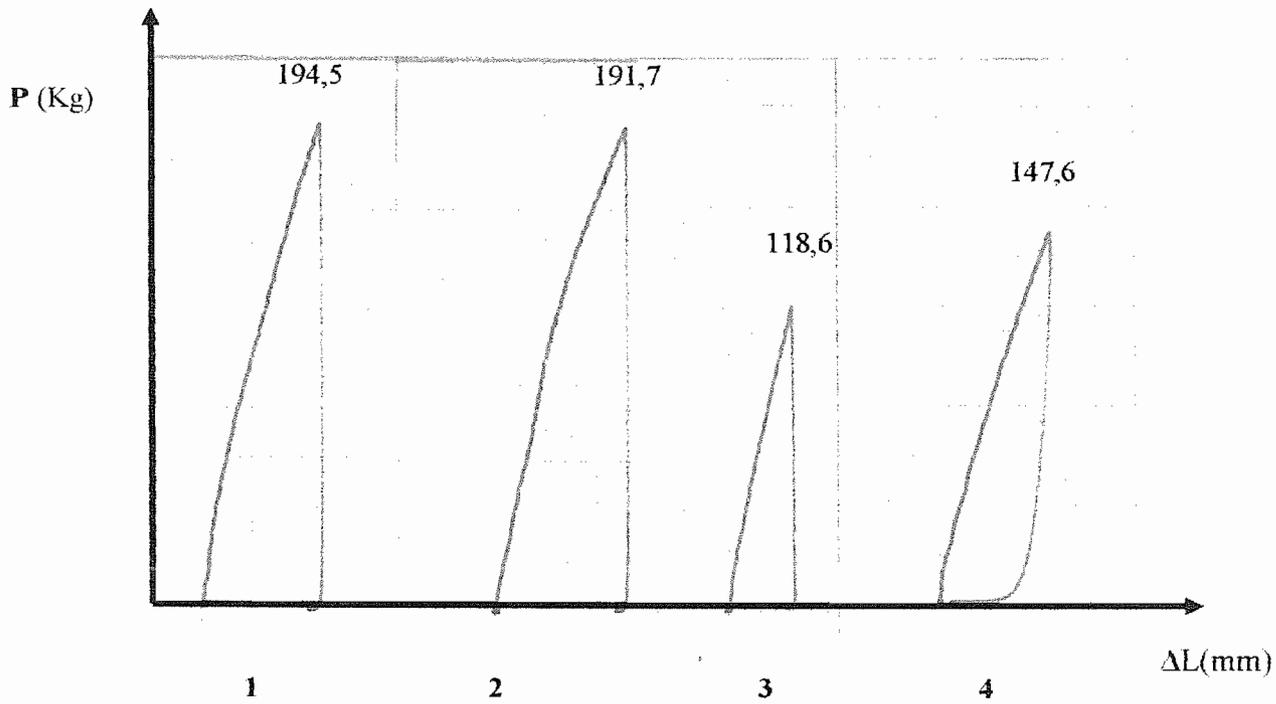
Gambar L.8. Foto alat ukur bantu.



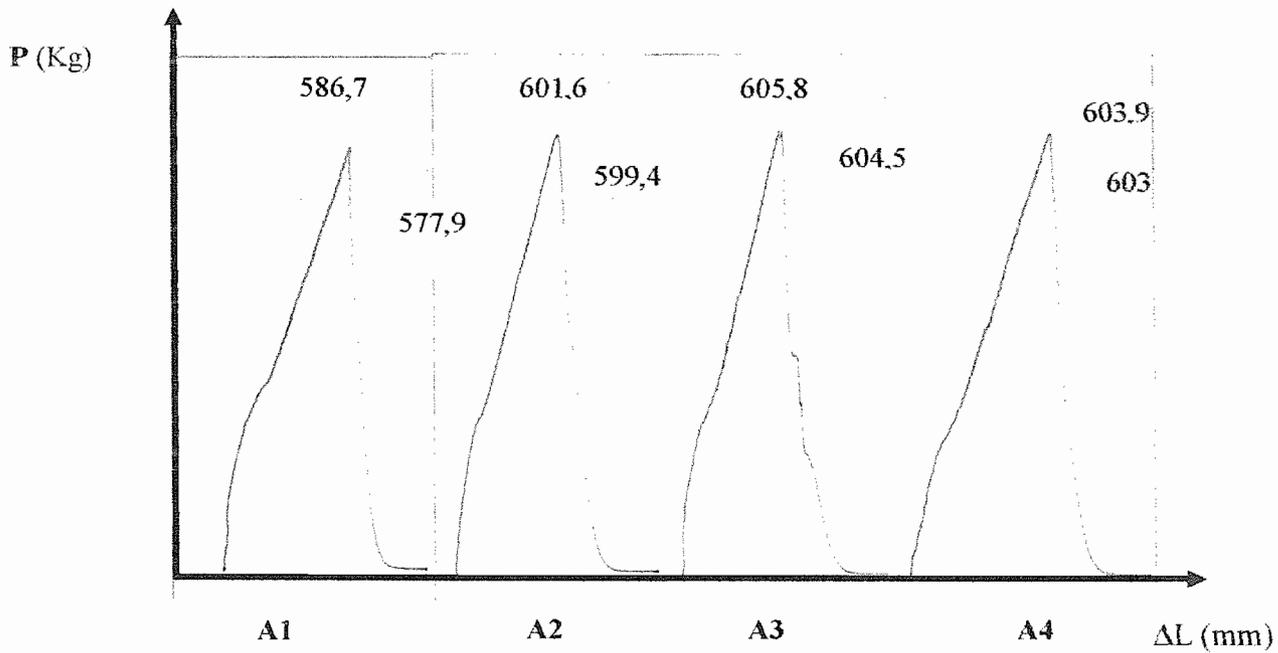
Gambar L.9. Benda Uji Tarik Serat setelah Diuji.



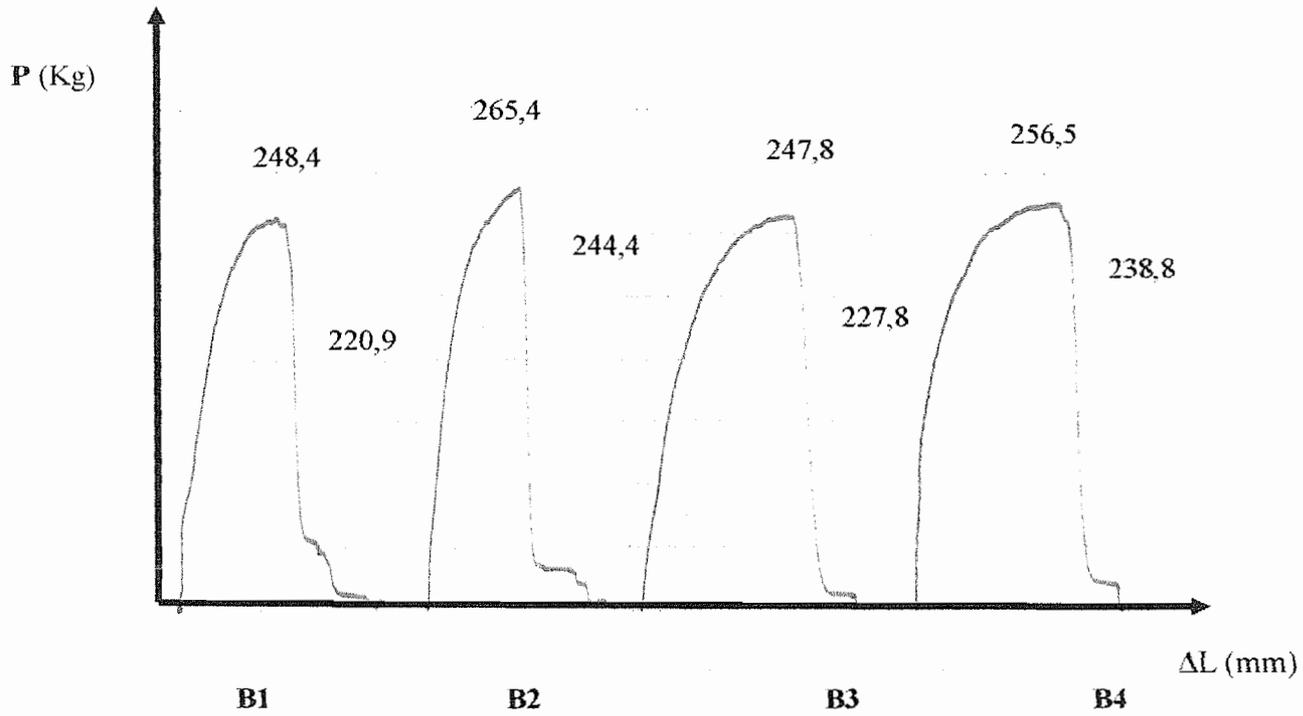
Gambar L.10. Benda Uji Tarik Matriks setelah Diuji.



Gambar L.11. Grafik Beban VS Pertambahan Panjang pada Matriks.

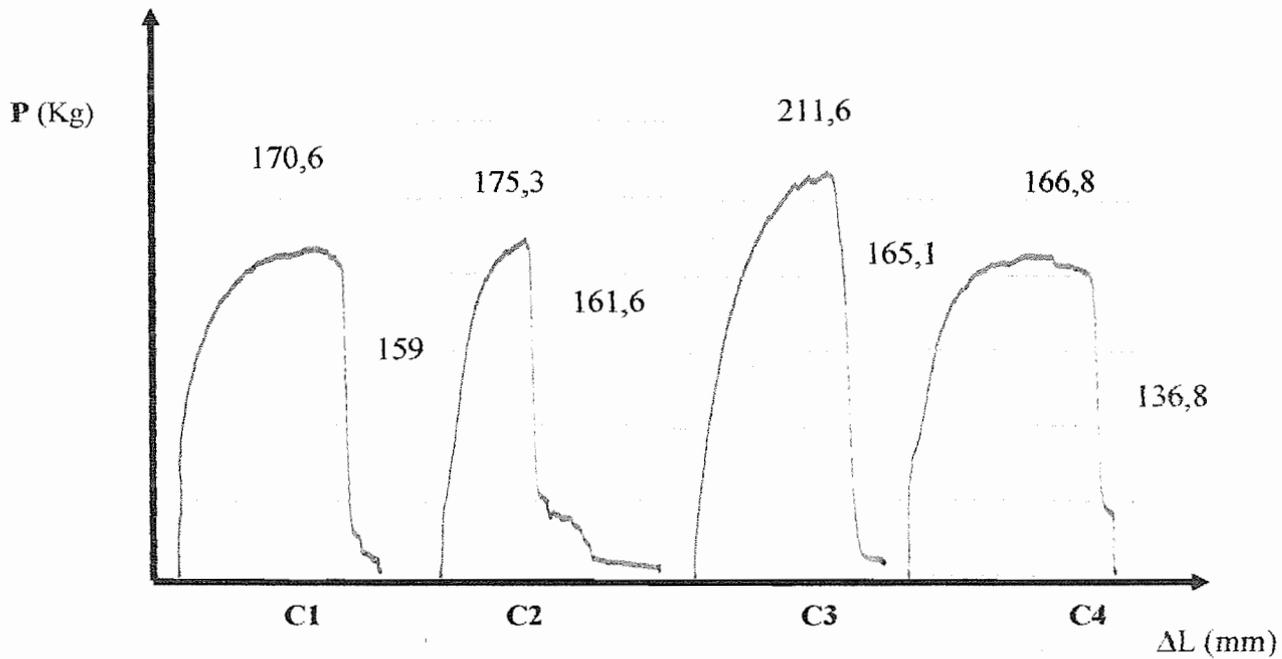


Gambar L.12. Grafik Beban VS Pertambahan Panjang pada Komposit Orientasi 0° .



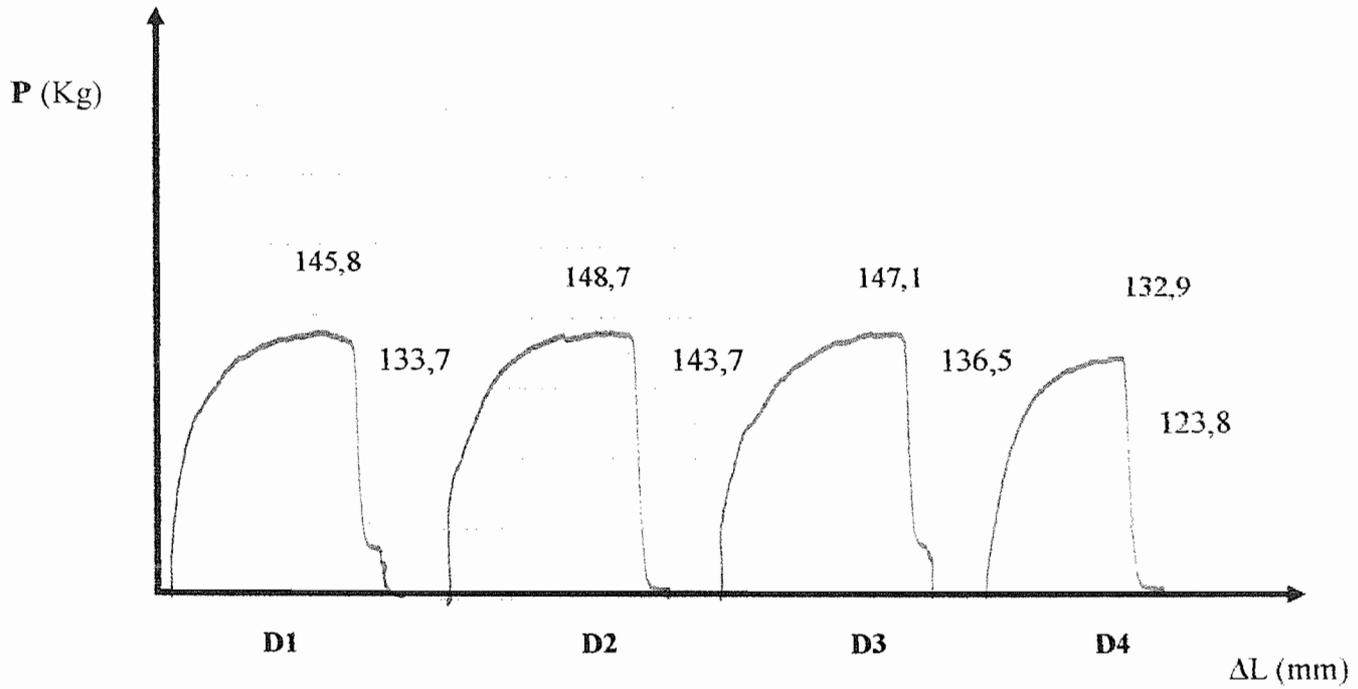
Gambar L.13. Beban VS Pertambahan Panjang pada Komposit

Orientasi 15° .

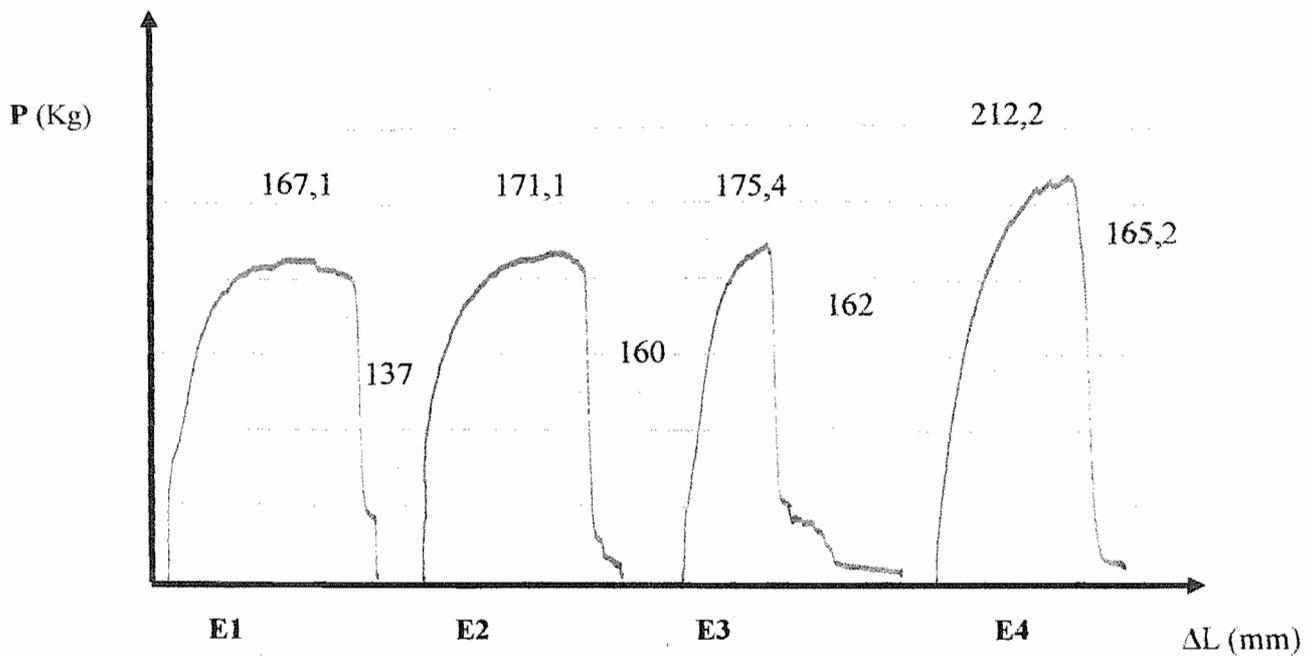


Gambar L.14. Grafik Beban VS Pertambahan Panjang pada Komposit

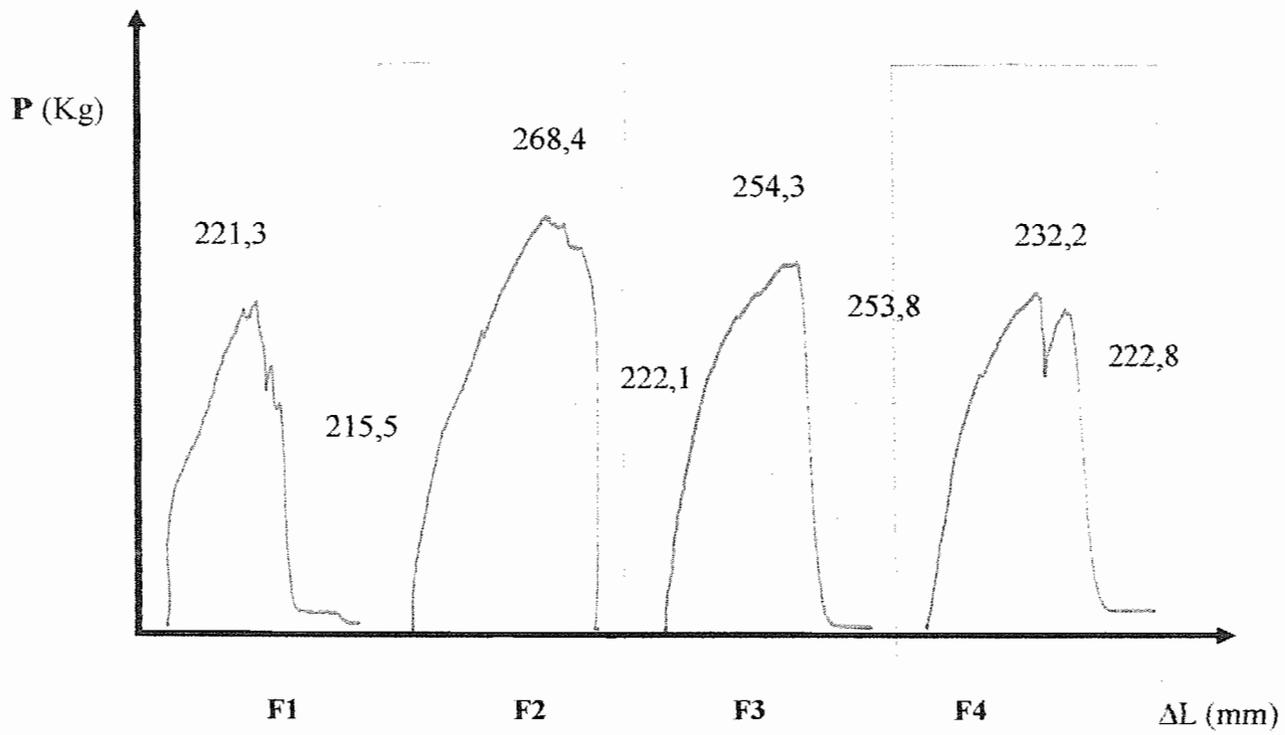
Orientasi 30° .



Gambar L.15. Grafik Beban VS Pertambahan Panjang pada Komposit Orientasi 45°.



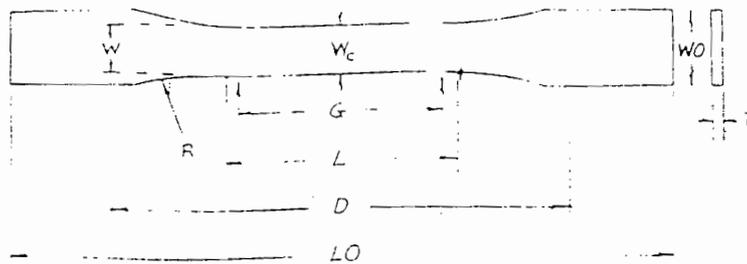
Gambar L.16. Grafik Beban VS Pertambahan Panjang pada Komposit Orientasi 60°.



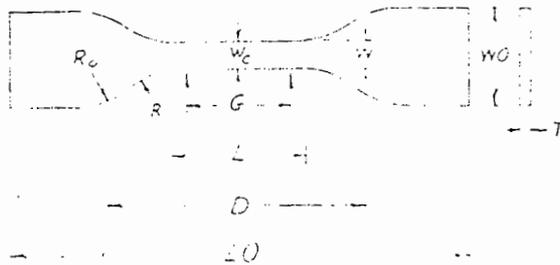
Gambar L.17. Grafik Beban VS Pertambahan Panjang pada Komposit

Orientasi 75° .

ASTM D 638



TYPES I, II, III



TYPE IV

Specimen Dimensions for Thickness, T , mm¹⁾

Dimensions (see drawings)	7 or under		Over 7 to 14 incl.	4 or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ²⁾	Type V ¹⁾	
Width of narrow section ^{1), 2)}	13	6	19	6	3.18	±0.5 ^{1), 2)}
Length of narrow section	57	57	57	33	9.53	±0.5 ¹⁾
Width over-all, min ¹⁾	19	19	29	19	9.53	±6
Length over-all, min ¹⁾	165	183	226	115	63.5	no max
Gage length ¹⁾	50	50	50	...	7.62	±0.25 ¹⁾
Gage length ²⁾	25	...	±0.13
Distance between grips	115	135	115	64 ¹⁾	25.4	±5
Radius of fillet	76	76	76	14	12.7	±1 ¹⁾
—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25	...	±1

Specimen Dimensions for Thickness, T , in.¹⁾

Dimensions (see drawings)	0.28 or under		Over 0.28 to 0.55 incl.	0.16 or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ²⁾	Type V ¹⁾	
Width of narrow section ^{1), 2)}	0.50	0.25	0.75	0.25	0.125	±0.02 ^{1), 2)}
Length of narrow section	2.25	2.25	2.25	1.30	0.375	±0.02 ¹⁾
Width over-all, min ¹⁾	0.75	0.75	1.13	0.75	0.375	±0.25
Length over-all, min ¹⁾	6.5	7.2	9.7	4.5	2.5	no max
Gage length ¹⁾	2.00	2.00	2.00	...	0.300	±0.010 ¹⁾
Gage length ²⁾	1.00	...	±0.005
Distance between grips	4.5	5.3	4.5	2.5 ¹⁾	1.0	±0.2
Radius of fillet	3.00	3.00	3.00	0.56	0.5	±0.04 ¹⁾
—Outer radius (Type IV)	...	...	...	1.00	...	±0.04

FIG. 1 Tension Test Specimens for Sheet, Plate, and Molded Plastics.

¹⁾ The width at the center W_c shall be plus 0.00 mm, minus 0.10 mm (+0.000 in., -0.004 in.) compared with width W at other parts of the reduced section. Any reduction in W at the center shall be gradual, equally on each side so that no abrupt changes in dimension result.

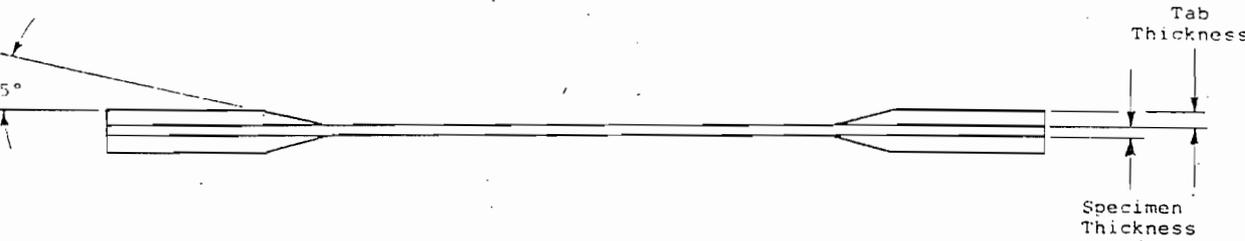
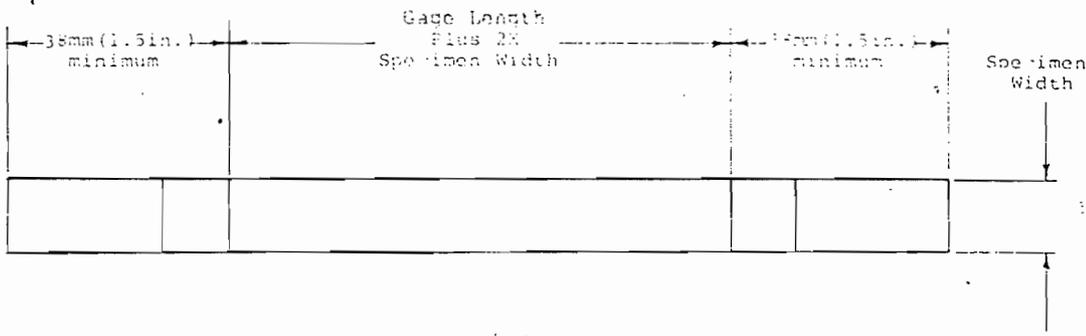
²⁾ For molded specimens, a draft of not over 0.13 mm (0.005 in.) may be allowed for either Type I or II specimens 3.2 mm (0.13 in.) in thickness, and this should be taken into account when calculating width of the specimen. Thus a typical section of a molded Type I specimen, having the maximum allowable draft, could be as follows:

TABLE 1 Widths and Gage Lengths of Specimens

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

TABLE 2 Recommended Thicknesses for Various Reinforcements

Type of Reinforcement	Continuous Fibers		Discontinuous Fibers	
	mm	in.	mm	in.
Boron	0.508 to 2.54	0.020 to 0.100	1.016 to 5.08	0.040 to 0.200
Graphite	0.508 to 2.54	0.020 to 0.100	1.016 to 5.08	0.040 to 0.200
Glass	0.762 to 3.275	0.030 to 0.125	1.524 to 6.55	0.060 to 0.250



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

FIG. 1 Tensile Test Specimen