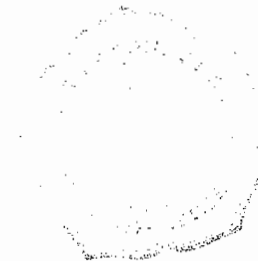


**PENGARUH SUHU DAN LAMA CURING TERHADAP SIFAT FISIS DAN
MEKANIS KOMPOSIT POLIMER
(ARINDO 3210, KATALIS MEPOXE DAN SERAT GELAS E)**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1

Program Studi Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin



Diajukan Oleh:

YOHANES NUGROHO ARI PROKLAMASI

NIM : 995214091

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA**

2006

**THE EFFECTS OF CURING TEMPERATURES TO
MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF POLYMER
COMPOSITES
(ARINDO 3210, MEPOXE CATALYST AND E-GLASS FIBER)**

FINAL PROJECT

**Presented as Partial Fullfillment of the requirements to Obtain the
Sarjana Teknik Degree in Mechanical Engineering**



By:

Name : Yohanes Nugroho Ari Proklamasi

Student Number : 995214091

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

TUGAS AKHIR

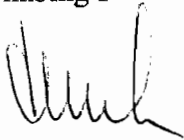
PENGARUH SUHU CURING TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS KOMPOSIT POLIMER (Arindo 3210, Katalis Mepoxe dan Serat E-Glass)

Disusun oleh :

Yohanes Nugroho Ari Proklamasi
NIM : 995214091

Telah disetujui oleh:

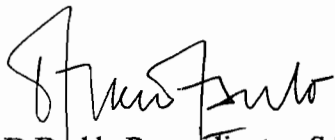
Pembimbing I



Dr.Ir. Viktor Malau, DEA

Tanggal 05 Mei 2006

Pembimbing II



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

Tanggal 05 Mei 2006

TUGAS AKHIR
PENGARUH SUHU CURING TERHADAP SIFAT FISIS
DAN MEKANIS KOMPOSIT POLIMER
(Arindo 3210, Katalis Mepoxe dan Serat E-Glass)

Dipersiapkan dan ditulis oleh :

Yohanes Nugroho Ari Proklamasi
NIM : 995214091

Telah dipertahankan di depan panitia penguji
pada tanggal 05 Mei 2006
dan dinyatakan memenuhi syarat

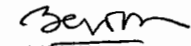
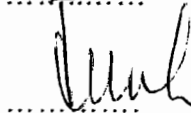
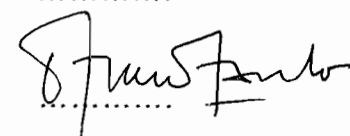
Susunan Panitia Penguji

Ketua : Ir. Rines Alapan, M. T.

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

Anggota : Dr. Ir. Viktor Malau, DEA

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

Yogyakarta 05 Mei 2006
Fakultas Teknik
Universitas Sanata Dharma
Yogyakarta
Dekan



(Ir. Greg Heliarko, S.T., S.S., B.S.T., M.A., M.Sc.)

PERNYATAAN

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

Yogyakarta, 15 November 2005

Yohanes Nugroho Ari P
NIM : 995214091



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA
Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman -Yogyakarta
Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email :teknik@staff.usd.ac.id

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

No: 545 / FT .USD / TM / Mei / 2005

NAMA : Yohanes Nugroho Ari P
NIM : 995214091
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik , Univ. Sanata Dharma Yogyakarta
Judul TGA :

Pengaruh Curing terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polimer yang Terdiri dari Resin Arindo, serat Gelas Wooks Roving dan Katalis Mepox.

Tanggal dimulai : 31 Januari 2005

Yogyakarta , 3 Mei 2005

Pembimbing II

Pembimbing I

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

Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.

Apapun juga yang kamu perbuat , perbuatlah dengan segenap hatimu seperti untuk Tuhan dan bukan untuk manusia.

(Kolose 3:23)

Sebab penderitaan ringan yang sekarang ini , akan menghasilkan bagi kami kemuliaan kekal yang melebihi segalaanya.

(2 Korintus 4:17)

Darah dan Air yang telah memancar dari hati Yesus sebagai sumber kerahiman bagi kami “ Engkaulah Andalanku “.

(Yesus, Engkaulah Andalanku; hal 186)

Kupersembahkan karya ini untuk:

Tuhan Yesus Kristus,

yang selalu mengasihi dan memberkatiku.

Ayah, Ibu dan kakak-kakak’ku,

yang selalu mendoakanku dan mendukungku.

Seluruh teman-temanku.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.

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

Ucapan terima kasih penulis ditujukan kepada :

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

7. Bapak Martono dan Bapak Intan, Laboran Ilmu logam Tenik Mesin.
8. Bapak Ig.Sukisno, Ibu V. Muryati, Kakak Al. Indratno Joko W dan Yohana Kasih Dewi serta Fr.Wenny.W dan Jessica Pradana yang telah membantu secara materiil maupun spirituil.
9. Teman-teman Teknik Mesin dan semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

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

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

Yogyakarta, 15 November 2005

Penulis

INTISARI

Penelitian ini membahas mengenai pengaruh suhu dan lama curing terhadap kekuatan tarik komposit berpenguat serat gelas E dengan orientasi serat 45°. Komposit yang dibuat terdiri dari : serat gelas E jenis anyaman, resin Arindo 3210, dan katalis *Mepoxe (methyl ethyl ketone peroxide)*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan tarik matrik pengikat, serat penguat, dan kekuatan tarik komposit terhadap variasi suhu dan lama curing.

Langkah pertama yaitu dengan membuat bahan matrik pengikat dengan ukuran 40 x 20 x 0.3 cm. Kemudian dilakukan uji tarik yang menggunakan standard uji tarik ASTM D 638 masing-masing 4 spesimen.

Langkah kedua yaitu dengan menguji serat.

Langkah ketiga yaitu dengan membuat komposit dengan ukuran 70 x 40 x 0.3 cm kemudian dipotong-potong dengan orientasi 45° dan ukurannya sesuai dengan standard uji tarik ASTM A 370. Sebelum diuji tarik, komposit tersebut dicuring dahulu dengan Oven dengan variasi suhu curing 55°, 65°, 75°, 90°, 105° dan 120°. Untuk masing-masing suhu dicuring selama 30 menit dan 60 menit, kemudian diuji tarik dengan menggunakan Alat uji tarik yang ada di Laboratorium Ilmu Logam Fakultas Teknik USD.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut: kekuatan tarik serat penguat lebih tinggi dari matriknya yaitu sebesar 111.3 kg/mm^2 dan perlakuan *curing* pada komposit juga berpengaruh pada kekuatan tariknya, dimana untuk komposit dengan orientasi serat 45° ini kekuatan tarik rata-rata komposit tertinggi ada pada komposit dengan suhu curing 90°C selama 60 menit sebesar 7.57 kg/mm^2 .

ABSTRACT

This research discuss the influence of curing temperature and curing time to tensile strength of composite materials with fiber orientation 45 °. The composition of composite here consist of: Arindo 3210 as matrix, woven roving fiber glass as reinforced agent and mepoxe as catalyst. The objective of this research to find out the tensile strength of matrix, fiber glass and composites to curing temperatures and curing times.

First step; made the matrix with dimension: 40cm x 20cm x 0.3 cm and then it's performed into tensile test specimen according to the testing standard ASTM D638.

Second step; tested the fiber glass.

Third step; made the composite with dimension: 70cm x 40cm x 0.3 cm and then it's cut with 45° orientation. Then it's performed into specimen according to the testing standard ASTM A 370. These composites have been cured with time and temperature's variation before tested. These curing temperatures are 55°C, 65°C, 75°C, 90°C, 105°C and 120°C with time 30 minutes and 60 minutes for each curing's temperatures.

The results are: The tensile strength of fiber glass is higher then matrix's. The fiber glass's tensile strength is 111.3 kg/mm^2 . And the curing threatment has an effect on tensile strength of composite materials. The highest tensile strength of these composites on the 90°C curing temperature with 60 minutes of curing time. It's 7.57 kg/mm^2 .

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan	iii
Halaman Pernyataan	v
Halaman Soal	vi
Halaman persembahan	vii
Kata Pengantar	viii
Intisari	x
Abstract	xi
Daftar Isi	xii
Daftar Gambar.....	xvi
Daftar Tabel	xix
Daftar Lampiran	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Pendekatan dan Pemecahan Masalah	5
1.5. Sistematika Pembahasan.....	6
BAB II DASAR TEORI	7
2.1. Pengertian Komposit.....	7

2.1.1. Bahan Polyester	8
2.1.2. Serat gelas	10
2.1.3. Orientasi Serat.....	15
2.1.4. Partikel	16
2.1.5. Flake.....	17
2.1.6. Bahan Tambahan.....	17
2.2. Curing.....	18
2.2.1. Proses Curing pada komposit.....	18
2.2.2. Curing dengan Ovens	18
2.2.3. Curing dengan Hot Oil	19
2.2.4. Curing dengan Lamps(lampu)	19
2.2.5. Curing dengan Steam	20
2.2.6. Curing dengan Autoclave	20
2.2.7. Curing dengan Microwave	20
2.2.8. Tujuan Curing.....	21
2.3. Proses Pembuatan Komposit	21
2.3.1. Proses Pembuatan Komposit Polimer Berpenguat Serat	21
2.3.2. Proses Hand Lay Up	22
2.3.3. Proses Spray Up	23
2.3.4. Proses Bag Molding	23
2.3.5. Proses Filament Winding.....	24

2.3.6. Proses Pultrusion.....	25
2.3.7. Proses Pulforming.....	26
2.3.8. Proses Sheet Molding Compounds	27
2.3.9. Proses Thick Molding Compounds.....	28
2.4. Modus Kegagalan Bahan Komposit	28
2.4.1. Modulus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal.....	28
2.4.2. Modulus Kegagalan Akibat Beban Tarik Trasversal.....	30
2.4.3. Modulus Kegagalan Internal Mikroskopik	31
BAB III PENELITIAN	33
3.1. Skema Penelitian.....	33
3.2. Perhitungan	34
3.3. Persiapan Benda Uji.....	35
3.4. Pembuatan Benda Uji	39
3.4.1. Benda uji matriks pengikat	39
3.4.2. Benda uji Komposit	41
3.5. Standard Benda Uji	43
3.5.1. Benda Uji Matrik	43
3.5.2. Benda Uji Komposit	44
3.5.3. Benda Uji Serat.....	45
3.6. Pemotongan Benda Uji	46
3.7 Curing	46

3.8 Pengujian Tarik.....	47
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1. Hasil Pengujian Tarik Matriks.....	48
4.2. Hasil Pengujian Tarik Serat.....	51
4.3. Hasil Pengujian Tarik Komposit.....	54
4.4. Pembahasan Hasil Penelitian.....	60
 BAB V PENUTUP.....	73
 DAFTAR PUSTAKA	74
 LAMPIRAN.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Klasifikasi Bahan Komposit	8
Gambar 2.2. Grafik kekuatan tarik komposit dan komponen penyusunnya	10
Gambar 2.3. Serat Kontinyu	12
Gambar 2.4. Serat Anyaman	12
Gambar 2.5. Serat Acak	13
Gambar 2.6. Proses Hand Lay Up.....	22
Gambar 2.7. Proses Spray Up	23
Gambar 2.8. Proses Bag Molding	24
Gambar 2.9. Proses Wet Winding	25
Gambar 2.10. Proses Filament Winding	25
Gambar 2.11. Proses Pultrusion	26
Gambar 2.12. Proses Pulforming	27
Gambar 2.13. Proses Sheet Molding Compounds	27
Gambar 2.14. Modus Kerusakan pada Komposit akibat beban longitudinal	29
Gambar 2.15. Kerusakan pada komposit akibat beban transversal	31
Gambar 3.1. Skema Jalan Penelitian	33
Gambar 3.2. Dimensi Cetakan Matrik	39
Gambar 3.3. Dimensi Cetakan Komposit	41
Gambar 3.4. Dimensi Benda Uji Matrik	43
Gambar 3.5. Foto Benda Uji Matrik	43
Gambar 3.6. Dimensi Benda Uji Komposit	44
Gambar 3.7. Foto Benda Uji Komposit	44
Gambar 3.8. Dimensi Benda Uji Serat	45
Gambar 3.9. Foto Benda Uji Serat.....	45
Gambar 3.10. Arah Pemotongan Benda Uji Komposit.....	46
Gambar 4.1. Keterangan Tabel 4.1	49

Gambar 4.2. Grafik Kekuatan Tarik pada masing-masing matrik	50
Gambar 4.3. Grafik Regangan pada masing-masing matrik	50
Gambar 4.4. Foto Bentuk patahan matrik pengikat	51
Gambar 4.5. Grafik Kekuatan Tarik pada masing-masing Serat	53
Gambar 4.6. Grafik Regangan pada masing-masing Serat	54
Gambar 4.7. Keterangan Tabel 4.4 dan 4.5	54
Gambar 4.8. Grafik Kekuatan Tarik vs Suhu Curing	59
Gambar 4.9. Grafik Regangan vs Suhu Curing	60
Gambar 4.10. Foto Penampang Serat dari arah depan	62
Gambar 4.11. Foto Penampang Serat dari arah samping	63
Gambar 4.12. Foto Penampang Serat dari arah samping	63
Gambar 4.13. Penampang Melintang Serat	64
Gambar 4.14. Void pada Matrik	64
Gambar 4.15. Kerusakan Serat pada Komposit	65
Gambar 4.16. Retak Mikro pada Komposit	65
Gambar 4.17. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit dengan Curing 30°C	66
Gambar 4.18. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Curing 55°C/30 menit	66
Gambar 4.19. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Curing 65°C/30 menit	67
Gambar 4.20. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Curing 75°C/30 menit	67
Gambar 4.21. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Curing 90°C/30 menit	68
Gambar 4.22. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Curing 105°C/30menit	68
Gambar 4.23 Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Curing 120°C/30menit	69
Gambar 4.24. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Curing 55°C/60 menit	69
Gambar 4.25. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Curing 65°C/60 menit	69
Gambar 4.26 Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Curing 75°C/60 menit	70
Gambar 4.27. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Curing 90°C/60 menit	70
Gambar 4.28. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Curing 105°C/60 menit ...	70
Gambar 4.29. Foto Makro Bentuk Patahan Komposit Curing 120°C/60 menit ...	71

Gambar L.1. Sudut Orientasi Serat	77
Gambar L.2. Grafik Kekuatan Tarik vs Sudut Orientasi	78
Gambar L.3. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Matrik	79
Gambar L.4. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Serat	80
Gambar L.5. Grafik Beban vs ΔL Komposit Curing 30°C	80
Gambar L.6. Grafik Beban vs ΔL Komposit Curing 55°C/30 menit	81
Gambar L.7. Grafik Beban vs ΔL Komposit Curing 65°C/30 menit	81
Gambar L.8. Grafik Beban vs ΔL Komposit Curing 75°C/30 menit	82
Gambar L.9. Grafik Beban vs ΔL Komposit Curing 90°C/30 menit	82
Gambar L.10. Grafik Beban vs ΔL Komposit Curing 105°C/30 menit	83
Gambar L.11. Grafik Beban vs ΔL Komposit Curing 120°C/30 menit	83
Gambar L.12. Grafik Beban vs ΔL Komposit Curing 55°C/60 menit	84
Gambar L.13. Grafik Beban vs ΔL Komposit Curing 65°C/60 menit	84
Gambar L.14. Grafik Beban vs ΔL Komposit Curing 75°C/60 menit	85
Gambar L.15. Grafik Beban vs ΔL Komposit Curing 90°C/60 menit	85
Gambar L.16. Grafik Beban vs ΔL Komposit Curing 105°C/60 menit	86
Gambar L.17. Grafik Beban vs ΔL Komposit Curing 120°C/60 menit	86
Gambar L.18. Foto Mikro Kawat Tembaga	87
Gambar L.19. Foto Mikro Serat E-Glass	87
Gambar L.20. Jumlah Serat 1	88
Gambar L.21. Jumlah Serat 2	88
Gambar L.22. Jumlah Serat 3	89
Gambar L.23. Jumlah Serat 4	89
Gambar L.24. Mesin Uji Tarik	90
Gambar L.25. Bahan Pembuat Komposit	90

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat Resin Polimer	9
Tabel 2.2. Sifat-sifat Bahan Fiber	15
Tabel 4.1. Ukuran lebar dan tebal matrik	49
Tabel 4.2. Sifat-sifat mekanis matrik pengikat	49
Tabel 4.3. Sifat-sifat mekanis serat penguat	53
Tabel 4.4. Ukuran lebar dan tebal komposit dengan lama curing 30 menit	55
Tabel 4.5. Ukuran lebar dan tebal komposit dengan lama curing 60 menit	56
Tabel 4.6. Sifat-sifat mekanis komposit dengan lama curing 30 menit.....	57
Tabel 4.7. Sifat-sifat mekanis komposit dengan lama curing 60 menit.....	58
Tabel 4.8. Harga rata-rata kekuatan tarik dan regangan komposit	59

Daftar Lampiran

Perhitungan Kekuatan Tarik Teoritis	76
Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Matrik	79
Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Serat	80
Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit	80
Foto Mikro Kawat Tembaga	87
Foto Mikro Serat E-Glass	87
Jumlah Serat	88
Gambar Mesin Uji Tarik	90
Foto Bahan Pembuat Komposit	90
Konversi Satuan MPa ke kg/mm^2	91
Standard Benda Uji ASTM D 638	92
Standard Benda Uji ASTM A 370	93

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bahan-bahan yang umum kita kenal adalah logam, keramik dan polimer. Disamping bahan tersebut masih ada bahan lain yaitu komposit. Komposit diartikan sebagai penggabungan dua bahan atau lebih yang mempunyai fase yang berbeda. Sifat-sifat yang bisa diperoleh dari komposit adalah :

- a. Komposit dapat dirancang dengan kekuatan dan kekakuan yang tinggi, dapat memberikan kekuatan dan kekakuan spesifik yang lebih baik dibandingkan baja atau aluminium.
- b. Sifat-sifat *fatiguenya* umumnya lebih baik dari logam biasa dan harga *toughnessnya* dapat lebih baik.
- c. Komposit dapat dirancang terhindar dari korosi.
- d. Dengan bahan komposit dimungkinkan untuk mendapatkan sifat-sifat yang lebih baik dari logam, keramik atau polimer.
- e. Bahan komposit dapat memberikan penampilan atau kehalusan permukaan yang lebih baik.

Seperti disebutkan di muka bahwa komposit merupakan penggabungan dari bahan-bahan dengan fase yang berbeda. Istilah fase dalam hal ini memberi pengertian bahwa bahan tersebut adalah homogen.

Bahan komposit dapat dibedakan atas :

1. Komposit Tradisional : kayu, beton(campuran semen + pasir + agregat), aspal dan agregat.
2. Komposit Sintetis : bahan komposit ini diproduksi dengan industri manufaktur, dimana komponen-komponennya dibuat secara terpisah dan digabungkan dengan teknik tertentu agar diperoleh struktur, sifat dan geometri yang diinginkan.

Penggabungan antara serat dan matrik menghasilkan bahan baru yang disebut komposit serat . Dalam gabungan ini serat berfungsi sebagai penguat (reinforced agent) dan matrik berfungsi sebagai pengikat. Penguat biasanya berupa : *fiber*(serat), partikel dan *flake* sedangkan matriknya dapat berupa : logam, keramik dan polimer. Untuk komposit yang matriknya berupa logam disebut *Metal Matrix Composite* (MMC) yang biasanya berisi campuran logam dan keramik seperti karbida wolfram. Komposit dengan matrik keramik disebut *Ceramic Matrix Composite* (CMC) yang biasanya berpenguat karbida silikon, oksida aluminium dan serat dapat juga digunakan sebagai penguat untuk meningkatkan sifat-sifatnya. Komposit dengan matrik berupa polimer disebut *Polymer Matrix Composite* (PMC), komposit ini matriknya dapat berupa resin *thermosetting epoxy* dan *polyester* dengan penguat berupa serat

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

Karena komposit memiliki sifat-sifat dan karakter yang khusus maka bahan ini banyak digunakan dan terus dikembangkan ¹.

¹ Diktat Kuliah Komposit, Dr.Ir. Viktor Malau, DEA

1.2 Permasalahan

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

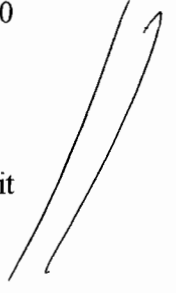
Agar mendapatkan sifat-sifat dan karakteristik yang baik dari komposit, maka perlu memperhatikan faktor-faktor :

- a. Bagaimana memahami manfaat komposit dan pembuatan komposit secara efisien .
- b. Bagaimana mengatur komposisi bahan komposit agar memiliki kekuatan tarik maksimum. Dengan Resin 54.5%, Serat 45% dan katalis 0.5% dari volume cetakan dan dengan orientasi 45° .
- c. Bagaimana faktor kerusakan pada komposit .

Selain memahami manfaat dan pembuatan komposit perlu juga diketahui sifat-sifat dari komposit dan bahan-bahan penyusunnya .

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan mempunyai tujuan sebagai berikut :

- a. Mengetahui sifat mekanis dari serat E-Glass dan matrik Arindo 3210 berdasarkan kekuatan tariknya.
 - b. Mengetahui pengaruh suhu curing terhadap sifat mekanis komposit berdasarkan kekuatan tariknya.
- 

1.4. Pendekatan dan Pemecahan Masalah

Komposit yang akan diteliti adalah komposit serat anyaman dari bahan serat gelas E , matrik pengikat berupa resin Arindo 3210 dan katalisnya Mepoxe (Methyl ethyl ketone peroxide).

Variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah variasi suhu dan lama curing. Sifat mekanik yang diteliti berupa kekuatan tariknya saja sedang sifat fisisnya berupa foto mikro kerusakan yang terjadi pada komposit.

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

Dalam penelitian komposit serat gelas ini akan dilakukan berbagai pengujian seperti dibawah ini :

a. Pengujian tarik matriks pengikat.

Untuk mengetahui kekuatan tarik matriks pengikat, maka pengujian mengikuti standar uji ASTM D 638.

b. Pengujian tarik komposit.

Untuk mengetahui kekuatan tarik komposit pada setiap variasi suhu *curing*. Pengujian mengikuti standar uji ASTM A 370.

1.5. Sistematika Pembahasan

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

BAB II

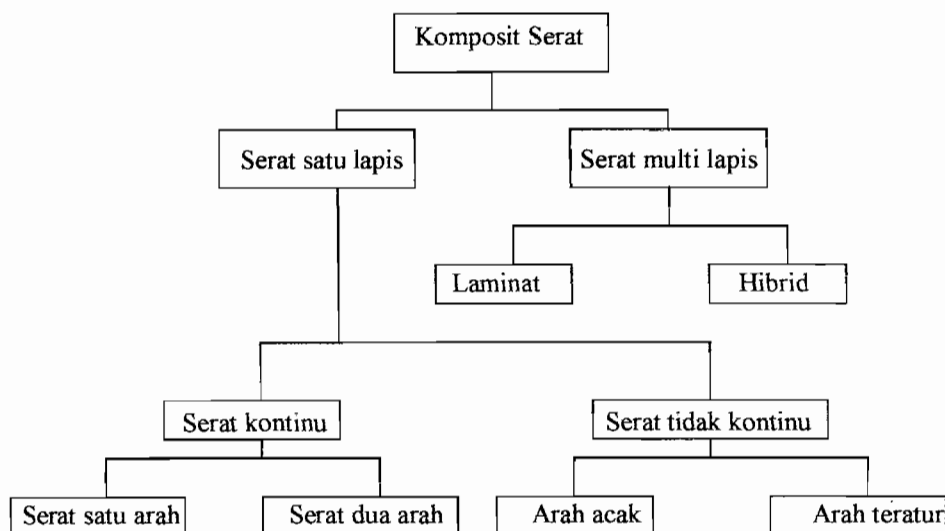
DASAR TEORI

2.1 Pengertian Komposit

Komposit dalam pengertian bahan berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis . Pada bahan komposit sifat-sifat unsur pembentuknya masih terlihat dengan jelas sedang pada paduan atau *alloy* tidak jelas karena penggabungannya dilakukan secara mikroskopis. Pada umumnya bahan komposit terdiri dari dua unsur yaitu serat sebagai penguat dan bahan pengikat serat yang biasa disebut matrik. Serat sangat menentukan karakter dari bahan komposit seperti: kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik yang lain karena serat dapat menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja pada bahan komposit. Bahan komposit dapat diklasifikasikan kedalam beberapa jenis tergantung pada geometri dan jenis seratnya . Serat merupakan bahan utama penyusun bahan komposit. Sifat-sifat mekanik bahan komposit seperti kekuatan, keliatan, kekakuan dan ketahanan itu semua tergantung dari geometri dan sifat-sifat seratnya .

Secara garis besar bahan komposit terdiri dari dua macam yaitu: bahan komposit partikel (*particulate composite*) dan bahan komposit serat (*fiber composite*). Bahan komposit partikel terdiri dari partikel-partikel yang diikat oleh matrik , bentuk partikelnya bermacam-macam seperti bulat, kubik, tetragonal dan acak. Sedang bahan

komposit serat terdiri dari serat yang diikat oleh matrik, dimana seratnya dapat berupa serat panjang (continuous fiber) dan serat pendek (short fiber atau whisker).²



Gambar 2.1 Diagram Klasifikasi Bahan Komposit³.

2.1.1 Bahan Polyester

Resin polyester ini merupakan resin dalam bentuk cair dengan viskositas yang relatif rendah. Resin ini dapat mengeras dalam suhu kamar dengan penggunaan katalis dan tidak menimbulkan gas sewaktu pengesetan seperti banyak resin termoset lainnya, sehingga tidak memerlukan tekanan dalam proses pencetakan. Sebagai katalis biasanya digunakan Methyl Ethyl Ketone Peroxide (Mepoxene). Berdasarkan karakter ini bahan resin ini dikembangkan secara luas sebagai plastik penguat serat

² Mekanika Struktur Komposit, halaman 1

³ Ibid, halaman 3

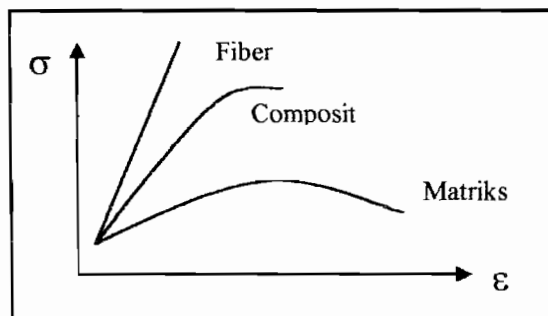
(FRP) dengan menggunakan serat gelas. Sifat dari resin jenis Polyester Thermosetting ini kaku dan rapuh. Bila resin jenis ini dimodifikasi dengan cara tertentu maka akan diperoleh sifat-sifat yang bervariasi. Mengenai kekuatannya resin ini dibahas bersama dengan komposit karena digunakan bersama-sama dengan serat gelas. Ketahanan panas jangka panjangnya 110-140 °C, ketahanan dinginnya baik secara relatif, sifat listriknya baik diantara resin termoset lainnya. Ketahanan kimianya umumnya kuat terhadap asam kecuali asam pengoksid, tetapi lemah dalam alkali. Kemampuan terhadap cuaca sangat baik, tahan terhadap kelembaban dan sinar U.V bila dibiarkan diluar. Secara luas resin jenis ini digunakan untuk bahan konstruksi sebagai bahan komposit terutama dengan serat gelas⁴.

Sifat	Polyester	Epoxy
Kekuatan Tarik (Mpa)	40-90	55-130
Modulus Elastisitas (Gpa)	2,0-4,4	2,8-4,2
Kekuatan Impact (J/m)	10,6-21,2	5,3
Kerapatan (g/cm ³)	1,10-1,46	1,2-1,3

Tabel 2.1 Sifat Resin Polimer

(Sumber : Smith, Principles Of Materials Science and Engineering)

⁴ Pengetahuan Bahan Teknik, halaman 256



Gambar 2.2. Grafik kekuatan tarik komposit & komponen penyusunnya.⁵

2.1.2 Serat Gelas

Serat gelas merupakan bahan yang paling banyak digunakan pada komposit polimer. Serat gelas merupakan serat yang paling murah dibanding serat yang lainnya. Aramid dan carbon memiliki kekuatan tinggi dan kerapatan rendah (terutama digunakan pada Aerospace), tetapi bahan ini sangat mahal. Ada dua serat yang paling umum digunakan yaitu serat gelas E (electric) dan serat gelas S (high strength), serat gelas E biasanya digunakan sebagai serat kontinyu .

a. Serat gelas E terdiri dari :

- SiO_2 (52-56 %)
- Al_2O_3 (12-16 %)
- CaO (16-25 %)
- B_2O_3 (8-13 %)

⁵ Murphy J , halaman 182

Serat gelas E mempunyai kekuatan tarik sekitar 3,44 Gpa dengan modulus elastis 72,3 Gpa.

b. Serat gelas S terdiri dari:

- SiO_2 (65 %)
- Al_2O_3 (25 %)
- MgO (10 %)

Serat gelas S mempunyai kekuatan spesifik yang lebih tinggi dari serat gelas E dan serat ini terutama digunakan untuk peralatan militer dan *aerospace*.

Serat ini mempunyai kekuatan tarik sekitar 4.48 GPa dengan modulus elastis 85.4 GPa. Disamping serat gelas E dan S masih ada serat gelas D. Serat gelas D banyak digunakan pada aplikasi elektronika karena mempunyai konstanta dielektrik yang rendah.⁶

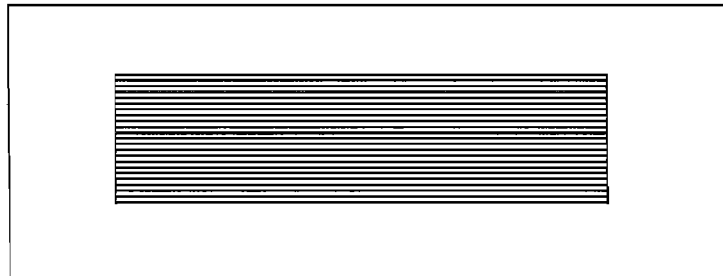
Macam-macam tipe (bentuk) serat :

1. *Continous*

Adalah gabungan dari serat-serat paralel menjadi satu untai dengan sedikit atau tanpa pengikat. Seratnya tersusun sejajar satu sama lainnya dan memanjang. *Fiber* jenis ini biasanya dipakai dalam proses *spray up*, *centrifugal casting*, *continous laminating process*. Jenis ini mempunyai sifat

⁶ Diktat Kuliah , Dr. Ir. Viktor Malau , DEA

mekanis yang baik. Arah serat kontinyu dapat dilihat pada gambar dibawah ini .

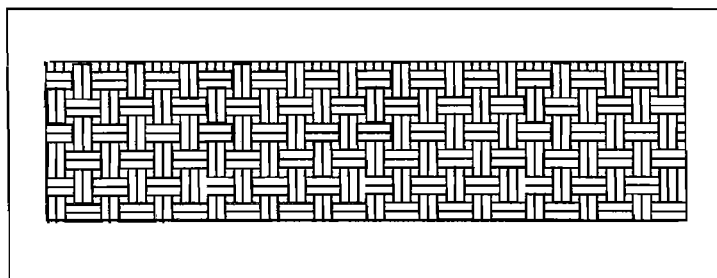


Gambar 2.3 Serat kontinyu

(Sumber James F.Shackerfod, Introduction to materials science for enginers, fourth edition)

2. *Woven Roving*

Adalah serat yang berbetuk lembaran anyaman dari beberapa serat *continous*. Terdapat berbagai macam-macam ukuran, tebal dan berat tergantung dari kebutuhan pemakai. Untuk produksi yang besar, *woven roving* mempunyai kekuatan tarik yang tinggi. Biasanya digunakan dalam proses *hand lay-up* untuk pembuatan tangki dari kapal, bodi mobil. Serat anyaman ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

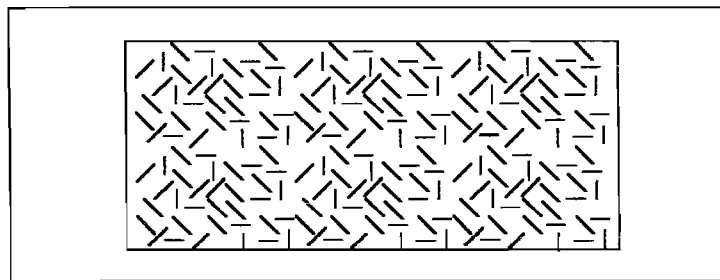


Gambar 2.4 Serat anyaman (woven roving)

(Sumber James F.Shackerfod, Introduction to materials science for enginers, fourth edition)

3. Chopped Strand Mat

Adalah penguat yang digabung secara acak dengan pengikat atau *binder* tertentu. Biasa dipakai untuk pembuatan produk dengan kekuatan sedang, untuk proses *centrifugal casting* dan proses *hand lay-up*. Bentuk serat ini dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.5 serat acak

(Sumber James F.Shackerfod, Introduction to materials science for enginers, fourth edition)

a. *Fiber Karbon*

Serat karbon terbuat dari *polycarylonitrile* (PAN) dan *pitch*. Serat ini mempunyai diameter serat 7-10 μm , kerapatan 2,1 g/cm³, kekuatan tarik 3,10 - 4,45 Gpa dengan modulus elastis 193 – 241 Gpa. Bersifat ringan tetapi kekuatan dan kekakuanya tinggi. Banyak digunakan dibidang konstruksi dan pesawat terbang.

b. *Fiber Aramid*

Serat aramid adalah nama umum dari serat *aromatic polyamide*. Merk dagang dari serat ini adalah *kevlar*. Pertama kali diperdagangkan oleh Du Pont pada tahun 1972. Pada saat ini dikenal dua jenis *kevlar*, yaitu *kevlar 29* dan *kevlar 49*. Serat *kevlar* (terutama *kevlar 49*) mempunyai beberapa keunggulan,

antara lain : berbobot ringan, kekuatan dan kekakuan tinggi dan tahan fatik.

Kevlar banyak digunakan pada industri *aerospace*, militer dan otomotif.

c. *Fiber Boron*

Serat boron terbuat dari *silica* berlapis *graphite* atau filamen karbon. Serat ini mempunyai modulus elastis yang sangat tinggi, mahal harganya dan membutuhkan peralatan untuk menempatkan serat kedalam matrik dengan ketepatan (presisi) yang tinggi. Penggunaanya dibatasi pada komponen peralatan industri *aerospace*.

d. *Fiber Keramik*

Serat keramik dapat terbuat dari bahan yang berdasar *oxide*, *carbide* dan *nitride*. Serat ini diproduksi dalam bentuk kontinyu atau tidak kontinyu. Perkembangan dari serat ini dimulai karena kebutuhan akan bahan komposit yang dapat digunakan pada suhu tinggi, terutama untuk kebutuhan pesawat luar angkasa. Karbida silikon (SiC) dan oksida alumunium (Al_2O_3) merupakan fiber utama yang sering dijumpai pada keramik, kedua bahan ini mempunyai modulus elastis yang tinggi dan dapat digunakan untuk menguatkan logam-logam dengan kerapatan dan modulus elastis rendah seperti aluminium dan magnesium.

e. *Fiber Logam*

Filamen baja (kontinyu maupun tidak kontinyu) sering digunakan sebagai *fiber* dalam matrik plastik.

Fiber	Diameter (mm)	Tegangan Tarik (Mpa)	Modulus Elastisitas (Gpa)
Glass			
E-Glass	0,01	3450	73
S-Glass	0,01	4480	86
Karbon	0,01	2750	240
Boron	0,14	3100	393
Kevlar 49	0,013	3450	130
Keramik			
Al ₂ O ₃	0,02	1900	380
SiC	0,13	3275	400
Logam			
Baja	0,13	1000	206
Wolfram	0,013	4000	407

Tabel 2.2 Sifat-sifat Bahan Fiber

(Sumber Dr.Ir.Viktor Malau, DEA Diktat Mata Kuliah Komposit)

2.1.3 Orientasi Serat

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

1. *Unidirectional* : Serat disusun secara paralel satu sama lain. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada bahan yang sejajar dengan arah serat sedangkan kekuatan terendah pada bahan yang tegak lurus serat.

2. *Bidirectional* : Serat disusun secara tegak lurus satu sama lain (*woven roving*). Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada arah 0° dan 90° , sedangkan kekuatan terendah pada arah 45° .
3. *Pseudoisotropic* : Serat disusun secara acak. Kekuatan tarik pada satu titik pengujian mempunyai nilai yang sama.

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

2.1.4 Partikel

Partikel banyak digunakan sebagai *phase reinforcing* pada logam dan keramik. Distribusi partikel dalam suatu komposit tersusun secara acak. Mekanisme penguatan oleh partikel ini tergantung dari ukuran partikel itu sendiri. Dalam skala mikroskopis, partikel yang digunakan berupa serbuk yang sangat halus (Kurang dari $1\ \mu\text{m}$) yang terdistribusi dalam matrik dengan konsentrasi maksimum 15 %. Serbuk ini akan menjadikan matrik mengeras dan menghambat gerakan dislokasi yang timbul. Dalam hal ini sebagian besar beban luar yang diberikan bekerja pada matrik.

Peningkatan ukuran partikel sampai ukuran makroskopis, penggunaan partikel dapat mencapai konsentrasi lebih besar dari 25 %. Dalam hal ini beban luar yang diberikan didukung bersama-sama oleh matrik dan partikelnya.

2.1.5 Flake

Flake pada umumnya berupa partikel dua dimensi. Contohnya adalah mika mineral dan tale ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), digunakan sebagai fase *reinforcing* pada plastik. Bahan ini relatif murah dan ukurannya bervariasi antara 0,001-1,0 mm panjang dan 0,001-0,005 mm tebal.

2.1.6 Bahan Tambahan

Bahan sebagai pemicu yang berfungsi untuk memulai dan mempersingkat proses pengeringan pada temperatur ruang adalah katalis. Kelebihan katalis akan menimbulkan panas saat bereaksi dengan resin dan hal ini bisa merusak produk yang dibuat jika pencampuran katalis ke dalam resin terlalu banyak atau tidak sesuai takaran. Katalis yang digunakan untuk mempercepat proses pengeringan berasal dari *organic peroxide* seperti *methyl ethyl ketone peroxide* (Mepoxe) dan *Acetyl acetone peroxide*. Katalis yang bereaksi dengan resin akan memberikan reaksi berupa panas. Panas yang terjadi pada bahan saat pembuatan komposit serat menggunakan serat jenis acak sekitar 80 °C. Pada proses pencampuran perbandingan komposisi yang

dipergunakan sebagai campuran untuk katalis menggunakan perbandingan 0,5 % dari volume total.

2.2 Curing

2.2.1 Proses Curing Pada Komposit⁷

Proses *curing* adalah proses pengeringan bahan-bahan penyusun komposit yang sedang dibuat. Kecepatan dari proses *curing* ini berbeda-beda tergantung dari katalis dan temperatur lingkungan sekitar tempat dicetaknya bahan komposit tersebut. Diharapkan pada proses *curing* tersebut dapat mengurangi rongga yang ada di dalam komposit dan merata pada seluruh bagian dari bahan komposit sehingga komposit yang dihasilkan berkualitas baik.

Terdapat beberapa macam proses *curing*, antara lain: dengan ovens, minyak panas, lampu, uap panas, autoclave, *microwave* dan beberapa proses *curing* yang lain.

2.2.2 Ovens

Oven dengan bahan bakar gas dan oven dengan listrik bersirkulasi udara adalah model yang umum digunakan. Model ini tergolong mahal dan dapat digunakan dalam skala besar. Beberapa tekanan ditambahkan dengan *shrink tape* atau sebuah kantong vakum. Energi yang digunakan lebih besar jika dibandingkan dengan metode *curing* yang lain. Hal ini disebabkan bahan yang dipanaskan adalah seluruh

⁷ Processing of Composite Material, halaman 48

yang ada di dalam oven (termasuk udara di dalam oven), seluruh alat yang digunakan termasuk *cashing* dan penyangga oven. Bahkan lantai juga ikut mendapatkan panas.

2.2.3 Hot Oil

Metode dengan minyak panas terutama digunakan pada proses *curing* resin yang sangat cepat, biasanya membutuhkan waktu kurang dari 15 menit. Digunakannya minyak panas untuk mendapatkan pemanasan yang sangat cepat pada lapisan dan mengurangi kebutuhan akan proses *curing* dengan metode oven. Suhu dengan metode ini berkisar 150-240° C.

2.2.4 Lamps (Lampu)

Panas lampu digunakan pada komposit yang mempunyai permukaan yang dapat memantulkan cahaya dan bahan yang berputar selama proses pembuatan komposit. Panas yang dicapai sekitar 171° C. Selain mudah digunakan (*portable*), penanganan yang tepat diperlukan untuk menghasilkan proses *curing* yang merata pada seluruh bagian komposit.

Metode lain dari proses ini adalah digunakannya lampu infra merah, meskipun metode ini jarang digunakan. Ada juga dengan lampu berpulsa *xenon* (*pulsed xenon lamp*). Untuk metode ini digunakan katalis yang peka cahaya.

2.2.5 Steam

Proses *curing* ini menggunakan uap panas sebagai media penyedia panas. Dalam proses ini digunakan beberapa saluran pipa untuk sirkulasi air dan uap. Pada ujung mandrel besi (alat penggulung serat) terdapat alat pengatur jalannya air dan uap. Setelah katup dibuka, uap panas mengalir dan disirkulasikan melalui mandrel berongga (hollow mandrel) untuk melakukan proses *curing*. Setelah proses *curing* telah selesai, air dingin dialirkan untuk mendinginkan mandrel.

2.2.6 Autoclave

Untuk mendapatkan bahan komposit yang akan digunakan untuk bahan pesawat luar angkasa, maka diperlukan proses *curing* dalam *autoclave* dengan bantuan ruang hampa udara (vakum). Meskipun tidak digunakan dalam produksi massal, proses ini mampu menghasilkan tekanan antara 1,4 sampai 2,1 MPa dan temperatur sekitar 371° C. Kelemahan dari proses *curing* ini adalah lamanya waktu *curing*, tidak dapat untuk produksi massal dan jarang digunakan.

2.2.7 Microwave

Penggunaan *microwave* dalam proses *curing* dapat memberikan keuntungan yang signifikan pada komposit dengan *fiber glass* ataupun *fiber aramid*. Energi dari *microwave* diserap dengan cepat baik itu oleh resin maupun *fiber*, sehingga proses dapat lebih efektif dari proses *curing* biasa yang memakan waktu sampai berjam-jam. Energi yang dibutuhkan dalam proses ini tergolong tinggi sehingga proses ini

memerlukan biaya yang tidak sedikit. Proses ini tidak dapat digunakan untuk bahan yang bersifat konduktif seperti serat karbon.

2.2.8 Tujuan Proses Curing

1. Memobilitas molekul matrik agar bereaksi secara sempurna.
2. Membuang unsur air dan bahan yang mudah menguap lainnya.
3. Memberi kesempatan resin untuk mengalir sehingga dicapai distribusi yang merata yang dapat meningkatkan kekuatan tarik kompositnya .
4. Mereaksikan kembali katalis yang tidak bereaksi dibawah suhu kritis.

2.3 Proses Pembuatan Komposit

2.3.1 Proses Pembuatan Komposit Polimer Berpenguat Serat

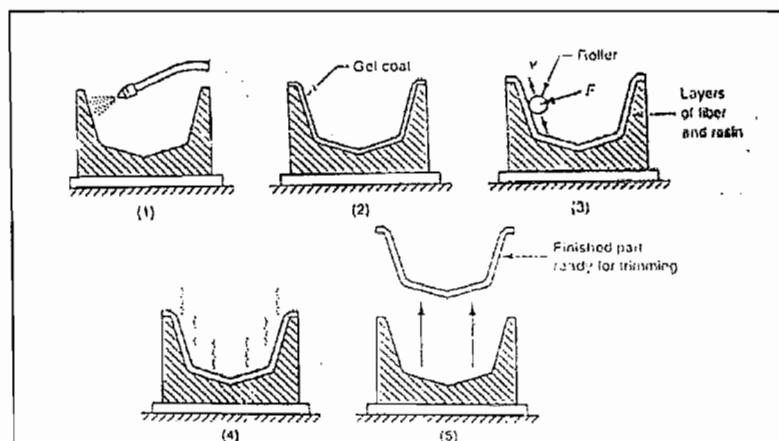
Proses pembuatan FRP dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu :

1. *Open Mold Process*
 - a. *Hand Lay-Up*
 - b. *Spay-Up*
 - c. *Bag Molding*
 - d. *Filament Winding*
2. *Closed Mold Process*
 - a. *Injection Molding*
 - b. *Molding Compound*
 - c. *Pultrusion*

2.3.2 Proses Hand Lay-Up

Proses ini adalah proses yang paling sederhana dan mudah dilakukan. Dalam penelitian ini proses pembuatan benda uji menggunakan proses *Hand Lay-Up*. Serat ataupun bahan penguat yang lain ditempatkan secara manual pada cetakan terbuka dan resin (matrik) dituangkan diatas serat. Rongga-rongga udara yang dihasilkan dari proses ini dihilangkan dengan cara ditekan-tekan, ditusuk-tusuk menggunakan roll.

Polyester dan *epoxy* dengan curing pada suhu kamar banyak digunakan dalam metode pencetakan ini. Secara garis besar proses ini terdiri dari penyiapan cetakan, pembersihan cetakan dari kotoran, pelapisan cetakan dengan *release agent*, penuangan serat yang telah dicampur dengan resin, pengerolan, pengeringan (*curing*) dan yang terakhir adalah mengeluarkan komposit dari cetakan.

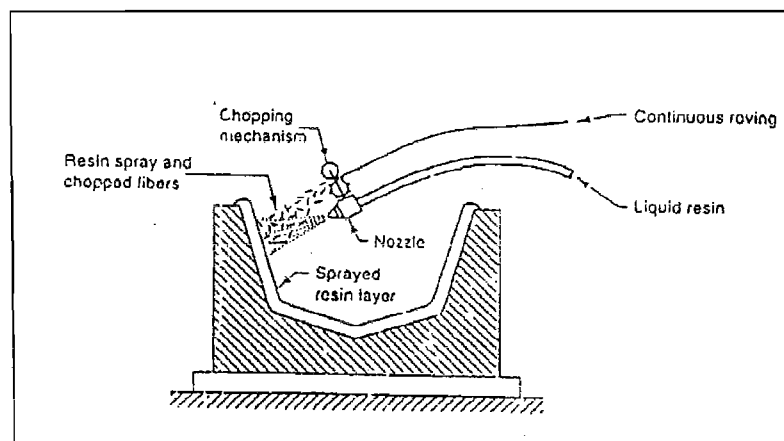


Gambar 2.6 Proses Hand Lay-Up

(Sumber : Dr.Ir. Viktor Malau DEA, Diktat Kuliah Komposit)

2.3.3 Proses Spray-Up

Proses ini hampir sama dengan proses *Hand Lay-Up*. Prosesnya meliputi penyiapan cetakan, pembersihan cetakan dari kotoran, pelapisan cetakan dengan *release agent*, penyemprotan resin cair bersamaan dengan serat yang telah dipotong-potong (*chopped*), pengerolan, pengeringan (*curing*) dan yang terakhir adalah mengeluarkan komposit dari cetakan.



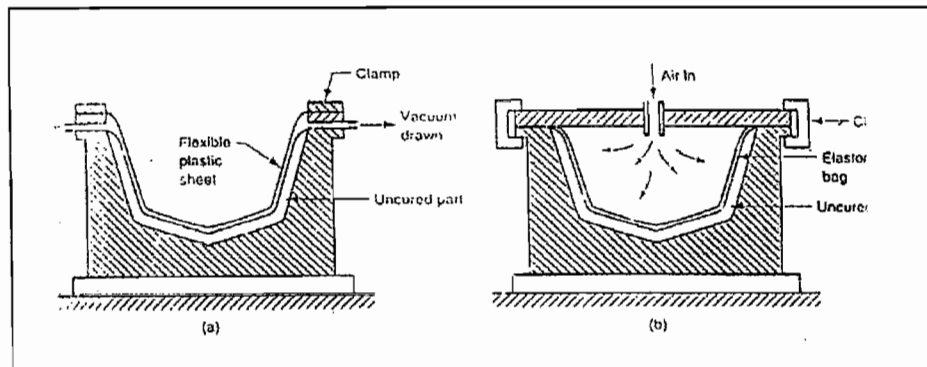
Gambar 2.7 Proses Spray-Up

(Sumber :Dr.Ir Viktor Malau DEA, Diktat Kuliah Komposit)

2.3.4 Proses Bag Molding

Proses ini dibagi menjadi dua yaitu : *Vacuum Bag Molding* dan *Pressure Bag Molding*. Pada proses *vacuum bag molding* meliputi penyiapan cetakan, pembersihan cetakan, penuangan resin yang telah dicampur dengan serat, penutupan bagian atas cetakan dengan film plastik yang fleksibel, pengeluaran udara dari bawah film, pengeringan dan pengeluaran komposit dari cetakan.

Pada proses *preassure bag molding* meliputi penyiapan cetakan, pembersihan cetakan, pelapisan cetakan dengan release agent, penuangan resin yang telah dicampur dengan serat, penutupan bagian atas cetakan dengan film fleksibel dan alat semacam kantung udara, peiupan kantung udara, pengeringan dan pengangkatan komposit dari cetakan.

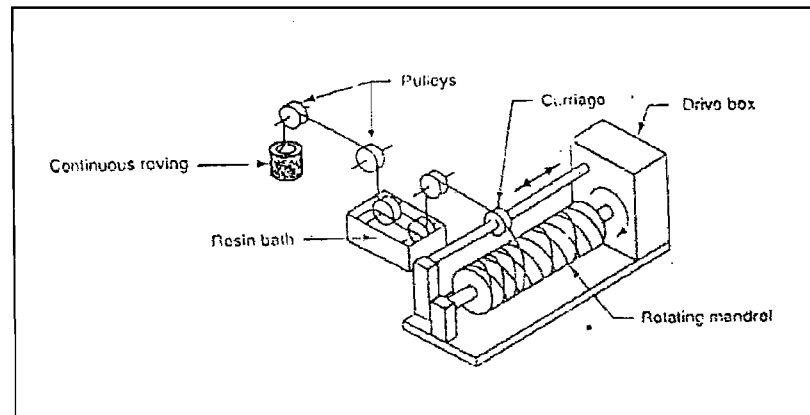


Gambar 2.8 Proses Bag Molding (a) Vacuum Bag-Molding, (b) Pressure Bag-Molding
(Sumber Dr.Ir. Viktor Malau DEA, Diktat Kuliah Komposit)

2.3.5 Proses Filament Winding

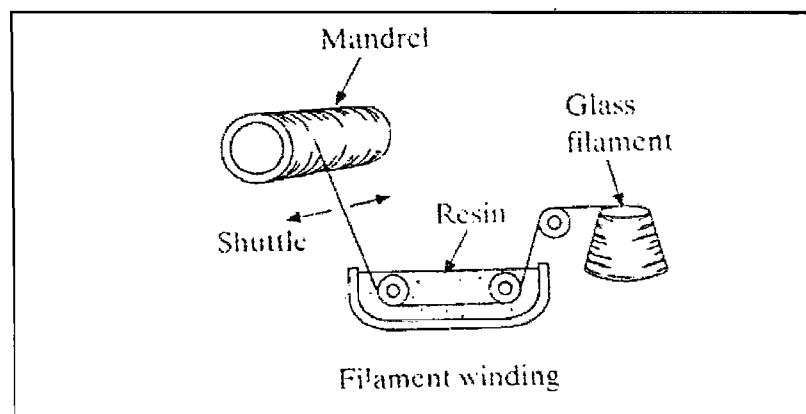
Proses ini dapat berupa :

- Wet Winding* : Serat yang telah dibasahi dengan resin digulung pada mandrel berputar.
- Prepeg Winding (Dry Winding)* : Serat yang dilapisi resin kering digulung pada mandrel panas.
- Postimpregnation* : Pertama-tama serat digulung pada mandrel, selanjutnya gulungan serat tersebut diolesi dengan resin.



Gambar 2.9 Proses Wet Winding

(Sumber : Dr.Ir. Viktor Malau DEA, Diktat Kuliah Komposit)



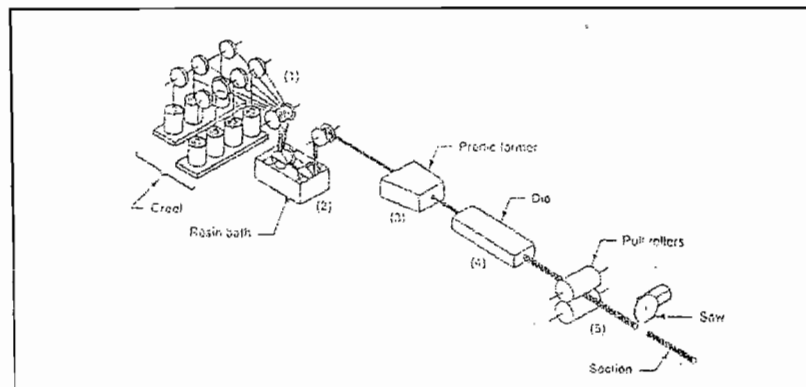
Gambar 2.10 Proses Filament Winding

(Sumber : Budinski, Engeneering Materials, Properties and Selection)

2.3.6 Proses Pultrusion

Proses ini meliputi pengumpanan serat, pencelupan serat pada *resin* (*resin bath*), proses pembentukan awal, proses pembentukan akhir dan pengeringan, penarikan, yang terakhir adalah pemotongan. Pada proses ini menggunakan *resin*

thermosetting seperti : *unsaturated polyester*, *epoxy* atau *silicon*. *E-Glass* adalah serat yang paling banyak digunakan dalam proses ini. Modulus elastis dan kekuatan tarik akan meningkat apabila fraksi serat naik. Hasil dari proses *pultrusion* banyak ditemukan dalam bentuk : batang silinder pejal, pipa plat, handle pada *high-voltage element*.

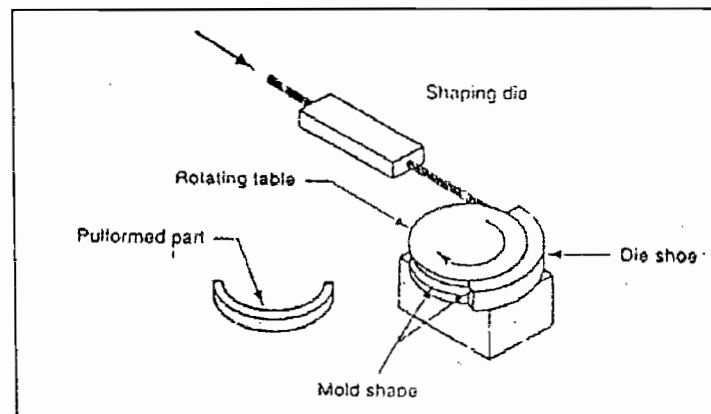


Gambar 2.11 Proses Pultrusion

(Sumber : Dr.Ir. Viktor Malau DEA, Diktat Kuliah Komposit)

2.3.7 Proses Pulforming

Proses ini hampir sama dengan proses *pultrusion*. Proses ini dapat diartikan sebagai proses *pultrusion* yang dilengkapi dengan kontur tertentu (misal : *semicircular*) untuk membentuk komposit sesuai dengan keinginan. Dengan tambahan kontur ini maka proses finishing dari komposit hasil proses *pulforming* dapat menjadi lebih mudah.

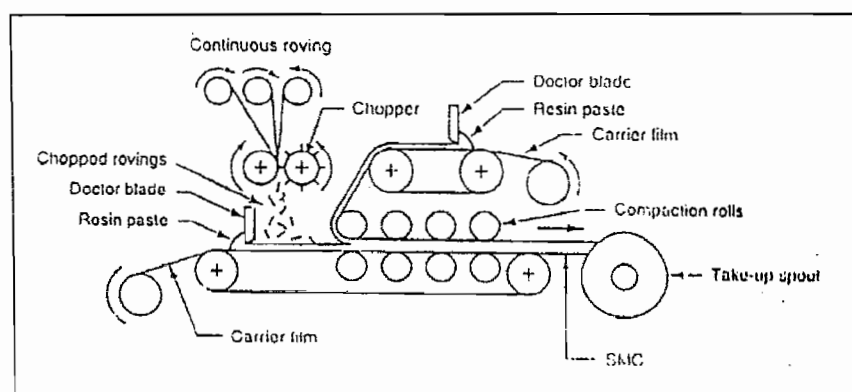


Gambar 2.12 Proses Pulforming

(Sumber : Dr.Ir. Viktor Malau DEA, Diktat Kuliah Komposit)

2.3.8 Proses Sheet Molding Compounds

Proses ini meliputi pemasangan dua buah film pada cetakan, penuangan resin pada film bersamaan dengan serat yang telah dipotong-potong, pengerolan film yang telah terisi serat dan resin dan yang terakhir adalah penggulangan komposit. Proses ini ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Proses Sheet Molding Compound (SMC)

(Sumber: Dr.Ir. Viktor Malau DEA, Diktat Kuliah Komposit)

2.3.9 Proses Thick Molding Compounds

Proses ini mirip dengan *Sheet Moulding Compounds*, hanya saja komposit yang dihasilkan relatif lebih tebal (dapat mencapai 50 mm tebal).

2.4 Modus Kegagalan Bahan Komposit

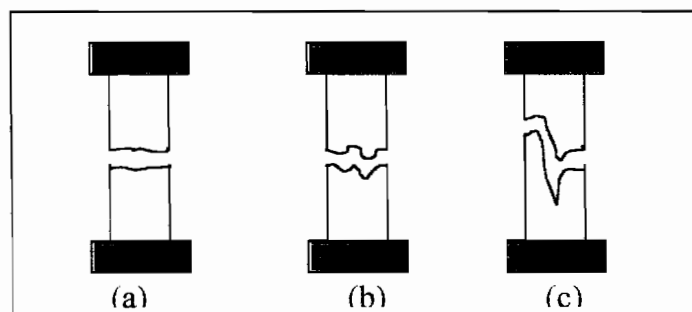
Ada tiga macam pembebanan yang menyebabkan suatu bahan komposit rusak, yaitu pembebanan tarik tekan baik dalam arah longitudinal maupun transversal, serta geser.

2.4.1. Modus Kegagalan Akibat Beban Tarik Longitudinal

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

Apabila serat yang patah semakin banyak, maka ada tiga kemungkinan :⁸

- a. Bila matriks mampu menahan gaya geser dan meneruskan keserat sekitar, maka serat yang patah akan semakin banyak sehingga timbul retakan. Bahan komposit akan patah getas (*brittle failur*) seperti nampak pada Gambar 2.14a.
- b. Bila matriks tidak mampu menahan konsentrasi tegangan geser yang timbul diujung, serat dapat terlepas dari matriks (*debonding*) dan komposit rusak searah serat seperti nampak pada Gambar 2.14b
- c. Kombinasi dari kedua tipe diatas pada kasus ini patah serat yang terjadi disembarang tempat dibarengi dengan kerusakan matriks. Modus kerusakan berwujud seperti sikat (*brush type*) seperti terlihat pada Gambar 2.14c



Gambar 2.14. Modus kerusakan pada bahan komposit akibat beban tarik longitudinal.

⁸ Mekanika Struktur Komposit, halaman 136

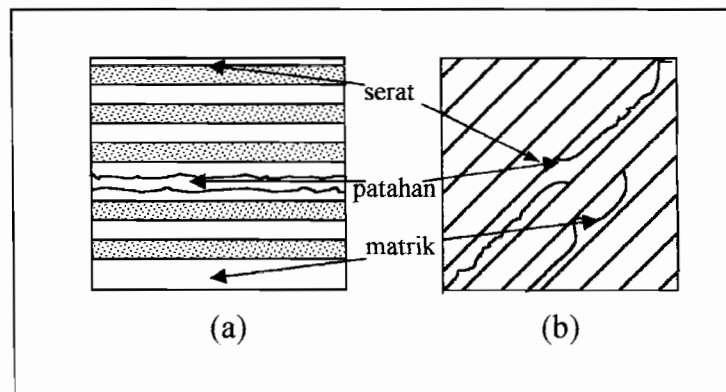
Modus kegagalan diatas dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti kekuatan serat dan matriks, maupun fraksi volume serat dan matriks. Bila fraksi volume serat pada bahan komposit mengecil, modus patahan yang terjadi kebanyakan bertipe getas. Suatu percobaan dengan bahan komposit serat gelas (*fiber glass*) 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 karena⁹:

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

⁹ Mekanika Struktur Komposit, halaman 140



Gambar 215. Kegagalan pada komposit akibat beban tarik transversal.

2.2.3. Modus Kegagalan Internal Mikroskopik

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

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

- a. Patah pada serat (*fiber breaking*)
- b. Retak mikro pada matrik (*matrik micro crack*)

- c. Terkelupasnya serat dari matrik (*debonding*)
- d. Terpisahnya lamina satu samalain (*delamination*)

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

Karena rumitnya masalah tersebut pada kebanyakan kasus struktur, bahan komposit dikatakan gagal bila bahan tersebut telah rusak total ketika mendapat beban tertentu atau kurva tegangan-regangan yang ditunjukkan tidak lagi linier. Dan ini berlaku baik untuk lapisan tunggal (lamina) maupun laminat¹⁰.

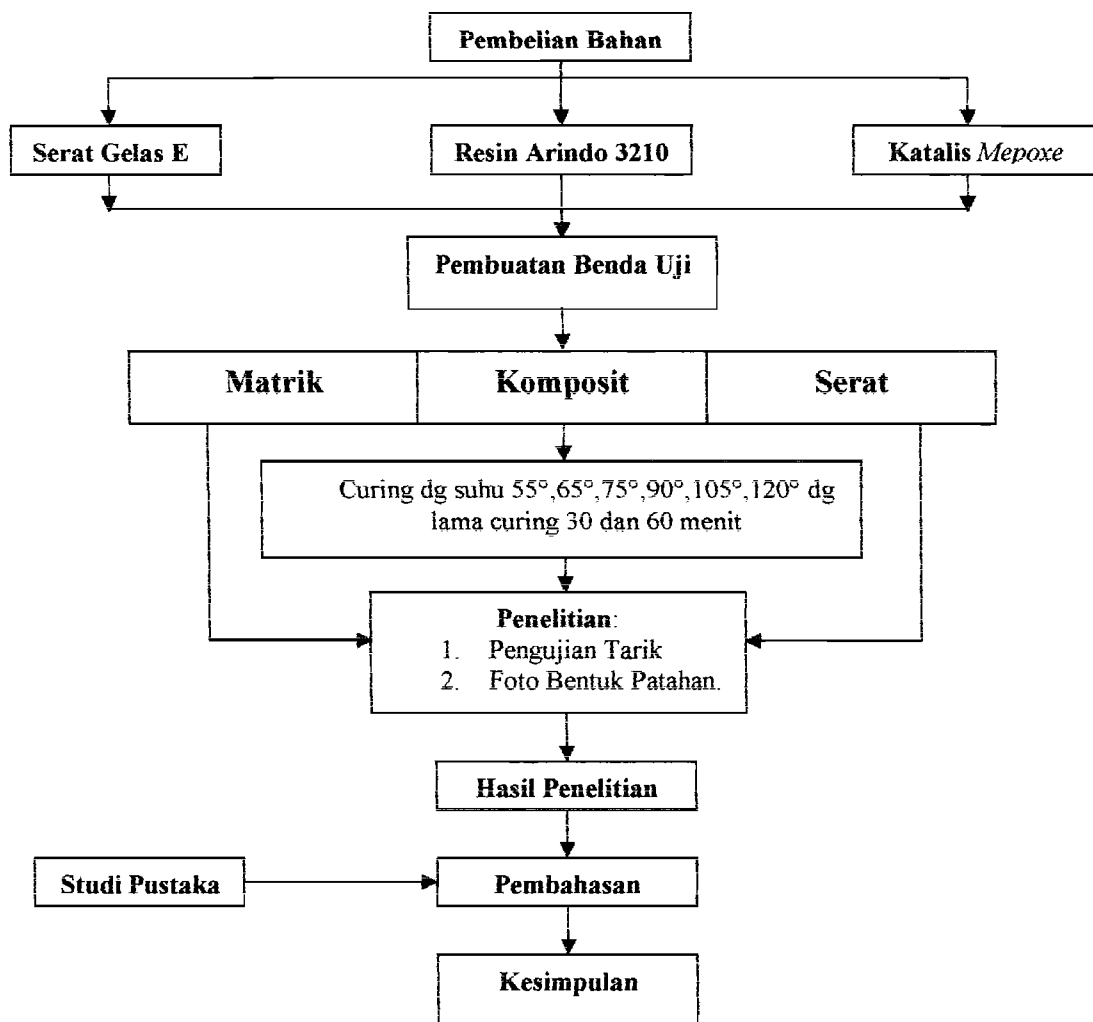
¹⁰ Mekanika Struktur Komposit, halaman 133

BAB III

PENELITIAN

3.1. Skema Penelitian

Di bawah ini adalah skema jalannya penelitian yang penyusun lakukan agar penelitian dapat dilakukan secara berurutan .



Gambar 3.1 Skema Jalan Penelitian

3.2 Perhitungan

a. Volume Cetakan Komposit

$$\text{Volume cetakan} : 70 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 0.3 \text{ cm} = 840 \text{ cm}^3$$

Dengan komposisi :

- Resin = 54.5 %
- Serat = 45 %
- Katalis = 0.5 %

b. Volume Resin

$$\text{Volume Resin} = 54.5\% \times 840 \text{ cm}^3 = 457.8 \text{ cm}^3$$

c. Volume Serat

$$\text{Volume Serat (Vf)} = 45\% \times 840 \text{ cm}^3 = 378 \text{ cm}^3$$

Berat jenis serat (pf)

$$(\text{pf}) = 2.54 \text{ g/cm}^3 \text{ (Sumber: Mekanika Struktur Komposit, halaman 6).}$$

Berat serat (Gf)

$$\text{Gf} = \text{Vf} \times \text{pf} = 378 \text{ cm}^3 \times 2.54 \text{ g/cm}^3 = 960.12 \text{ gram.}$$

d. Volume Katalis

$$\text{Volume katalis} = 0.5\% \times 840 \text{ cm}^3 = 4.2 \text{ cm}^3$$

3.3 Persiapan Benda Uji

Untuk membuat komposit diperlukan alat-alat sebagai berikut :

- a. Bahan cetakan .
- b. Alat ukur (gelas ukur 1000cc dan 5cc), penggaris dan jangka sorong .
- c. Tempat untuk mengaduk dan mencampur resin (mangkok plastik, kayu).
- d. Alat bantu dalam pencetakan (kuas dan sekrap).
- e. Alat potong (gergaji, pisau , gunting).
- f. Alat untuk menghaluskan / finishing (kertas amplas, kikir).

Bahan-bahan utama yang digunakan untuk membuat komposit berpenguat serat gelas adalah sebagai berikut :

1. Resin

Resin yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah resin Arindo 3210. Resin ini diproduksi oleh PT. Arindo Pasific Chemical dengan tipe Arindo 3210 AR. Ciri-ciri fisik resin ini berwarna merah muda termasuk dalam resin *polyester*. Sifat-sifat yang dimiliki resin *polyester* sebagai berikut :

- a. Permukaan halus & mengkilat.
- b. Titik leleh relatif tinggi.
- c. Unggul dalam kestabilan dimensi karena serapan air dan koefisien ekspansi termalnya rendah.

- d. Bahan ini mempunyai kekakuan yang tinggi.
- e. Ketahanan cuaca yang baik.

Resin yang dipakai dalam penelitian tidak disertai spesifikasi khusus, sehingga untuk mengetahui sifat-sifat mekaniknya dilakukan pengujian tarik terhadap resin pengikat tanpa serat. Data dan perhitungan selengkapnya disajikan dalam lampiran tabel dan perhitungan.

2. Serat

Dalam penelitian ini serat penguat yang digunakan adalah serat gelas-E yang diproduksi oleh P.T. Asahi Fiber glass dengan jenis serat berbentuk acak.

Serat gelas-E memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

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

g. $E/\rho = 28,5$

h. $\sigma/\rho = 1,38$

3. Katalis

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

4. Release agent

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

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

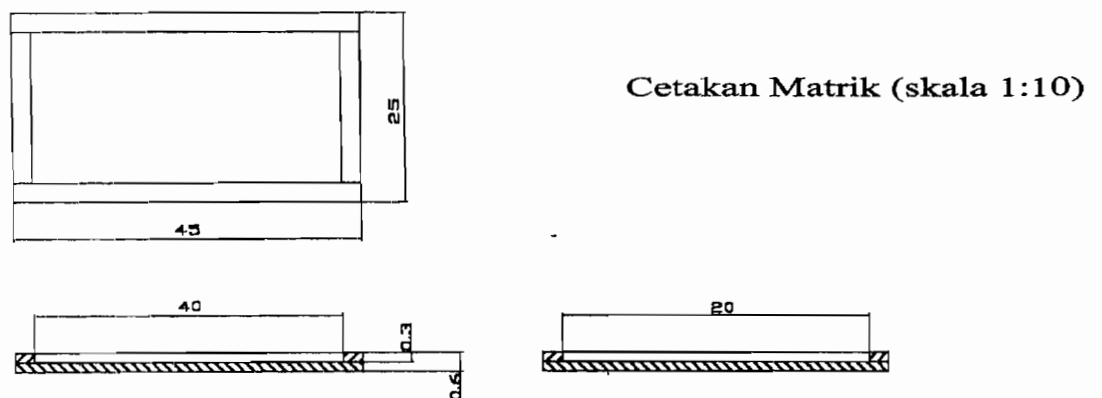
5. Aceton

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

3.4 Pembuatan Benda Uji

3.4.1 Pembuatan Benda Uji Matrik

Dimensi dari cetakan matrik pengikat adalah dengan ukuran 40 x 20 cm dan tebal 0.3 cm.



Gambar 3.2 Dimensi cetakan Matrik

Langkah – langkah pembuatan matrik pengikat :

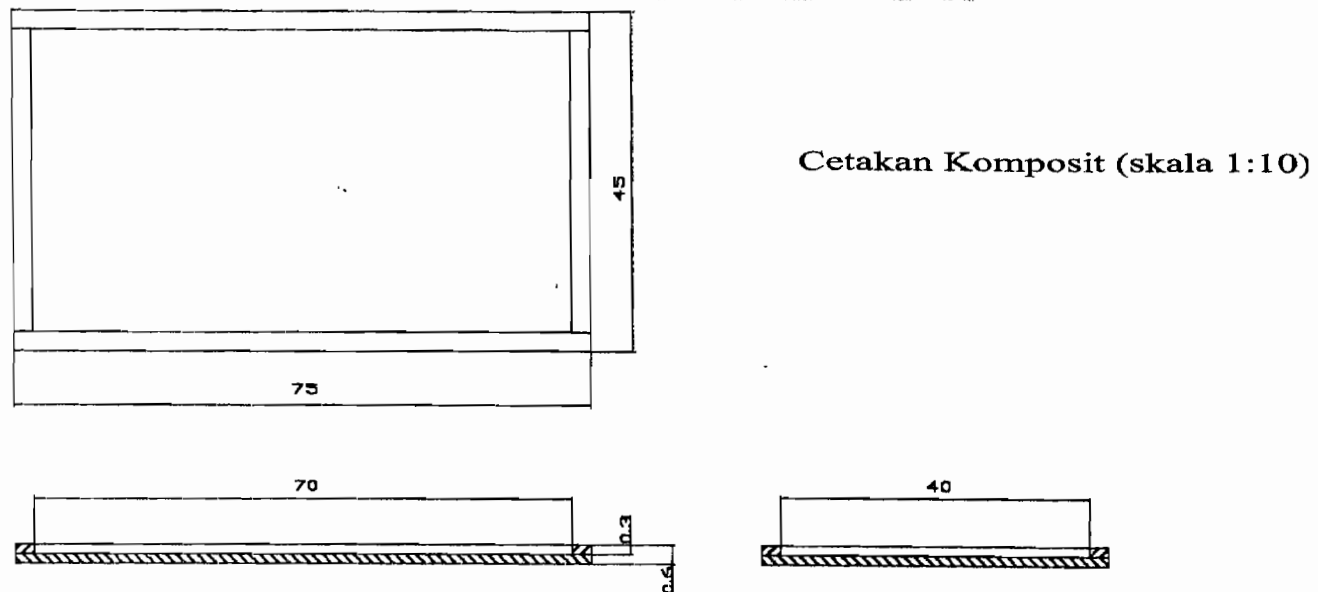
- Melapisi permukaan cetakan dengan oli, hal ini dilakukan untuk mempermudah pemisahan produk dari cetakan.
- Menyiapkan resin sesuai dengan volume cetakan sebesar 238.8 cm^3 (99,5 %). Kemudian resin yang telah diletakkan pada wadah pencampur

ditambahkan katalis dengan perbandingan 0,5 % volume total jadi sebesar 1.2 cm^3 katalis.

- c. Mengaduk campuran resin dan katalis hingga rata. Pengadukan ini harus dilakukan secara cepat karena campuran resin dan katalis akan berubah menjadi gel setelah ± 20 menit. Selain itu hindari pengadukan yang menyebabkan gelembung, sebab gelembung yang timbul pada waktu proses pengadukan akan menimbulkan *void* pada matriks yang dicetak. Setelah resin dan katalis tercampur dengan merata, lakukan penuangan pada cetakan. Resin yang dituang pada cetakan diusahakan rata.
- d. Menutup cetakan bagian atas dengan kaca yang telah dilapisi oli. Cetakan yang sudah disiapkan kemudian diklem agar tidak terjadi penggelembungan.
- e. Proses curing dalam waktu 8 – 12 jam. Lepaskan cetakan bagian atas (penutup) dan keluarkan matrik dari cetakan dengan bantuan scraber.
- f. Membersihkan cetakan dengan *acetone* sebelum resin mengeras.
- g. Potong-potong produk sesuai dengan ukuran spesimen.

3.4.2 Pembuatan Benda Uji Komposit

Dimensi cetakan komposit adalah : 70cm x 40cm dan tebal 0.3 cm.



Gambar 3.3 Dimensi Cetakan Komposit

Langkah-langkah pembuatan benda uji komposit adalah sebagai berikut :

- Menyiapkan cetakan dan melapisinya dengan oli.
- Menyiapkan serat gelas yang berbentuk anyaman dengan berat 960.12 gr (45 %). Pemasangan serat diusahakan rata dengan ukuran cetakan yang dibuat (70 cm × 40 cm).
- Siapkan resin sebanyak 457.8 cm^3 (54,5 %) dan katalis sebanyak 4.2 cm^3 (0,5 %). Waktu mengaduk resin dan katalis harus dilakukan secara cepat dan

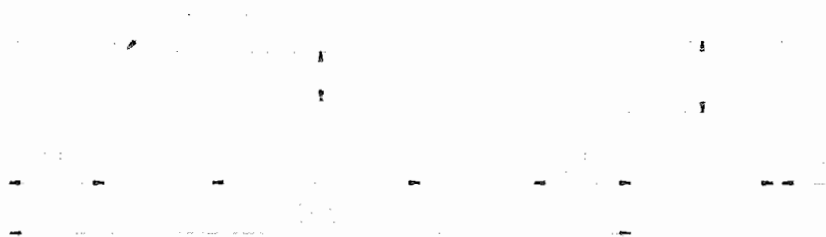
hindari pengadukan yang menimbulkan gelembung. Pengadukan dilakukan secara cepat karena pencampuran resin dan katalis akan berubah menjadi gel setelah ± 20 menit. Sedang pengadukan yang menimbulkan gelembung harus dihindari karena gelembung yang dihasilkan pada waktu pengadukan akan menimbulkan *void* pada bahan komposit.

- d. Resin dan katalis yang mengalami proses pengadukan dibagi menjadi empat. Pembagian ini tujuannya agar serat gelas yang akan dicampur dengan matriks tepat berada ditengah. Penyusunan matriks dan serat harus disusun sebagai berikut matriks, serat, matrik, serat, matrik, serat dan yang terakhir adalah matriks. Agar resin dapat meresap keseluruhan bagian cetakan dan dapat membasahi serat dengan rata dapat dilakukan dengan sapuan kuas dan roler *hand lay-up* yang sudah dipersiapkan.
- e. Memasang cetakan bagian atas dan memberikan penekanan dengan cara menjepit kaca yang terdapat pada setiap sisi cetakan.
- f. Setelah 8 – 12 jam proses curing selesai dan hasil cetakan dapat dilepas dengan bantuan scraber.
- g. Membersihkan cetakan dengan aceton sebelum sisa-sisa resin mengeras .
- h. Memotong - motong hasil cetakan sesuai dengan ukuran spesimen uji tarik.

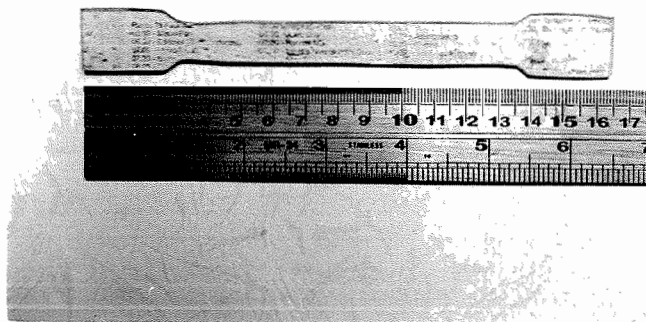
3.5 Standard dan Ukuran Benda Uji

3.5.1 Benda Uji Matrik Pengikat

Untuk standard ukuran benda uji matrik memakai ASTM D 638 (*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic*). Dan dimensi benda ujinya dapat dilihat pada gambar dibawah ini .



Gambar 3.4 Dimensi Benda Uji Matrik

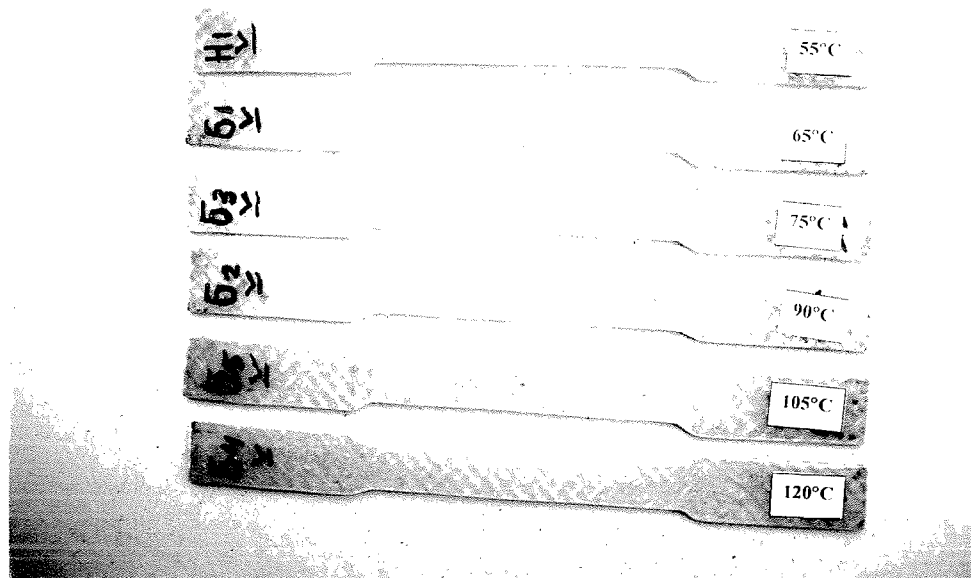


Gambar 3.5 Foto Benda Uji Matrik

3.5.2 Benda Uji Komposit

Untuk *standard* benda uji komposit memakai ASTM A 370 dengan dimensi seperti gambar dibawah ini .

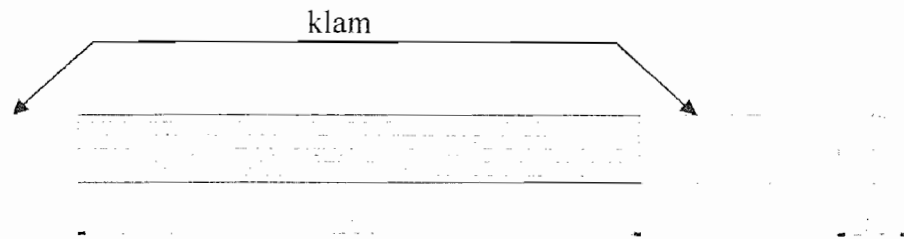
Gambar 3.6 Dimensi Benda Uji Komposit



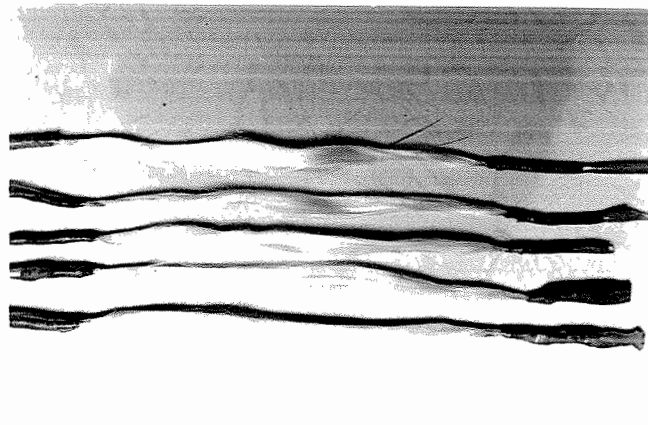
Gambar 3.7 Foto Benda Uji Komposit

3.5.3 Benda Uji Serat

Untuk benda uji tarik serat penguat penulis hanya mengambil 3 untai serat dan mengeklamnya dengan resin pada kedua ujungnya.



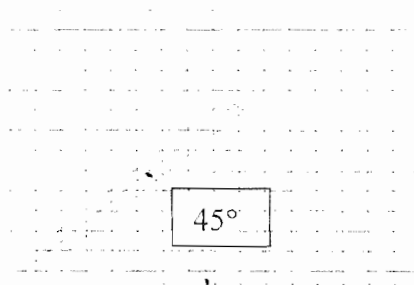
Gambar 3.8 Dimensi Benda Uji Serat



Gambar 3.9 Foto Benda Uji Serat

3.6 Pemotongan Benda Uji

Hasil cetakan yang masih berupa lembaran itu kemudian dipotong-potong sesuai dengan ukuran spesimennya. Dalam penelitian ini kompositnya menggunakan orientasi 45° .



Gambar 3.10 Arah Pemotongan Benda Uji Komposit dengan Orientasi 45°

3.7 Curing

Pelaksanaan *curing* dilakukan dengan menggunakan oven yang ada di Lab. Ilmu Logam Universitas Gajah Mada. Lama *curing* diambil 30 dan 60 menit dengan suhu *curing* 30°C , 55°C , 65°C , 75°C , 90°C , 105°C , 120°C .

3.8 Pengujian Tarik

Untuk mengetahui kekuatan tarik dari matrik, serat dan komposit maka dilakukan pengujian tarik secara terpisah . Pengujian dilakukan di Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma. Untuk pengujian matrik dan serat masing-masing 5 spesimen dan untuk komposit sebanyak 5 spesimen untuk setiap suhu *curing*nya. Hasil dari pengujian tersebut berupa print out grafik hubungan antara Beban dan Pertambahan panjang, dimana grafik hasil pengujian tersebut masih harus diubah ke grafik hubungan tegangan dan regangan dan hasilnya dapat dilihat pada bab berikutnya dalam hasil dan pembahasan .

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui kekuatan tarik komposit maka dilakukan pengujian tarik secara terpisah antara bahan-bahan penyusun komposit tersebut. Pengujiannya meliputi pengujian tarik matrik, serat dan kompositnya. Adapun hasil dari pengujian tersebut berupa grafik hubungan Beban vs Pertambahan panjang. Sedang data selengkapnya mengenai hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran .

4.1 Hasil Pengujian Tarik Matrik

Pengujian yang dilakukan pada matrik menghasilkan grafik hubungan Beban vs Pertambahan panjang .

Untuk mengetahui kekuatan tarik dari matrik pengikat maka dapat dihitung dengan rumus :

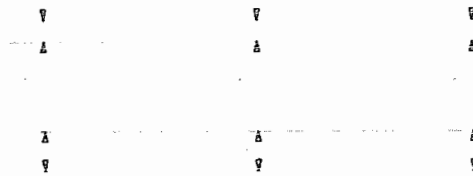
- Kekuatan tarik (σ_t) = $\frac{F'}{A_o} \dots\dots\dots \left(\frac{kg}{mm^2} \right)$

- Regangan (ϵ) = $\frac{\Delta L}{L_o} \times 100\% \dots\dots\dots (\%)$

dengan F=Beban maksimum(kg), Ao= Luas penampang mula-mula(mm^2),

ΔL =Pertambahan panjang(mm) dan Lo=Panjang mula-mula(mm).

Dari analisa dan perhitungan maka diperoleh beberapa sifat mekanis dari matriks pengikat yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Keterangan Tabel 4.1

Tabel 4.1 Ukuran lebar dan tebal matriks pengikat.

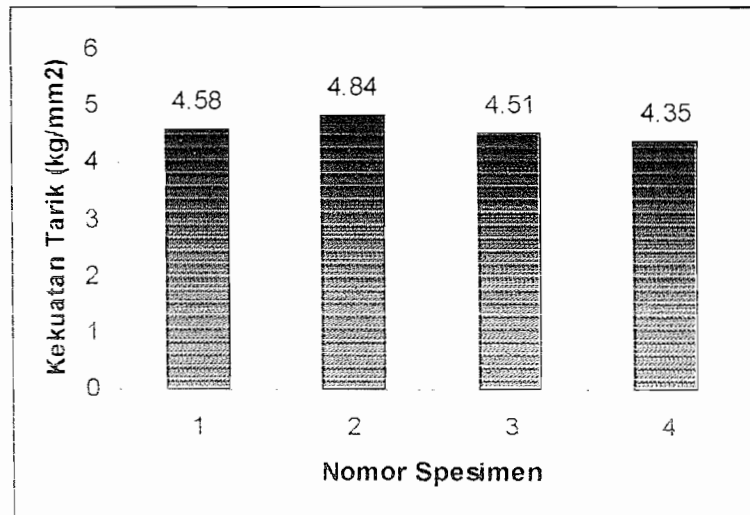
Matriks	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	t_3 (mm)	l_{rata} (mm)	t_{rata} (mm)
1	12.8	13	13	2.8	3	12.9	12.9	2.9
2	12.9	13	13	3	3	12.9	12.9	2.9
3	13	13	13	3	3	13	13	2.9
4	13	13	13	3	3	13	13	3

Tabel 4.2 Sifat mekanik matriks pengikat .

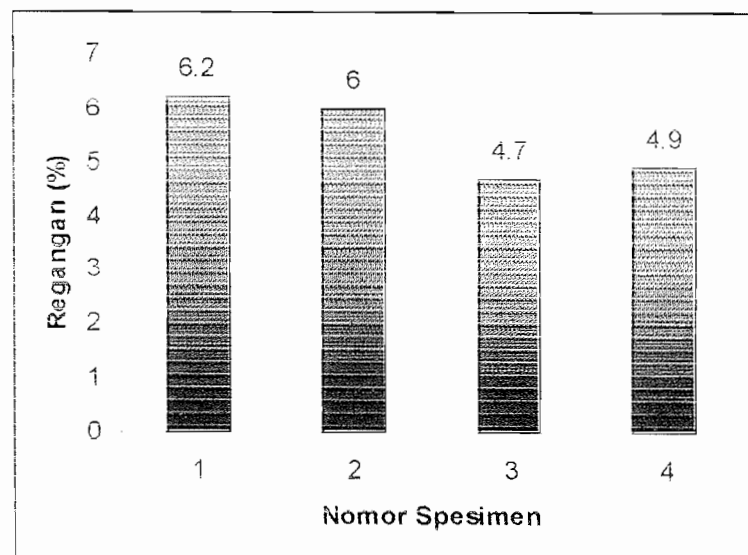
Matrik	Beban (kg)	A rata2 (mm ²)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Kekuatan Tarik (Mpa)	Lo (mm)	L1 (mm)	ΔL (mm)	ε maks (%)
1	171.4	37.41	4.58	44.88	50	53.1	3.1	6.2
2	181.1	37.41	4.84	47.43	50	53	3	6
3	170.2	37.70	4.51	44.19	50	52.35	2.3	4.7
4	169.7	39	4.35	42.63	50	52.45	2.4	4.9

Dari hasil pengujian matriks pengikat dengan bahan polimer *thermosetting* diatas menunjukkan bahwa perpanjangan yang terjadi cukup tinggi dan model

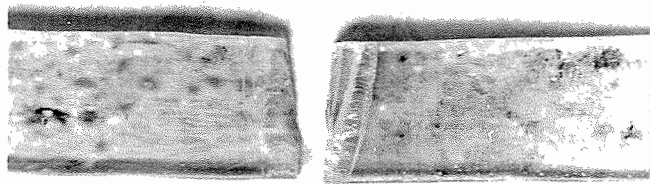
kerusakan yang terjadi kebanyakan berupa patah getas seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.2 Kekuatan tarik pada masing-masing matrik.



Gambar 4.3 Regangan pada masing-masing matriks.



Gambar 4.4 Bentuk Patahan Matriks Pengikat .

4.2 Hasil pengujian Tarik Serat

Hasil dari pengujian tarik serat berupa beban maksimum dan grafik hubungan Beban vs Pertambahan panjang. Untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari serat maka dilakukan beberapa perhitungan seperti dibawah ini dengan perbandingan diameter kawat tembaga dengan pembesaran 200 kali.

Diameter kawat tembaga = 0.11mm

Diameter kawat tembaga (foto) = 42mm

$$\text{Pembesaran} = \frac{42}{0.11} = 381.82 \text{ kali}$$

Diameter serat (foto)= 8.2mm

$$\text{Diameter serat asli} = \frac{8.2}{381.82} = 0.02147 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang serat } (A_o) &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \text{Jumlah serat} \\ &= 0.785 \times (0.02147)^2 \times 2388 \\ &= 0.875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan yang lain dengan rumus :

- Kekuatan Tarik Serat (σ_t) = $\frac{F}{A_o} \dots\dots\dots \frac{kg}{mm^2}$,

dimana F=Beban maksimum(kg), A_o =Luas panampang mula(mm^2).

- Regangan = $\frac{\Delta L}{L_o} \times 100\% \dots\dots\dots(\%)$

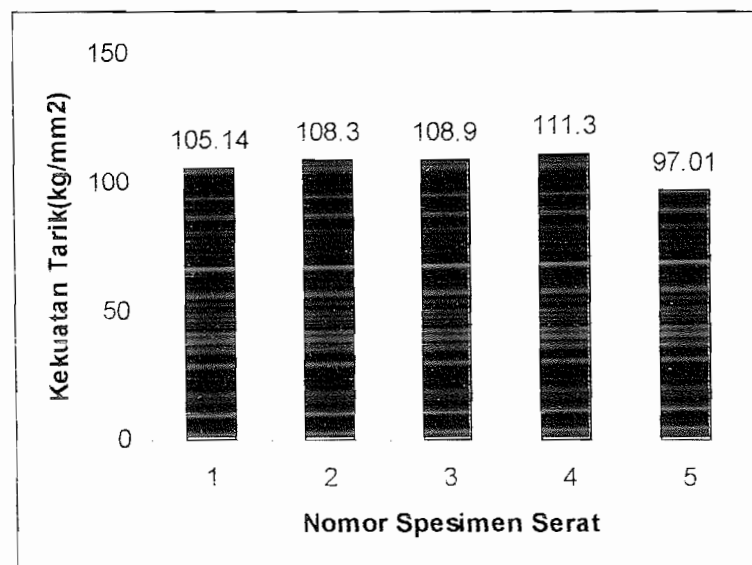
dimana ΔL = Pertambahan panjang(mm) dan

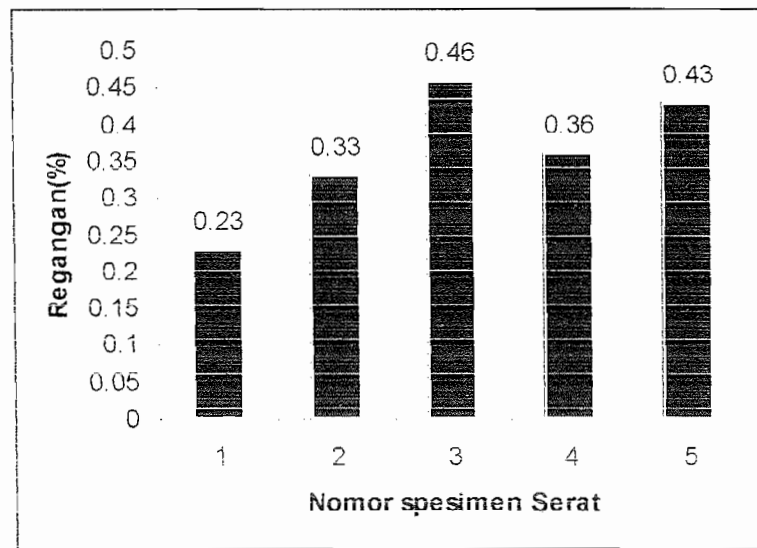
L_o = Panjang mula-mula(mm)

Sedangkan hasil selengkapnya dapat dilihat dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Sifat-sifat mekanik dari serat penguat

Serat	Beban (kg)	A (mm ²)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Lo (mm)	L1 (mm)	ΔL (mm)	ϵ maks (%)
1	92	0.875	105.14	150	150.35	0.35	0.23
2	94.8	0.875	108.3	150	150.5	0.5	0.33
3	95.3	0.875	108.9	150	150.7	0.7	0.46
4	97.4	0.875	111.3	150	150.55	0.55	0.36
5	84.9	0.875	97.01	150	150.65	0.65	0.43

**Gambar 4.5 Kekuatan tarik pada masing-masing serat**



Gambar 4.6 Regangan pada masing-masing Serat

4.3 Hasil Pengujian Tarik Komposit

Hasil pengujian tarik komposit berupa grafik hubungan Beban vs Pertambahan panjang. Dan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari komposit maka perlu dilakukan perhitungan terlebih dulu. Sedang hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.



Gambar 4.7 Keterangan Tabel 4.4 dan 4.5

Tabel 4.4 Ukuran lebar dan tebal komposit dengan lama curing 30 menit

Suhu Curing	Nama	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	Lrata2 (mm)	t rata2 (mm)
30 °C	T1	12.5	12.5	12.5	2.9	2.8	2.8	12.5	2.8
	T2	12.3	12.5	12.5	2.5	2.6	2.7	12.4	2.6
	T3	12.2	12.3	12.2	2.9	2.9	2.8	12.2	2.8
	T4	12.4	12.2	12.2	2.9	3	3	12.3	2.9
	T5	12.4	12.2	12.5	2.9	3	2.9	12.3	2.9
55 °C	A1	12.2	12.5	12.4	2.8	2.9	2.7	12.3	2.8
	A2	12.5	12.3	12.2	2.6	3	2.8	12.3	2.8
	A3	12.5	12.3	12.2	2.6	2.6	2.6	12.3	2.6
	A4	12.4	12.5	12.3	3	3	3	12.4	3
	A5	12.5	12.5	12.5	3	3	3	12.5	3
65 °C	B1	12.5	12.5	12.5	2.7	2.7	2.5	12.5	2.6
	B2	12.5	12.2	12.2	2.6	2.6	2.5	12.3	2.6
	B3	12.5	12.5	12.3	2.5	2.5	2.5	12.4	2.5
	B4	12.5	12.4	12.5	2.6	2.6	2.7	12.4	2.6
	B5	12.5	12.3	12.5	2.5	2.5	2.5	12.4	2.5
75 °C	C1	12.5	12.4	12.5	2.7	2.8	2.7	12.4	2.7
	C2	12.5	12.5	12.5	2.8	3	3	12.5	2.9
	C3	12.5	12.4	12.5	2.7	2.6	2.7	12.4	2.6
	C4	12.5	12.5	12.2	2.9	2.9	3	12.4	2.5
	C5	12.5	12.4	12.4	2.4	2.5	2.6	12.4	2.5
90 °C	D1	12.4	12.5	12.5	2.6	2.4	2.5	12.4	2.5
	D2	12.5	12.2	12.5	2.9	2.8	2.7	12.4	2.8
	D3	12.3	12.2	12.2	2.7	2.6	2.5	12.2	2.6
	D4	12.3	12.2	12.3	2.6	2.7	2.7	12.2	2.6
	D5	12.5	12.5	12.5	2.6	2.6	2.8	12.5	2.6
105 °C	E1	12.5	12.5	12.5	2.5	2.6	2.4	12.5	2.5
	E2	12.3	12.3	12.3	2.6	2.5	2.5	12.3	2.5
	E3	12.5	12.5	12.5	2.5	2.6	2.6	12.5	2.5
	E4	12.5	12.5	12.5	2.7	2.7	2.8	12.5	2.7
	E5	12.5	12.4	12.3	2.7	2.7	2.7	12.4	2.7
120 °C	F1	12.5	12.5	12.4	2.5	2.4	2.7	12.4	2.5
	F2	12.2	12.2	12.3	2.5	2.5	2.7	12.2	2.6
	F3	12.4	12.5	12.4	2.9	2.9	3	12.4	2.9
	F4	12.3	12.3	12.4	2.6	2.6	2.8	12.3	2.7
	F5	12.5	12.5	12.4	2.8	2.7	2.6	12.4	2.7

Keterangan: $L \text{ rata-rata} = (L1 + L2 + L3)/3$

$t \text{ rata-rata} = (t1 + t2 + t3)/3$

Tabel 4.5 Ukuran lebar dan tebal komposit dengan lama curing 60 menit

Suhu Curing	Nama	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	Lrata2 (mm)	t rata2 (mm)
30 °C	T1	12.5	12.5	12.5	2.9	2.8	2.8	12.5	2.8
	T2	12.3	12.5	12.5	2.5	2.6	2.7	12.4	2.6
	T3	12.2	12.3	12.2	2.9	2.9	2.8	12.2	2.8
	T4	12.4	12.2	12.2	2.9	3	3	12.3	2.9
	T5	12.4	12.2	12.5	2.9	3	2.9	12.3	2.9
55 °C	G1	12.2	12.2	12.2	2.7	2.7	2.7	12.2	2.7
	G2	12.5	12.5	12.5	2.6	2.5	2.7	12.5	2.6
	G3	12.3	12.2	12.3	2.7	2.8	2.7	12.2	2.7
	G4	12.5	12.6	12.5	2.5	2.7	2.6	12.5	2.6
	G5	12.5	12.5	12.5	2.7	2.7	2.8	12.5	2.7
65 °C	H1	12.3	12.2	12.3	3	3	2.9	12.2	2.9
	H2	12.3	12.5	12.3	3	2.9	2.7	12.3	2.8
	H3	12.2	12.2	12.2	3	3	3	12.2	3
	H4	12.5	12.5	12.5	2.7	2.6	2.6	12.5	2.6
	H5	12.5	12.5	12.5	3	3	3	12.5	3
75 °C	I1	12.5	12.2	12.4	2.9	2.9	2.8	12.3	2.8
	I2	12.3	12.0	12.5	3	3	3	12.2	3
	I3	12.3	12.4	12.2	3	2.9	2.8	12.3	2.9
	I4	12.5	12.5	12.5	2.8	2.7	2.7	12.5	2.7
	I5	12.2	12.2	12.4	3	3	3	12.2	3
90 °C	J1	12.2	12.2	12.2	3	2.9	3	12.2	2.9
	J2	12.2	12.2	12.4	3	2.7	2.9	12.2	2.8
	J3	12.2	12.3	12.2	2.7	2.8	3	12.2	2.8
	J4	12.5	12.5	12.5	2.7	2.8	2.8	12.5	2.7
	J5	12.2	12.2	12.2	3	2.8	2.8	12.2	2.8
105 °C	K1	12.2	12.2	12.3	3	2.9	3	12.2	2.9
	K2	12.3	12.1	12.2	2.8	3	3	12.2	2.9
	K3	12.2	12.3	12.2	2.8	2.9	3	12.2	2.9
	K4	12.5	12.5	12.5	2.5	2.5	2.6	12.5	2.5
	K5	12.5	12.5	12.5	3	2.8	2.8	12.5	2.8
120 °C	M1	12.2	12.1	12.3	3	3	3	12.2	3
	M2	12.4	12.5	12.3	3	2.9	3	12.4	2.9
	M3	12.3	12.4	12.5	2.9	2.9	3	12.4	2.9
	M4	12.4	12.2	12.1	2.7	3	3	12.2	2.9
	M5	12.5	12.1	12.4	3	3	2.9	12.3	2.9

Keterangan: $L \text{ rata-rata} = (L1 + L2 + L3)/3$

$t \text{ rata-rata} = (t1 + t2 + t3)/3$

Tabel 4.6 Sifat-sifat mekanis komposit dengan lama curing 30 menit

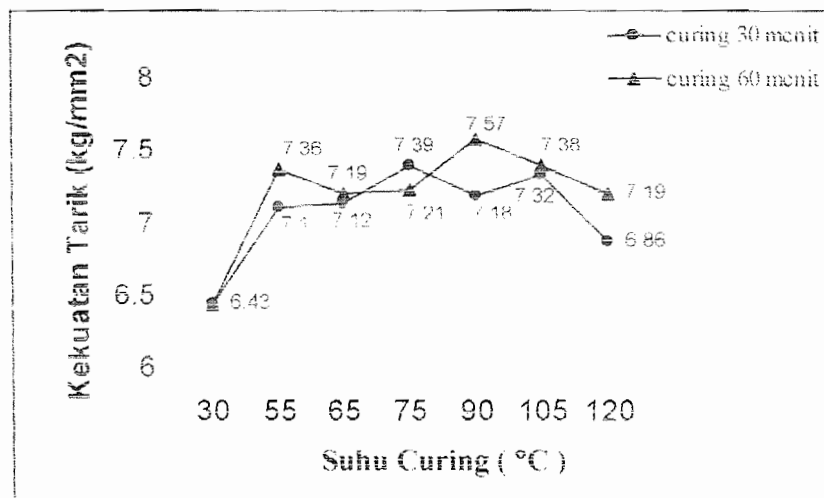
Suhu Curing	Nama	Lo (mm)	L1 (mm)	ΔL (mm)	Luas Rata2 (mm ²)	Beban (kg)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	ϵ (%)
30 °C	T1	90	91.90	1.9	35	240.7	6.80	2.10
	T2	90	93.20	3.2	32.2	184	5.70	3.50
	T3	90	94.25	4.25	34.16	221	6.46	4.70
	T4	90	93.05	3.05	35.67	238.7	6.69	3.38
	T5	90	91.85	1.85	35.67	232.2	6.5	2.05
55 °C	A1	90	91.75	1.8	34.44	266.2	7.72	2.00
	A2	90	92.20	2.25	34.44	248.2	7.20	2.50
	A3	90	90.70	1.25	31.98	210.7	6.58	1.38
	A4	90	92.15	2.15	37.20	262.7	7.06	2.38
	A5	90	92.10	2.2	37.50	260.3	6.94	2.44
65 °C	B1	90	92.85	2.85	32.50	243.8	7.50	3.16
	B2	90	92.90	3.25	31.98	208.1	6.51	3.61
	B3	90	92.40	2.4	31.00	240	7.74	2.66
	B4	90	92.40	2.35	32.24	234	7.25	2.61
	B5	90	93.35	3.35	31.00	205	6.6	3.72
75 °C	C1	90	92.65	2.65	34.72	268.8	7.74	2.94
	C2	90	92.75	2.75	37.50	280.1	8.00	3.05
	C3	90	92.95	2.95	32.24	249	7.72	3.20
	C4	90	92.20	2.2	35.96	261.1	7.26	2.40
	C5	90	92.90	2.9	32.24	218.7	6.78	3.20
90 °C	D1	90	92.65	2.65	31.00	256.2	8.26	2.94
	D2	90	93.05	3.05	34.72	226.7	6.53	3.38
	D3	90	92.90	2.9	31.72	228.9	7.22	3.22
	D4	90	92.20	2.2	31.72	244.1	7.69	2.40
	D5	90	92.70	2.7	32.50	202.7	6.23	3.00
105 °C	E1	90	93.40	3.4	31.25	256.7	8.21	3.70
	E2	90	92.45	2.45	30.75	211.8	6.88	2.70
	E3	90	92.25	2.25	31.25	225.9	7.22	2.50
	E4	90	92.55	2.55	33.75	252.1	7.46	2.80
	E5	90	92.25	2.25	33.48	229.7	6.86	2.50
120 °C	F1	90	93.55	3.55	31.00	212.6	6.85	3.90
	F2	90	93.25	3.25	31.72	228.8	7.21	3.60
	F3	90	91.95	1.95	35.96	200.2	5.56	2.10
	F4	90	94.10	4.1	33.21	237.3	7.14	4.50
	F5	90	92.10	2.1	33.48	254	7.58	2.30

Tabel 4.7 Sifat-sifat mekanis komposit dengan lama curing 60 menit

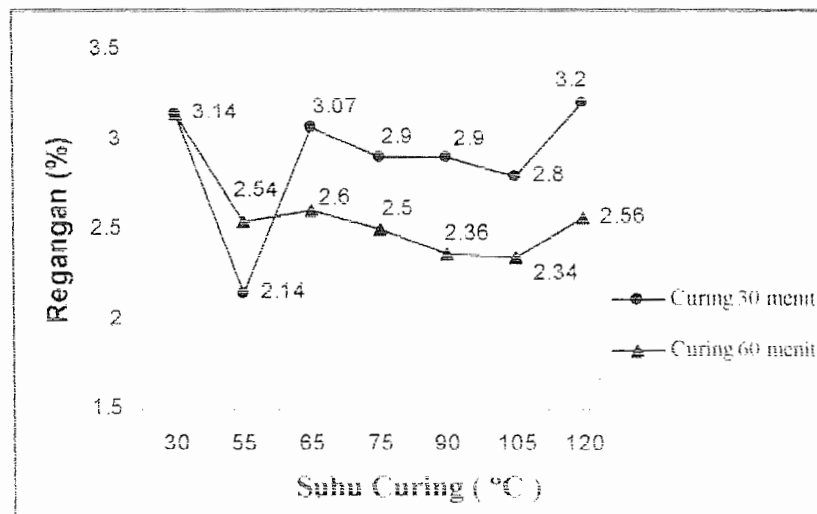
Suhu Curing	Nama	Lo (mm)	L1 (mm)	ΔL (mm)	Luas Rata2 (mm ²)	Beban (kg)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	ϵ (%)
30 °C	T1	90	91.90	1.9	35	240.7	6.8	2.1
	T2	90	93.20	3.2	32.2	184	5.7	3.5
	T3	90	94.25	4.25	34.16	221	6.46	4.7
	T4	90	93.05	3.05	35.67	238.7	6.69	3.38
	T5	90	91.85	1.85	35.67	232.2	6.5	2.05
55 °C	G1	90	91.75	1.75	32.94	217.2	6.59	1.94
	G2	90	92.45	2.45	32.5	259.2	7.97	2.72
	G3	90	92.5	2.5	32.94	238.5	7.24	2.77
	G4	90	92.15	2.15	32.5	242.4	7.45	2.3
	G5	90	92.85	2.85	33.75	254.9	7.55	3.1
65 °C	H1	90	92	2	35.38	229	6.47	2.2
	H2	90	92.35	2.35	34.44	240.4	6.98	2.6
	H3	90	92.7	2.7	36.6	287.5	7.85	3
	H4	90	92.65	2.65	32.5	236.9	7.28	2.9
	H5	90	92.2	2.2	37.5	277.3	7.39	2.4
75 °C	I1	90	91.8	1.8	34.44	260	7.54	2
	I2	90	92.3	2.3	36.6	290.3	7.93	2.5
	I3	90	92.4	2.4	35.67	249.3	6.98	2.6
	I4	90	92.8	2.8	33.75	261	7.73	3.1
	I5	90	92.35	2.35	36.6	216.3	5.90	2.6
90 °C	J1	90	92.1	2.1	35.38	303.4	8.57	2.3
	J2	90	92	2	34.16	246.7	7.22	2.2
	J3	90	92	2	34.16	249.8	7.31	2.2
	J4	90	92.2	2.2	33.75	247.7	7.33	2.4
	J5	90	92.45	2.45	34.16	253.9	7.43	2.7
105 °C	K1	90	92.1	2.1	35.38	244.6	6.91	2.3
	K2	90	92	2	35.38	268.5	7.58	2.2
	K3	90	91.6	1.6	35.38	243.2	6.87	1.7
	K4	90	92.55	2.55	31.25	217.7	6.96	2.8
	K5	90	92.5	2.5	35	301.5	8.61	2.7
120 °C	M1	90	92.6	2.6	36.6	249.7	6.82	2.8
	M2	90	91.6	1.6	35.9	267.1	7.42	1.7
	M3	90	93.2	3.2	35.9	247.2	6.87	3.5
	M4	90	91.8	1.8	35.38	261.5	7.39	2
	M5	90	92.6	2.6	35.6	266.6	7.48	2.8

Tabel 4.8 Harga rata-rata kekuatan tarik dan regangan komposit

Lama Curing	Suhu Curing (°C)	Kekuatan Tarik rata-rata (kg/mm ²)	Regangan rata-rata (%)
30 menit	30	6.43	3.14
	55	7.1	2.14
	65	7.12	3.07
	75	7.39	2.9
	90	7.18	2.9
	105	7.32	2.8
	120	6.86	3.2
60 menit	30	6.43	3.14
	55	7.36	2.54
	65	7.19	2.6
	75	7.21	2.5
	90	7.57	2.36
	105	7.38	2.34
	120	7.19	2.56



Gambar 4.8 Grafik Kekuatan Tarik vs Suhu Curing



Gambar 4.9 Regangan vs Suhu Curing

4.1.1 Pembahasan Hasil Pengujian Tarik

1. Pengujian Matrik

Hasil pengujian matrik dengan bahan resin Arindo 3210 menunjukkan bahwa nilai regangan yang cukup tinggi dengan model kerusakan matrik yang terjadi berupa patah getas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Kekuatan tarik matrik rata-rata = $4,48 \frac{kg}{mm^2}$ dan regangan rata-rata sebesar 4.9 %.

2. Pengujian Serat

Hasil pengujian serat *E-Glass* (anyaman) ini menunjukkan nilai regangan yang sangat rendah, tetapi nilai tegangan tariknya cukup tinggi melebihi tagangan tarik matriknya. Dimana kekuatan tarik serat rata-ratanya sebesar 106.13 kg/mm^2 dan regangan rata-ratanya sebesar 0.39 %. Dengan nilai regangan yang kecil maka serat merupakan bahan yang getas. Sesuai dengan sifat serat gelas yaitu kuat, kaku dan getas karena seratlah yang terutama menahan gaya luar .

3. Pengujian Komposit

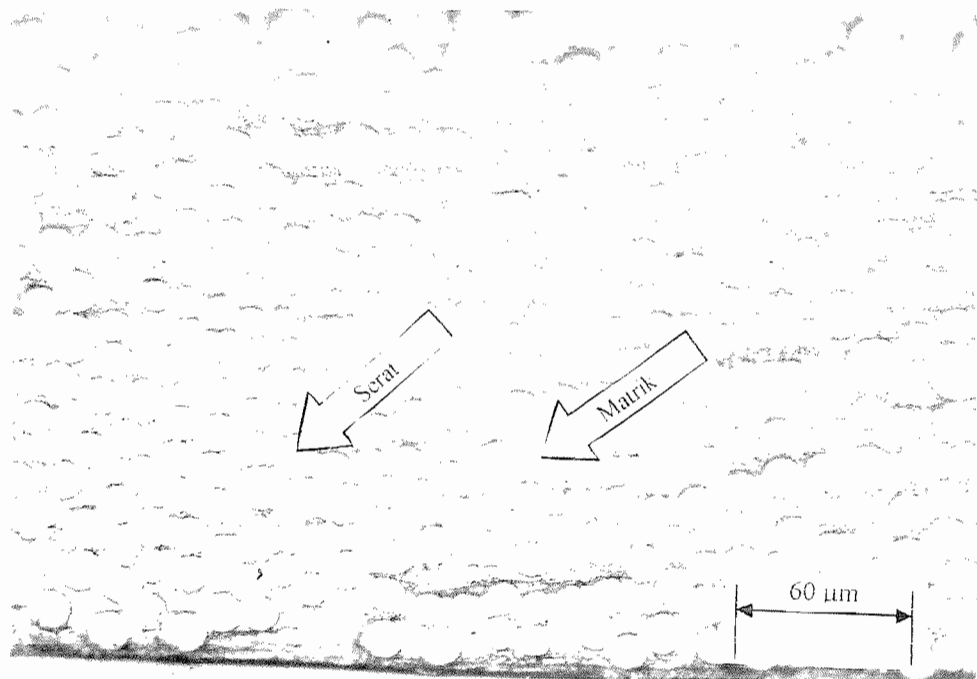
Hasil pengujian tarik komposit dengan variasi suhu *curing* menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi ada pada komposit dengan *curing* selama 60 menit dengan suhu 90 °C yaitu sebesar 7.57 kg/mm^2 . Dan kekuatan tarik terendah ada pada komposit tanpa *curing* yaitu sebesar 6.43 kg/mm^2 . Hal ini disebabkan karena komposit yang sudah memperoleh perlakuan *curing* , ikatan antara serat dan matrik menjadi lebih rapat, sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit. Suhu dan lamanya proses *curing* juga sangat berpengaruh terhadap pencapaian kekuatan tarik komposit.

Sedang regangan rata-rata tertinggi ada pada komposit tanpa *curing* sebesar 3.14 % dan regangan rata-rata terendah ada pada komposit dengan lama *curing* 30 menit dengan suhu 55°C sebesar 1.93 % . Sehingga dapat

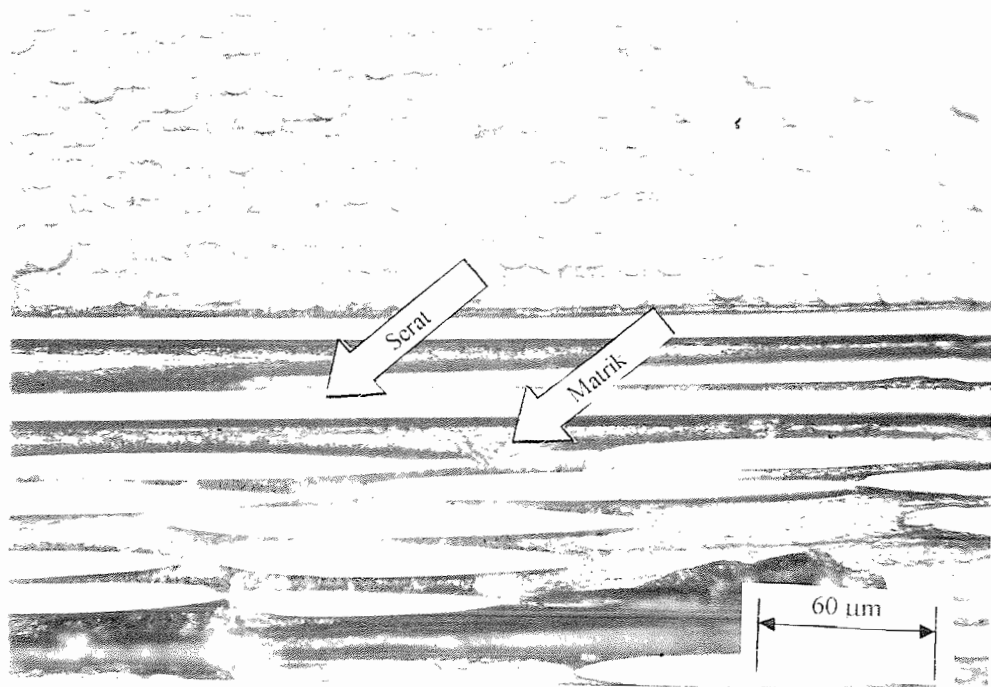
dikatakan dengan proses *curing* ini maka dapat meningkatkan kekuatan komposit dan mengurangi nilai regangan pada komposit .

4. Foto Mikro

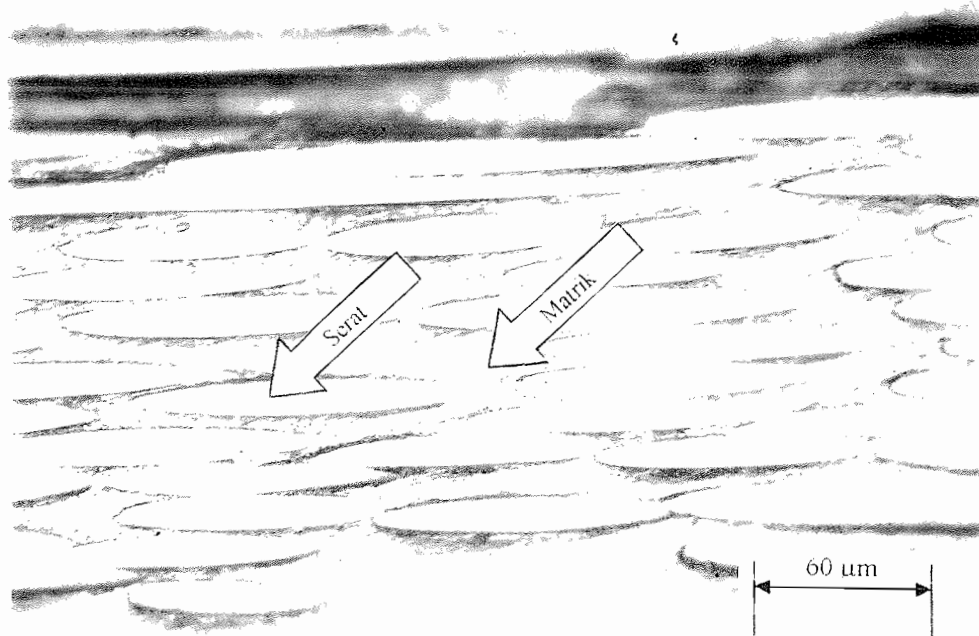
Tujuan dari pengujian foto mikro ini adalah untuk mengetahui beberapa kerusakan yang terjadi pada komposit sebelum komposit tersebut mendapatkan beban tarik atau setelah diuji tarik serta untuk mengetahui seberapa jauh kerusakan mikro yang terjadi pada komposit dan bahan-bahan penyusunnya seperti matrik dan seratnya. Adapaun hasil fotomikro tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.10 sampai 4.16.



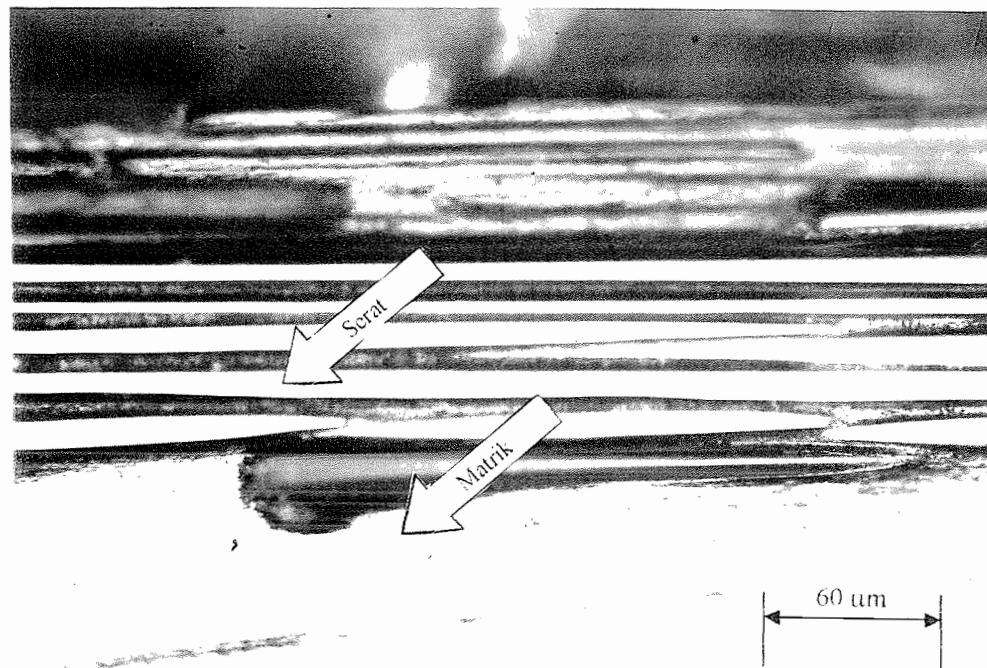
Gambar 4.10 Penampang serat dari arah depan



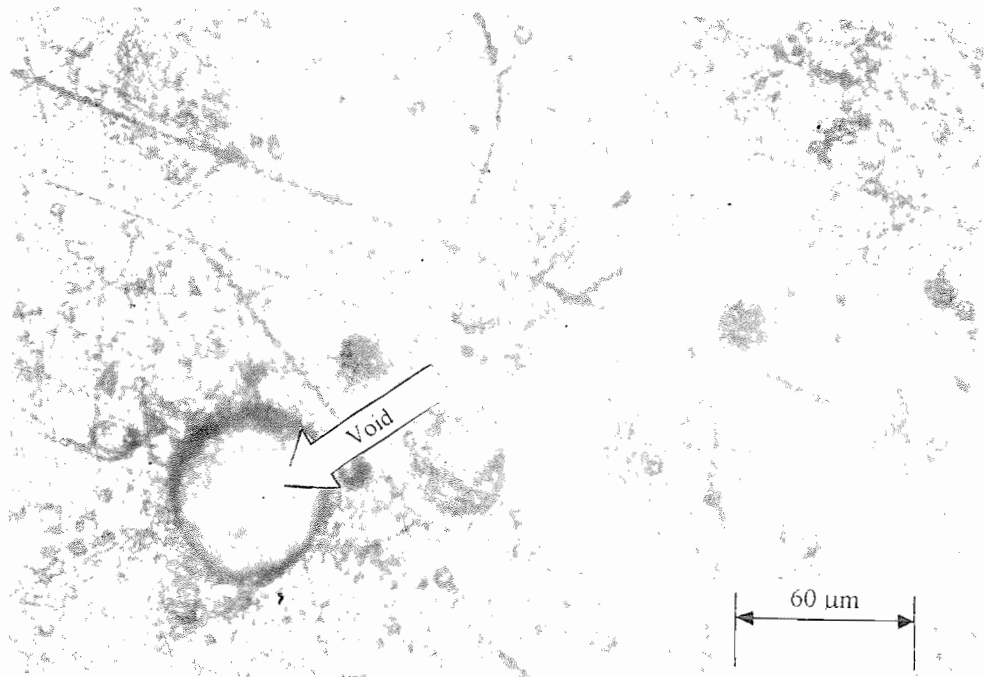
Gambar 4.11 Penampang serat dari arah samping



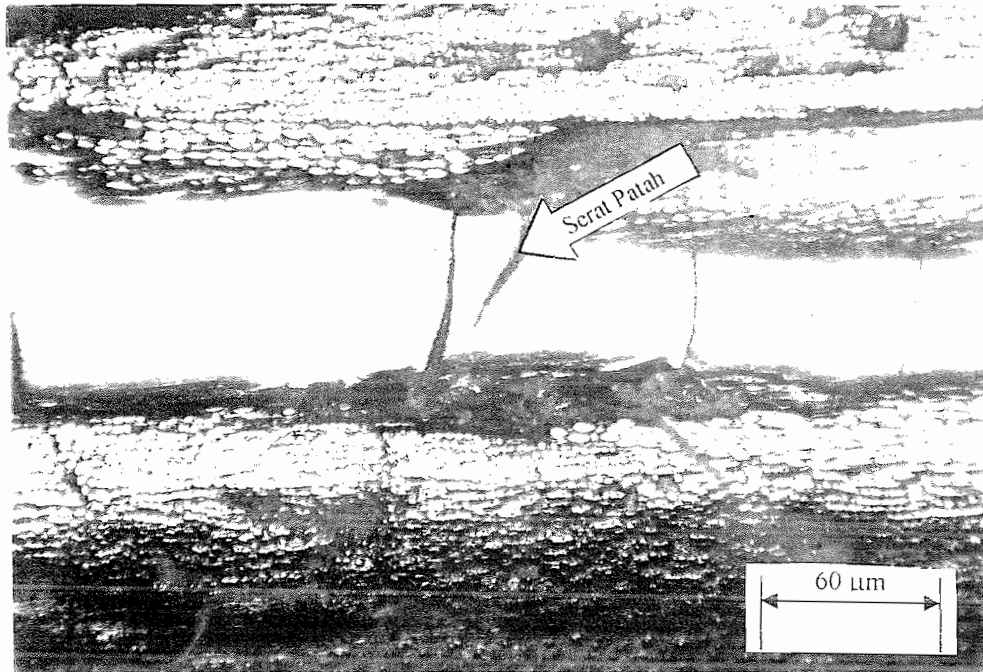
Gambar 4.12 Penampang serat dari arah samping



Gambar 4.13 Penampang melintang Serat



Gambar 4.14 Void pada Matrik



Gambar 4.15 Kerusakan Serat pada Komposit



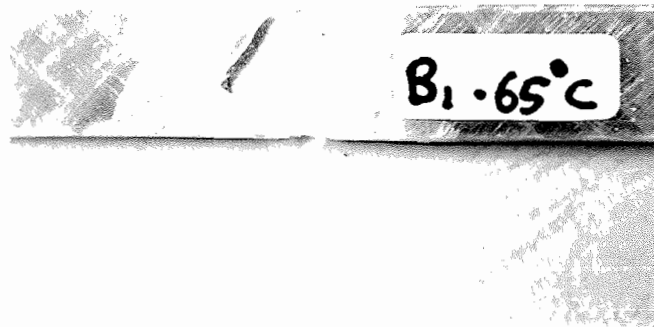
Gambar 4.16 Retak Mikro pada Komposit



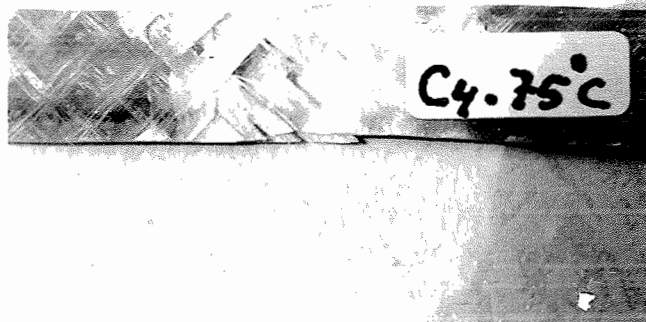
Gambar 4.17 Bentuk Patahan Komposit Curing 30°C



**Gambar 4.18 Bentuk Patahan Komposit Suhu Curing 55°C
Selama 30 menit**



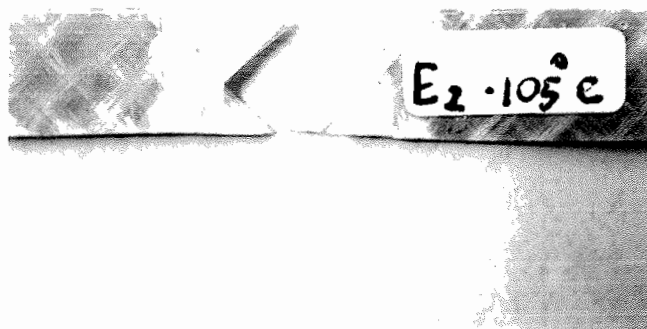
**Gambar 4.19 Bentuk Patahan Komposit Suhu Curing 65°C
Selama 30 menit**



**Gambar 4.20 Bentuk Patahan Komposit Suhu Curing 75°C
Selama 30 menit**



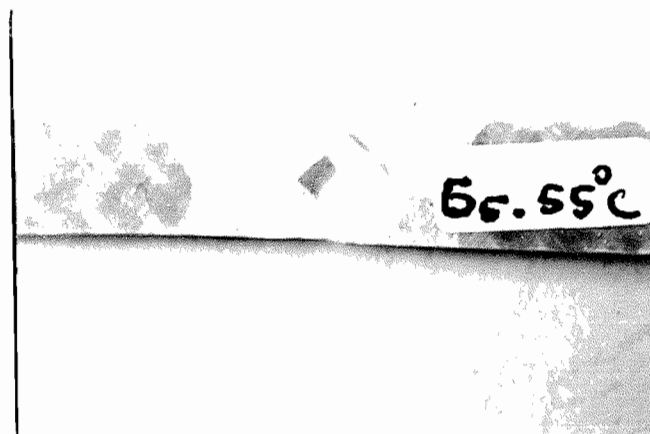
**Gambar 4.21 Bentuk Patahan Komposit Suhu Curing 90°C
Selama 30 menit**



**Gambar 4.22 Bentuk Patahan Komposit Suhu Curing 105°C Selama 30
menit**



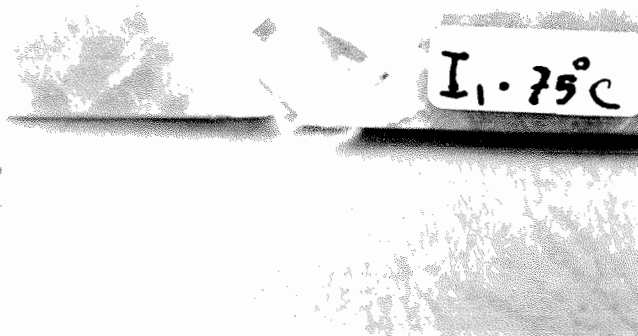
Gambar 4.23 Bentuk Patahan Komposit Suhu Curing 120°C Selama 30 menit



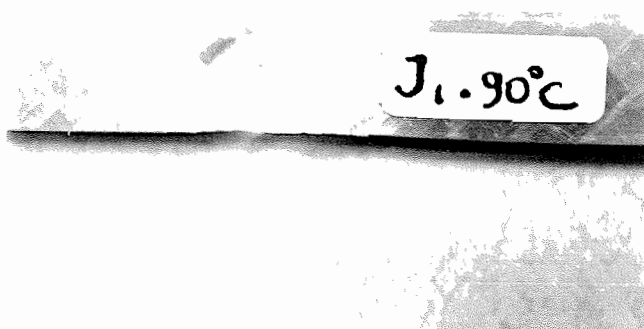
Gambar 4.24 Bentuk Patahan Komposit Suhu Curing 55°C Selama 60 menit



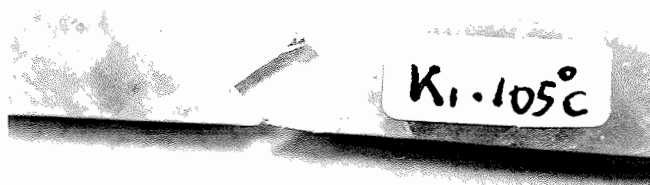
**Gambar 4.25 Bentuk Patahan Komposit Suhu Curing 65°C
Selama 60 menit**



**Gambar 4.26 Bentuk Patahan Komposit Suhu Curing 75°C
Selama 60 menit**



**Gambar 4.27 Bentuk Patahan Komposit Suhu Curing 90°C
Selama 60 menit**



Gambar 4.28 Bentuk Patahan Komposit Suhu Curing 105°C Selama 60 menit



Gambar 4.29 Bentuk Patahan Komposit Suhu Curing 120°C Selama 60 menit

Hasil analisa foto makro yang terdapat pada Gambar 4.18 sampai 4.30 menunjukkan bahwa bentuk patahan yang terjadi pada masing-masing komposit berbeda-beda. Hal ini dikarenakan pada proses *curing* yang diberikan pada komposit membuat ikatan antara serat dan komposit tersebut menjadi lebih rapat sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit tersebut.

Bentuk patahan pada komposit tersebut dapat dikatakan jenis patah getas .

BAB V

PENUTUP

Dari hasil penelitian komposit dengan penguat serat gelas E jenis anyaman (woven roving) dengan orientasi serat 45° dan variasi suhu *curing* diperoleh beberapa kesimpulan antara lain :

- a. Kekuatan tarik rata-rata serat gelas E sebesar 106.13 kg/mm^2 dan kekuatan tarik rata-rata matrik pengikat dengan bahan Arindo 3210 sebesar 4.48 kg/mm^2 .
- b. Kekuatan tarik rata-rata tertinggi dari komposit dengan berbagai variasi suhu dan lama *curing* ada pada komposit dengan lama *curing* 60 menit dengan suhu 90°C yaitu sebesar 7.57 kg/mm^2 .

Kekuatan tarik rata-rata terendah ada pada komposit dengan suhu *curing* 30°C yaitu sebesar 6.43 kg/mm^2 .

Jenis patahnya berupa patah getas dan kerusakan yang terjadi berupa void, retak mikro pada matrik, serat patah dan *debonding* yang dapat mengurangi kekuatan tariknya.

DAFTAR PUSTAKA

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

Budinski, *Engeneering Materials, Properties and Seletion.*

Hadi, B.K., November 2000, *Mekanila Stuktur Komposit* , Departemen Pendidikan Nasional .

John Murphy, 1994, *Reinforced Plastics Hand Book, Elsevier Sience Publisers. LTD.*

James F. Shackerford, *Introduction to Materials Science for Engineers, fourth edition.*

Schwarts, M.M., 1984, *Composites Material Hand Book* , Mc Graw Hill, New York.

Tata Surdia dan Saito S, 1995, *Pengetahuan Bahan Teknik*, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta.

Viktor Malau, *Diktat Kuliah Komposit*

LAMPIRAN

Perhitungan Kekuatan Tarik Komposit Teoritis

Kekuatan tarik komposit teoritis dengan volume serat sebesar 45% pada sudut orientasi 0° dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$(\sigma_u)_c = V_r (\sigma_u)_r + (1-V_r) \sigma_m$$

dimana $(\sigma_u)_c$ = Kekuatan tarik komposit teoritis

V_r = Volume serat sebesar 45%

$(\sigma_u)_r$ = Kekuatan tarik serat teoritis sebesar 3450 MPa (Tabel 2.2)

σ_m = Kekuatan tarik matrik teoritis sebesar 40 MPa (Tabel 2.1)

Sehingga kekuatan tarik komposit dengan sudut orientasi serat 0° adalah

$$(\sigma_u)_c = V_r (\sigma_u)_r + (1-V_r) \sigma_m$$

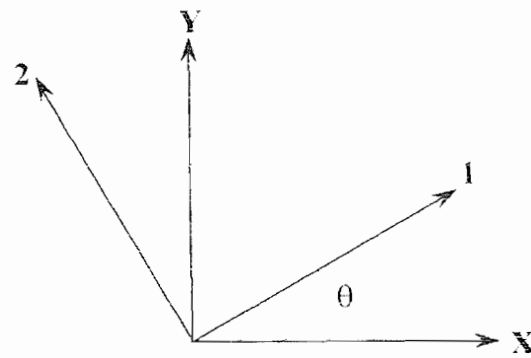
$$(\sigma_u)_c = 0,45 \times 3450 \text{ Mpa} + (1-0,45) \times 40 \text{ Mpa}$$

$$(\sigma_u)_c = 1574,5 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_u)_c = 1574,5/9,8 = 160,7 \text{ Kg/mm}^2$$

Kekuatan tarik komposit dengan sudut orientasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin^2\theta & -2\sin\theta \cos\theta \\ \sin^2\theta & \cos^2\theta & 2\sin\theta \cos\theta \\ \sin\theta \cos\theta & -\sin\theta \cos\theta & \cos^2\theta - \sin^2\theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}$$



Gambar L . 1

dengan θ : sudut antara sumbu X dan sumbu 1

Karena hanya dilakukan pengujian tarik dalam satu arah saja maka persamaan

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin^2\theta & -2\sin\theta \cos\theta \\ \sin^2\theta & \cos^2\theta & 2\sin\theta \cos\theta \\ \sin\theta \cos\theta & -\sin\theta \cos\theta & \cos^2\theta - \sin^2\theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}$$

menjadi :

$\sigma_x = \sigma_1 \times (\cos^2\theta)$, dimana σ_1 besarnya sama dengan kekuatan tarik komposit dengan orientasi serat 0° atau searah dengan serat yaitu sebesar $160,7 \text{ Kg/mm}^2$.

Kekuatan tarik komposit dengan sudut orientasi 30° :

$$\sigma_x = \sigma_1 \times (\cos^2\theta)$$

$$\sigma_x = 160,7 \text{ Kg/mm}^2 \times \cos^2 30$$

$$\sigma_x = 120,52 \text{ Kg/mm}^2$$

Kekuatan tarik komposit dengan sudut orientasi 45°:

$$\sigma_x = 160,7 \text{ Kg/mm}^2 \times (\cos^2 45)$$

$$\sigma_x = 80,35 \text{ Kg/mm}^2$$

Kekuatan tarik komposit dengan sudut orientasi 90°:

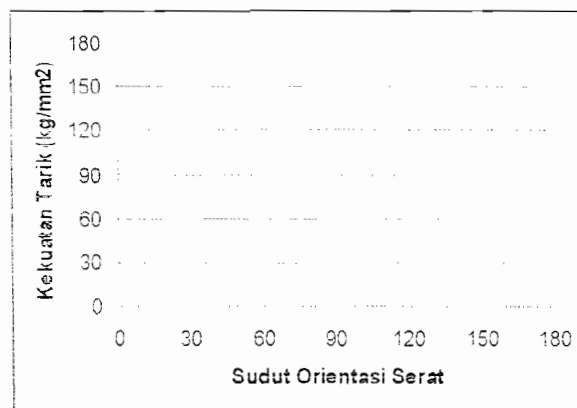
$$\sigma_x = 160,7 \text{ Kg/mm}^2 \times (\cos^2 90)$$

$$\sigma_x = 0$$

Kekuatan tarik komposit dengan sudut orientasi 180°:

$$\sigma_x = 160,7 \text{ Kg/mm}^2 \times (\cos^2 180)$$

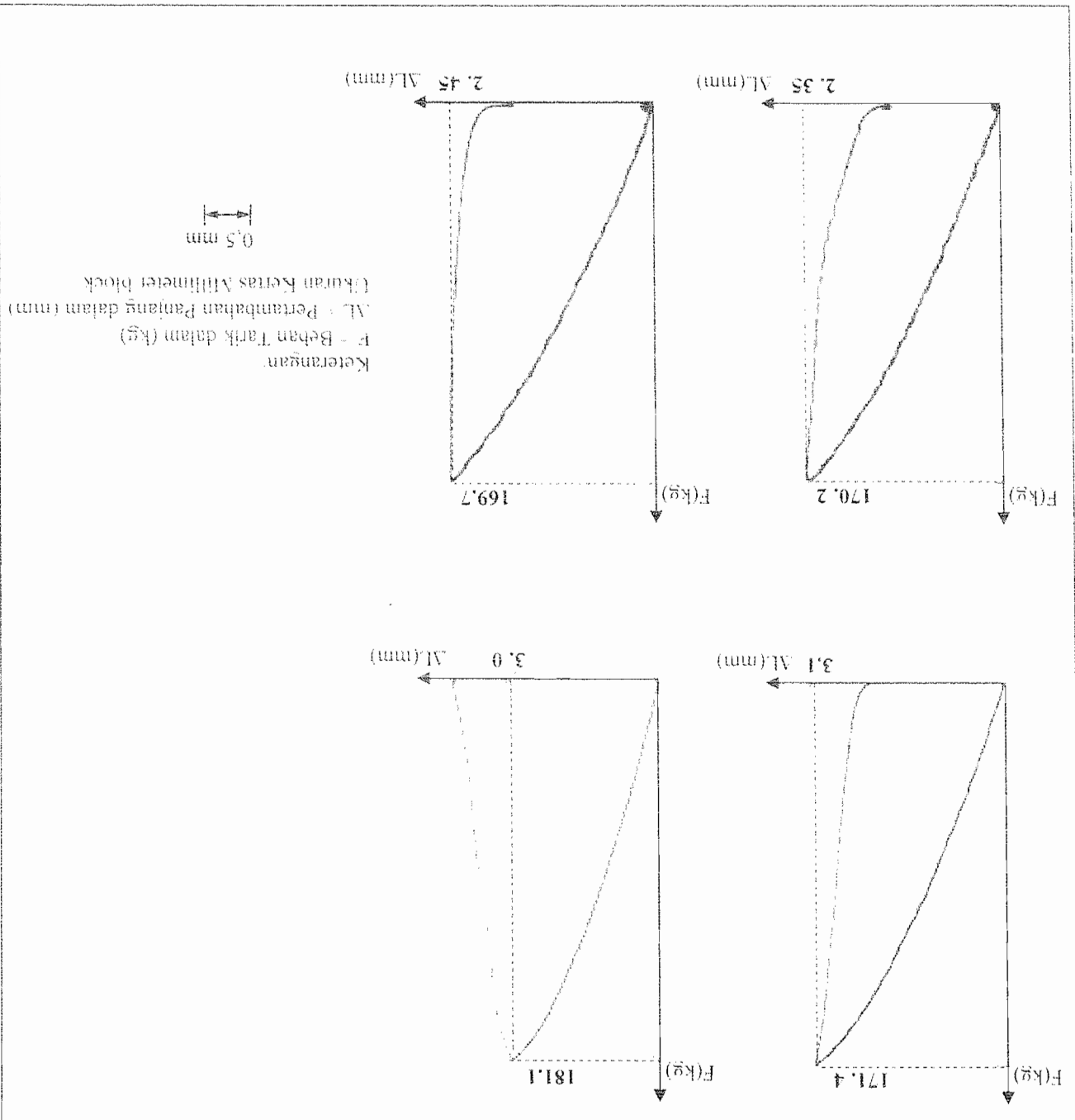
$$\sigma_x = 160,7 \text{ Kg/mm}^2$$

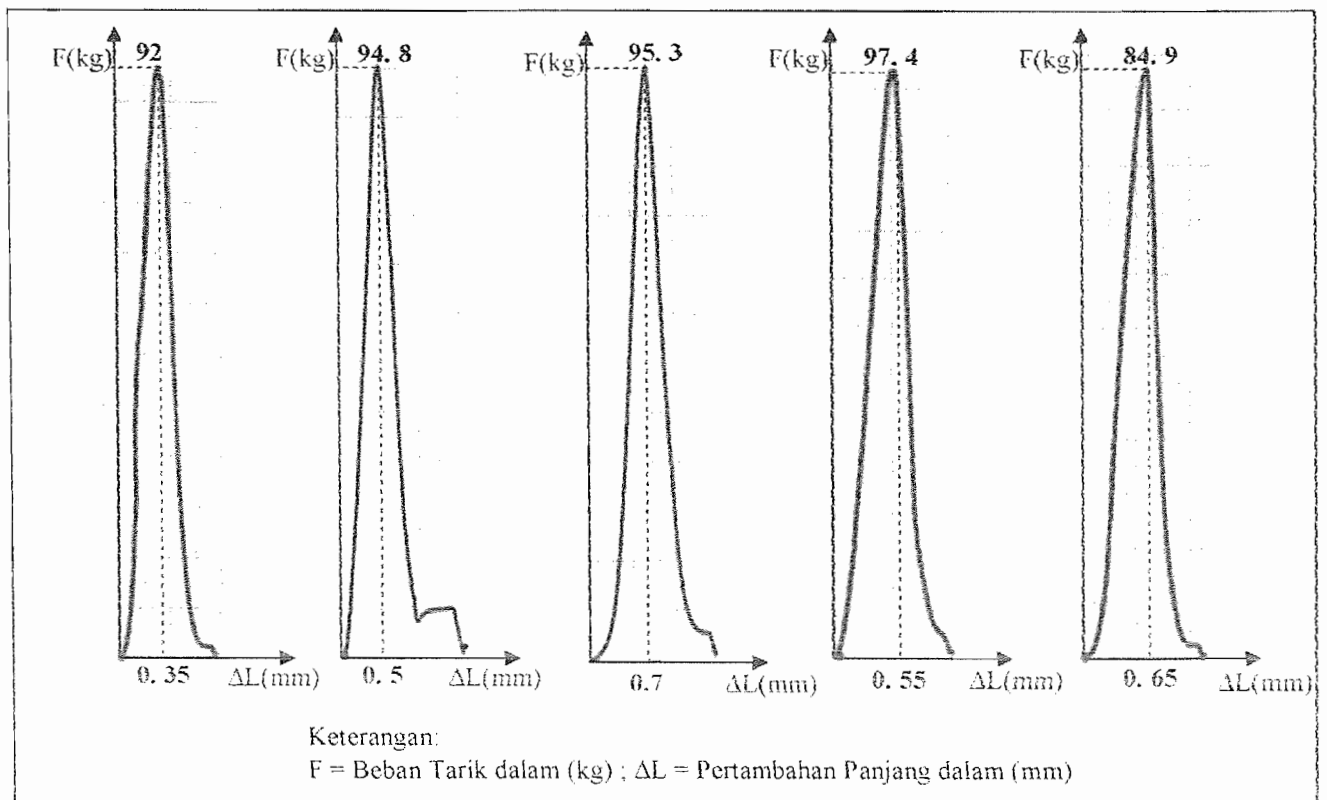


Gambar L . 2

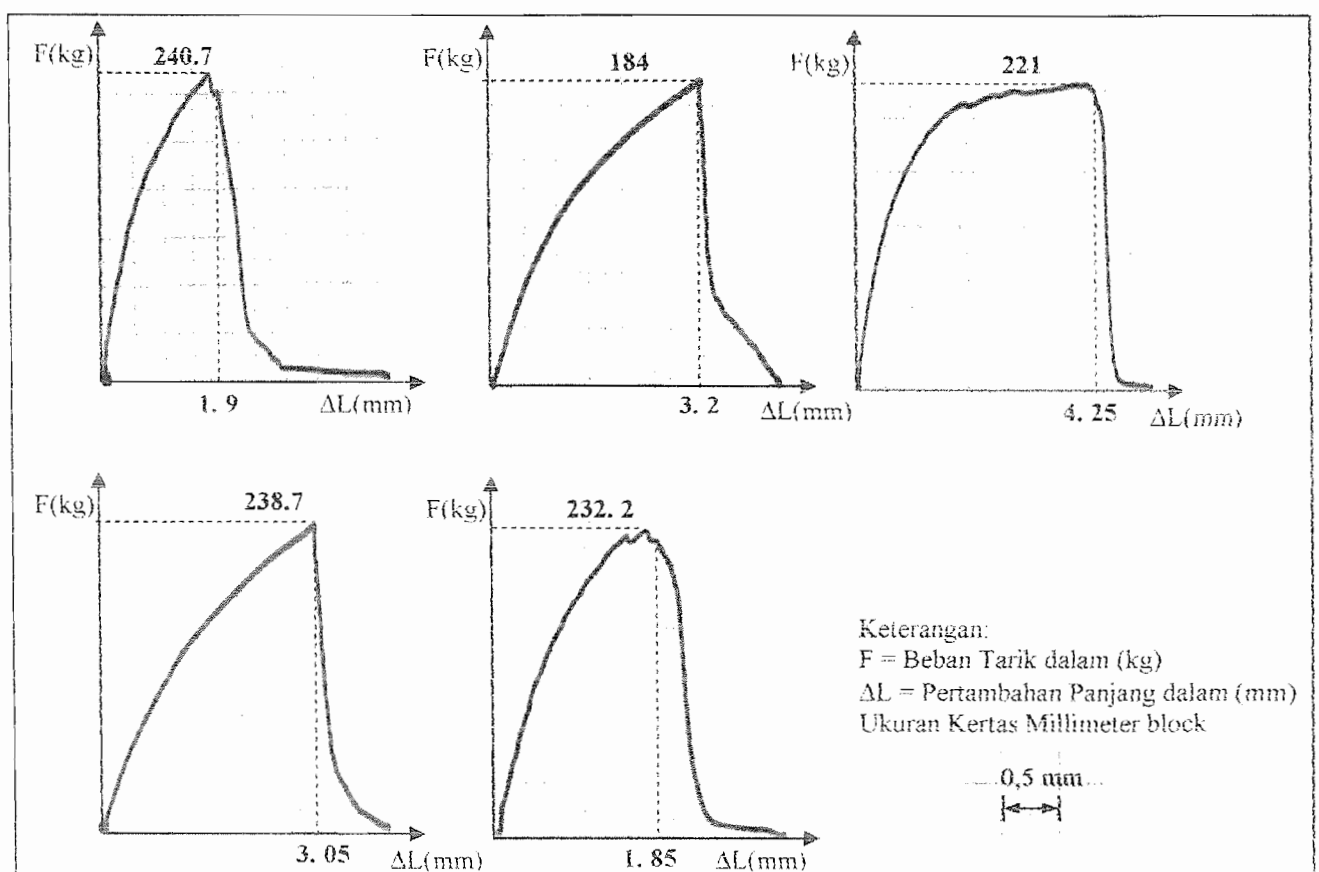
Pada gambar L . 2 terlihat bahwa kekuatan tarik komposit tertinggi ada pada sudut orientasi 0° dan 180° dan kekuatan tarik terendah ada pada sudut orientasi 90°.

Gambar L.3. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Matrik

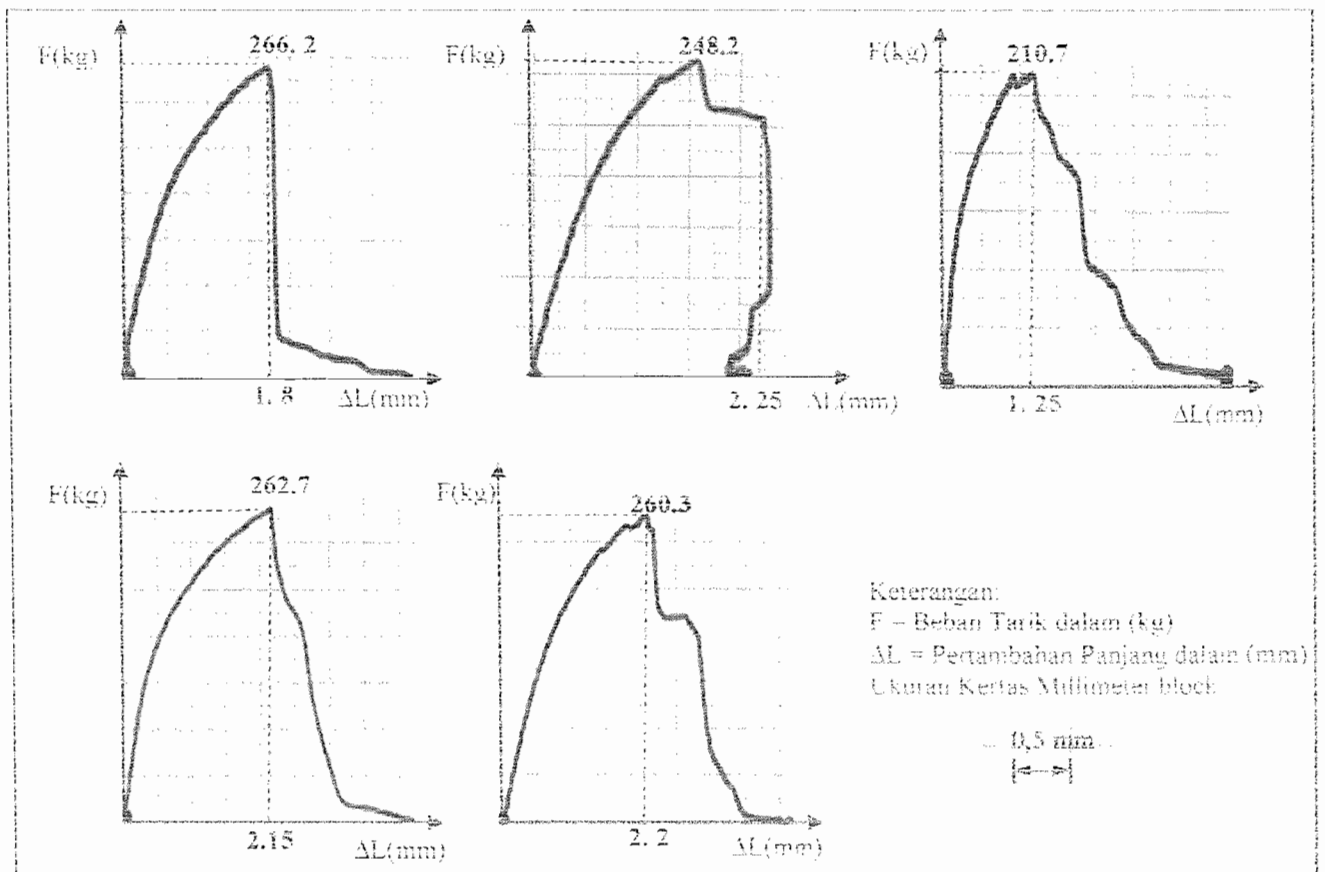




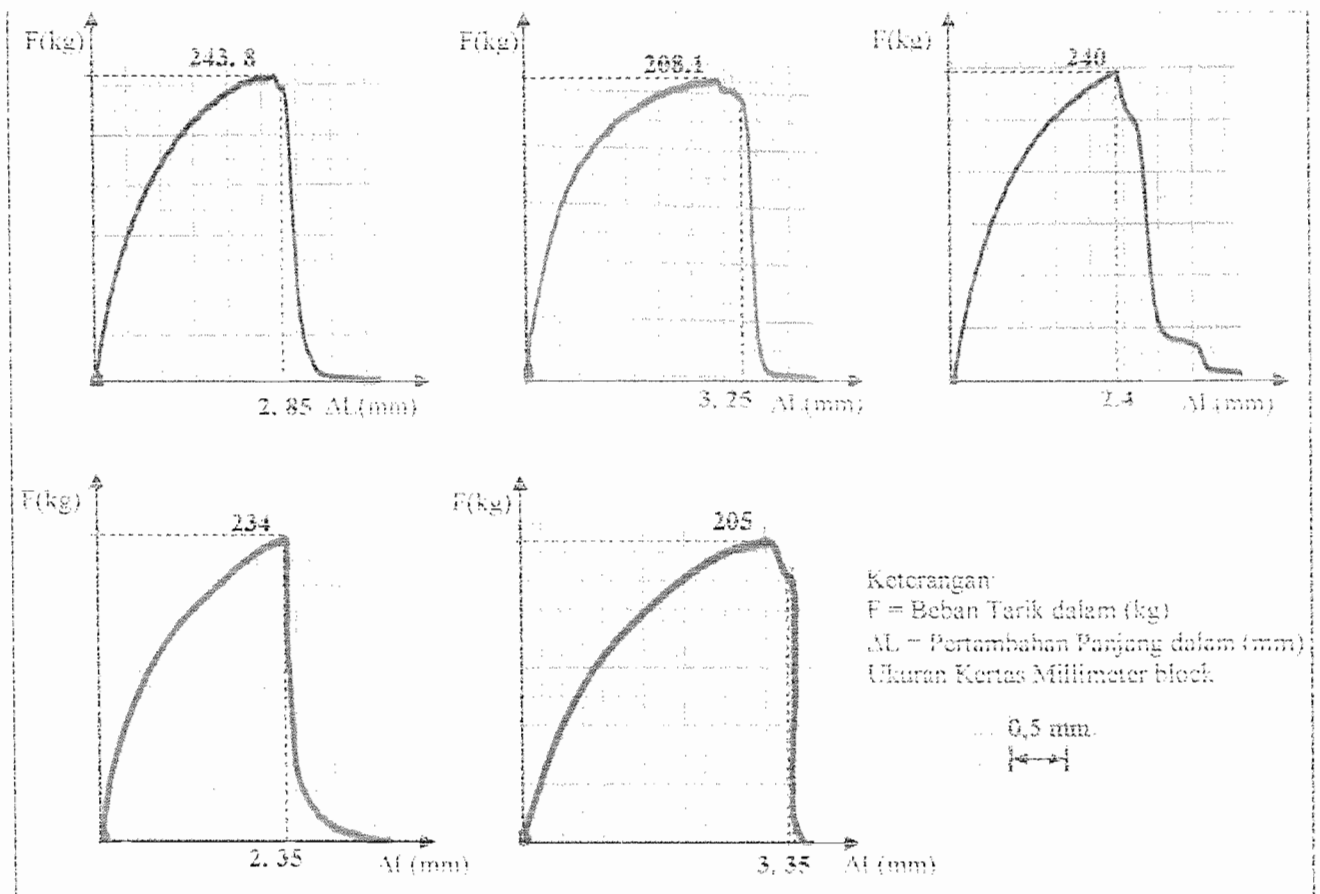
Gambar L .4. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Serat



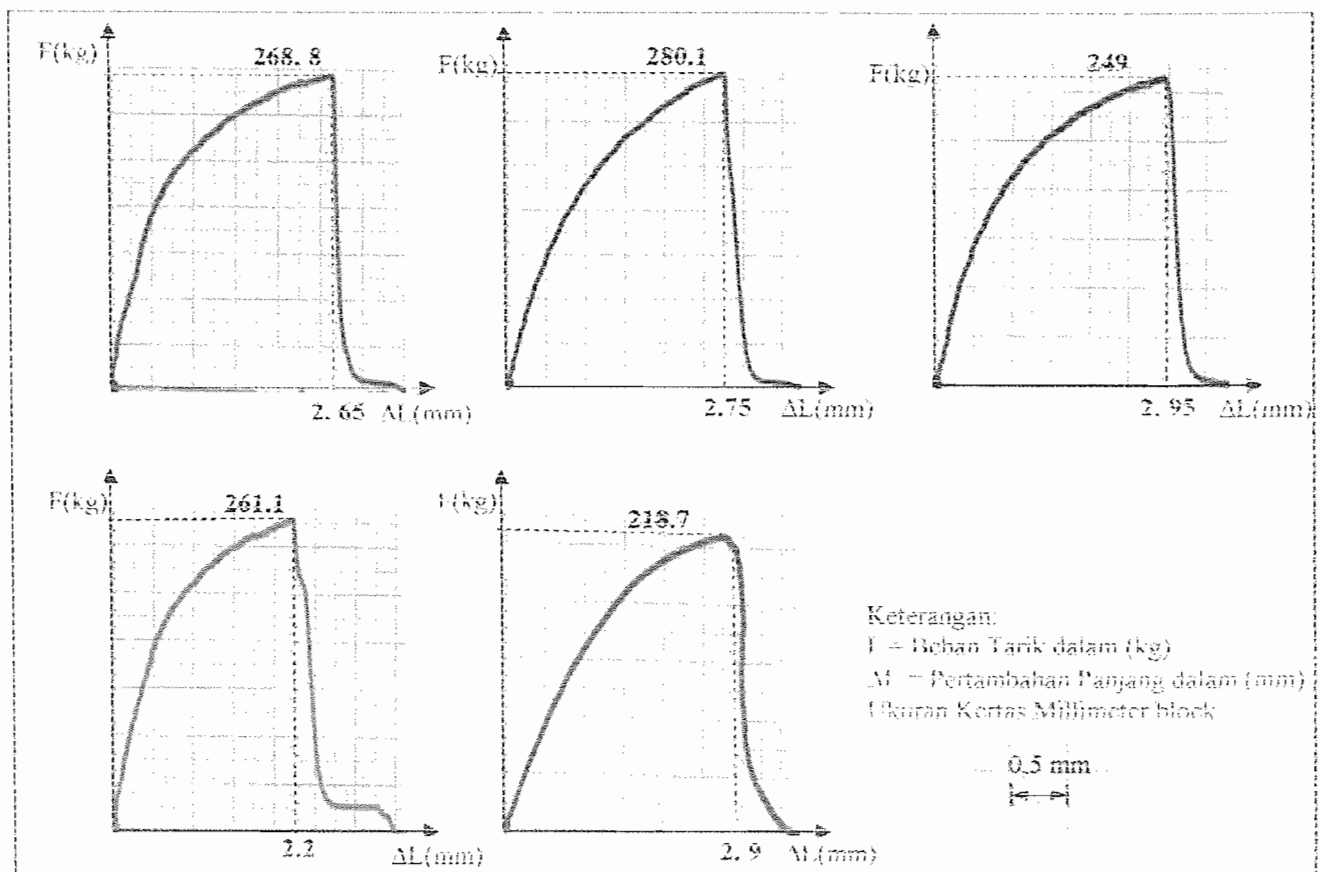
Gambar L .5. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit Curing 30°C



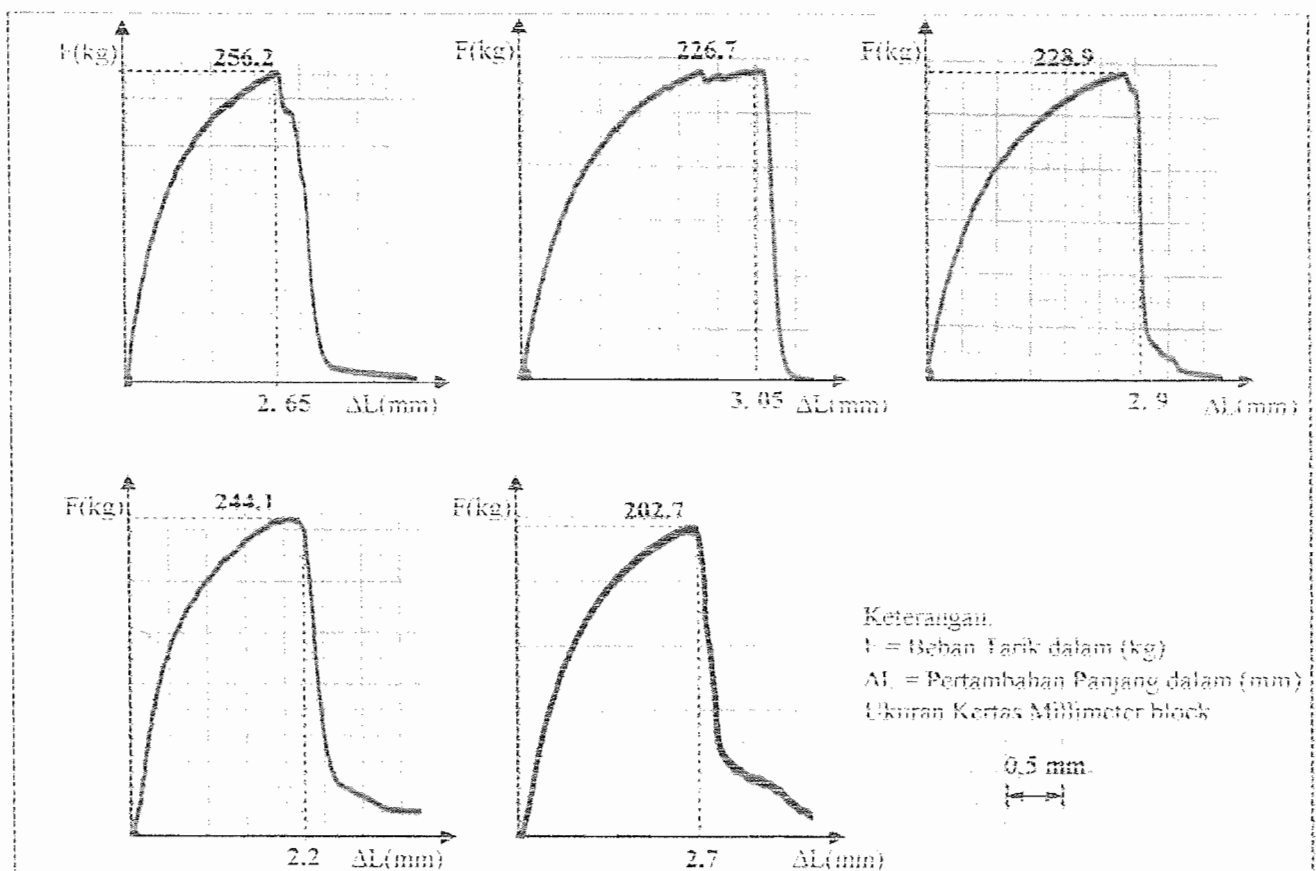
Gambar L .6. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit Curing 55°C; 30 menit



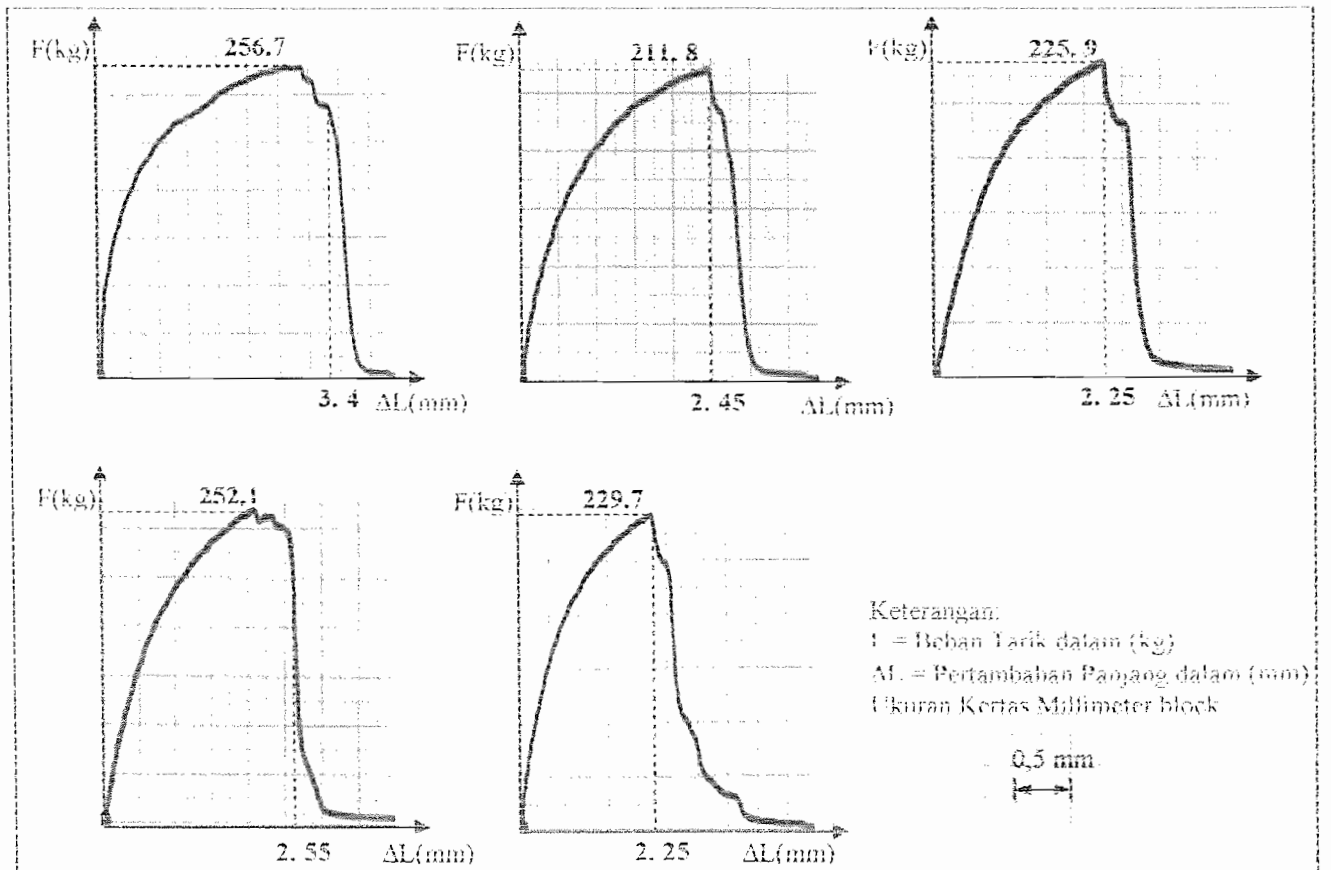
Gambar L . 7. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit Curing 65°C; 30 menit



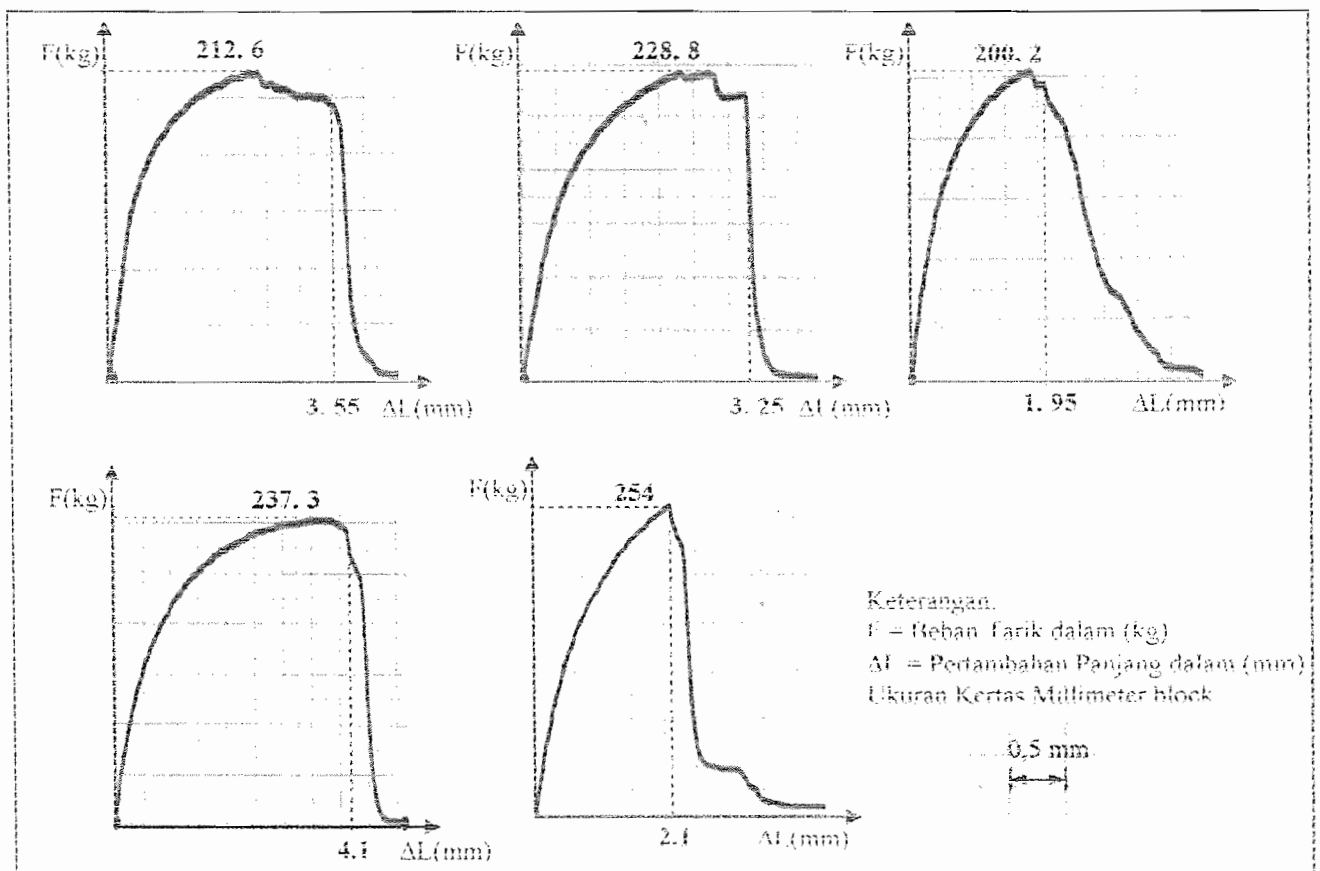
Gambar L.8. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit Curing 75°C; 30 menit



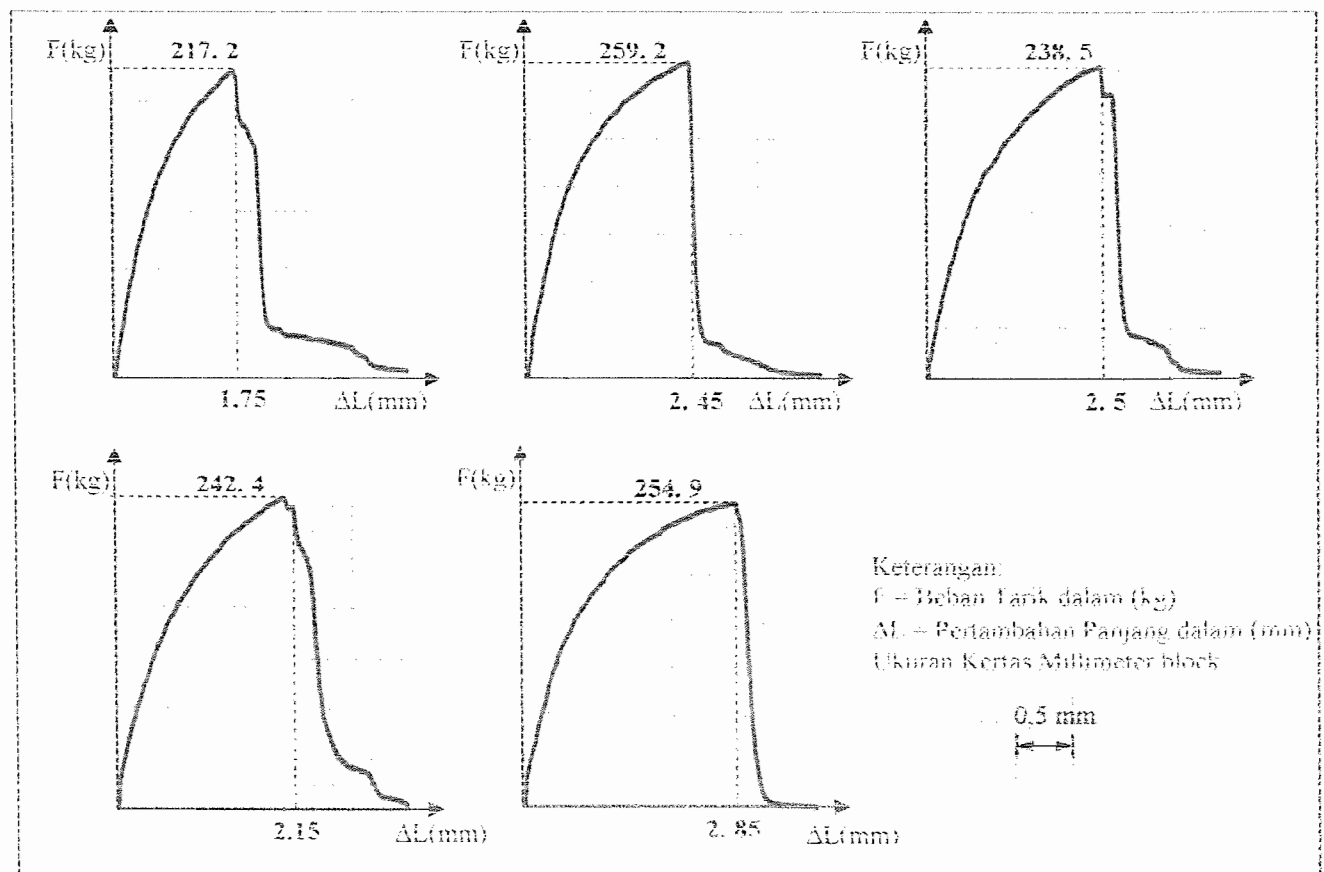
Gambar L.9. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit Curing 90°C; 30 menit



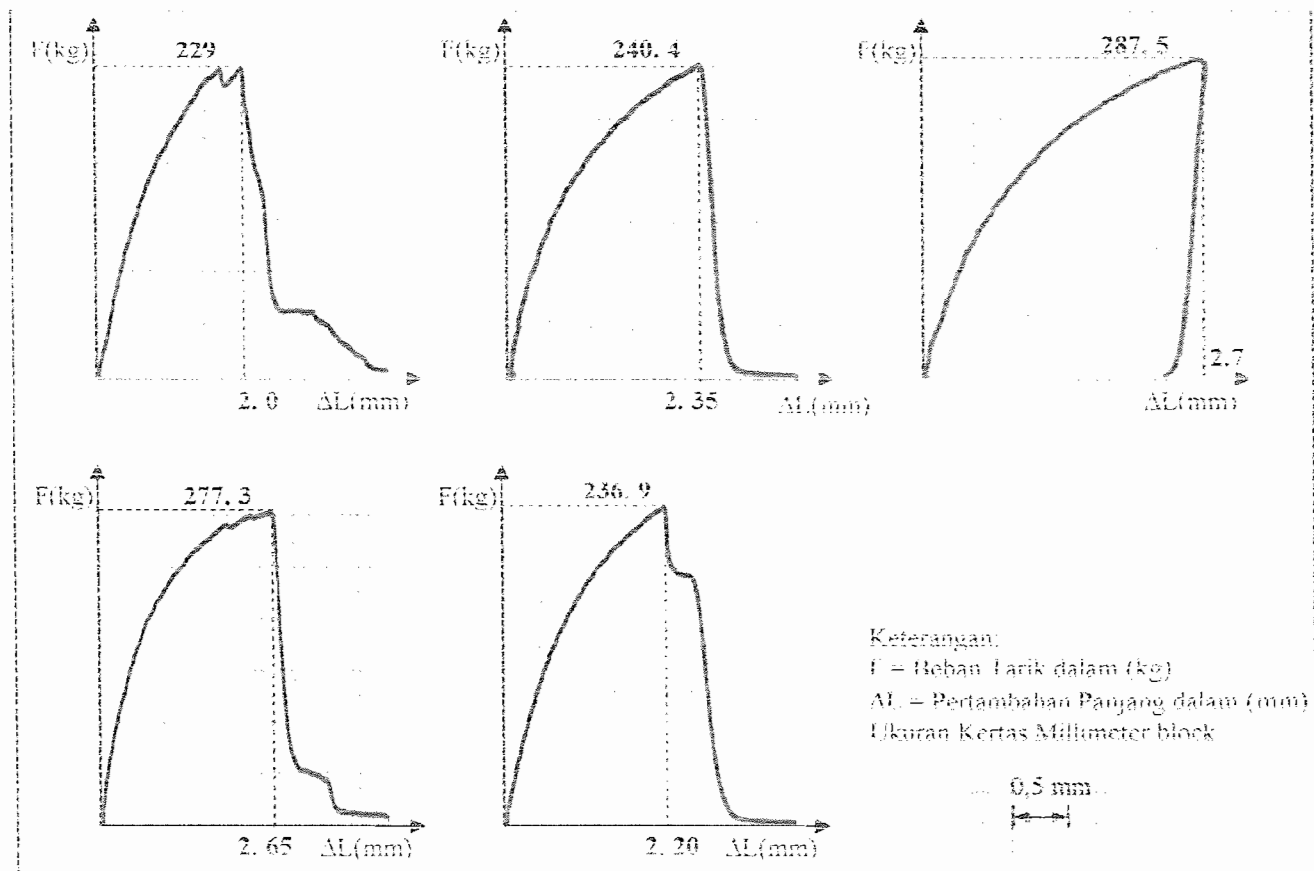
Gambar L.10. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit Curing 105°C; 30 menit



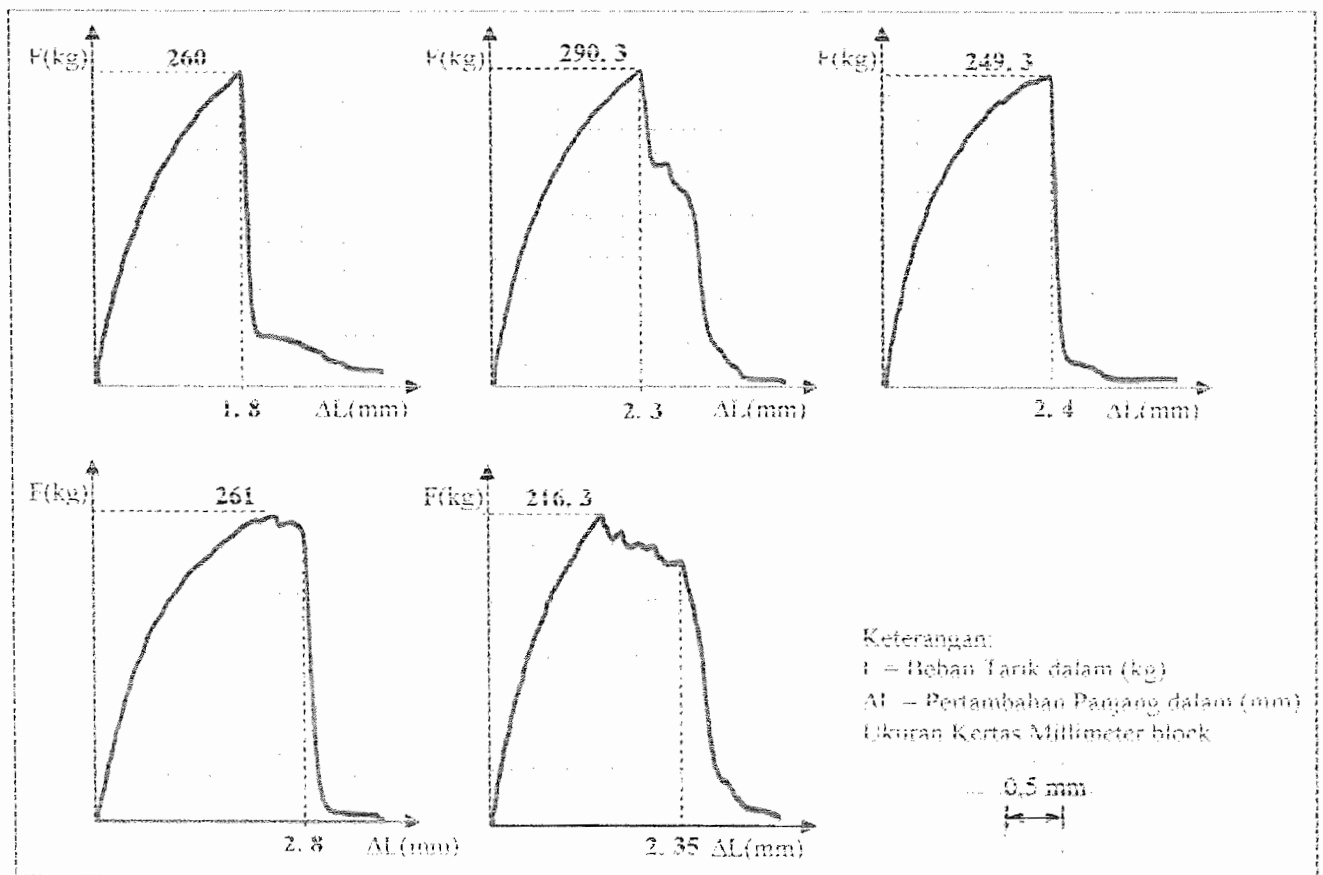
Gambar L.11. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit Curing 120°C; 30 menit



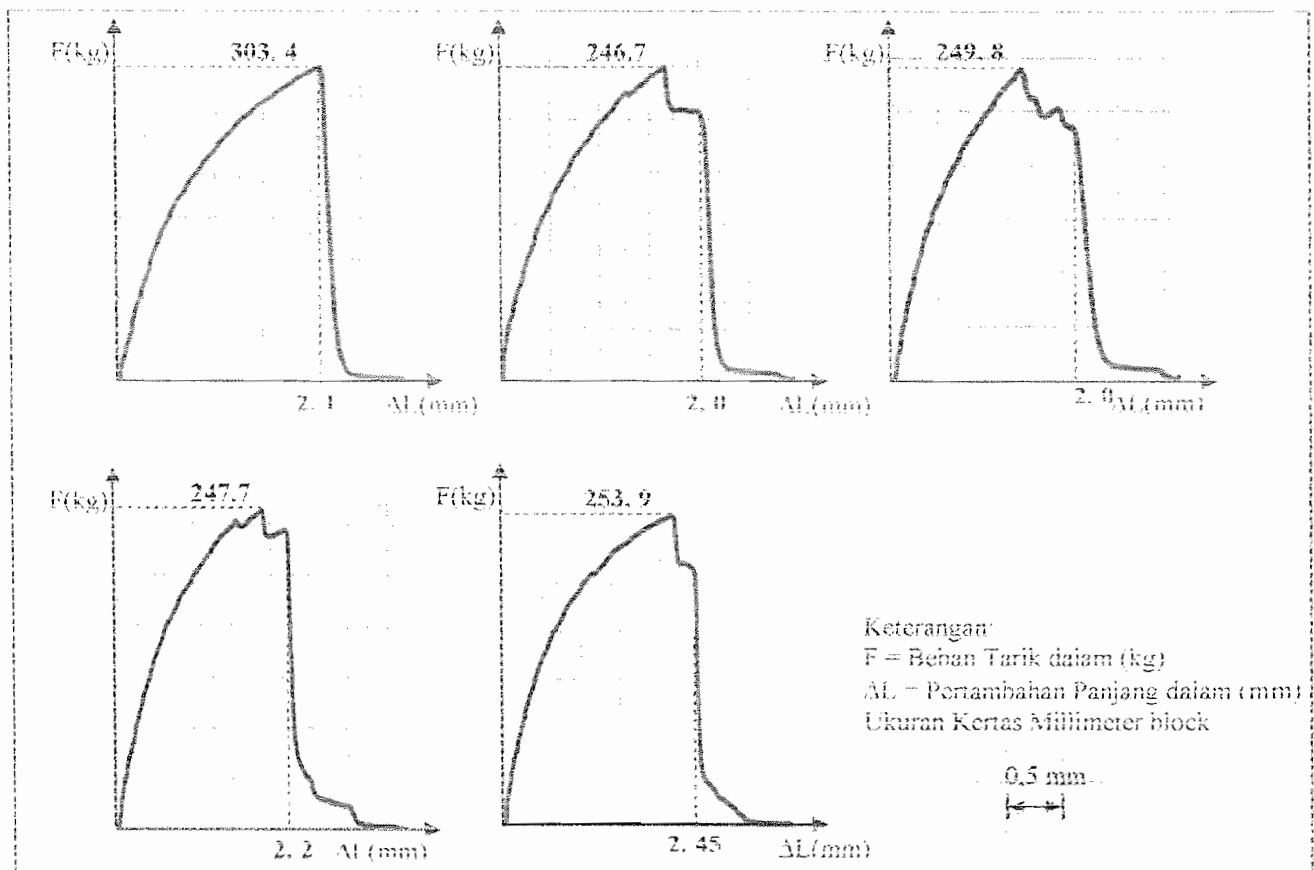
Gambar L .12. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit Curing 55°C; 60 menit



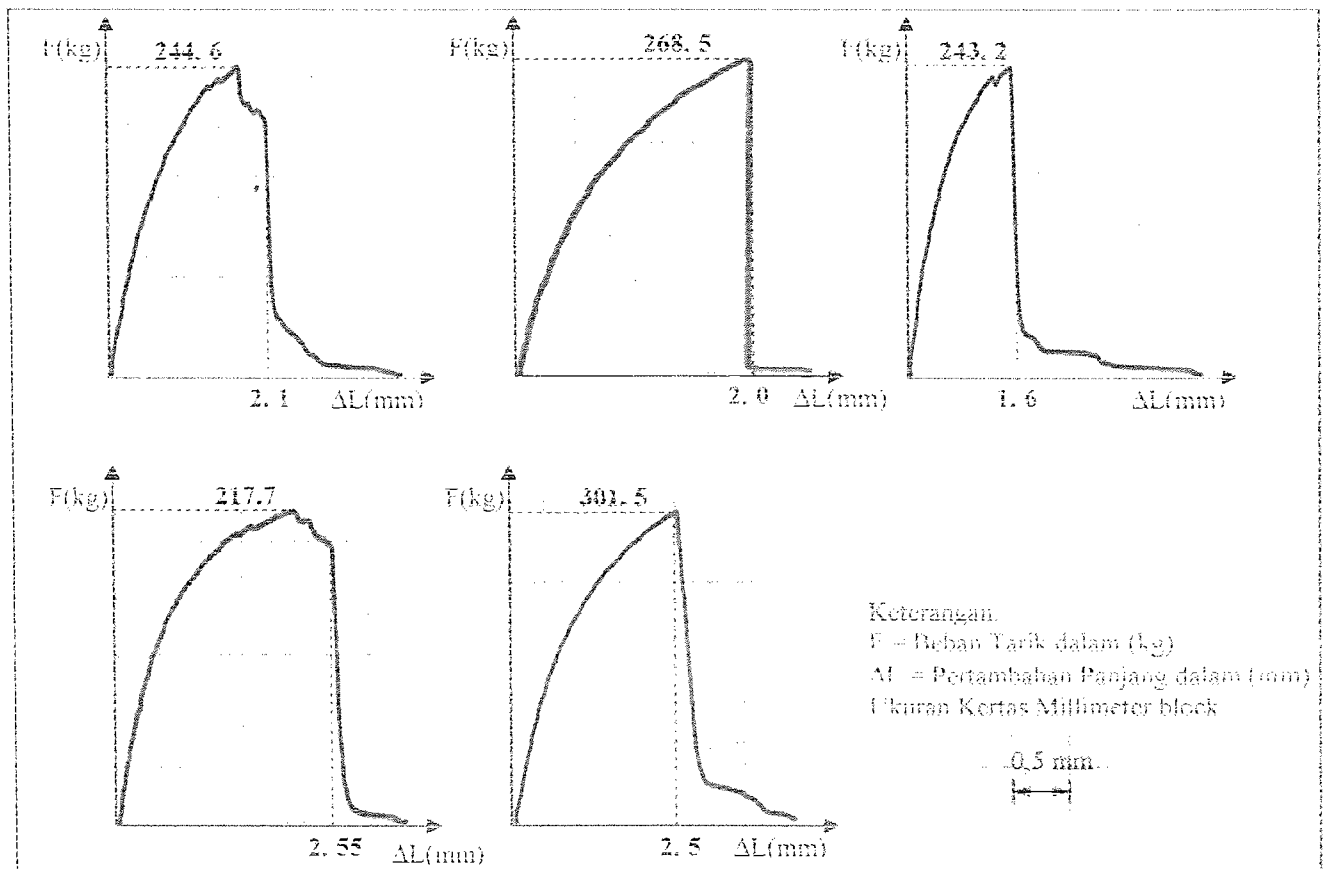
Gambar L .13. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit Curing 65°C; 60 menit



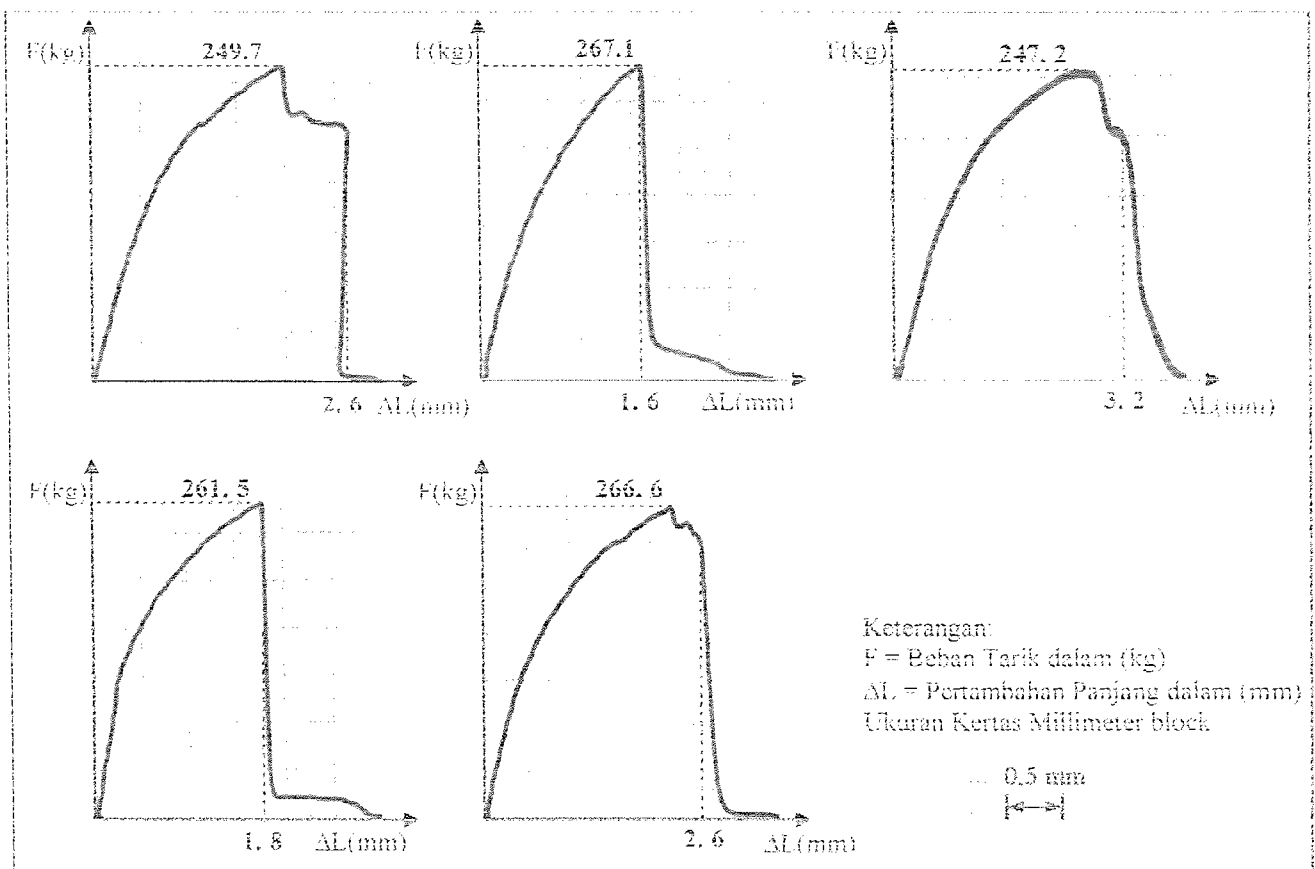
Gambar L.14. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit Curing 75°C; 60 menit



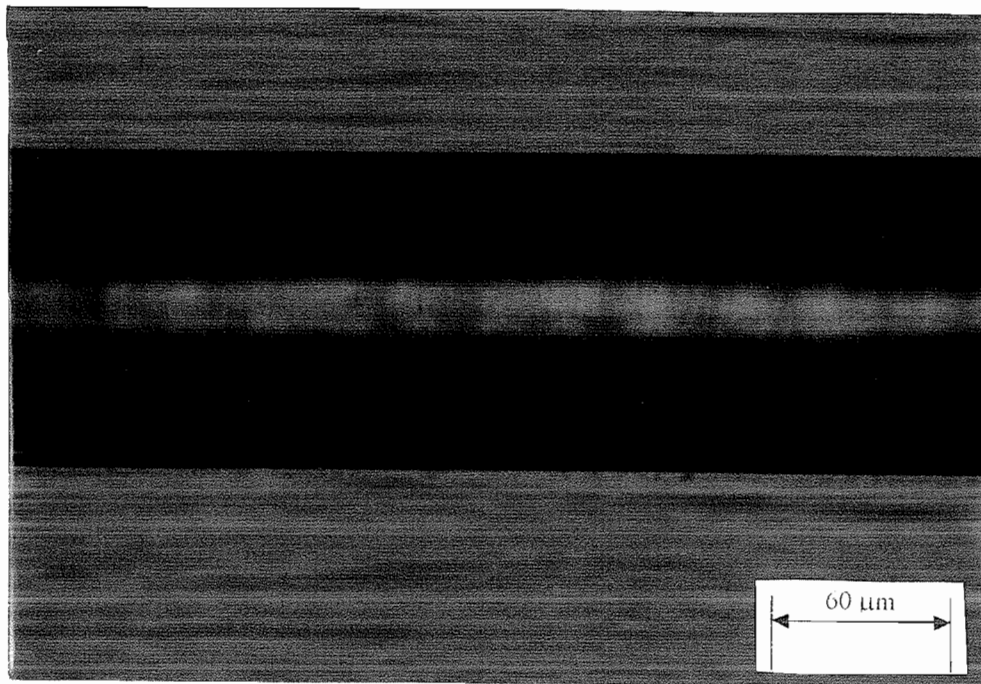
Gambar L.15. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit Curing 90°C; 60 menit



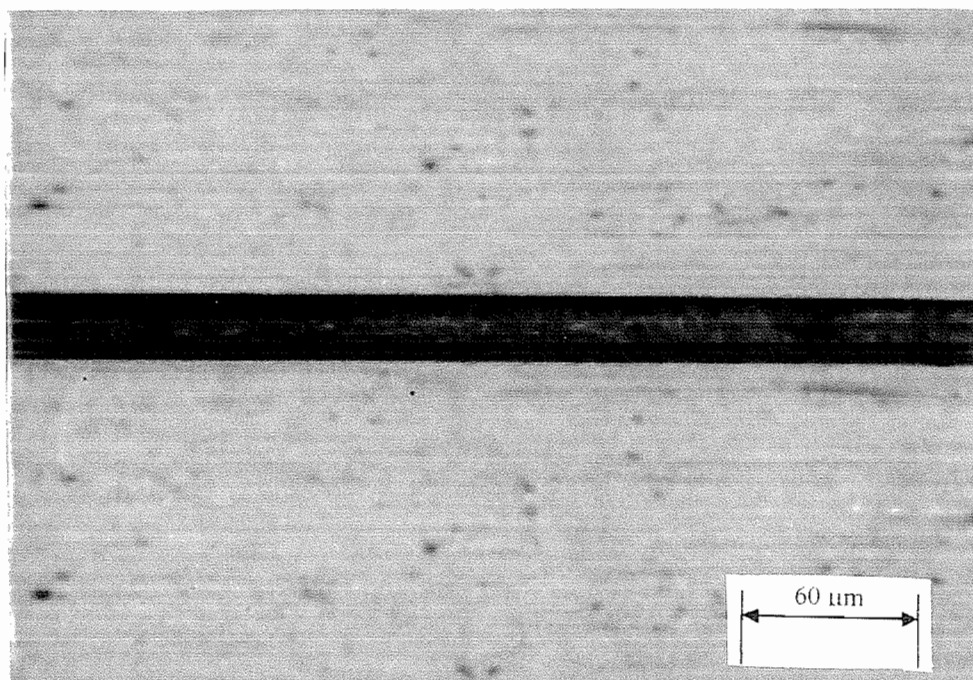
Gambar L.16. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit Curing 105°C; 60 menit



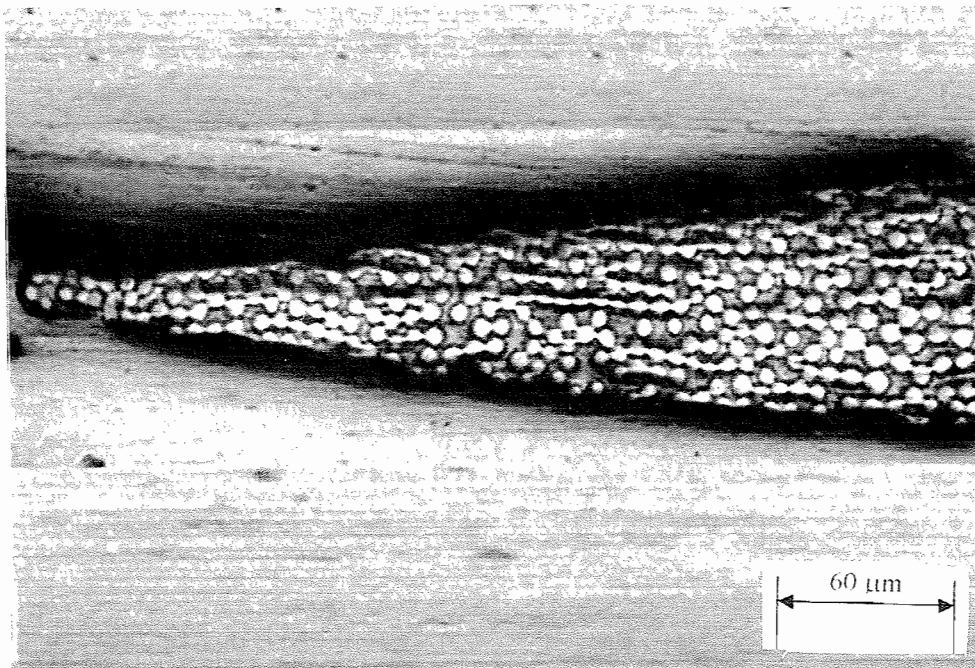
Gambar L.17. Grafik Beban vs Pertambahan Panjang Komposit Curing 120°C; 60 menit



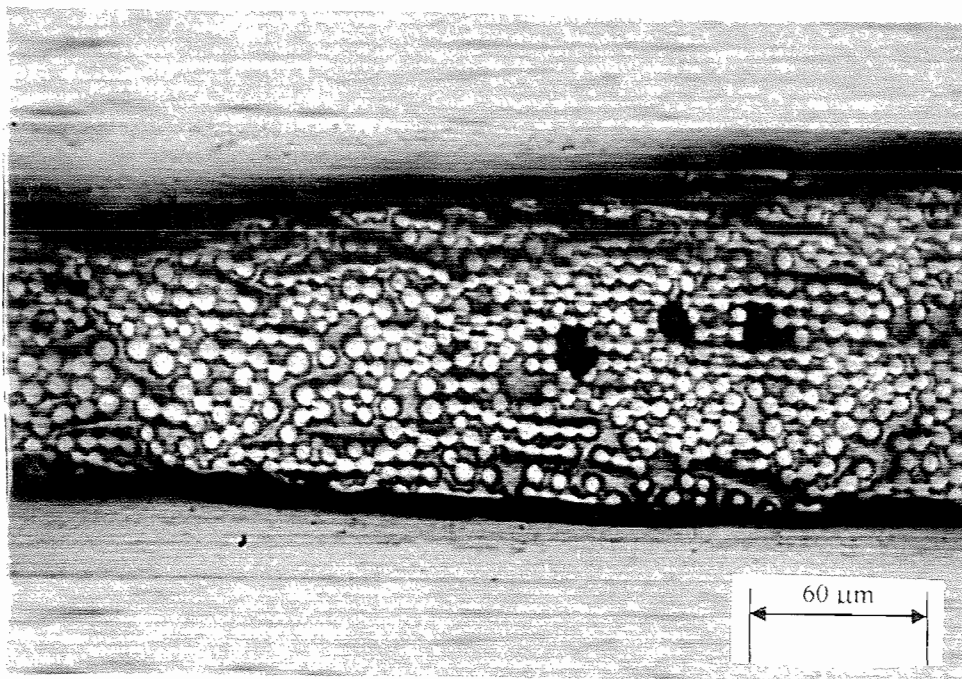
Gambar L .18 Foto mikro kawat tembaga



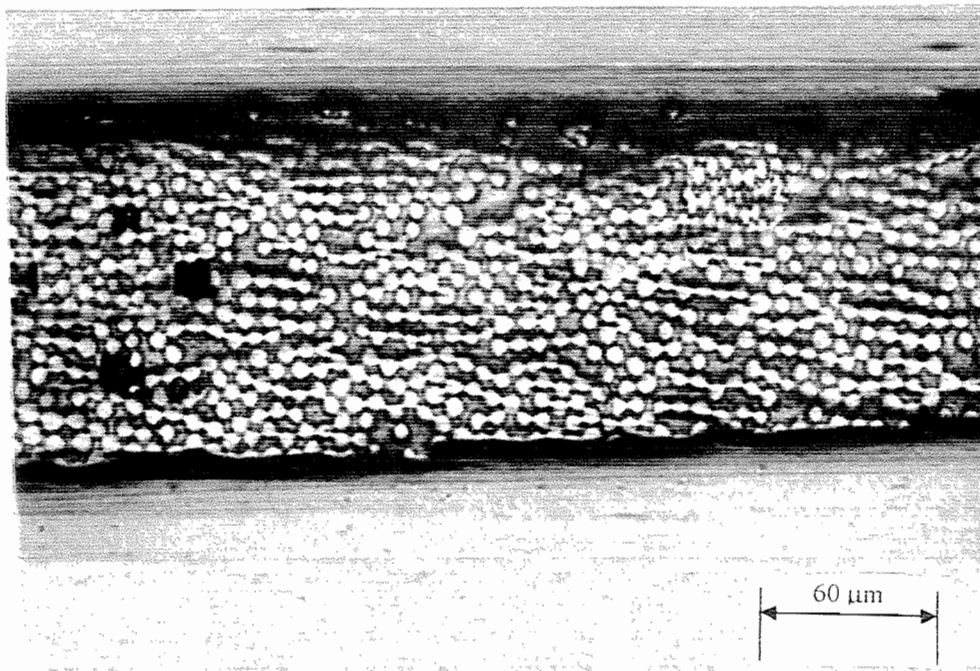
Gambar L .19 Foto mikro serat



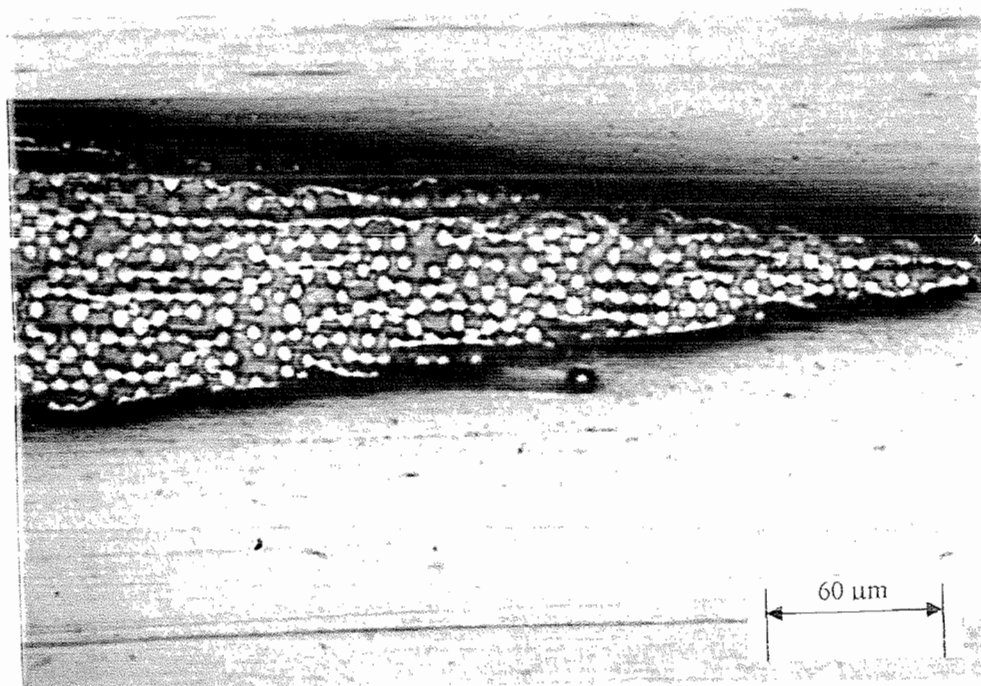
Gambar L .20 Jumlah Serat 1



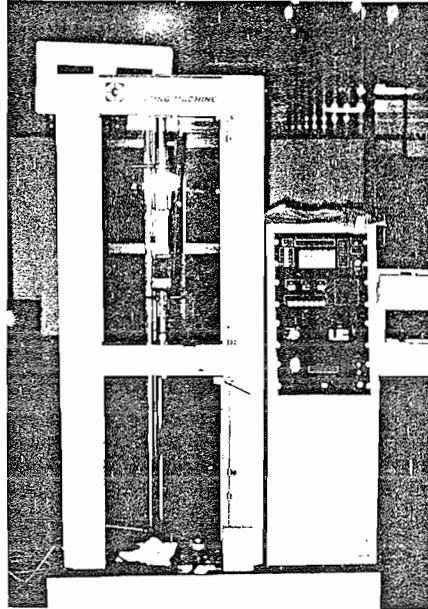
Gambar L .21 Jumlah Serat 2



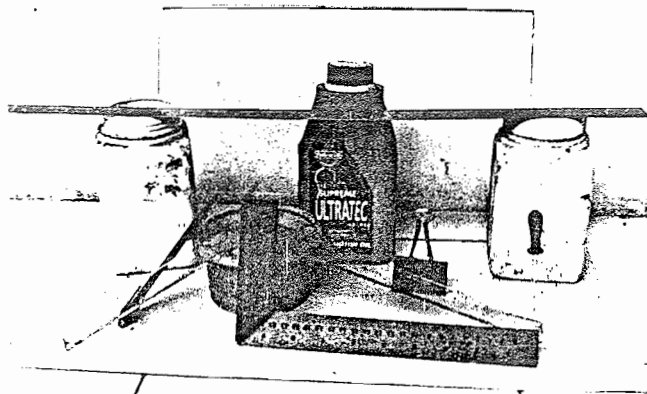
Gambar L .22 Jumlah Serat 3



Gambar L .23 Jumlah Serat 4



Gambar L .24 Mesin Uji Tarik



Gambar L .25 Bahan Pembuat Komposit

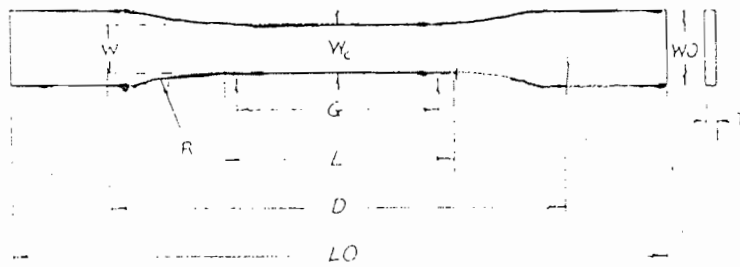
Cara mangkonversi satuan kg/mm^2 menjadi Mpa:

- $$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{N}{10^6 mm^2} = \frac{gravitasi(m/s^2) \times massa(kg)}{10^6 mm^2}$$

- $$MPa = \frac{10^6 N}{m^2} = \frac{10^6 N}{10^6 mm^2} = \frac{gravitasi(m/s^2) \times massa(kg)}{mm^2}$$

- Jadi untuk mengkonversi satuan dari kg/mm^2 menjadi MPa adalah dikalikan dengan gravitasi ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$).

D 638



TYPES I, II, III



TYPE IV

Specimen Dimensions for Thickness, T , mm¹¹

Dimensions (see drawings)	7 or under		Over 7 to 14 incl.	4 or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^G	Type V ^I	
Width of narrow section ^{A, 11}	13	6	19	6	3.18	$\pm 0.5^{G, I}$
Length of narrow section	57	57	57	33	9.53	$\pm 0.5^I$
Width over-all, min ^E	19	19	29	19	9.53	± 6
Length over-all, min ^E	165	183	246	115	63.5	no max
Gage length ^C	50	50	50	...	7.62	$\pm 0.25^I$
Gage length ^C	...	...	...	23	...	± 0.13
Distance between grips	115	135	115	64 ¹¹	25.4	± 5
Radius of fillet	76	76	76	14	12.7	$\pm 1^I$
Outer radius (Type IV)	...	...	...	25	...	± 1

Specimen Dimensions for Thickness, T , in.¹¹

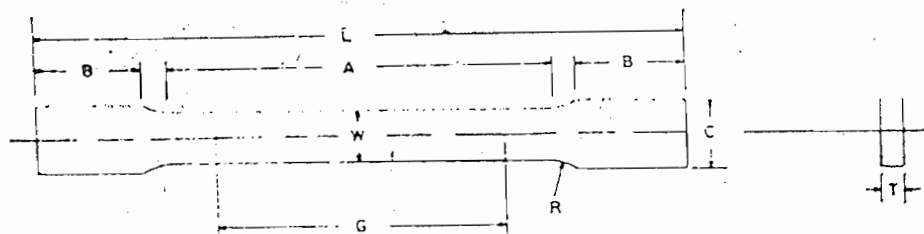
Dimensions (see drawings)	0.28 or under		Over 0.28 to 0.55 incl.	0.16 or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^G	Type V ^I	
Width of narrow section ^{A, 11}	0.50	0.25	0.75	0.25	0.125	$\pm 0.02^{G, I}$
Length of narrow section	2.25	2.25	2.25	1.30	0.375	$\pm 0.02^I$
Width over-all, min ^E	0.75	0.75	1.13	0.75	0.375	± 0.25
Length over-all, min ^E	6.5	7.2	9.7	4.5	2.5	no max
Gage length ^C	2.00	2.00	2.00	...	0.300	$\pm 0.010^I$
Gage length ^C	...	...	...	1.00	...	± 0.005
Distance between grips	4.5	5.3	4.5	2.5 ¹¹	1.0	± 0.2
Radius of fillet	3.00	3.00	3.00	0.56	0.5	$\pm 0.04^I$
Outer radius (Type IV)	...	...	...	1.00	...	± 0.04

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

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 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.

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 (0.13 in.) in thickness, and this should be taken into account when calculating width of the specimen. Thus a typical one of a molded Type I specimen, having the maximum allowable draft, could be as follows:

A 370



DIMENSIONS

	Standard Specimens				Subsize Specimen	
	Plate-Type, 1½-in. Wide		Sheet-Type, ½-in. Wide		¼-in. Wide	
	in.	mm	in.	mm	in.	mm
G—Gage length (Notes 1 and 2)	8.00 ± 0.01	200 ± 0.25	2.000 ± 0.005	50.0 ± 0.10	1.000 ± 0.003	25.0 ± 0.08
B—Width (Notes 3, 4, and 5)	1½ ± ¼ — ¼	40 ± 3 — 6	0.500 ± 0.010	12.5 ± 0.25	0.250 ± 0.002	6.25 ± 0.05
T—Thickness (Note 6)			thickness of material			
R—Radius of fillet, min	1½	13	½	13	¼	6
L—Over-all length, min (Notes 2 and 7)	18	450	8	200	4	100
A—Length of reduced section, min	9	225	2½	60	1¼	32
B—Length of grip section, min (Note 8)	3	75	2	50	1¼	32
C—Width of grip section, approximate (Notes 4, 9, and 10)	2	50	¾	20	¾	10

NOTE 1—For the 1½-in. (40-mm) wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of nine or more punch marks 1 in. (25 mm) apart, or one or more pairs of punch marks 8 in. (200 mm) apart may be used.

NOTE 2—When elongation measurements of 1½-in. (40-mm) wide specimens are not required, a gage length (G) of 2.00 in. ± 0.005 in. (50.0 mm ± 0.10 mm) with all other dimensions similar to the plate-type specimen may be used.

NOTE 3—For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.004, 0.002 or 0.001 in. (0.10, 0.05 or 0.025 mm), respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at either end shall not be more than 0.015 in., 0.005 in., or 0.003 in. (0.40, 0.10 or 0.08 mm), respectively, larger than the width at the center.

NOTE 4—For each of the three sizes of specimens, narrower widths (B' and C') may be used when necessary. In such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used. If the width of the material is less than B, the sides may be parallel throughout the length of the specimen.

NOTE 5—The specimen may be modified by making the sides parallel throughout the length of the specimen, the width and tolerances being the same as those specified above. When necessary a narrower specimen may be used, in which case the width should be as great as the width of the material being tested permits. If the width is 1½ in. (38 mm) or less, the sides may be parallel throughout the length of the specimen.

NOTE 6—The dimension T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum nominal thickness of 1½-in. (40-mm) wide specimens shall be ¼ in. (5 mm), except as permitted by the product specification. Maximum nominal thickness of ½-in. (12.5-mm) and ¼-in. (6-mm) wide specimens shall be ¼ in. (19 mm) and ¼ in. (6 mm), respectively.

NOTE 7—To aid in obtaining axial loading during testing of ¼-in. (6-mm) wide specimens, the over-all length should be as the material will permit.

NOTE 8—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of ½-in. (13-mm) wide specimens is over ¼ in. (10 mm); longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 9—For standard sheet-type specimens and subsize specimens the ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 0.01 and 0.005 in. (0.25 and 0.13 mm), respectively. However, for steel if the ends of the ½-in. (12.5-mm) wide specimen are symmetrical within 0.05 in. (1.0 mm) a specimen may be considered satisfactory for all but referee testing.

NOTE 10—For standard plate-type specimens the ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 0.25 in. (6.35 mm) except for referee testing in which case the ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 0.10 in. (2.5 mm).

FIG. 4 Rectangular Tension Test Specimens