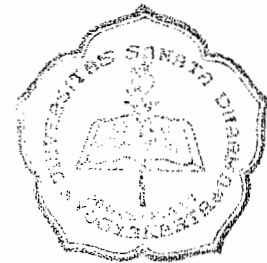


**PENGARUH SUHU CURING TERHADAP SIFAT
MEKANIS DAN FISIS KOMPOSIT POLIMER
(E-GLASS DAN ARINDO 3210)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Mesin**



Disusun oleh :

Nama : Agus Wijaya V.H.

NIM : 995214130

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
Y O G Y A K A R T A
2 0 0 6**

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

FINAL PROJECT

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



By :

Name : Agus Wijaya V.H.

Student Number : 995214130

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
ENGINEERING FACULTY
SANATA DHARMA UNIVERSITY
Y O G Y A K A R T A
2 0 0 6**

TUGAS AKHIR

PENGARUH SUHU CURING TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN FISIS KOMPOSIT POLIMER (E-GLASS DAN ARINDO 3210)

Disusun oleh :

Agus Wijaya V.H.

NIM : 995214130

Telah disetujui oleh :

Pembimbing I



Dr.Ir. Viktor Malau, DEA.

Tanggal :

Pembimbing II



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

Tanggal :

TUGAS AKHIR

PENGARUH SUHU CURING TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN FISIS KOMPOSIT POLIMER (E-GLASS DAN ARINDO 3210)

Dipersiapkan dan ditulis oleh :

Agus Wijaya V.H.

NIM : 995214130

Telah dipertahankan di depan panitia peguji

Pada tanggal 14 Januari 2006

Dan dinyatakan memenuhi syarat

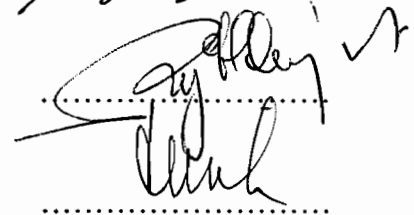
Susunan Panitia Penguji :

Ketua : Ir. M. Rines, M.T.

Sekretaris : Yosef Agung Cahyanta, S.T., M.T.

Anggota : Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.

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



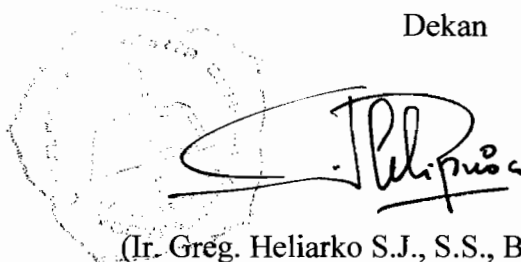
Yogyakarta, 2006

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Yogyakarta

Dekan



(Ir. Greg. Heliarko S.J., 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 pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 7 Oktober 2005

Penulis

Agus Wijaya V.H.



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

No : 601 / TA / FT-USD / TM Oktober/ 2005

nama : Agus Wijaya VH.
IM : 995214130
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Univ. Sanata Dharma Yogyakarta

Judul :

Pengaruh suhu curing terhadap sifat mekanis dan fisis komposit (E Glass -VS Resin Arindo 3210).

Tanggal dimulai :

Yogyakarta, 8 Oktober 2005

Pembimbing II

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

Pembimbing I

Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.

KUPERSEMBAHKAN KARYA INI KEPADA :

TUHAN YESUS KRISTUS,

BAPAK VINK HARDIN,

IBU WULANTANSARI,

SAUDARA-SAUDARAKU,

DAN

SEMUA TEMAN-TEMANKU.

KATA PENGANTAR

Bagi Dia yang sanggup memberikan hikmat dan kasih karunia pada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, Nama diatas segala nama dan Raja diatas segala raja, Yesus Kristus Tuhan dan Juru Selamat, Penulis naikan sembah dan syukur. Semua ini karena kasih-Nya yang besar dan senantiasa menuntun penulis langkah demi langkah dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Yang dalam setiap kesulitan tiada pernah meninggalkan penulis, namun senantiasa memberikan jalan keluar hingga selesainya Tugas Akhir yang berjudul Pengaruh Suhu Curing Terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Komposit Polimer (E-Glass dan Arindo 3210) ini dapat penulis selesaikan. Biarlah ini semua dapat menjadi kemuliaan bagi nama-Nya yang Kudus sebab semuanya berasal dari Dia dan kembali pada-Nya Tuhan semesta langit.

Semuanya ini juga tidak dapat terjadi tanpa dukungan dari pihak-pihak yang menjadi tangan Tuhan untuk membantu dalam berbagai cara baik moril maupun materiil. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Romo Ir. Greg. Heliarko, S.J., S.S., M.A., M.Sc., Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma.
2. Yosef Agung Cahyanta, S.T., M.T., Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.
3. Dr. Ir. Viktor Malau, DEA., dosen pembimbing utama Tugas Akhir.
4. D. Doddy Purwadianto, S.T., M.T., dosen pembimbing ke-dua Tugas Akhir.

5. Kepala Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin UGM yang telah menyediakan alat untuk proses perlakuan pada bahan uji.
6. Segenap dosen di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma yang telah mendidik penulis dengan pengetahuan yang sangat membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Segenap staf dan karyawan sekretariat Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma.
8. Mas Martono dan Mas Roni yang telah membantu sewaktu pengujian di laboratorium Universitas Sanata Dharma.
9. Ayah Vink Hardin, Ibu Wulantansari, Kakak Isnugroho, Adik Indah, atas segala dukungan dan doa, semangat, dana, dan restu kalian semua, sehingga Tugas Akhir ini boleh selesai.
10. Diana Veronika yang selalu memberikan dukungan, dan memberikan rasa sayangnya yang senantiasa tulus.
11. Keluarga Bapak Liem Kian Hong yang telah memberi dukungan.
12. Vivien, Maruhal, Martin, Anthon, Ochay, Erwin, Gareng, Patup dan semua teman-temanku, tanpa kalian penulis tidak dapat menyelesaikan semuanya ini.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak memberikan bantuan selama penulisan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam didalam penulisan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan serta jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik membangun demi perbaikan di kemudian hari.

Akhir kata, semoga penulisan tugas akhir ini dapat berguna bagi para pembaca.

Yogyakarta, 7 Oktober 2005

Penulis

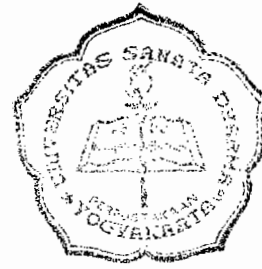
INTISARI

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh suhu *curing* terhadap sifat-sifat mekanis dan fisis serat sebagai fasa penguat, sifat-sifat resin sebagai fasa matrik dan sifat-sifat dari bahan komposit. Sifat-sifat mekanis dan fisis tersebut meliputi : kekuatan tarik, regangan dan struktur mikro. Bahan-bahan yang diteliti yaitu : Serat *E-Glass* dalam bentuk serat anyam (*woven roving*), resin *Arindo 3210* dan katalis *Mepox*.

Proses pembuatan benda uji menggunakan metode *Hand Lay-Up*, setelah dibentuk sesuai dengan standar pengujian, bahan komposit diberi perlakuan *curing* dengan beberapa variasi suhu, yaitu : suhu 55°C, 65°C, 75°C, 90°C, 105°C, dan suhu 120°C, dengan lama curing 30 menit dan 60 menit. Pengujian yang dipakai adalah pengujian tarik dan pengujian struktur mikro. Dalam pengujian serat, diambil 1 helai anyaman serat *E-Glass* dari jenis *woven roving*, Dalam pengujian matrik digunakan standar pengujian ASTM D 638, sedangkan pengujian komposit digunakan standar pengujian ASTM A 370.

Pegujian tarik menghasilkan : nilai kekuatan tarik serat adalah terbesar (146 kg/mm²), nilai kekuatan tarik matrik adalah terkecil (7 kg/mm²), sedangkan nilai kekuatan tarik komposit berada di tengah-tengahnya yaitu 10,5 kg/mm² (kekutan tarik komposit tanpa perlakuan *curing*), untuk reganganya nilai terbesar adalah matrik, nilai terendah adalah serat dan nilai regangan komposit berada di tengah-tengahnya. Proses *curing* dapat meningkatkan maupun menurunkan nilai dari kekuatan tarik dan nilai regangan pada bahan komposit. Proses *curing* mampu menghomogenkan bahan komposit merata pada tiap bagian dari komposit lebih maksimal. Serat *E-Glass* memiliki sifat kekuatan tarik tinggi tetapi nilai reganganya rendah, sedangkan pada matrik memiliki sifat kekuatan tarik rendah akan tetapi nilai reganganya besar. Komposit yang diuji mengalami kerusakan pada pengujian tarik yaitu tidak mempunya matrik menahan serat untuk tidak dapat lepas dari ikatan (*debounding*).

DAFTAR ISI



HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL (INGGRIS)	ii
HALAMAN PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN KEASLIAN KARYA	v
HALAMAN SOAL	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
HALAMAN MOTTO	viii
KATA PENGANTAR	ix
INTISARI	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxii
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	5
1.3 Pembatasan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Pendekatan dan Pemecahan Masalah	7
1.6 Sistematika Pembahasan	8

BAB II DASAR TEORI	9
2.1 Jenis Komposit	9
2.2 Bahan Penyusun Komposit	9
2.2.1 Phase Pertama (Matrik)	10
2.2.2 Phase Kedua (Reinforcing Agent)	11
2.2.2.1 Fiber	11
2.2.2.2 Partikel	18
2.2.2.3 Flake	18
2.2.3 Katalis	19
2.2.4 Bahan Tambahan Lain	19
2.3 Komposit Matrik Polimer	20
2.4 Kaidah Pencampuran	24
2.4.1 Menentukan Fraksi Volume Minimum Reinforcing.....	25
2.5 Rumus Tegangan dan Regangan Komposit.....	28
2.6 Hubungan σ - ϵ Pada Arah Orientasi Sembarang.....	28
2.7 Kerusakan Pada Komposit	29
2.8 Proses Curing Pada Komposit	30
2.8.1 Ovens	30
2.8.2 Hot Oil	31
2.8.3 Lamps (Lampu)	31
2.8.4 Steam	32
2.8.5 Autoclave	32
2.8.6 Microwave	32
2.8.7 Proses Curing yang Lain	33
2.9 Proses Pembuatan Komposit Polimer Berpenguat Serat	33
2.9.1 Proses Hand Lay-Up	33
2.9.2 Proses Spray-Up	35
2.9.3 Proses Bag Molding	36
2.9.4 Proses Filament Winding	37

2.7.5 Proses Pultrusion	38
2.7.6 Proses Pulforming	39
2.7.7 Proses Sheeet Molding Compounds	39
2.7.8 Proses Thick Molding	40
BAB III CARA PENELITIAN	41
3.1 Skema Jalan Penelitian	41
3.2 Menentukan Volume Cetakan	42
3.3 Menentukan % Volume Serat	42
3.4 Menentukan % Volume Resin	43
3.5 Menentukan % Volume Katalis	43
3.6 Penyiapan Benda Uji	43
3.6.1 Alat dan Bahan	43
3.6.2 Pembuatan Cetakan	47
3.7 Pembuatan Benda Uji	47
3.7.1 Pembuatan Benda Uji Matrik Pengikat	47
3.7.2 Pembuatan Benda Uji Komposit	48
3.8 Standar dan Ukuran Benda Uji	50
3.8.1 Benda Uji Matrik Pengikat	50
3.8.2 Benda Uji Serat	51
3.8.3 Benda Uji Komposit	51
3.9 Metode Pengujian	52
3.9.1 Pengujian Tarik Matrik Pengikat	52
3.9.2 Pengujian Tarik Serat	52
3.9.3 Pengujian Tarik Komposit	52
3.9.4 Langkah Pengujian Struktur mikro	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	54
4.1 Pengujian Tarik	54
4.1.1 Serat Penguat	54
4.1.1.1 Data Pengujian Tarik dan Perhitungan	56

4.1.1.2 Pembahasan	60
4.1.2 Matrik Pengikat	61
4.1.2.1 Data Pengujian Tarik dan Perhitungan.....	61
4.1.2.2 Pembahasan	61
4.1.3 Komposit	66
4.1.3.1 Data Pengujian Tarik dan Perhitungan	66
4.1.3.2 Pembahasan	79
4.2 Pengujian Struktur Mikro	87
4.2.1 Hasil Pengujian Struktur Mikro	87
4.2.2 Pembahasan Pengujian Struktur Mikro	91
BAB V PENUTUP	92
5.1 Penutup	92
5.2 Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR NOTASI

Lambang	Keterangan	Satuan
M_c	Massa komposit	g
M_m	Massa matrik	g
M_r	Massa reinforcing	g
V_c	Volume komposit	mm ³
V_m	Volume matrik	mm ³
V_r	Volume reinforcing	mm ³
V_v	Volume voids	mm ³
ρ_c	Kerapatan komposit	g/mm ³
ρ_m	Kerapatan matrik	g/mm ³
ρ_r	Kerapatan reinforcing	g/mm ³
f_m	Fraksi matrik	-
f_r	Fraksi reinforcing	-
E_c	Modulus elastis komposit arah longitudinal	kg/mm ²
E'_c	Modulus elastis komposit arah transversal	kg/mm ²
E_m	Modulus elastis matrik	kg/mm ²
E_r	Modulus elastis reinforcing	kg/mm ²
ϵ_c	Regangan komposit	-
ϵ_m	Regangan matrik	-
ϵ_r	Regangan reinforcing	-
$(\sigma_u)_c$	Kekuatan tarik bahan komposit	kg/mm ²

$(\sigma_u)_r$	Tegangan tarik bahan serat	kg/mm^2
$(\sigma_u)_m$	Tegangan tarik bahan matrik	kg/mm^2
σ_m	Tegangan tarik matrik saat reinforcing putus	kg/mm^2
A_r	Perpanjangan saat reinforcing putus	-
$(V_r)_{\min}$	Volume minimum reinforcing	-
V_{ctm}	Volume cetakan bahan matrik	mm^3
p	Panjang	mm^2
l	Lebar	mm
t	Tinggi (tebal)	mm
V_{ctk}	Volume cetakan bahan komposit	mm^3
ρ_r	Massa jenis serat	mm^3
V_k	Volume katalias	g/cm^3
L_0	Panjang ukur benda uji	mm^2
L	Panjang benda uji	mm
L_1	Panjang penjepit benda uji serat	mm
L_2	Panjang antar penjepit benda uji serat	mm
D	Diameter	mm
A_0	Luas permukaan	mm^2
F_{maks}	Beban	kg
σ	Kekuatan tarik	kg/mm^2
ΔL	Pertambahan panjang	mm
ε	Regangan benda uji	%

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1 Diagram Venn bahan teknik.
- Gambar 1.2 Grafik kekuatan tarik komposit dan komponen penyusunanya.
- Gambar 2.1 Bentuk-bentuk reinforcing agent.
- Gambar 2.2 Hubungan antara tegangan dengan diameter serat.
- Gambar 2.3 Orientasi fiber.
- Gambar 2.4 Serat kontinyu.
- Gambar 2.5 Serat anyam (wofen roving).
- Gambar 2.6 Serat acak.
- Gambar 2.7 Diagram klasifikasi komposit serat.
- Gambar 2.8 Interface dan Interphase.
- Gambar 2.9 (a) Retak serat (crack).
- Gambar 2.9 (b) Interface.
- Gambar 2.10(a) Model komposit berpenguat serat.
- Gambar 2.10(b) Kurva Tegangan vs Regangan.
- Gambar 2.11 Grafik kekuatan tarik komposit vs fraksi volume fiber.
- Gambar 2.12 Komposit pada arah orientasi 0° dan θ° .
- Gambar 2.13 Sudut antara sumbu X dan sumbu Y.
- Gambar 2.14 Proses Hand Lay-Up.
- Gambar 2.15 Proses Hand Lay-Up.
- Gambar 2.16 Proses Spray-Up.
- Gambar 2.17 Proses Spray-Up.
- Gambar 2.18 Proses Bag Molding.
- Gambar 2.19 Proses Wet Winding.
- Gambar 2.20 Proses Filament Winding.
- Gambar 2.21 Proses Pultrusion.
- Gambar 2.22 Proses Pultrusion.

- Gambar 2.24 Proses Pullforming.
- Gambar 2.25 Proses Sheet Molding Compound (SMC).
- Gambar 3.1 Skema jalan penelitian.
- Gambar 3.2 Rangkaian kesejajaran serat dalam cetakan komposit.
- Gambar 3.3 Pemotongan benda uji komposit sesuai dengan arah orientasi serat yang digunakan.
- Gambar 3.4 Dimensi benda uji matrik pengikat.
- Gambar 3.5 Dimensi benda uji tarik serat penguat.
- Gambar 3.6 Dimensi benda uji tarik komposit.
- Gambar 4.1 Foto mikro serat kawat tembaga dengan diameter 110 μm .
- Gambar 4.2 Foto mikro serat E-Glass.
- Gambar 4.3 Dimensi benda uji serat.
- Gambar 4.4 Grafik kekuatan tarik serat penguat.
- Gambar 4.5 Grafik regangan serat penguat.
- Gambar 4.6 Lembar dan tebal yang diukur pada benda uji matrik pengikat.
- Gambar 4.7 Grafik kekuatan tarik benda uji matrik pengikat.
- Gambar 4.8 Grafik regangan benda uji matrik pengikat.
- Gambar 4.9 Grafik Pengaruh sudut orientasi serat terhadap kekuatan tarik komposit.
- Gambar 4.10 Lebar dan tebal yang diukur pada benda uji komposit.
- Gambar 4.11 Grafik kekuatan tarik vs suhu dengan lama curing.
- Gambar 4.12 Grafik regangan vs suhu dengan lama curing.
- Gambar 4.13 Patahan pada komposit tanpa curing.
- Gambar 4.14 Patahan komposit, suhu curing 55 $^{\circ}\text{C}$, 30 menit.
- Gambar 4.15 Patahan komposit, suhu curing 55 $^{\circ}\text{C}$, 60 menit.
- Gambar 4.16 Patahan komposit, suhu curing 65 $^{\circ}\text{C}$, 30 menit.
- Gambar 4.17 Patahan komposit, suhu curing 65 $^{\circ}\text{C}$, 60 menit.
- Gambar 4.18 Patahan komposit, suhu curing 75 $^{\circ}\text{C}$, 30 menit.
- Gambar 4.19 Patahan komposit, suhu curing 75 $^{\circ}\text{C}$, 60 menit.
- Gambar 4.20 Patahan komposit, suhu curing 90 $^{\circ}\text{C}$, 30 menit.

- Gambar 4.21 Patahan komposit, suhu curing 90°C, 60 menit.
- Gambar 4.22 Patahan komposit, suhu curing 105°C, 30 menit.
- Gambar 4.23 Patahan komposit, suhu curing 105°C, 60 menit.
- Gambar 4.24 Patahan komposit, suhu curing 120°C, 30 menit.
- Gambar 4.25 Patahan komposit, suhu curing 120°C, 60 menit.
- Gambar 4.26 Ikatan antara matrik dan serat tumpang pada komposit tanpa curing.
- Gambar 4.27 Ikatan antara matrik dan serat tumpang pada komposit tanpa curing.
- Gambar 4.28 Model cacat pada komposit berupa void pada komposit tanpa curing.
- Gambar 4.29 Model kerusakan retak matrik dan retak serat pada komposit tanpa curing.
- Gambar 4.30 Model kerusakan retak matrik dan retak serat pada komposit tanpa curing.
- Gambar 4.31 Jumlah serat dalam pengujian tarik phase reinforcing.

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Kombinasi dua komponen yang dapat dilakukan pada pada komposit.
Tabel 2.1	Sifat-sifat bahan fiber.
Tabel 2.2	Sifat resin polimer.
Tabel 2.3	Polymeric matrix materials for fiberglass.
Tabel 4.1	Dimensi benda uji serat penguat.
Tabel 4.2	Sifat-sifat benda uji (bahan) serat penguat.
Tabel 4.3	Dimensi benda uji matrik pengikat.
Tabel 4.4	Sifat-sifat benda uji matrik pengikat.
Tabel 4.5	Dimensi benda uji komposit tanpa curing.
Tabel 4.6	Sifat-sifat benda uji komposit tanpa curing.
Tabel 4.7	Dimensi benda uji komposit pada suhu 55°C.
Tabel 4.8	Sifat-sifat benda uji komposit pada suhu 55°C.
Tabel 4.9	Dimensi benda uji komposit pada suhu 65°C.
Tabel 4.10	Sifat-sifat benda uji komposit pada suhu 65°C.
Tabel 4.11	Dimensi benda uji komposit pada suhu 75°C.
Tabel 4.12	Sifat-sifat benda uji komposit pada suhu 75°C.
Tabel 4.13	Dimensi benda uji komposit pada suhu 90°C.
Tabel 4.14	Sifat-sifat benda uji komposit pada suhu 90°C.
Tabel 4.15	Dimensi benda uji komposit pada suhu 105°C.
Tabel 4.16	Sifat-sifat benda uji komposit pada suhu 105°C.
Tabel 4.17	Dimensi benda uji komposit pada suhu 120°C.
Tabel 4.18	Sifat-sifat benda uji komposit pada suhu 120°C.
Tabel 4.19	Kekuatan tarik rata-rata komposit.
Tabel 4.20	Regangan rata-rata komposit.

DAFTAR LAMPIRAN

- Gambar L.1 Foto Alat uji tarik universal.
- Gambar L.2 Mikroskop optik.
- Gambar L.3 Alat dan bahan pembuatan komposit.
- Gambar L.4 Grafik beban vs penambahan panjang komposit tanpa curing.
- Gambar L.5 Grafik beban vs penambahan panjang komposit pada suhu 55°C, 30 m.
- Gambar L.6 Grafik beban vs penambahan panjang komposit pada suhu 55°C, 60 m.
- Gambar L.7 Grafik beban vs penambahan panjang komposit pada suhu 65°C, 30 m.
- Gambar L.8 Grafik beban vs penambahan panjang komposit pada suhu 65°C, 60 m.
- Gambar L.9 Grafik beban vs penambahan panjang komposit pada suhu 75°C, 30 m.
- Gambar L.10 Grafik beban vs penambahan panjang komposit pada suhu 75°C, 60 m.
- Gambar L.11 Grafik beban vs penambahan panjang komposit pada suhu 90°C, 30 m.
- Gambar L.12 Grafik beban vs penambahan panjang komposit pada suhu 90°C, 60 m.
- Gambar L.13 Grafik beban vs penambahan panjang komposit pada suhu 105°C, 30 m.
- Gambar L.14 Grafik beban vs penambahan panjang komposit pada suhu 105°C, 60 m.
- Gambar L.15 Grafik beban vs penambahan panjang komposit pada suhu 120°C, 30 m.
- Gambar L.16 Grafik beban vs penambahan panjang komposit pada suhu 120°C, 60 m.
- Gambar L.17 Grafik beban vs penambahan panjang matrik.
- Gambar L.18 Grafik beban vs penambahan panjang serat.
- Gambar L.19 Massa jenis resin Thermoplastic.
- Gambar L.20 Massa jenis resin Thermoset.
- Lampiran L.1 Cara mengkonversikan satuan
- Lampiran L.2 Standar benda uji menurut ASTM A 370

BAB I

PENDAHULUAN

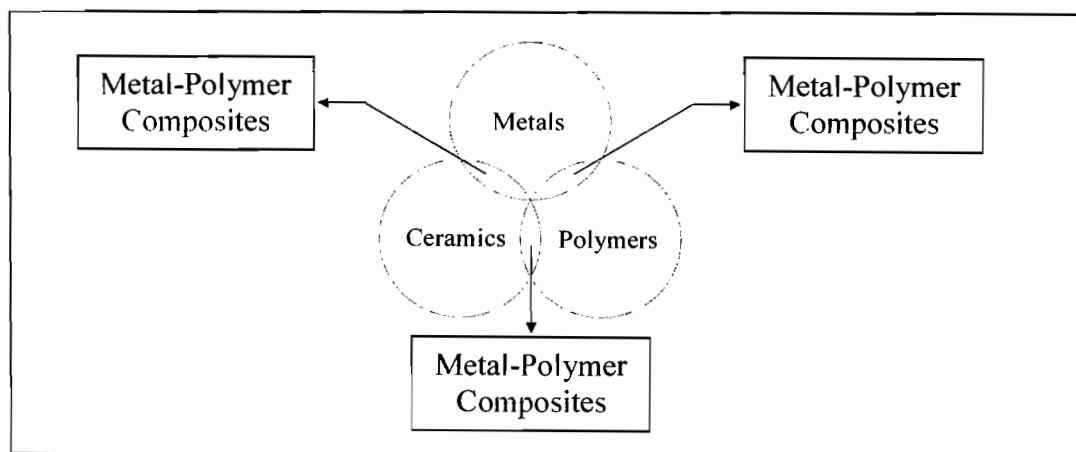
1.1 Latar Belakang

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

Pada dekade terakhir ini komposit merupakan bahan teknik yang banyak digunakan dan terus dikembangkan. Sebagaimana kita ketahui komposit merupakan sejumlah sistem multi fasa sifat gabungan, yaitu gabungan antara bahan *matrix* atau pengikat dan *reinforcement* atau bahan penguat. Dalam berbagai aplikasi komposit terbukti efektif pada penggunaannya sebagai bahan teknik. Beberapa Keunggulan komposit dibandingkan dengan bahan logam :

1. Dapat dirancang dengan kekuatan dan kekakuan yang tinggi, sehingga dapat memberikan kekuatan dan kekakuan spesifik yang melebihi sifat logam.
2. Sifat-sifat *fatigue* dan *toughness* yang baik.
3. Dapat dirancang sedemikian rupa sehingga terhindar dari korosi.
4. Daya hantar *thermal* dan listrik dapat diatur.
5. Daya redam bunyi yang baik.
6. Bahan komposit dapat memberikan penampilan dan kehalusan permukaan lebih baik.

7. Bahan komposit sangat luas dalam penggolongan maupun penggunaannya. Dalam penggunaannya, jenis komposit sering dibedakan menurut bentuk dari bahan penguat yang terdapat pada matrik pengikatnya atau dapat juga dibedakan menurut bahan yang menjadi matrik pengikat itu sendiri. Bahan penguat untuk komposit dapat berupa jenis serat maupun jenis non serat (partikel). Sedangkan penggolongan untuk komposit menurut jenis matrik yang digunakan dapat dibedakan menjadi komposit bermatrik, pengikat jenis logam, keramik maupun polimer. Untuk komposit matrik logam disebut *Metal Matrix Composit* (MMC), komposit ini berisi campuran logam dan keramik seperti karbida wolfram, sedangkan komposit dengan matrik keramik disebut *Ceramic Matrix Composite* (CMC). Pada komposit ini dapat digunakan *reinforcement agent* berupa oksida alumunium, karbida silikon dan serat untuk meningkatkan ketahanan terhadap suhu tinggi.



Gambar 1.1 Diagram Venn bahan teknik
(Sumber : Viktor Malau, Diktat mata kuliah Komposit)

Komposit yang mempunyai matrik polimer disebut *Polymer Matrix Composite* (PMC), dalam komposit jenis ini penggunaan *reinforcement agent* serat sangat aplikatif sekali, seperti pada produk FRP dan RTM . Untuk memperjelas beberapa kombinasi antara komponen-komponen yang menjadi penyusun pada komposit dapat dilihat pada table 1.1 berikut:

Tabel 1.1. Kombinasi dua komponen yang dapat dilakukan pada komposit
(Sumber : Fabrication Processes for Polymeric Matrics)

	Metal (MMC)	Ceramic (CMC)	Polimer (PMC)
Metal	Kawat berpenguat baja	Alat-alat potong	Plastik berpenguat whisker tembaga
Ceramic	Fiber reinforced Metal (carbida sementit)	SiC whisker reinforced Al ₂ O ₃	Fiber reinforced Plastics
Polimer	NA	NA	Kevlar reinforced epoxy

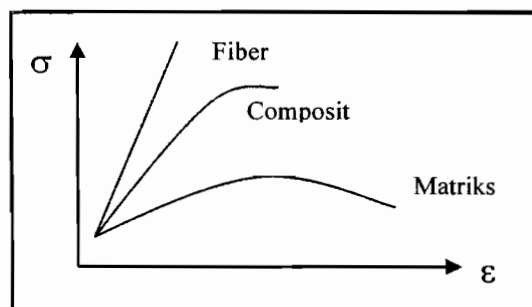
NA : not aplicated

Dalam perkembangan teknologi bahan, komposit berpenguat serat merupakan suatu bahan yang aplikatif dalam kehidupan sehari-hari walaupun tidak dapat dielakkan penggunaan komposit dengan berpenguat bukan serat (partikel) juga sangat penting peranannya. Pada komposit berpenguat serat dapat kita jumpai berbagai jenis bahan serat yang digunakan sebagai *reinforcement agent*. Namun secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu serat sintetis dan serat organik. Serat sintetis atau

buatan dapat berupa serat gelas, *aramid*, *carbon grafit*, *borom*, *kevlar*, *ceramic* dan berbagai *jute*, *sisal*, *cotton* ataupun *abaca*.

Untuk komposit yang berpenguat non serat seperti *flakes* dan partikel bahan yang digunakan sebagai *reinforcement agent* dapat berupa serbuk kayu, karbida wolfram, mika mineral, talk, serbuk logam.

Komposit serat merupakan perpaduan antara serat sebagai komponen penguat dan matrik sebagai komponen pengikat serat. Serat biasanya mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih besar daripada matriks dan pada umumnya bersifat ortotropik. Pada saat serat dan matriks dipadukan untuk menghasilkan komposit, kedua komponen tersebut tetap mempertahankan sifat-sifat yang dimilikinya dan secara langsung akan berpengaruh terhadap sifat komposit yang dihasilkan. Secara khusus dapat dikatakan bahwa harga kekuatan maupun kekakuan komposit terletak diantara kekakuan dan kekuatan serat dan matriks yang digunakan. Dalam artian bahwa kemampuan komposit terdapat diantara kemampuan serat dan matrik pengikatnya serta memiliki sifat-sifat dari bahan menjadi penyusunnya.



Gambar 1.2. Grafik kekuatan tarik komposit dan komponen penyusunnya
(Sumber : Reinforced plastics Hand Book)

Fiber glass reinforced plastic adalah salah satu jenis komposit yang mempunyai komponen berpenguat serat. Bahan yang kita kenal dengan nama FRP ini, mempunyai komponen bahan berpenguat berupa serat glass dan matrik pengikat berupa *polymer* (plastik), bahan komposit ini sering diaplikasikan sebagai komponen penunjang dalam produktivitas industri kimia, industri pengolahan kertas, pengolahan air minum dan air limbah, industri makanan dan masih banyak aplikasi yang ditemukan dalam bidang-bidang lain.

Dalam industri yang membutuhkan bahan anti korosi material ini dijumpai dalam bentuk-bentuk seperti tangki, pipa-pipa saluran, *sub structur beams*, *free hard rail* adapun pengerjaan komposit FRP ini menggunakan proses *filament winding* untuk bentuk tangki dan pipa, sedangkan untuk sub struktur beams, *free hard rail* dengan proses *pultrusion*.

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

1.2 Permasalahan

Komposit serat adalah sebuah material yang sangat dipengaruhi oleh sifat dan jenis dari bahan yang menjadi penyusunnya dalam hal ini khususnya serat sebagai komponen penguat.

Untuk mendapatkan karakteristik dari komposit yang baik maka harus diperhatikan faktor-faktor dari bahan penyusunnya. Adapun faktor-faktor yang perlu diperhatikan pada komposit serat untuk mendapatkan produk yang efektif yaitu sebagai berikut:

1. Komponen penguat harus memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi dari pada komponen matriknya.
2. Harus ada ikatan permukaan (*interface*) antara komponen penguat dan matrik.
3. Orientasi, panjang, bentuk dan komposisi dari serat.

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

1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian yang dilakukan dibatasi hanya dengan meneliti kekuatan tarik suatu bahan komposit berserat dan bahan matrik dengan melakukan pengujian tarik pada masing-masing bahan, mengenal model kerusakan yang terjadi pada bahan komposit setelah mengalami perpatahan, foto-foto makro bentuk patahan dari bahan komposit dan juga foto-foto struktur mikro dari penampang bahan komposit tersebut.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian dalam Tugas Akhir ini mempunyai beberapa tujuan, antara lain :

1. Untuk mengetahui kekuatan tarik dan regangan dari matrik pengikat dan serat.
2. Untuk mengetahui dan membandingkan kekuatan tarik dan regangan, serta struktur mikro bahan komposit dengan variasi suhu curing dan variasi lama curing.

1.5 Pendekatan dan Pemecahan Masalah

Komposit yang akan diteliti adalah komposit serat *woven roving* (serat anyaman) dari bahan serat gelas E glass dengan fraksi volume 45% , matrik pengikat berupa resin polymer tak jenuh Arindo 3210 dengan fraksi volume 54,5% dan katalis dengan fraksi volume 0,5%.

Variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah penyusunan serat dengan sudut orientasi 22,5°. Dalam penelitian komposit serat glass poliester ini akan dilakukan serangkaian pengujian sebagai berikut:

- a. Dalam penelitian komposit serat E-Glass ini akan dilakukan serangkaian Pengujian tarik matriks pengikat

Untuk mengetahui sifat mekanik matriks pengikat secara eksperimental, pengujian menggunakan standart pengujian ASTM D 638.

- b. Pengujian tarik komposit

Untuk mengetahui kekuatan tarik komposit pada orientasi arah serat searah.

Pengujian menggunakan standart pengujian ASTM A 370.

c. Pengujian tarik serat

Untuk mengetahui sifat mekanik bahan penguat secara eksperimental.

1.6 Sistematika Pembahasan

Dalam bab-bab selanjutnya akan diuraikan mengenai pengaruh suhu *curing* dan lamanya *curing* terhadap kekuatan komposit. Proses pembuatan spesimen serta pengujian mekanik yang dilakukan pada spesimen. Pada bab terakhir akan diberikan kesimpulan.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Jenis Komposit

Berdasarkan jenisnya bahannya, komposit dibedakan sebagai berikut :

1. Komposit tradisional.

Adalah komposit yang terbuat atau tersusun dari bahan-bahan alami yang tersedia di alam dan masih sederhana, sebagai contoh : kayu, beton struktur bangunan, jalan yang menggunakan aspal.

2. Komposit sintetis.

Adalah komposit yang terbuat dari bahan-bahan sintetis yang diproduksi dengan industri manufaktur, komponen-komponennya diproduksi secara terpisah, kemudian digabungkan dengan teknik tertentu agar diperoleh struktur, sifat dan geometri yang diinginkan. Salah satu contoh dari komposit ini adalah komposit yang akan digunakan dalam pengujian kali ini.

2.2 Bahan Penyusun Komposit

Seperti yang telah disebutkan dalam bab pertama, bahwa komposit merupakan penggabungan dari bahan-bahan dengan *phase* yang berbeda. Digunakan istilah *phase* dalam hal ini memberi pengertian bahan tersebut adalah *homogen*, seperti logam atau keramik yang semua butirannya mempunyai struktur kristal yang sama.

Penggabungan beberapa *phase* yang berbeda akan tercipta suatu bahan dengan unjuk kerja (*performance*) yang dapat lebih baik dari *phase-phase* awal sebagai penyusunnya. Efek ini dapat disebut dengan *synergistic*. Ada beberapa bahan (*phase*) yang berfungsi sebagai bahan penyusun suatu komposit, bahan-bahan tersebut antara lain : *phase* pertama (matrik), *phase* kedua (*reinforcing*), katalis dan bahan tambahan lainnya.

2.2.1 Phase Pertama (Matrik)

Matrik adalah suatu bahan yang berfungsi sebagai penopang (pendukung) dan pelindung *phase reinforcing* yang terdapat didalamnya dari kerusakan *eksternal*, penerus gaya (*principles load-carrying agent*), mengikat *phase reinforcing* dalam sebuah *unit* struktur, menjaga *phase reinforcing* pada jarak yang sama, menyumbang beberapa sifat yang diperlukan, seperti keuletan dan ketangguhan. Jika dalam pembebanan aksial ada *fiber* yang patah (putus), maka beban dari sisi *fiber* yang putus pertama kali akan diteruskan ke matrik selanjutnya baru kemudian ke *fiber* yang lain.

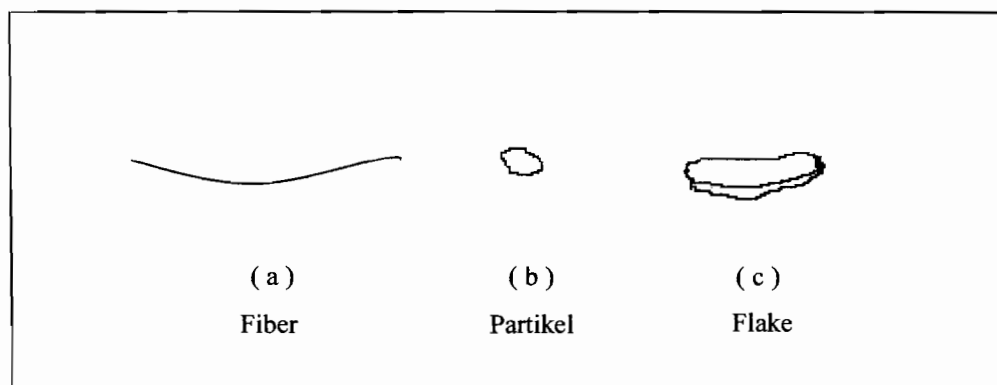
Tidak terdapat reaksi kimia yang signifikan antara kedua bahan (*phase* matrik dan *phase reinforcing*) kecuali untuk menguatkan ikatan pada permukaannya. Juga tidak benar bahwa reaksi antar keduanya dapat menimbulkan efek negatif terhadap sifat komposit. Matrik dan *phase reinforcing* saling melengkapi sifatnya satu sama lain.

Matrik bahan komposit dapat berupa logam, keramik dan polimer. Logam yang biasa digunakan sebagai bahan matrik antara lain : *Alumina* (Al_2O_3), *Karbida Boron* (B_4C), *Nitride Boron* (BN), *Karbida Silikon* (SiC), *Nitride Silikon* (Si_3N_4),

Karbida Titanium (Tic). Polimer yang digunakan sebagai matrik dapat berupa plastik *thermosetting* (tidak dapat di daur ulang), sebagai contoh *nilon*, *polycarbonate*, *polystyrene*, *polyvinyl chloride*. Biasanya matrik yang digunakan dalam FRP dapat berupa resin *unsaturated polyester* dan *epoxy*.

2.2.2 Phase Kedua (*Reinforcing Agent*)

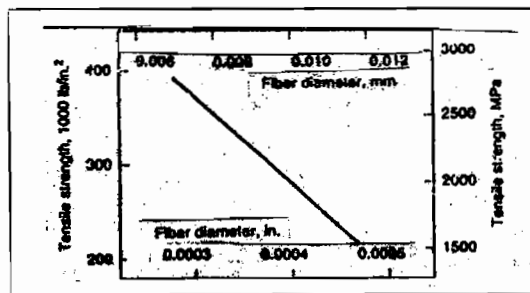
Phase kedua berfungsi sebagai penguat phase pertama (matrik) pada suatu bahan komposit. Phase ini dapat berupa *fiber*, partikel dan *flake*.



Gambar 2.1 Bentuk-bentuk Reinforcing agent
(Sumber : Viktor Malau, Diktat Mata Kuliah Komposit)

2.2.2.1 Fiber

Fiber adalah filamen dari *phase reinforcing*. *Fiber* dapat berpenampang bulat, segi tiga ataupun heksagonal. Diameternya bervariasi dari 0,0025 mm sampai 0,13 mm tergantung dari bahanya. Jenis *fiber* ada yang alami, yang dapat berasal dari hewan, tumbuhan dan mineral. Bahan sintetis (buatan manusia) antara lain polimer dan keramik. Apabila diameter *fiber* yang digunakan meningkat, maka kekuatan tarik dari komposit menurun, seperti diperlihatkan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Hubungan antar tegangan dengan diameter serat
(Sumber Viktor Malau, Diktat Mata Kuliah Komposit)

Menurut standar ASTM, *fiber* mempunyai panjang setidaknya 100 kali dari diameternya dengan panjang minimal 5 mm. *Fiber* dapat berupa filamen dan serabut. Jenis filamen adalah panjang dan kontinyu, sedangkan serabut mempunyai panjang kurang dari 150 mm. Kebanyakan *fiber* alami adalah berupa serabut, sedangkan *fiber* sintetis dapat berupa keduanya.

Fiber yang digunakan dalam suatu bahan komposit dapat bersifat kontinyu atau pun tidak kontinyu. *Fiber* yang kontinyu pada umumnya mempunyai panjang tak terhingga dan memanjang sepanjang matrik. *Fiber* yang bersifat tidak kontinyu mempunyai panjang kurang dari 3 mm yang cenderung mengikuti arah dari aliran resin pada waktu proses pembuatan komposit.

Salah satu contoh *fiber* tidak kontinyu adalah *whiskers* yang menyerupai rambut halus dengan diameter 0,001 mm dan memiliki kekuatan sangat tinggi. Gambar 2.3 menunjukkan berbagai macam orientasi *fiber*.

Serat-serat yang digunakan dalam suatu bahan komposit mempunyai sifat-sifat (karakteristik) yang berbeda-beda satu dengan yang lainnya, diperlihatkan pada tabel 2.1. Pemilihan serat yang sesuai dengan apa yang diharapkan akan meningkatkan kualitas dari suatu bahan komposit.

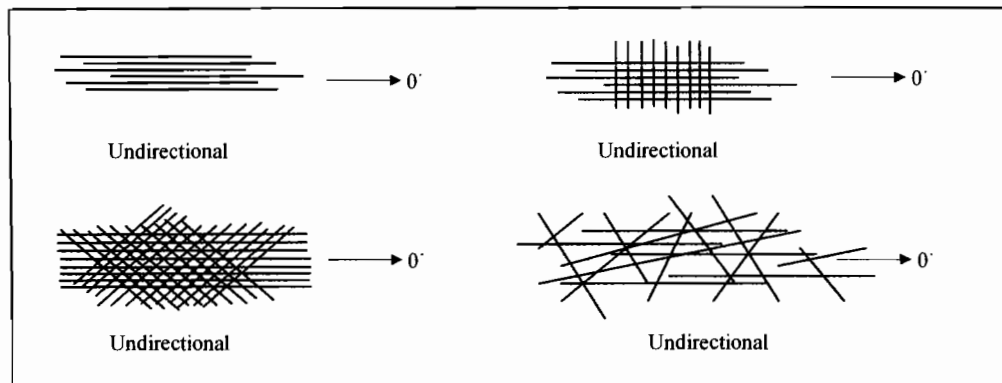
Tabel 2.1 Sifat-sifat Bahan Fiber
(Sumber Viktor Malau, Diktat Mata Kuliah Komposit)

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

Keuletan dan kegetasan suatu bahan sangat berpengaruh terhadap kekuatannya. Bahan yang getas mempunyai kemampuan yang kecil untuk menahan jalannya suatu retak. Untuk itu dibutuhkan suatu bahan tambahan untuk menguatkan material tersebut. Salah satu contoh bahan tambahan itu adalah serat. Seberapa baik serat penguat tersebut tergantung pada hubungan dengan matrik pengikatnya pada waktu menerima beban.

Kekuatan sebuah *fiber* (tunggal) tergantung pada ada tidaknya cacat pada permukaannya. Jika terdapat cacat maka dapat menyebabkan tegangan dan beban yang terpusat sehingga mempercepat kerusakan. Properti dari *fiber* terutama ditentukan oleh panjang *fiber*, diameter dan orientasinya (arah) dalam penyusunan

seperti pada gambar 2.3. *Fiber* penguat yang optimum untuk bahan komposit mempunyai perbandingan panjang (L) dengan diameter (D) sekitar 150. Perbandingan ini biasa disebut aspek rasio *fiber*.



Gambar 2.3 Orientasi Fiber

(Sumber : James and Thomas, Engeneering Materials Technology, Structure processing, Properties and Selection)

Beberapa bahan *fiber* yang sering digunakan adalah:

a. *Fiber Glass*

Fiber Glass adalah serat yang paling banyak digunakan pada komposit polimer. Serat ini adalah serat yang paling murah harganya. Mempunyai diameter dari 5 sampai 25 μm dan mampu menerima tegangan tarik sampai 5 GPa.

Serat *E-Glass* digunakan sebagai serat kontinyu. Komposisi bahan penyusunya terdiri dari : SiO_2 (52-56 %), Al_2O_3 (12-16 %), CaO (16-25 %), B_2O_3 (8-13 %). Serat *E-Glass* mempunyai kekuatan tarik sekitar 3,44 GPa dengan modulus elastis 72,3 GPa. Massa jenisnya sekitar 2,54 g/cm^3 .

Serat *S-Glass* dibuat untuk menerima kekuatan tarik yang tinggi. Serat ini mempunyai kekuatan spesifik yang lebih tinggi daripada serat *E-Glass*. Komposisi bahan penyusunya terdiri dari : SiO_2 (65 %), Al_2O_3 (25 %), MgO

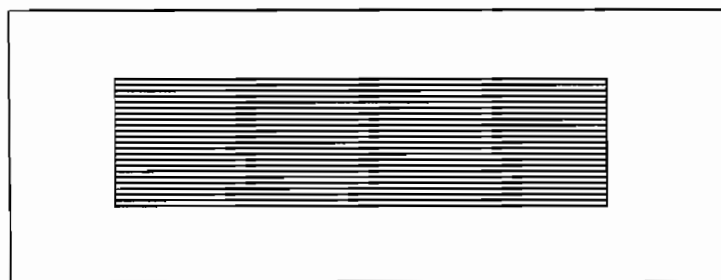
(10 %). Serat *S-Glass* mempunyai kekuatan tarik sekitar 4,48 GPa dengan modulus elastis 85,4 GPa. Selain serat *E-Glass* dan *S-Glass*, masih ada serat *D-Glass* yang banyak digunakan pada aplikasi elektronika.

Fiber diproduksi dalam berbagai bentuk penyusunan, karena sangat berpengaruh untuk menyesuaikan dengan penggunaannya. Pemilihan bentuk susunan *fiber* secara tepat akan mempermudah pengguna untuk memperoleh sifat-sifat dari komposit yang diinginkan.

Macam-macam tipe (bentuk) serat :

1. *Cotinous*

Adalah gabungan dari serat-serat paralel menjadi satu strand 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 mekanis yang baik. Orientasi serat kontinyu dapat dilihat pada gambar 2.4 .



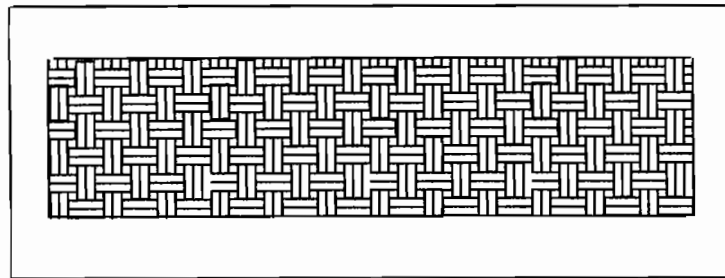
Gambar 2.4 Serat kontinyu

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

2. *Woven Rofing*

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 kapa, bodi mobil. Orientasi *wofen roving* dapat dilihat pada gambar 2.5

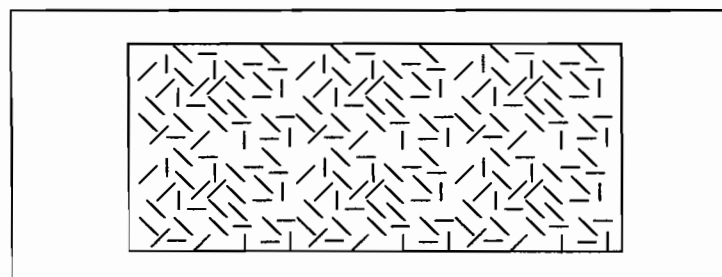


Gambar 2.5 Serat anyam (woven roving)

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

3. Chopped Strand Mat

Adalah reinforcing mat yang terbuat dari potongan strand dan 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*. Orientasi serat ini dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Serat acak

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

b. *Fiber* Karbon

Serat karbon terbuat dari *polycarylonitrile* (PAN) dan *pitch*. Serat ini mempunyai diameter serat 7-10 μm , kerapatan 2,1 g/cm^3 , kekuatan tarik

3,10 - 4,45 GPa dengan modulus elastis 193 – 241 GPa. Bersifat ringan tetapi kekuatan dan kekakuannya tinggi. Banyak digunakan dibidang konstruksi dan pesawat terbang.

c. *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.

d. *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*.

e. *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 (Al₂O₃) merupakan fiber utama yang sering dijumpai pada keramik, kedua bahan ini mempunyaio modulus elastis yang tinggi dan dapat digunakan untuk

menguatkan logam-logam dengan kerapatan dan modulus elastis rendah seperti aluminium dan magnesium.

f. *Fiber* Logam

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

2.2.2.2 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 μm) 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.

2.2.2.3 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.

2.2.3 Katalis

Katalis adalah bahan pemicu (*initiator*) yang berfungsi untuk mempersingkat reaksi *curing* pada temperatur ruang. Katalis yang digunakan dapat berupa bahan yang berasal dari *organic peroxide* seperti *methyl ethyl ketone peroxide* dan *acetyl acetone peroxide*. Prosentase katalis dalam suatu bahan komposit relatif kecil (0,5-1 %). Kelebihan katalis akan menimbulkan panas saat *curing* dan hal ini dapat merusak komposit yang dibuat. Dalam pengujian ini digunakan katalis *mepox*.

2.2.4 Bahan Tambahan Lain

Selain bahan-bahan diatas, masih terdapat beberapa bahan tambahan yang lain. Penambahan bahan-bahan ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas komposit yang akan dihasilkan.

Bahan-bahan tersebut antara lain :

1. Akselerator

Adalah bahan yang biasa digunakan dalam upaya untuk mempercepat proses *curing*. Akselerator ini bereaksi dengan katalis, dan didalam resin poliester akan memberikan reaksi *exotherm* dengan suhu berkisar 80°C. *Cobalt, Amine, Vanadium* adalah akselerator yang biasa digunakan.

2. Pigment atau pasta berwarna

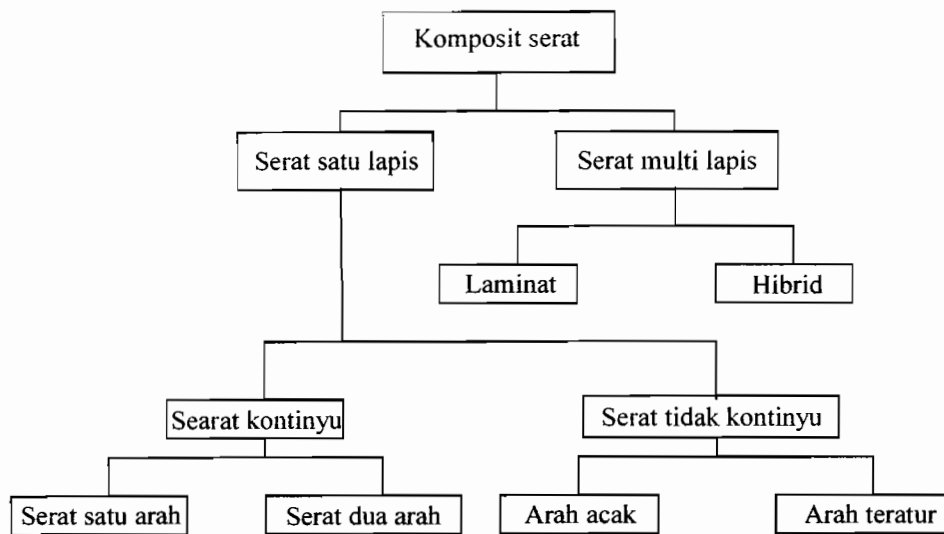
Adalah bahan yang digunakan pada akhir proses pembuatan komposit berpenguat *fiber*. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya penurunan kualitas dari komposit berpenguat *fiber* dan menekan biaya pembuatan. Harus digunakan bahan yang sesuai agar tidak terjadi reaksi antara bahan penyusun komposit yang dapat mempengaruhi proses *curing*. Prosentase dari pewarna adalah antara 10-15 % dari berat resin. *Zink Yellow*, *Chrome Orange* dan *Red Iron Oxide* adalah beberapa pewarna yang biasa digunakan.

3. *Release Agent*

Adalah bahan yang digunakan untuk menghindari lengketnya produk dengan cetakan pada proses pembuatan komposit. Pelapisan cetakan dengan *realese agent* dilakukan dengan cara mengoleskan pada permukaan cetakan, dilakukan sebelum proses pencetakan. *Realese agent* yang biasa digunakan adalah : *mirrror glass*, *polyvinyls*, *alcohol*, *film forming*, *waxes* (semir), margarin dan oli.

2.3 Komposit Matrik Polimer

Komposit jenis ini menggunakan polimer sebagai matrik. Polimer yang digunakan dapat polimer *thermosetting* (tidak dapat didaur ulang), sebagai contoh unsaturated polyester atau epoxy dan polimer *thermoplastic* (dapat didaur ulang), sebagai contoh *nilon*, *polycarbonate*, *polystyrene*, *polyvinyl chloride*. Biasanya matrik yang digunakan komposit matrik berpenguat serat tau *fiber reinforced plastic* (FRP) dapat berupa resin unsaturated *polyester* dan *epoxy*.



Gambar 2.7. Diagram klasifikasi komposit serat
(Sumber : Mekanika Struktur Komposit)

Tabel 2.2 dan tabel 2.3 menunjukkan sifat, karakteristik dan penggunaan resin polimer.

Resin *polyester* kebanyakan berupa cairan dengan viskositas yang relatif rendah, mengeras pada suhu kamar dengan menambahkan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengesetan seperti umumnya resin *thermosetting* lainnya, maka tidak memerlukan perlakuan memberikan tekanan pada proses pencetakan.

Berdasarkan karakteristik ini maka resin *polyester* saat ini dikembangkan secara luas sebagai plastik penguat serat (FRP) dengan menggunakan serat *glass*. Mengenai kekuatannya dibahas dalam bentuk komposit karena digunakan bersama-sama dengan serat *glass*. Resinnya sendiri bersifat kaku dan rapuh. Sifat listriknya lebih baik diantara resin *thermoset* yang lain, akan tetapi diperlukan penghilangan kelembaban yang cukup besar pada saat pencampuran dengan *glass*.

Bila dimasukkan dalam air mendidih dalam waktu yang cukup lama (sekitar 300 jam) bahan akan pecah dan retak-retak. Kemampuan terhadap cuaca sangat baik.

Tahan terhadap kelembaban dan sinar *ultraviolet* bila diletakan di luar ruangan, tetapi sifat tembus cahaya permukaan rusak dalam beberapa tahun. Walaupun resin *polyester* lebih murah, tetapi tidak sekuat resin *epoxy*. Penggunaan komposit ini banyak dijumpai pada kapal, perlengkapan otomotif, perlengkapan bangunan dan juga pesawat udara.

Resin *epoxy* relatif mahal, tetapi resin ini mempunyai keunggulan dalam kekuatan dan penyusutanya relatif kecil kecil setelah proses *curing*. Resin ini sering digunakan sebagai matrik pada komposit polimer dengan fase penguat serat karbon atau serat aramid.

Tabel 2.2 Sifat Resin Polimer

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

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 2.3 Polymeric Matrix Materials For Fiberglass

(Sumber : Shackelford, Introduction to Materials Science For Engineers, Fourth Edition)

Polymer	Characteristics and Applications
Thermosetting	
Epoxies	High strength (for filament-wound vessels)
Polyester	For general structures (usually fabric-reinforced)
Phenolic	High-temperature applications
Silicones	Electrical applications (printed-circuit panels)
Thermoplastic	
Nylon	
Polycarbonate	Less common, especially good ductility
Polystyrene	

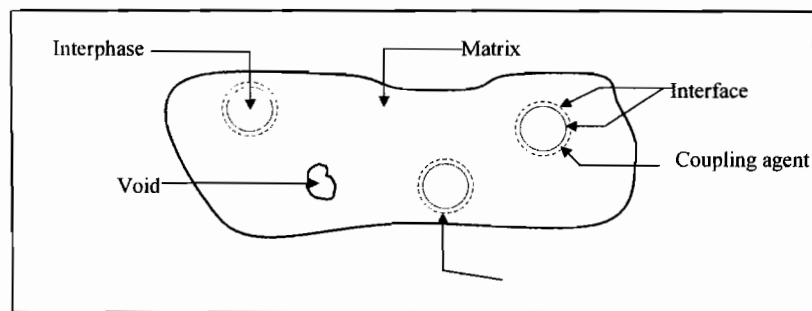
Beberapa keunggulan yang dimiliki oleh FRP adalah :

1. Kerapatan rendah.
2. Memiliki tegangan fatik yang baik.
3. Tahan korosi.
4. Mempunyai stabilitas ukuran yang baik.
5. Tegangan spesifik tinggi.
6. Modulus spesifik tinggi.

Penggunaan terbesar FRP adalah industri *aerospace*, industri pesawat terbang (helikopter, Boing 757), industri otomotif, (Chevrolet Corvette, Pontiac Fiero) dan industri alat-alat olah raga (raket, stick golf, alat sky, sepatu olah raga).

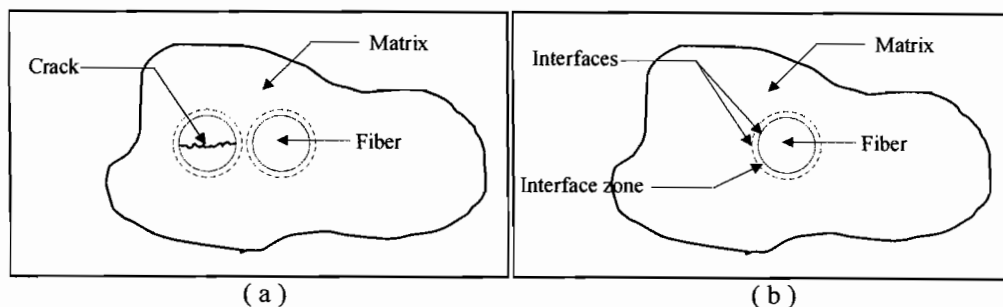
2.4 Kaidah Pencampuran Komposit (*Rule of Mixture*)

Di dalam pemilihan suatu bahan komposit, kombinasi yang optimum dari sifat masing-masing bahan penyusunnya haruslah dipilih. Pencampuran dengan kombinasi yang optimum akan menghasilkan komposit dengan ujuk kerja yang baik pula. Sifat-sifat komposit ditentukan oleh fase matrik dan fase penguat sebagai penyusunya, bentuk geometri dari bahan penyusunan serta interaksi antar fase penyusunan komposit. Rongga udara (*void*), tidak merekatnya fase penguat pada fase matrik (*interface*), rusak atau retaknya serat (*crack*) dan adanya rongga antar fase penguat dan fase matrik (*interphase*) harus dihindari.



Gambar 2.8 Interface dan Interphase

(Sumber : James and Thomas, Engineering Materials Technology, Structure Processing, Properties and Selection)

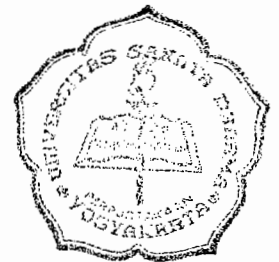


Gambar 2.9 (a) Retak serat (Crack), (b) Interface

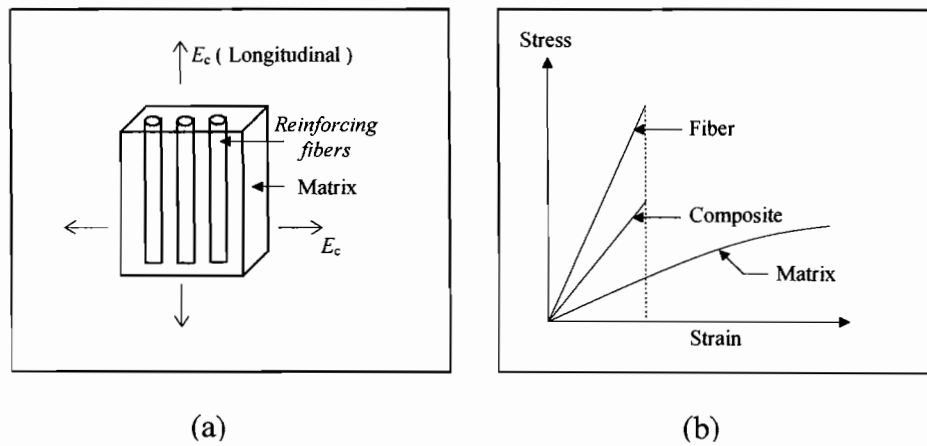
(Sumber : James and Thomas, Engineering Materials Technology, Structure Processing, Properties and Selection)

Bahan komposit diciptakan untuk memperbaiki sifat-sifat dari bahan penyusunnya. Komposit meningkatkan kekuatan tarik matrik dan mengurangi regangan matrik. Komposit juga menurunkan kekuatan tarik serat dan meningkatkan regangan serat. Serat yang bersifat getas tetapi memiliki kekutan tarik yang tinggi dipadukan dengan matrik yang memiliki kekuatan tarik rendah dan regangan yang besar. Perpaduan tersebut menciptakan suatu bahan yang memiliki sifat-sifat yang lebih baik. Hal ini diilustrasikan dalam gambar 2.9 (b).

Perbaikan sifat-sifat inilah yang membuat komposit banyak digunakan sebagai bahan yang digunakan dalam bidang teknik dan industri. Perpaduan bahan-bahan terus dilakukan untuk mendapatkan bahan baru yang mempunyai sifat-sifat lebih baik dari bahan-bahan yang sudah ada.



2.4.1. Menentukan Fraksi Volume Minimum Reinforcing



Gambar 2.10 (a) Model komposit berpenguat serat, (b) Kurva Tegangan vs Regangan
(Sumber : Viktor Malau, Diktat Mata Kuliah Komposit)

Modulus elastis komposit ke arah longitudinal E_c :

$$E_c = f_m E_m + f_r E_r \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan : E_m = Modulus elastis matrik, E_r = Modulus elastis reinforced

Modulus elastis komposit ke arah transversal E'_c

$$E'_c = \frac{E_m E_r}{f_m E_r + f_r E_m} \dots\dots\dots (2.2)$$

Jika bahan komposit tersebut mendapat beban tarik, maka dalam kondisi ini phase reinforcing dan matriknya mempunyai perpanjangan yang sama, sehingga dapat ditulis :

$$\varepsilon_r = \varepsilon_m = \varepsilon_c \dots\dots\dots (2.3)$$

Kekuatan tarik bahan komposit (σ_u)_c dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$(\sigma_u)_c = V_r (\sigma_u)_r + (1 - V_r) \sigma_m \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan : σ_m = tegangan matrik saat *reinforcing* putus karena tarikan.

Pada saat tegangan σ_m dan dalam kasus matrik getas ($\varepsilon_c = \varepsilon_m$) berlaku :

$$\sigma_m = \frac{(\sigma_u)_r}{E_r} \times E_m = A_r E_m \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan A_r = Perpanjangan saat *reinforcing* putus.

Maka untuk bahan komposit berlaku :

$$E_c = V_r E_r + (1 - V_r) \frac{d\sigma_m}{d\varepsilon_m} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan : $\frac{d\sigma_m}{d\varepsilon_m}$ = tangen dari kurva tarik.

Apabila pembebanan berada dalam daerah elastis bahan, $\frac{d\sigma_m}{d\varepsilon_m}$ sama

dengan modulus elastis dari matriknya.

Dalam daerah pembebanan sungguh-sungguh elastis maka berlaku :

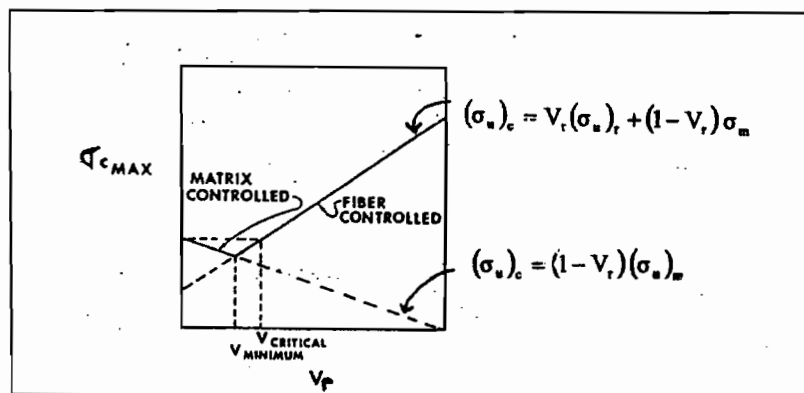
$$E_c = V_r E_r + V_m E_m \dots\dots\dots (2.7)$$

Agar suatu bahan komposit mempunyai sifat mekanis terbaik, haruslah fraksi volume V_r lebih besar dari suatu harga kritik. Pada kenyataannya, bila fraksi volume V_r relatif kecil, tidak akan efektif karena tegangan yang terjadi akan ditahan oleh bahan matrik yang liat. Dalam kondisi seperti ini $(\sigma_u)_c$ akan sama dengan tegangan tarik matriknya $(\sigma_u)_m$. Hal ini akan memberi hasil :

$$(\sigma_u)_c = (1 - V_r) (\sigma_u)_m \dots\dots\dots (2.8)$$

Fraksi volume minimum dari *reinforcing* adalah :

$$(V_r)_{\min} = \frac{(\sigma_u)_m - \sigma_m}{(\sigma_u)_r + (\sigma_u)_m - \sigma_m} \dots\dots\dots (2.9)$$



Gambar 2.11 Grafik kekuatan tarik komposit vs fraksi volume fiber
(Sumber : Robert M.J., Mechanics of Composite Materials)

2.5 Rumus Tegangan dan Regangan Komposit

Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai kekuatan tarik dan regangan dari benda uji serat penguat, matrik pengikat dan komposit adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{\text{tarik}} = \frac{F_{\text{maks}}}{A_0} \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan : σ_{tarik} = Kekuatan tarik (kg/mm^2)

F_{maks} = Beban tarik (kg)

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm^2)

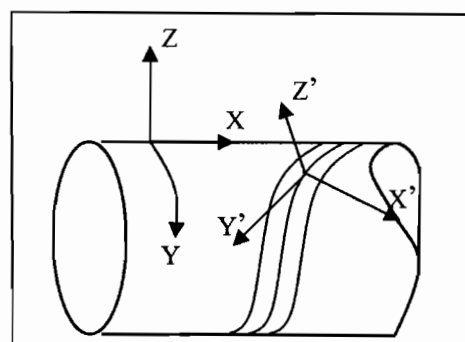
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan : ε = Regangan

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

L = Panjang awal benda uji (mm)

2.6 Hubungan $\sigma - \varepsilon$ Pada Arah Orientasi Sembarang



X, Y, Z = Koordinat natural
 X', Y', Z' = Koordinat prinsipal

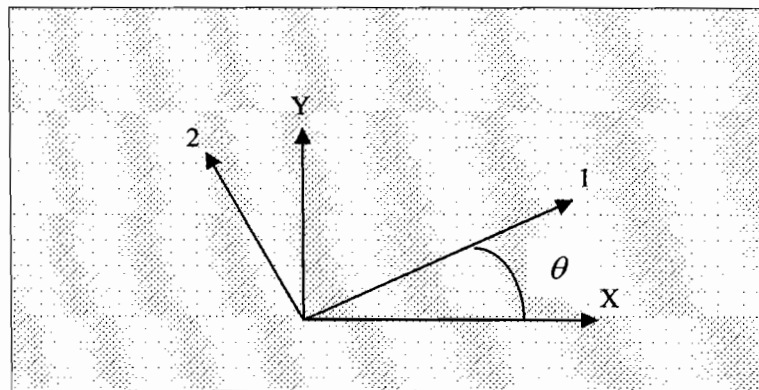
Gambar 2.12. Komposit pada arah orientasi serat 0° dan θ°

Dalam hal ini berlaku hubungan:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & -2 \sin \theta \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & 2 \sin \theta \cos \theta \\ \sin \theta \cdot \cos \theta & -\sin \theta \cdot \cos \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan θ : sudut antara sumbu X dan sumbu 1 seperti ditunjukkan pada

Gambar 2.4



Gambar 2.13 Sudut antara sumbu X dan sumbu Y]

Untuk regangan berlaku:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & -2 \sin \theta \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & 2 \sin \theta \cos \theta \\ \sin \theta \cdot \cos \theta & -\sin \theta \cdot \cos \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \frac{\gamma_{12}}{2} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.13)$$

2.7 Kerusakan Pada Komposit

Dalam komposit permulaan retak (*crack initiation*) dan perambatannya dapat menghasilkan perkembangan keretakan secara serempak yang dapat terjadi antara lain : diteruskan oleh matrik, berhenti pada serat, berkembang sepanjang *interface* antara serat dan matrik.

Retak dapat disebabkan oleh lepasnya ikatan *fiber* (*fiber debonding*), rongga udara maupun ketidak sinambungannya serat. Perkembangan keretakan yang mengumpul menyebabkan tidak berfungsinya matrik sebagai pendistribusi atau penerus gaya dari satu serat ke serat yang lain dalam suatu bahan komposit.

Kerusakan permukaan membuktikan adanya bermacam-macam kegagalan matrik (*matrix failure*), kegagalan serat (*fiber failure*) dan tercabutnya serat dari susunan (*fiber pullout*). Temperatur yang tinggi biasanya mengurangi performa dari komposit yang sebagian besar terdiri dari matrik (*Matrix-dominated composites*). Campuran dan reaksi bahan-bahan kimia dapat berpengaruh besar pada suatu bahan komposit polimer.

2.8 Proses Curing Pada Komposit

Proses *curing* adalah proses polimerisasi bahan matrik yang membuat komposit semakin homogen. Kecepatan dari proses *curing* ini berbeda-beda tergantung pada 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.

2.8.1 Ovens

Oven dengan bahan bakar gas dan oven 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 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.

2.8.2 Hot Oil

Metode dengan minyak panas terutama digunakan pada proses curing resin yang sangat cepat, biasanya membutuhkan waktu kurang dari 15 menit. Penggunaan 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.

2.8.3 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.

2.8.4 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.

2.8.5 Autoclave

Untuk mendapatkan bahan komposit yang akan digunakan untuk bahan pesawat luar angkasa, maka diperlukan proses curing dalam *autoclave* dengan bantuan ruang hampa udara (*vacum*). Meskipun tidak digunakan dalam produksi massal, proses ini mampu menghasilkan tekanan antara 1,4 samapai 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.

2.8.6 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.

2.8.7 Proses Curing Yang Lain

Proses *curing* yang lain biasanya menggunakan *electron beam*, *laser*, *radio frequency (RF) energy*, *ultrasonic* dan *induction curing*. Proses-proses ini mempunyai tingkat keefektifan dan keberhasilan yang berbeda-beda dalam pelaksanaan proses *curing* untuk bahan komposit.

2.9 Proses Pembuatan Komposit Polimer Berpenguat Serat

Proses pembuatan FRP dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu :

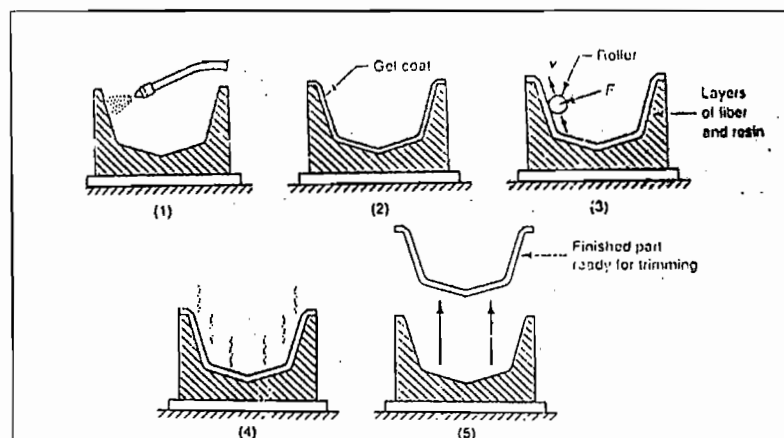
1. *Open Mold Process*
 - a. *Hand Lay-Up*
 - b. *Spray-Up*
 - c. *Bag Molding*
 - d. *Filament Winding*
2. *Closed Mold Process*
 - a. *Injection Molding*
 - b. *Molding Compound*
 - c. *Pultrusion*

2.9.1 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

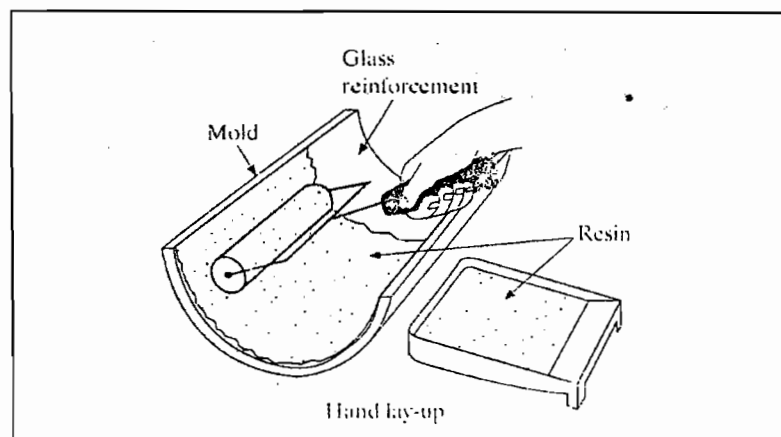
dihasilkan dari proses ini dihilangkankan dengan cara ditekan-tekan, ditusuk-tusuk menggunakan roll.

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 2.14 Proses Hand Lay-Up

(Sumber : Viktor Malau, Diktat Mata Kuliah Komposit)

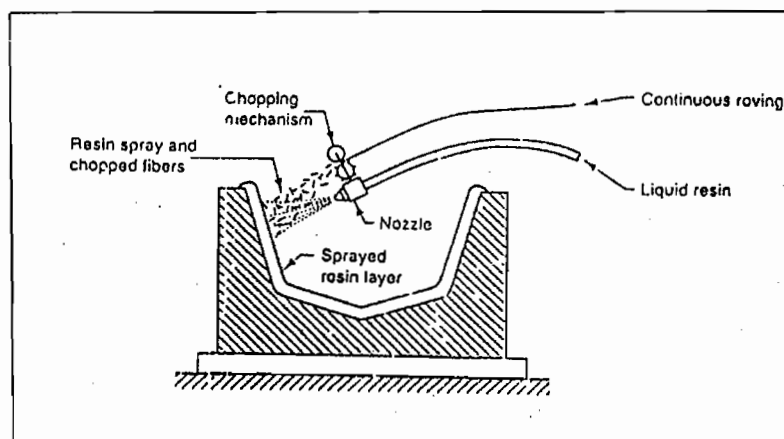


Gambar 2.15 Proses Hand Lay-Up

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

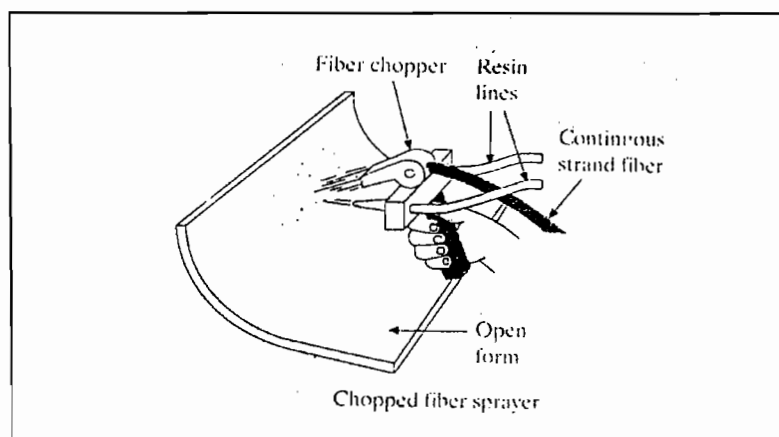
2.9.2 Proses Spray-Up

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 (*choped*), pengerolan, pengeringan (*curing*) dan yang terakhir adalah mengeluarkan komposit dari cetakan.



Gambar 2.16 Proses Spray-Up

(Sumber : Viktor Malau, Diktat Mata Kuliah Komposit)



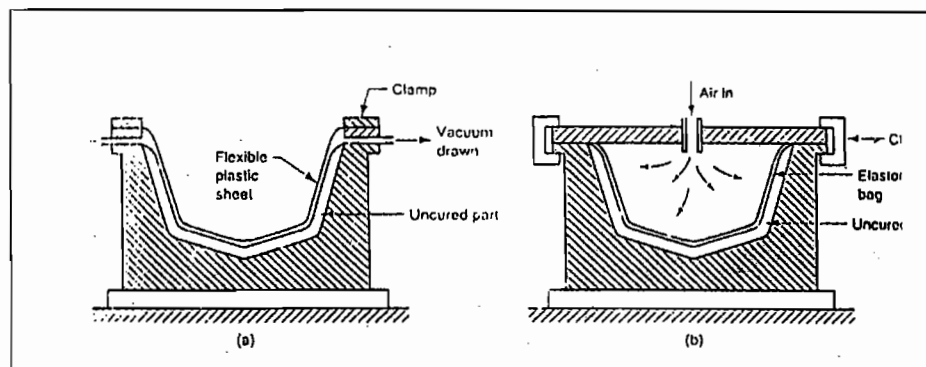
Gambar 2.17 Proses Spray-Up

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

2.9.3 Proses Bag Molding

Proses ini dibagi menjadi dua yaitu : *Vacuum Bag Molding* dan *Pressure Bag Molding*. Pada proses *vacuum bag molding* meliputi persiapan 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 *pressure bag molding* meliputi persiapan 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, pelepasan kantung udara, pengeringan dan pengangkatan komposit dari cetakan.

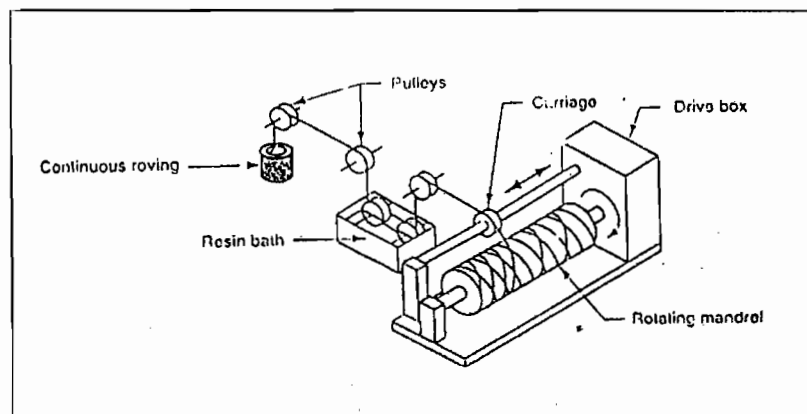


Gambar 2.18 Proses Bag Molding (a) Vacuum Bag-Molding, (b) Pressure Bag-Molding
(Sumber Viktor Malau, Diktat Mata Kuliah Komposit)

2.9.4 Proses Filament Winding

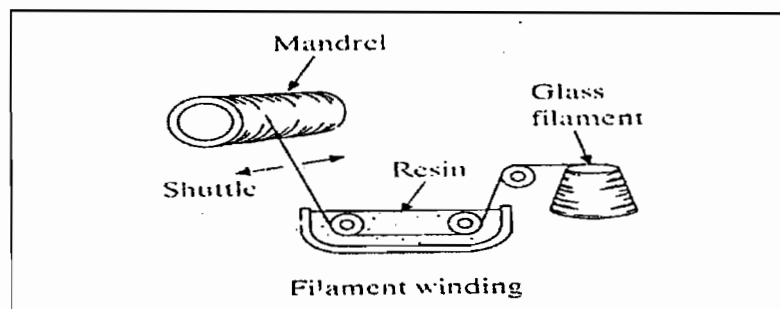
Proses ini dapat berupa :

- Wet Winding* : Serat yang telah dibasahi dengan resin digulung pada mandrel berputar.
- 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 2.19 Proses Wet Winding

(Sumber : Viktor Malau, Diktat Mata Kuliah Komposit)

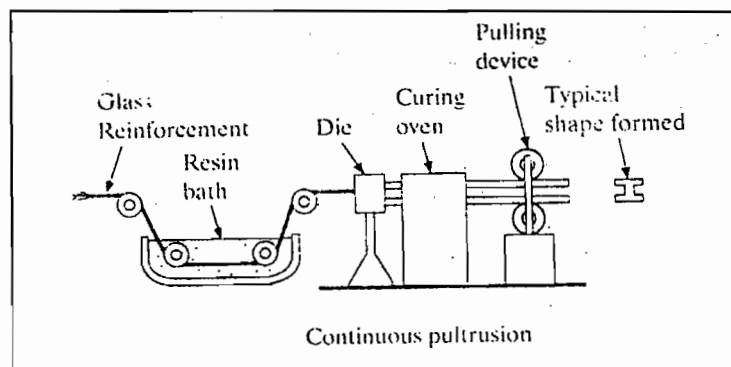


Gambar 2.20 Proses Filament Winding

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

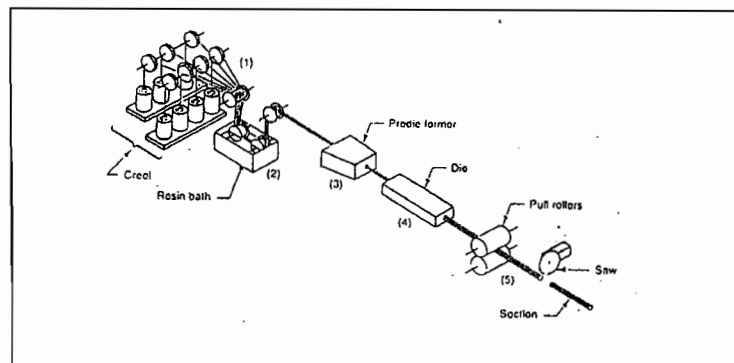
2.9.5 Proses Pultrusion

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 2.21 Proses Pultrusion

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

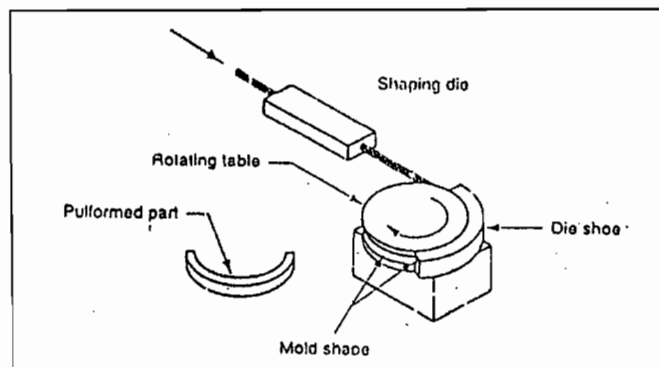


Gambar 2.22 Proses Pultrusion

(Sumber : Viktor Malau, Diktat Mata Kuliah Komposit)

2.9.6 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.

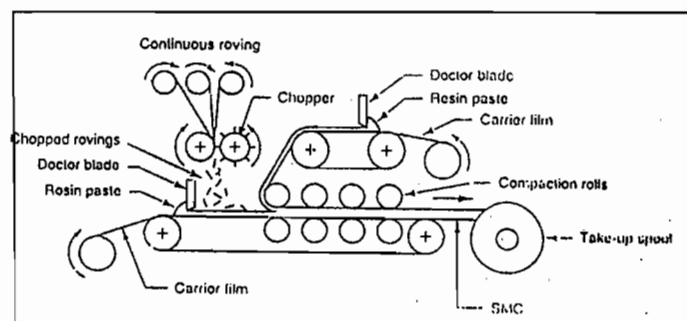


Gambar 2.23 Proses Pulforming

(Sumber : Viktor Malau, Diktat Mata Kuliah Komposit)

2.9.7 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 penggulungan komposit. Proses ini ditunjukkan pada gambar 2.20.



Gambar 2.24 proses Sheet Molding Compound (SMC)

(Sumber Viktor Malau, Diktat Mata Kuliah Komposit)

2.9.8 Proses Thick Molding Compounds

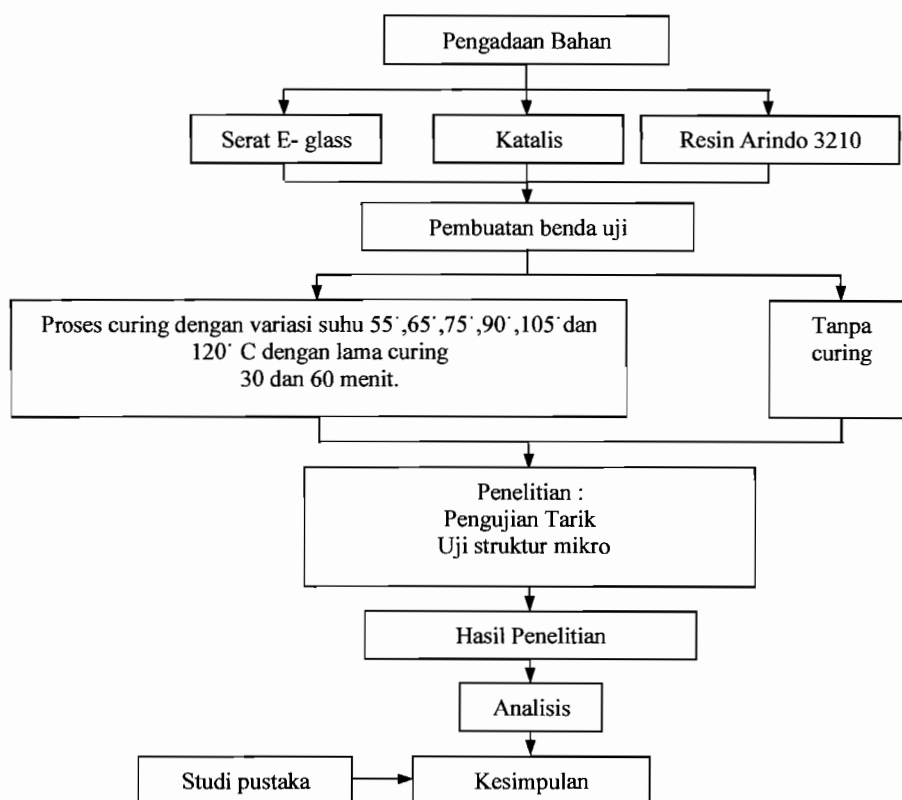
Proses ini mirip dengan *Sheet Moulding Compounds*, hanya saja komposit yang dihasilkan relatif lebih tebal (dapat mencapai 50 mm tebal)

BAB III

CARA PENELITIAN

3.1 Skema Jalan Penelitian

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



Gambar 3.1. Skema jalan Penelitian

3.2 Menentukan Volume Cetakan

Volume cetakan ditentukan dengan ukuran:

$$\text{Volume cetakan} = 49 \text{ cm} \times 45 \text{ cm} \times 0,3 \text{ cm} = 661,5 \text{ cm}^3$$

Dengan komposisi:

- a. Serat : 45%
- b. Resin : 54,5%
- c. Katalis : 0,5%

3.3 Menentukan % Volume Serat

Dalam perhitungan %Volume serat.

$$V_F = \text{Volume Fiber}$$

$$= 45\% \times 661,5 \text{ cm}^3$$

$$= 297,675 \text{ cm}^3$$

$$\rho_F = \text{Berat Jenis Fiber}$$

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

(Sumber : Principles of Materials Science and Engineering)

$$G_F = \text{Berat Fiber}$$

$$= 297,675 \text{ cm}^3 \times 2,54 \text{ g/cm}^3$$

$$= 756,0945 \text{ g}$$

3.4 Menentukan % Volume Resin

Dalam Perhitungan % volume resin

$$\begin{aligned}V_R &= \text{Volume Resin} \\ &= 54,5\% \times 661,5 \text{ cm}^3 \\ &= 367,1325 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

3.5 Menentukan % Volume Katalis

Dalam Perhitungan % volume katalis

$$\begin{aligned}V_k &= \text{Volume katalis} \\ &= 0,5\% \times 661,5 \text{ cm}^3 \\ &= 3,3075 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

3.6 Penyiapan Benda Uji

3.6.1 Alat dan Bahan

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

1. Bahan pembuat cetakan: dengan kaca, dengan ketebalan 3mm (luasan sesuai dengan cetakan yang akan dibuat).
2. Alat pemotong (gergaji pisau, gunting)
3. Tempat untuk mengaduk dan mencampur resin (ember/gayung, stik pengaduk)
4. Alat untuk membantu dalam pencetakan (alat perata, kuas, roler lay-up)

5. Alat ukur (gelas ukur 1000 cc dan 5 cc, neraca, penggaris/ meteran, jangka sorong, jangka, marker)
6. Alat untuk finishing (gerinda, kertas amplas, kikir)

Sedangkan bahan-bahan utama yang digunakan untuk membuat komposit serat gelas /poliester adalah sebagai berikut :

1. Resin

Resin yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah resin polimer tak jenuh *Arindo 3210*. Ciri-ciri fisik resin ini berwarna merah muda. Resin yang dipakai dalam penelitian tidak disertai spesifikasi khusus, sehingga untuk mengetahui sifat-sifat mekaniknya dilakukan pengujian tarik terhadap resin pengikat tanpa serat. Demikian pula massa jenis resin dilakukan pengujian secara langsung untuk mengetahui massa jenis aktual dari resin yang digunakan. Data dan perhitungan selengkapnya disajikan dalam lampiran tabel dan perhitungan.

2. Serat

Dalam penelitian ini serat penguat yang digunakan adalah serat gelas-E dengan jenis serat berbentuk anyaman. Karena serat yang dipakai tidak disertai spesifikasi khusus sehingga untuk mengetahui sifat-sifat mekanik harus dilakukan pengujian secara langsung untuk mengetahui kekuatan tarik dan massa jenis serat secara aktual. Dari serat yang digunakan data

dan perhitungan selengkapnya disajikan dalam lampiran tabel dan perhitungan.

3. Katalis

Percabangan antara rantai poliester pada suhu kamar dapat terjadi dalam waktu yang sangat lama. Untuk mempercepat dapat dipicu dengan penambahan katalis dengan rasio perbandingan 0,5%-1% volume, sehingga terjadi reaksi yang sangat cepat. 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 *mepox* 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 *mepox* waktu yang dibutuhkan untuk curing berkisar antara 8-12 jam.

4. Release agent

Karena dalam proses pembuatan dengan bahan resin ini akan bersifat adesive 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 *mirrorglass* atau MMA dan juga dapat menggunakan oli sebagai bahan pengganti .

Pemakaian *release agent* ini digunakan dengan cara mengoleskan dan melapisi seluruh cetakan yang akan mengalami kontak langsung dengan resin saat pembuatan. Perlakuan pelapisan dengan bahan anti adesive ini akan mempermudah proses pelepasan produk yang dibuat dari *moulding*/cetakan. Pelapisan releas agent ini dapat dapat dilakukan sebanyak 3 kali dalam setiap proses pembuatan, semakin banyak proses pelapisan akan semakin mengurangi sifat *adhesive* resin terhadap *moulding*.

5. Acetone

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

3.6.2 Pembuatan Cetakan

Dalam proses pembuatan komposit dibutuhkan sebuah cetakan yang nantinya bentuk dan dimensi dari cetakan ini akan menjadi bentuk dan dimensi dari produk yang dibuat dalam cetakan tersebut. Proses pembuatan cetakan tersebut mempunyai urutan sebagai berikut:

1. Dimensi dan ukuran kaca disiapkan.
2. Resin, katalis dan serat disiapkan.
3. Pembuatan cetakan dengan kaca setebal 5mm sebagai alas cetakan, kemudian kaca dengan tebal 3mm untuk pembatas samping dan kaca dengan tebal 2mm, sebagai penutup cetakan.

3.7 Pembuatan Benda Uji

3.7.1 Pembuatan Benda Uji Matrik Pengikat

Pencetakan benda uji matrik pengikat dilakukan dengan metode hand lay-up, mengingat proses pencetakan yang relatif sederhana dan hasil yang cukup baik cetakan yang digunakan untuk pembuatan matriks pengikat ini mempunyai dimensi 165×1000 mm dengan tebal cetakan yang akan dihasilkan antara 3mm.

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

1. Dalam proses pengecoran permukaan cetakan, dilapisi oli untuk mempermudah pemisahan produk dari cetakan.
2. Resin disiapkan sebesar 54,5 %, yaitu $367,1325 \text{ mm}^3$, kemudian dicampur dengan katalis sesuai ukuran yang telah dihitung dari 0,5 % dari volume cetakan diatas diatas yaitu $3,3075 \text{ mm}^3$, dan diusahakan rata-rata air.

3. Cetakan ditutup dan di clamp agar tidak terjadi penggelembungan.
4. Dalam waktu 8 – 12 jam terjadi proses curing. Cetakan atas dilepas dan matrik dikeluarkan dari cetakan dengan bantuan scraber.
5. Produk dipotong - potong sesuai dengan ukuran spesimen.

Catatan : penggunaan acetone untuk membersihkan peralatan dari resin dilakukan sebelum resin mengering dan menjadi keras.

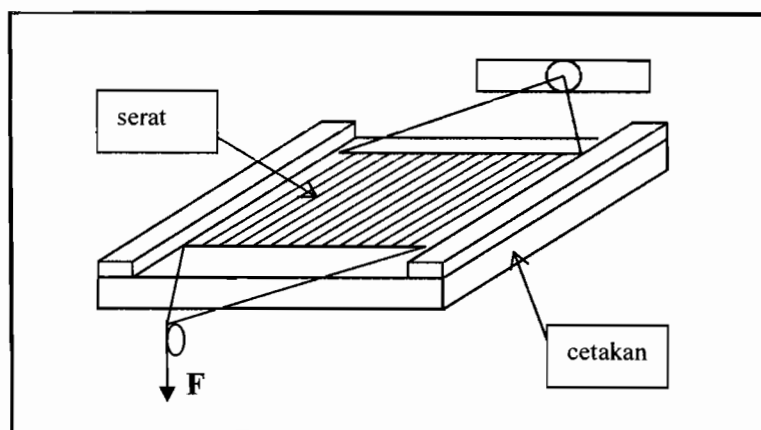
3.7.2 Pembuatan Benda Uji Komposit

Benda uji komposit dibuat dengan ketebalan 3 mm sesuai dengan ketebalan pembatas yang digunakan pada cetakan. Proses pembuatan uji komposit hampir sama dengan proses percetakan matrik pengikat, hanya perlu diperhatikan adanya serat dalam produk. Langkah-langkah pencetakan benda uji komposit adalah sebagai berikut:

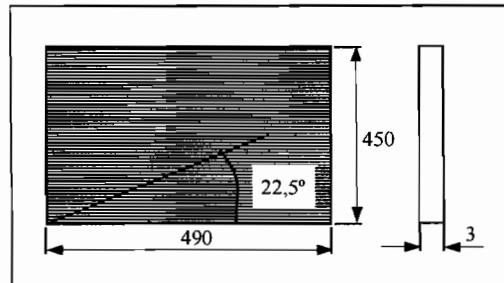
1. Proses pengecoran permukaan cetakan, dilapisi oli untuk mempermudah pemisahan produk dari cetakan.
2. Siapkan serat gelas yang telah terpotong-potong sesuai dengan ukuran (49 cm x 45 cm). Sebanyak 756,0945 gr dibagi dalam 4 bagian, setiap bagian roving direntangkan dan diusahakan memiliki lebar sesuai dengan cetakan. Untuk menghasilkan kesejajaran dan posisi yang tidak berubah-ubah pada waktu dilakukan proses pembuatan maka pada setiap bagian perlu dilakukan penjepitan pada keduabelah ujungnya (gambar 3.2).
3. Pasang 1 bagian serat untuk lapisan pertama dari proses percetakan, lakukanlah pembebanan untuk mendapatkan kelurusan dari susunan serat.

4. Siapkan resin dan katalis sebanyak $367,1325 \text{ cm}^3$ dan $3,3075 \text{ cm}^3$. Karena proses pembuatan dilakukan dalam 4 kali proses, maka pembuatan matrik pengikat dibuat dalam 4 tahap.
5. Setelah serat diatur kelurusan dan keseajarannya maka adukan resin dan katalis yang telah dipersiapkan dapat dituangkan ke dalam cetakan, agar resin dapat meresap keseluruhan bagian cetakan dan dapat membasahi serat dengan merata dapat dilakukan dengan sapuan kuas dan roler hand lay-up yang sudah dipersiapkan.
6. Setelah 4 kali proses penyusunan serat dan ketebalan dari produk telah tercapai maka dilakukan pemasangan cetakan bagian atas dan memberikan penekanan dengan cara mengencangkan baut yang terdapat pada setiap sisi cetakan.

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



Gambar 3.2. Rangkaian kesejajaran serat dalam cetakan komposit



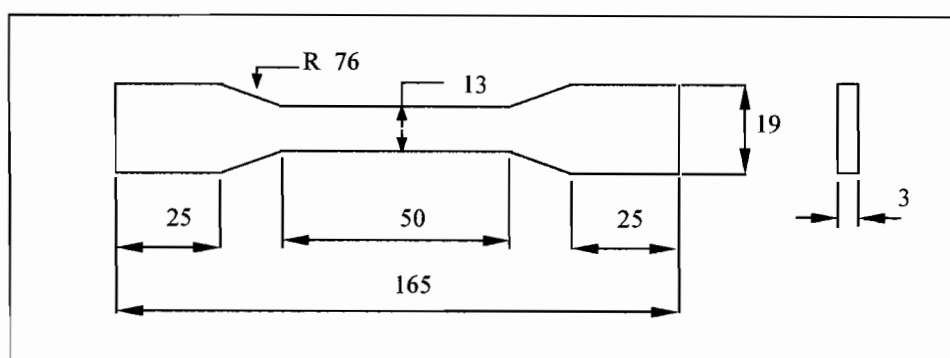
Gambar 3.3. Pemotongan benda uji komposit sesuai dengan arah orientasi serat yang digunakan.

3.8 Standar dan Ukuran Benda Uji.

3.8.1 Benda Uji Matriks Pengikat.

Pengujian matriks pengikat dilakukan dengan standar pengujian

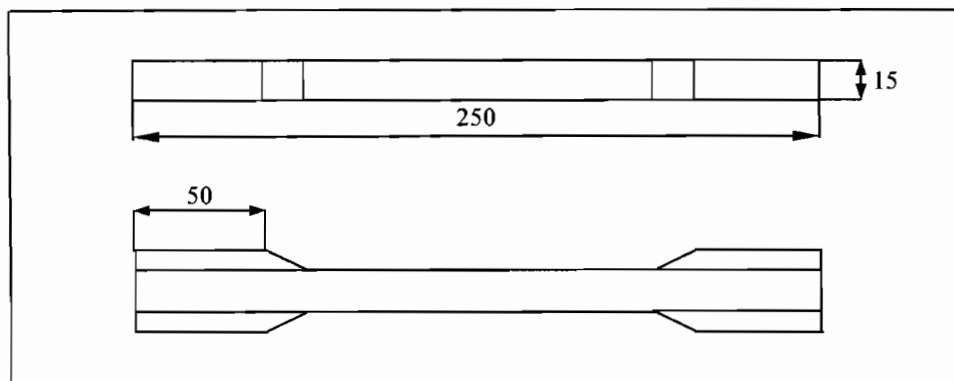
ASTM D 638 (*Standart Test Method for Tensile Properties of Plastic*). Sesuai dengan standar pengujian ASTM D 638, dimensi benda uji yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4. Dimensi benda uji tarik matriks pengikat.

3.8.2 Benda Uji Serat.

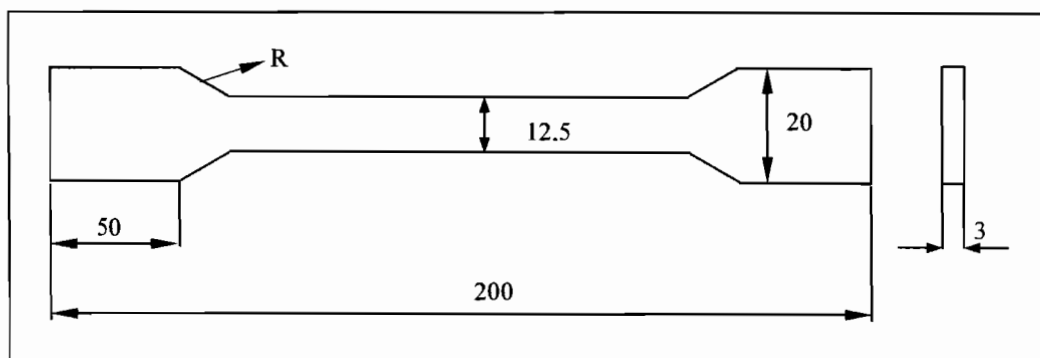
Pengujian tarik serat penguat berupa serat gelas ini dilakukan dengan dimensi benda uji yang digunakan adalah sebagai berikut.



Gambar 3.5. Dimensi benda uji tarik serat penguat

3.8.3 Benda uji komposit.

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



Gambar 3.6. Dimensi benda uji tarik komposit.

3.9 Metode Pengujian.

3.9.1 Pengujian Tarik Matrik Pengikat

Dalam penelitian ini untuk mengetahui sifat-sifat mekanik matriks pengikat secara terpisah digunakan pengujian tarik dengan menggunakan mesin uji tarik Universal. Dalam pengujian tarik matriks pengikat digunakan 5 buah benda uji dengan dimensi benda uji sesuai dengan standar ASTM D 638.

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

3.9.2 Pengujian Tarik Serat

Dalam penelitian untuk mengetahui sifat-sifat mekanik serat penguat dilakukan pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik universal.

Untuk mengetahui kekuatan serat digunakan 4 buah benda uji, keempat data tersebut digunakan sebagai data dalam penelitian yang diambil dari pengujian secara eksperimental.

3.9.3 Pengujian Tarik Komposit

Pengujian komposit dilakukan tanpa curing dan perlakuan curing dengan variasi suhu 55° , 65° , 75° , 90° , 105° , dan 120° dan dengan variasi lama curing 30 menit dan 60 menit, dengan menggunakan mesin uji tarik universal.

Dalam pengujian tarik komposit digunakan 5 buah benda uji sesuai dengan standar ASTM A 370.

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

3.9.4 Langkah Pengujian Struktur Mikro

Untuk bahan komposit juga dilakukan uji struktur mikro. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Merekatkan 4 buah benda uji dari masing-masing variasi suhu curing maupun yang tanpa curing menggunakan lem dengan memperlihatkan penampang melintang dari komposit.
2. Menghaluskan penampang melintang dan membujur dari komposit dengan kertas amplas ukuran 500, 800, 1000.
3. Menghaluskan permukaan degan menggunakan autosol yang dioleskan pada kain bersih.
4. Mengamati dengan mikroskop dan mengambil gambarnya dengan kamera.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Tarik

Diadakan uji tarik untuk bahan-bahan : serat penguat, matrik pengikat dan komposit. Setelah diadakan pengujian tarik maka didapatkan beban patah (*break*) dan juga *print out* grafik beban regangan pada kertas milimeter blok.

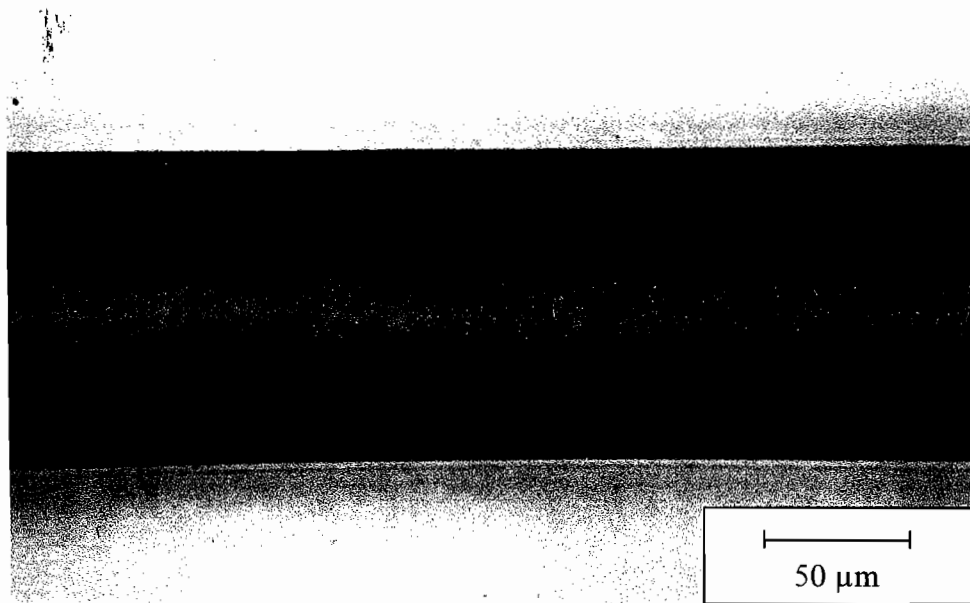
4.1.1 Serat Penguat

Sebelum diadakan pengujian tarik, benda uji serat penguat diukur terlebih dahulu. Diameter serat *E-glass* diukur dengan cara mengkalibrasikan dengan serat kawat tembaga berdiameter 0,12 mm yang gambarnya diambil menggunakan kamera pada alat uji struktur mikro dengan pembesaran lensa 200 dan dicetak dengan ukuran 3R. Gambar 4.1 menunjukkan foto dari serat kawat tembaga yang digunakan sebagai acuan ukuran.

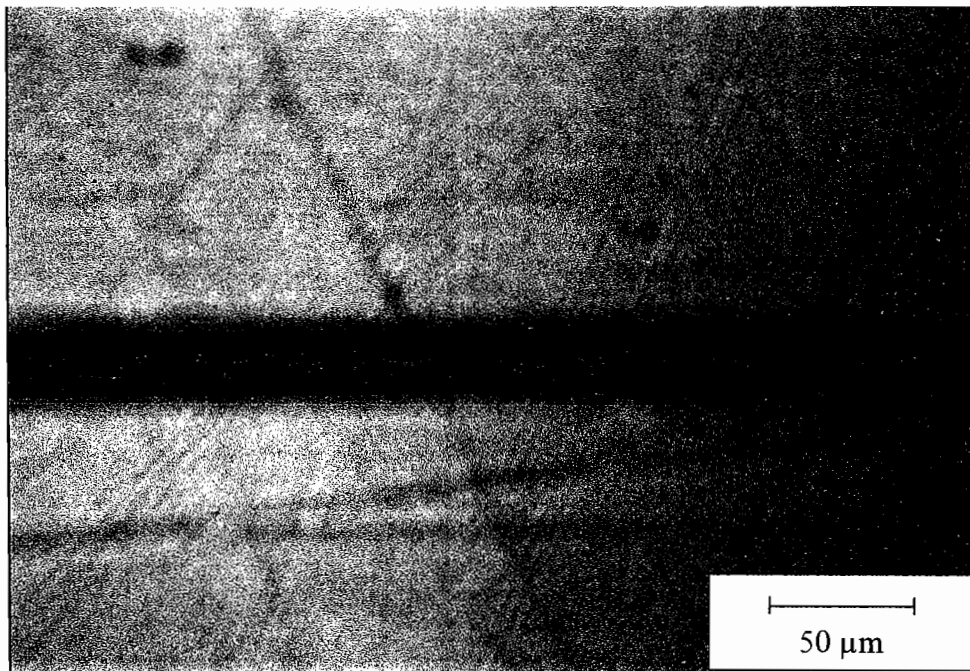
Pada Gambar 4.1 setelah diukur, diameter kawat tembaga (0,11 mm) menjadi 41,5 mm, sehingga perbesarannya adalah :

$$\text{Perbesaran} = \frac{41\text{mm}}{0,11\text{mm}} = 372.73 \text{ kali}$$

Kemudian nilai pembesaran gambar ini digunakan sebagai acuan untuk mengukur diameter serat maupun untuk mengukur panjang dalam foto uji struktur mikro.



Gambar 4.1 Foto mikro serat kawat tembaga dengan diameter 110 μm



Gambar 4.2 Foto mikro serat E-Glass

Pada gambar 4.2 setelah diukur, diameter serat pada foto adalah 8,5 mm.

Sehingga diameter sebenarnya dari serat adalah :

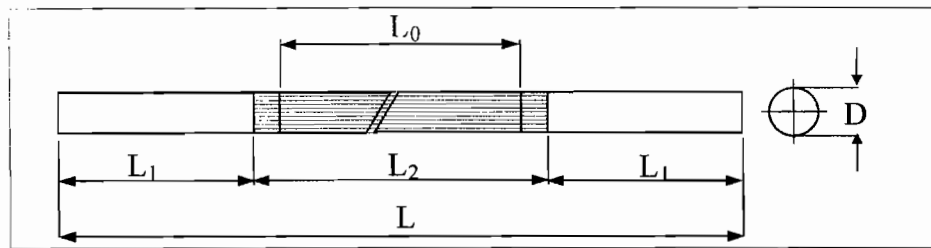
$$\text{Diameter serat} = \frac{8,5}{372,73} = 0,022 \text{ mm} = 22 \mu\text{m}$$

Terlihat pada gambar 4.2 terdapat cacat permukaan pada serat. Hal ini sangat sulit dihindari karena dapat disebabkan oleh gesekan dengan benda lain pada waktu membawanya, tertekuk lembarannya atau mungkin juga semenjak dari pabrik sudah cacat. Pengamatan ini sangat sulit dikarenakan ukurannya sangat kecil.

4.1.1.1 Data Pengujian Tarik dan Perhitungan

Benda uji serat penguat sebenarnya sangat sulit untuk dibuat sesuai dengan standar yang ada. Serat yang diteliti mempunyai diameter yang relatif kecil. Untuk itu digunakan pendekatan dengan cara mengambil 2 helai anyaman dari serat *E-Glass* jenis *woven roving*, diikat dengan menggunakan selotip bening pada ujungnya kemudian dicelupkan kedalam resin yang telah dicampur dengan katalis sebagai penjepit.

Untuk mengukur diameter benda uji serat penguat dilakukan dengan cara mengambil gambar struktur mikro penampang serat dan menghitung jumlah seratnya. Diambil harga jumlah helai serat dari 1 anyaman adalah 2200 helai serat *E-Glass*. Gambar foto penampang serat terdapat pada gambar 4.25. Gambar 4.3 memperlihatkan daerah yang diukur pada benda uji serat. Tabel 4.2 menunjukkan sifat-sifat bahan serat. Gambar 4.4 dan gambar 4.5 memperlihatkan grafik kekuatan tarik dan grafik regangan serat penguat.



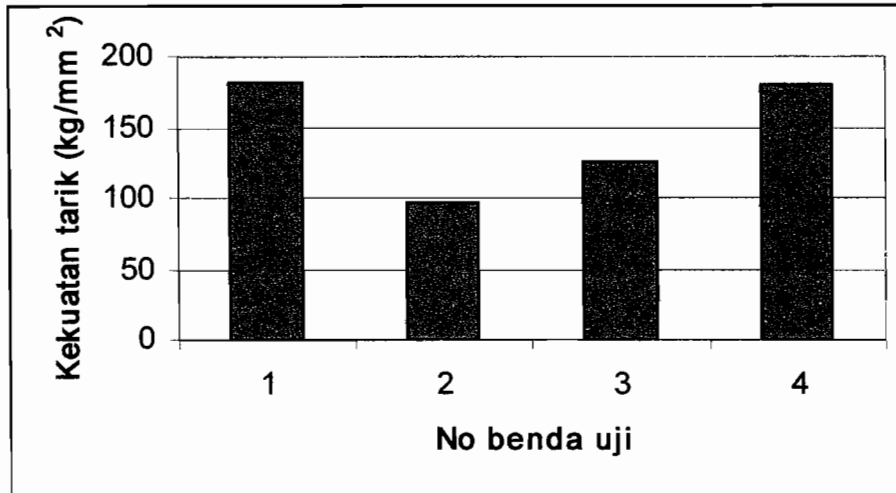
Gambar 4.3 Dimensi benda uji serat

Tabel 4.1 Dimensi benda uji serat penguat

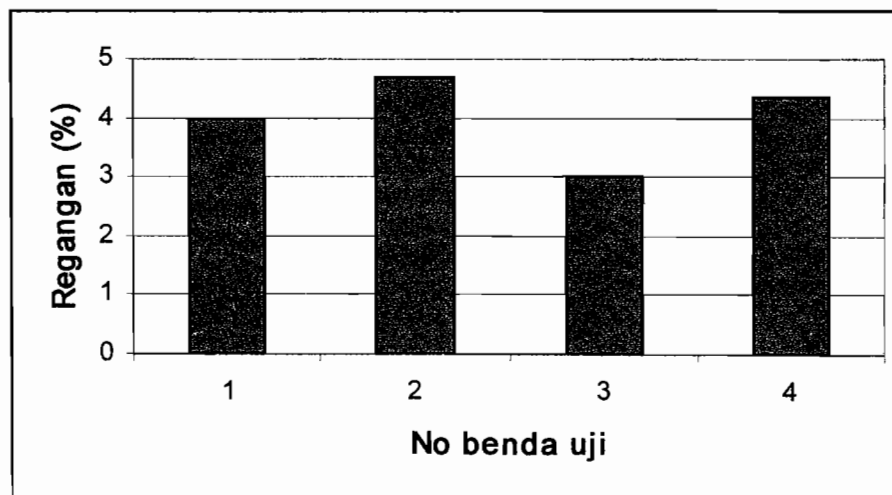
No	L (mm)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L ₀ (mm)	Diameter (mm)	Jumlah serat
1	250	45	160	150	0,022	1100
2	250	45	160	150	0,022	1100
3	250	45	160	150	0,022	1100
4	250	45	160	150	0,022	1100

Tabel 4.2 Sifat-sifat benda uji (bahan) serat penguat

No	Luas A ₀ (mm ²)	Beban F _{maks} (kg)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekutan tarik rata-rata (kg/mm ²)	ΔL (mm)	Regangan (%)	Regangan rata-rata (%)
1	0,418	75,7	181,13		6,0	4,0	
2	0,418	40,2	96,19	145,836	7,0	4,7	4
3	0,418	52,6	125,86		4,5	3,0	
4	0,418	75,3	180,17		6,5	4,3	



Gambar 4.4 Grafik kekuatan tarik serat penguat



Gambar 4.5 Grafik regangan serat penguat

Contoh perhitungan kekuatan tarik dan regangan benda uji serat penguat :

Kekuatan tarik benda uji serat penguat :

$$\sigma_{\text{tarik}} = \frac{F_{\text{maks}}}{A_0}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{tarik}} &= \frac{75,7}{\pi \times (0,01)^2 \times 1100} \\ &= 181,13 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

Regangan benda serat penguat :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\varepsilon = \frac{6}{150}$$

$$= 0,04$$

$$= 4 \%$$

4.1.1.2 Pembahasan

Kekuatan tarik rata-rata dari hasil pengujian serat E-Glass adalah 146 kg/mm². Serat E-Glass mempunyai kekuatan tarik yang tinggi. Hasil yang didapat memang tidak dapat seragam satu dengan yang lain. Kekuatan tarik dari serat seharusnya dihitung dengan cara menarik satu helai serat. Akan tetapi hal itu sangat sulit dilakukan karena ukuran dari diameter serat sangat kecil dan dikarenakan terbatasnya alat yang ada.

Nilai regangan rata-rata dari serat E-Glass adalah 4 %. Hal ini membuktikan bahwa serat bersifat getas. Benda uji serat ini sulit untuk dibuat sama. Nilai regangan yang didapat juga tidak seragam satu dengan yang lain.

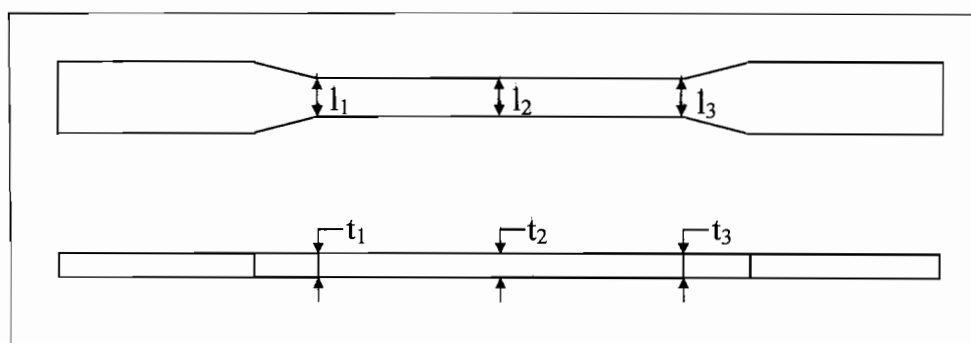
Ketidak seragaman kekuatan tarik dan regangan serat E-Glass ini dapat terjadi karena beberapa sebab, faktor yang mempengaruhinya antara lain : cacat pada serat yang tidak seragam, lepasnya serat pada penjepit ketika diadakan pengujian tarik, pemasangan benda uji pada grip alat uji tarik yang kurang tepat, panjang serat dalam satu benda uji mungkin tidak sama atau bahkan tidak terjepit.

Model kerusakan pada serat adalah patahnya serat karena adanya beban. Beban yang dikenakan pada benda uji diteruskan oleh serat. Karena beban yang dikenakan terus meningkat maka serat tidak mampu lagi menahannya sehingga putus.

4.1.2 Matrik Pengikat

4.1.2.1 Data Pengujian Tarik dan Perhitungan

Pada benda uji matrik pengikat diambil beberapa bagian untuk diukur dan diambil nilai rata-ratanya untuk menentukan luas permukaan uji. Gambar 4.6 memperlihatkan daerah yang diukur pada benda uji matrik pengikat. Tabel 4.3 menunjukkan dimensi benda uji matrik pengikat. Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 memperlihatkan grafik kekuatan tarik dan grafik regangan matrik pengikat.



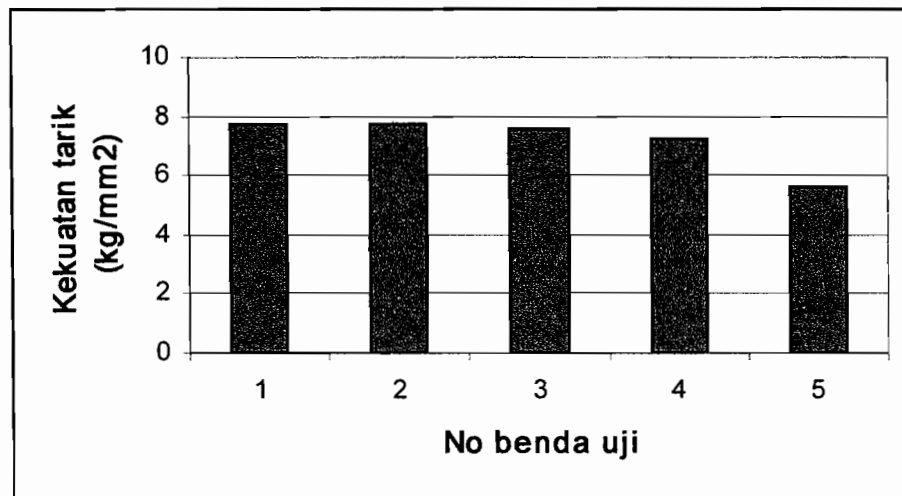
Gambar 4.6 Lebar dan tebal yang diukur pada benda uji matrik pengikat

Tabel 4.3 Dimensi benda uji matrik pengikat

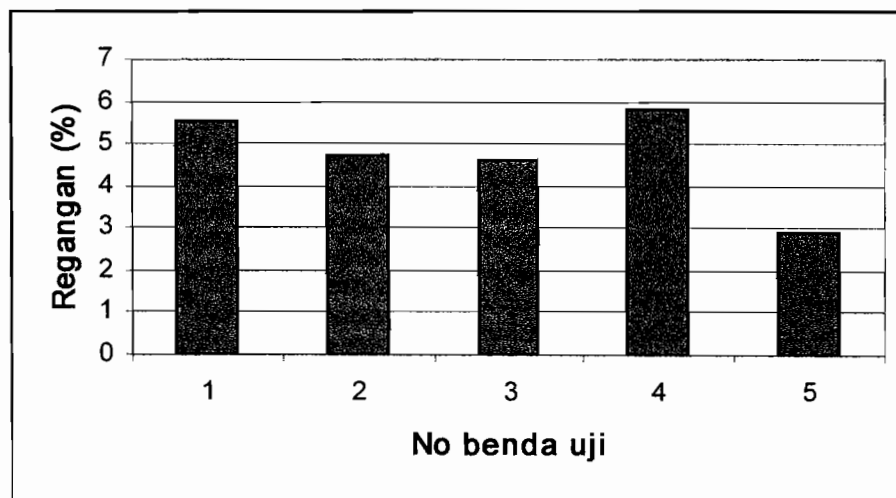
No	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	t_1 (mm)	t_1 (mm)	t_3 (mm)	l Rata- rata (mm)	t Rata- rata (mm)
1	13,0	12,8	12,8	3,0	2,9	3,0	12,67	2,97
2	12,8	12,8	13,0	2,9	3,0	3,0	12,87	2,97
3	12,8	12,5	12,8	3,0	2,9	2,9	12,70	2,93
4	13,0	12,8	13,0	3,0	3,0	3,0	12,93	3,00
5	13,0	13,0	13,2	2,8	2,9	3,0	13,07	2,9

Tabel 4.4 Sifat-sifat benda uji matrik pengikat

No	Luas permukaan A_0 (mm ²)	Beban F_{maks} (kg)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm ²)	L_0	(ΔL) (mm)	Regang an (%)	Regangan rata-rata (%)
1	37,63	289,6	7,696		50	2,75	5,5	
2	38,22	294,4	7,702		50	2,35	4,7	
3	37,21	280,7	7,543	7,17	50	2,30	4,6	4,7
4	38,79	281,9	7,267		50	2,90	5,8	
5	37,90	214,1	5,649		50	1,45	2,9	



Gambar 4.7 Grafik kekuatan tarik benda uji matrik pengikat



Gambar 4.8 Grafik regangan benda uji matrik pengikat

Contoh perhitungan kekuatan tarik dan regangan benda uji matrik pengikat :

Kekutan tarik benda uji matrik pengikat :

$$\sigma_{\text{tarik}} = \frac{F_{\text{maks}}}{A_0}$$

$$\sigma_{\text{tarik}} = \frac{272,14}{37,95}$$

$$= 7,17 \text{ kg/mm}^2$$

Regangan benda uji matrik pengikat :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\varepsilon = \frac{2,35}{50}$$

$$= 0,047$$

$$= 4,7 \%$$

4.1.2.2 Pembahasan

Kekuatan tarik rata-rata dari hasil pengujian matrik sebesar $7,17 \text{ kg/mm}^2$. Dapat dikatakan bahwa nilai kekuatan tarik matrik Arindo 3210 relatif kecil. Jika dibandingkan dengan kekuatan tarik serat *E-Glass*, maka nilai kekuatan tarik matrik Arindo 3210 jauh lebih kecil (kekuatan tarik serat > kekuatan tarik matrik). Matrik Arindo 3210 mempunyai sifat keras dan getas. Matrik jenis ini dalam ukuran kecil mudah pecah ataupun retak jika terkena benturan dengan benda keras.

Untuk benda uji matrik pengikat mempunyai regangan rata-rata sebesar 4,7%. Nilai regangan matrik pengikat lebih besar dari pada nilai regangan serat (nilai regangan matrik > nilai regangan serat). Hal ini menunjukkan bahwa matrik Arindo 3210 ini mempunyai sifat ulet dibandingkan dengan serat *E-Glass*. Sewaktu menerima beban, matrik tidak mengalami pertambahan panjang yang banyak dan mengalami langsung patah. Model kerusakan pada benda uji matrik pengikat ini adalah patah getas.

Adanya variasi nilai kekuatan tarik dan nilai regangan dapat disebabkan oleh proses pembuatan benda uji yang kurang bagus, adanya rongga udara (void) di dalam benda uji matrik pengikat, cacatnya benda uji sewaktu dipotong ataupun sewaktu dicekam pada alat uji tarik. Semua hal itu sulit untuk dihindari mengingat proses pencetakan benda uji matrik pengikat adalah secara manual (Hand Lay-Up) dan keterbatasan alat penunjang.

4.1.3 Komposit

4.1.3.1 Data Pengujian Tarik dan Perhitungan

Pada benda uji komposit diambil beberapa bagian untuk diukur dan diambil nilai rata-ratanya untuk menentukan luas permukaan uji. Gambar 4.9 memperlihatkan daerah yang diukur pada benda uji komposit. Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 memperlihatkan grafik kekutan tarik dan grafik regangan komposit. Kekuatan komposit dengan serat gelas 45 %, sudut orientasi 0° dapat dicari dengan Persamaan 2.4:

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

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

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

$$(\sigma_u)_c = 160,7 \text{ kg/mm}^2$$

Dari Tabel 2.1 Kekuatan tarik E-Glass: 3450 MPa.

Dari Tabel 2.2 Kekuatan tarik *Polyester*: 40-90 MPa.

Kekuatan komposit dengan sudut orientasi dapat dicari dengan Persamaan 2.16:

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

Karena hanya dilakukan pengujian tarik satu arah saja, maka harga σ_2 dan τ_{12} adalah 0, sehingga persamaanya menjadi:

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

Kekuatan komposit dengan sudut orientasi 22,5° :

$$\sigma_x = 160,7 \text{ kg/mm}^2 \times (\cos^2 22,5)$$

$$\sigma_x = 137,17 \text{ kg/mm}^2$$

Kekuatan 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 komposit dengan sudut orientasi 90° :

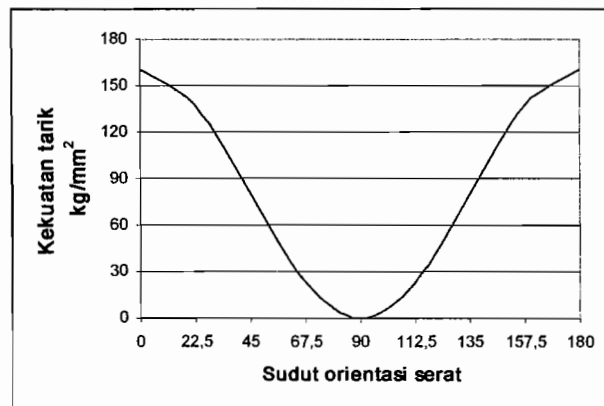
$$\sigma_x = 160,7 \text{ kg/mm}^2 \times (\cos^2 90)$$

$$\sigma_x = 0$$

Kekuatan komposit dengan sudut orientasi 180° :

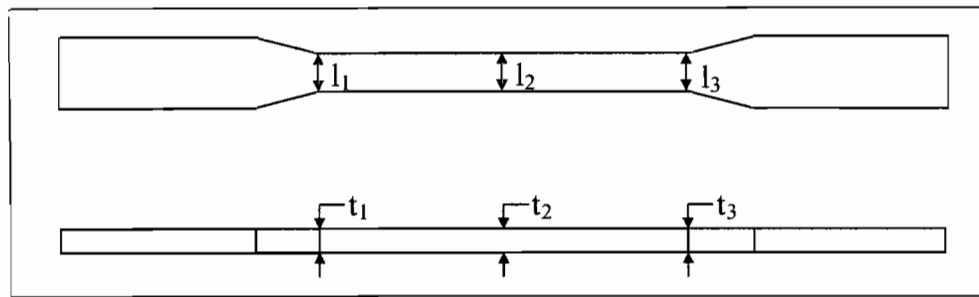
$$\sigma_x = 160,7 \text{ kg/mm}^2 \times (\cos^2 180)$$

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



Gambar 4.9 Pengaruh sudut orientasi serat terhadap kekuatan tarik komposit

Pada Gambar 4.9 dapat kita lihat komposit dengan sudut orientasi serat 0° dan 180° kekuatan tariknya mempunyai nilai maksimum, dan sudut orientasi serat 90° kekuatan tariknya berada pada titik terendah.



Gambar 4.10 Lebar dan tebal yang diukur pada benda uji komposit

Tabel 4.5 Dimensi benda uji komposit tanpa curing

No	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	t_3 (mm)	l Rata-rata (mm)	t Rata-rata (mm)
1	13,9	13,8	14,1	3,8	3,8	3,8	13,8	3,8
2	14,8	14,1	14,1	3,8	3,8	3,8	14,2	3,8
3	13,0	12,9	13,0	3,2	3,5	3,5	13,0	3,5
4	14,0	13,5	13,2	3,2	3,2	3,2	13,5	3,2
5	14,2	13,2	13,8	3,2	3,2	3,2	13,5	3,2

Tabel 4.6 Sifat-sifat benda uji komposit tanpa curing

No	Luas permukaan A_0 (mm ²)	Beban F_{maks} (kg)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm ²)	L_0 (mm)	(ΔL) (mm)	Regangan (%)	Regangan rata-rata (%)
1	52,44	533,7	10,177	10,436	100	3,0	3,0	2,98
2	53,96	519,3	9,624		100	3,0	3,0	
3	45,50	479,1	10,530		100	2,7	2,7	
4	43,20	454,1	10,512		100	2,5	2,5	
5	43,20	489,8	11,338		100	3,7	3,7	

Tabel 4.7 Dimensi benda uji komposit pada suhu 55 °C

No	Waktu Curing (menit)	l1 (mm)	l2 (mm)	l3 (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	l rata-rata (mm)	t rata-rata (mm)
1	30	13,2	12,9	13,2	3,8	3,8	3,8	13,0	3,8
2		13,2	12,9	12,8	3,5	3,2	3,5	12,8	3,5
3		13,5	13,2	14,0	3,2	3,2	3,2	13,5	3,2
4		13,8	13,8	13,8	3,2	2,9	3,0	13,8	3,0
5		13,2	13,8	14,0	3,2	3,2	3,2	13,5	3,2
1	60	13,8	13,2	13,8	3,8	3,2	3,2	13,5	3,5
2		13,2	12,8	12,8	3,5	3,2	3,5	12,8	3,5
3		13,5	13,2	14,0	3,2	3,2	3,2	13,5	3,2
4		13,8	13,8	13,8	3,2	2,9	3,0	13,8	3,0
5		13,2	13,8	14,0	3,2	3,2	3,2	13,5	3,2

Tabel 4.8 Sifat-sifat benda uji komposit pada suhu 55 °C

No	Waktu curing	Luas permukaan (mm ²)	Beban F _{maks} (kg)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm ²)	L ₀ (mm)	ΔL (mm)	Regangan (%)	Regangan rata-rata (%)
1	30	49,40	463,4	9,380	10,178	100	2,25	2,25	2,87
2		44,80	428,5	9,565		100	3,35	3,35	
3		43,20	457,2	10,583		100	4,25	4,25	
4		41,40	446,0	10,773		100	2,55	2,55	
5		43,20	457,4	10,588		100	1,95	1,95	
1	60	47,25	433,9	9,183	10,31	100	2,15	2,15	3,39
2		44,80	448,7	10,016		100	3,40	3,40	
3		43,20	453,8	10,505		100	3,75	3,75	
4		41,40	481,1	11,621		100	4,75	4,75	
5		43,20	441,8	10,227		100	2,90	2,90	

Tabel 4.9 Dimensi benda uji komposit pada suhu 65°C

No	Waktu Curing (menit)	l1 (mm)	l2 (mm)	l3 (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	l rata-rata (mm)	t rata-rata (mm)
1	30	13,2	13,5	13,8	2,8	2,8	3,2	13,5	3,0
2		13,0	13,0	13,0	2,5	2,8	3,2	13,0	2,8
3		13,8	14,0	13,8	3,0	3,0	3,0	13,8	3,0
4		12,8	12,8	12,8	3,0	3,2	3,2	12,8	3,2
5		14,0	13,2	13,8	3,2	3,2	3,2	13,5	3,2
1	60	13,8	13,8	13,8	2,5	2,8	2,8	13,8	2,5
2		13,8	13,5	14,1	3,2	2,8	3,2	13,8	3,0
3		13,8	14,2	14,0	2,8	3,0	2,8	14,0	2,8
4		12,5	12,8	13,2	2,8	2,8	2,8	12,8	2,8
5		13,8	13,2	13,5	2,8	2,8	2,8	13,5	2,8

Tabel 4.10 Sifat-sifat benda uji komposit pada suhu 65°C

No	Waktu curing	Luas permukaan (mm ²)	Beban F _{maks} (kg)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm ²)	L ₀ (mm)	ΔL (mm)	Regangan (%)	Regangan rata-rata (%)
1	30	40,50	435,9	10,763	10,94	100	3,25	3,25	3,41
2		36,40	387,1	10,635		100	3,40	3,40	
3		41,40	479,9	11,592		100	3,85	3,85	
4		40,96	458,1	11,184		100	3,95	3,95	
5		43,20	455,7	10,549		100	2,60	2,60	
1	60	34,50	423,1	12,264	11,66	100	4,30	4,30	3,75
2		41,40	494,9	11,954		100	4,25	4,25	
3		39,20	432,1	11,023		100	3,20	3,20	
4		35,84	420,7	11,738		100	3,15	3,15	
5		37,80	427,6	11,312		100	3,85	3,85	

Tabel 4.11 Dimensi benda uji komposit pada suhu 75°C

No	Waktu Curing (menit)	l1 (mm)	l2 (mm)	l3 (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	l rata-rata (mm)	t rata-rata (mm)
1	30	13,8	13,2	13,5	2,8	3,0	2,8	13,5	2,8
2		13,8	13,8	14,0	2,8	2,8	2,8	13,8	2,8
3		13,8	13,5	13,8	2,8	2,8	2,8	13,8	2,8
4		13,8	13,5	14,0	2,8	2,8	2,8	13,8	2,8
5		13,8	13,5	13,8	2,8	2,8	3,2	13,8	3,2
1	60	14,2	13,8	14,0	3,5	3,2	3,2	14,0	3,2
2		13,8	14,0	13,8	3,2	3,2	3,5	13,8	3,2
3		13,5	13,8	13,8	3,2	3,5	3,5	13,8	3,5
4		13,2	13,5	13,5	3,2	3,5	3,2	13,5	3,2
5		13,8	13,8	14,0	3,5	3,2	3,2	14,0	3,2

Tabel 4.12 Sifat-sifat benda uji komposit pada suhu 75°C

No	Waktu curing	Luas permukaan (mm ²)	Beban F _{maks} (kg)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm ²)	L ₀ (mm)	ΔL (mm)	Regangan (%)	Regangan rata-rata (%)
1	30	37,80	457,9	12,114	11,105	100	2,90	2,90	3,5
2		38,64	408,1	10,562		100	3,30	3,30	
3		38,64	441,5	11,426		100	3,75	3,75	
4		38,64	439,7	11,379		100	3,15	3,15	
5		44,16	443,6	10,045		100	4,40	4,40	
1	60	44,80	450,9	10,065	10,231	100	3,95	3,95	3,7
2		44,16	483,4	10,947		100	3,45	3,45	
3		48,30	452,0	9,358		100	3,30	3,30	
4		43,20	432,0	10,000		100	2,90	2,90	
5		44,80	483,2	10,786		100	4,90	4,90	

Tabel 4.13 Dimensi benda uji komposit pada suhu 90°C

No	Waktu Curing (menit)	l1 (mm)	l2 (mm)	l3 (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	l rata-rata (mm)	t rata-rata (mm)
1	30	13,8	13,2	13,8	3,2	3,0	3,2	13,5	3,2
2		12,8	13,2	13,2	3,2	3,2	3,2	13,0	3,2
3		14,2	12,8	13,5	3,0	3,2	3,0	13,5	3,0
4		14,2	13,8	13,8	3,2	3,2	2,8	13,8	3,0
5		13,8	13,8	13,8	3,2	3,2	3,2	13,8	3,2
1	60	13,2	12,8	13,8	3,0	2,8	2,8	13,2	2,8
2		12,2	12,2	12,2	2,8	2,8	3,0	12,2	2,8
3		13,5	13,5	13,2	3,2	3,2	3,2	13,5	3,2
4		13,8	13,5	13,8	3,2	2,8	3,0	13,8	3,0
5		13,5	13,8	14,0	3,2	3,2	3,2	13,8	3,2

Tabel 4.14 Sifat-sifat benda uji komposit pada suhu 90°C

No	Waktu curing	Luas permukaan (mm ²)	Beban F _{maks} (kg)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm ²)	L ₀ (mm)	ΔL (mm)	Regangan (%)	Regangan rata-rata (%)
1	30	43,20	415,8	9,625	10,17	100	3,50	3,50	3,87
2		41,60	442,4	10,635		100	3,70	3,70	
3		40,50	426,4	10,528		100	4,80	4,80	
4		41,40	420,7	10,162		100	3,65	3,65	
5		44,16	437,3	9,903		100	3,70	3,70	
1	60	36,96	410,7	11,112	10,86	100	4,20	4,20	3,83
2		34,16	396,4	11,604		100	4,05	4,05	
3		43,20	445,5	10,313		100	3,30	3,30	
4		41,40	466,0	11,256		100	4,50	4,50	
5		44,16	441,5	9,998		100	3,10	3,10	

Tabel 4.15 Dimensi benda uji komposit pada suhu 105°C

No	Waktu Curing (menit)	l1 (mm)	l2 (mm)	l3 (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	l rata-rata (mm)	t rata-rata (mm)
1	30	14,0	13,5	13,2	3,0	2,8	2,8	13,5	2,8
2		13,5	13,2	13,5	2,9	3,0	2,8	13,4	2,9
3		13,5	13,0	13,5	2,8	2,8	2,8	13,2	2,8
4		14,0	13,2	13,8	3,2	3,2	3,2	13,5	3,2
5		14,0	13,8	13,8	3,2	3,2	3,2	13,8	3,2
1	60	14,2	13,8	13,8	2,8	2,8	3,0	14,0	2,8
2		14,0	14,0	13,5	3,2	3,2	3,2	13,8	3,2
3		13,5	13,2	14,8	2,8	3,2	3,2	13,2	3,0
4		14,2	13,5	14,0	3,5	3,2	3,2	13,8	3,2
5		13,2	13,0	13,8	3,2	3,2	3,2	13,2	3,2

Tabel 4.16 Sifat-sifat benda uji komposit pada suhu 105°C

No	Waktu curing	Luas permukaan (mm ²)	Beban F _{maks} (kg)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm ²)	L ₀ (mm)	ΔL (mm)	Regangan (%)	Regangan rata-rata (%)
1	30	37,80	451,6	11,947	10,946	100	4,50	4,50	3,43
2		38,86	425,7	10,955		100	4,00	4,00	
3		36,96	421,3	11,399		100	2,75	2,75	
4		43,20	438,6	10,153		100	2,10	2,10	
5		44,16	453,8	10,276		100	3,80	3,80	
1	60	39,20	463,3	11,819	10,202	100	6,10	6,10	4,95
2		44,16	449,3	10,174		100	5,65	5,65	
3		39,60	435,4	10,995		100	4,85	4,85	
4		44,16	386,0	8,741		100	4,35	4,35	
5		42,24	392,1	9,283		100	3,80	3,80	

Tabel 4.17 Dimensi benda uji komposit pada suhu 120°C

No	Waktu Curing (menit)	l1 (mm)	l2 (mm)	l3 (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	l rata-rata (mm)	t rata-rata (mm)
1	30	13,8	13,8	13,8	3,2	3,2	3,5	13,8	3,2
2		14,0	13,8	13,5	3,5	3,2	3,2	13,8	3,2
3		13,5	12,8	13,5	3,2	2,9	2,9	13,2	2,8
4		13,8	13,8	13,8	2,9	3,0	3,0	13,8	2,8
5		14,2	13,8	13,8	3,2	3,0	3,2	13,8	3,2
1	60	14,0	13,5	13,8	2,9	2,8	2,9	13,8	2,8
2		13,2	13,5	13,8	3,0	2,9	3,0	13,5	2,8
3		13,8	13,5	14,0	3,2	3,2	3,2	13,8	3,2
4		13,8	13,5	13,8	2,8	2,9	2,9	13,8	2,8
5		14,2	13,8	14,0	2,8	2,9	2,8	14,0	2,8

Tabel 4.18 Sifat-sifat benda uji komposit pada suhu 120°C

No	Waktu curing	Luas permukaan (mm ²)	Beban F _{maks} (kg)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm ²)	L ₀ (mm)	ΔL (mm)	Regangan (%)	Regangan rata-rata (%)
1	30	44,16	453,3	10,265	10,98	100	4,85	4,85	4,36
2		44,16	498,6	11,291		100	5,00	5,00	
3		36,96	416,8	11,277		100	4,25	4,25	
4		38,64	441,1	11,416		100	4,20	4,20	
5		44,16	452,0	10,236		100	3,50	3,50	
1	60	38,64	404,3	10,463	10,66	100	4,25	4,25	3,69
2		37,80	428,5	11,336		100	3,40	3,40	
3		44,16	436,6	9,887		100	3,25	3,25	
4		38,64	439,6	11,377		100	3,80	3,80	
5		39,20	403,6	10,296		100	3,75	3,75	

Tabel 4.19 Kekuatan tarik rata-rata komposit

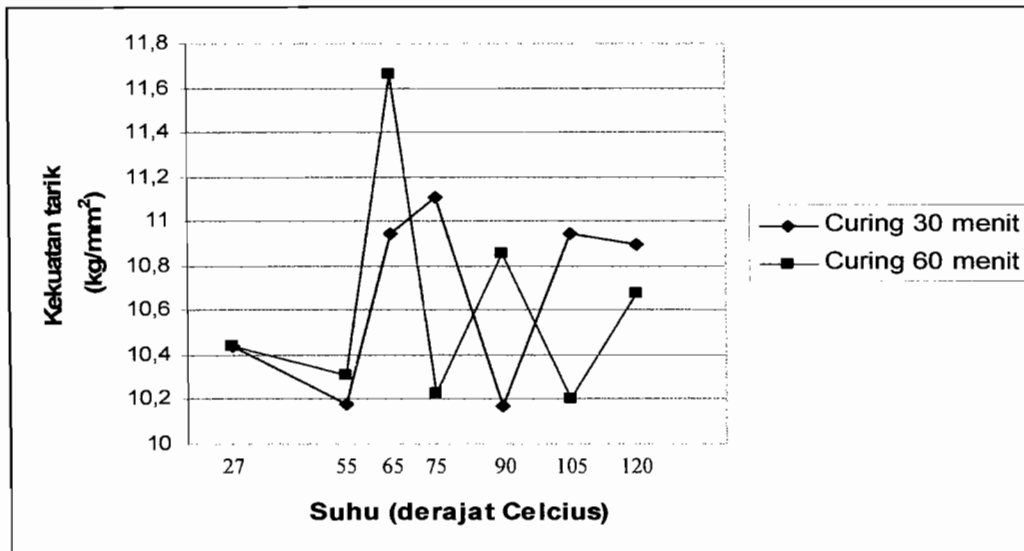
Waktu curing (menit)	Suhu (°C)	Kekuatan tarik rata-rata (kg/mm ²)
	Tanpa curing	10,436
30	55	10,178
60	55	10,310
30	65	10,944
60	65	11,658
30	75	11,105
60	75	10,231
30	90	10,170
60	90	10,856
30	105	10,946
60	105	10,202
30	120	10,897
60	120	10,672



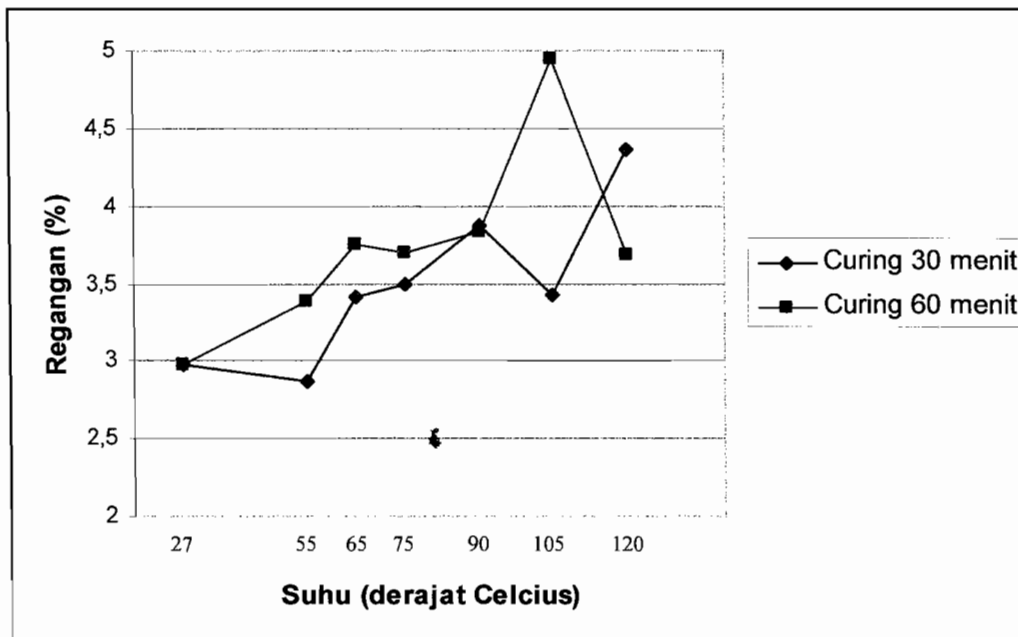
Tabel 4.20 Regangan rata-rata komposit

Waktu curing (menit)	Suhu (°C)	Regangan rata-rata (%)
	Tanpa curing	2,98
30	55	2,87
60	55	3,39
30	65	3,41
60	65	3,75
30	75	3,50
60	75	3,70
30	90	3,87
60	90	3,83
30	105	3,43
60	105	4,95
30	120	4,36
60	120	3,69

Grafik kekuatan tarik vs suhu dan grafik regangan vs suhu komposit dengan lama curing diperlihatkan pada gambar 4.11 dan gambar 4.12.



Gambar 4.11 Grafik Kekuatan tarik vs Suhu curing



Gambar 4.12 Grafik Regangan vs Suhu curing

Contoh perhitungan kekuatan tarik dan regangan benda uji komposit :

Kekuatan tarik komposit :

$$\sigma_{\text{tarik}} = \frac{F_{\text{maks}}}{A_0}$$

$$\sigma_{\text{tarik}} = \frac{495,2}{47,66}$$

$$= 10,39 \text{ kg/mm}^2$$

Regangan benda uji komposit :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\varepsilon = \frac{2,98}{100}$$

$$= 0,0298$$

$$= 2,98 \%$$

4.1.3.2 Pembahasan

Dari hasil perhitungan kekuatan tarik teoritis dengan sudut orientasi 22,5° dibandingkan kekuatan tarik eksperimen jauh berbeda, secara teoritis 137 kg/mm² dan hasil dari eksperimen 10,5 kg/mm².

Penurunan kekuatan komposit dapat disebabkan oleh jumlah serat yang tidak sama pada tiap daerah, banyaknya *void* ditunjukkan pada Gambar 4.28, dan pencampuran resin dan katalis yang kurang merata. Dengan proses curing menyebabkan ikatan antara serat dan matrik lebih rapat, sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit berserat anyam (woven rofing). Suhu dan lamanya proses curing sangat berpengaruh terhadap pencapaian kekuatan tarik komposit.

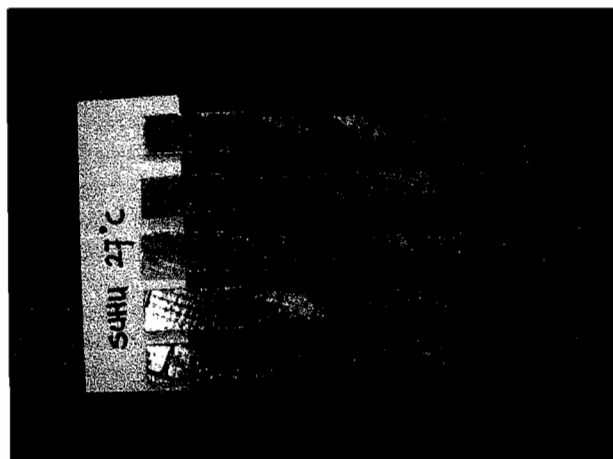
Kekuatan tarik terbesar terjadi pada komposit yang mengalami proses curing dengan suhu 65 °C selama 60 menit yaitu 12 kg/mm². Kekuatan tarik terendah terjadi pada pada komposit yang mengalami proses curing dengan suhu 90 °C selama 30 menit yaitu 10 kg/mm².

Regangan tertinggi terjadi pada komposit dengan suhu curing 105 °C selama 60 menit yaitu 4,95 %. Regangan terendah terjadi pada komposit dengan suhu curing 55 °C selama 30 menit yaitu 2,87 %. Bila dibandingkan dengan komposit yang tanpa mengalami proses curing maka komposit yang mengalami proses curing cenderung memiliki regangan lebih tinggi maupun lebih rendah. Komposit dengan waktu curing 30 dan 60 menit memiliki regangan yang hampir sama. Dapat dikatakan bahwa dengan proses curing dapat menurunkan nilai regangan suatu bahan komposit.

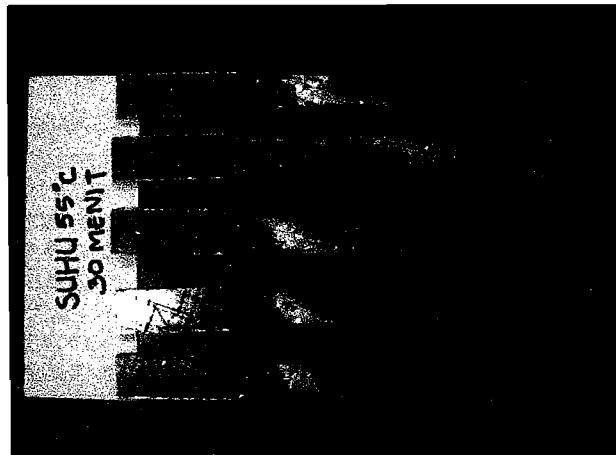
Model kerusakan pada bahan komposit dengan serat woven roving (anyam) adalah kerusakan debonding yaitu matrik tidak mampu menahan konsentrasi tegangan yang timbul. Patahan yang terjadi pada serat anyam adalah lepasnya serat dari matrik (serat saling lepas), bukan serat mengalami patahan. Kerusakan debonding menunjukkan bahwa ikatan antara matrik dan serat tidak baik. Hal ini dapat disebabkan adanya *void* yang timbul pada waktu proses pencetakan (Hand Lay-Up) yang kurang sempurna.

Secara keseluruhan, kekuatan tarik komposit komposit lebih rendah dari pada kekuatan tarik serat, tetapi lebih tinggi dari pada kekuatan tarik matrik. Regangan komposit lebih tinggi dari pada regangan serat dan lebih rendah dari pada regangan matrik. Hal ini telah sesuai dengan teori tentang bahan komposit.

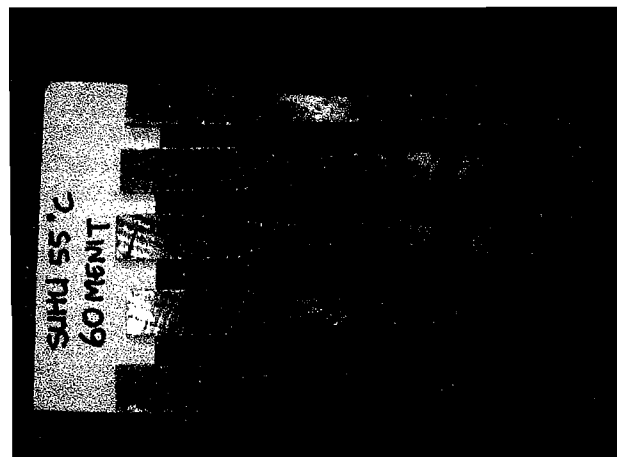
Gambar 4.12 sampai dengan Gambar 4.19 memperlihatkan model patahan benda uji komposit baik yang tanpa proses curing maupun dengan proses curing.



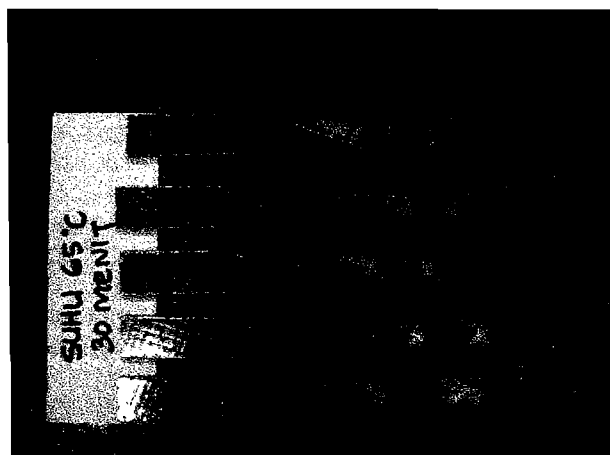
Gambar 4.13 Patahan pada komposit tanpa curing



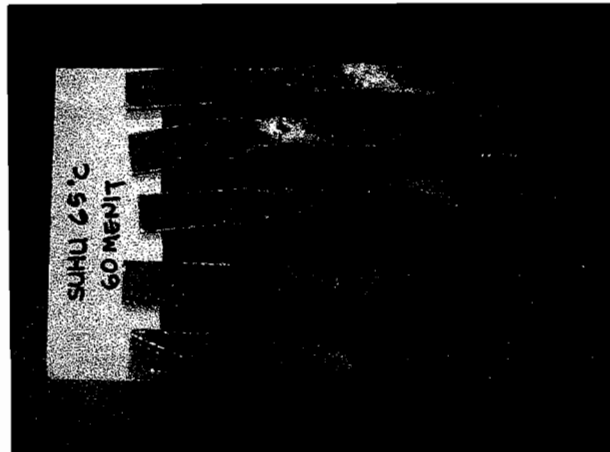
Gambar 4.14 Patahan komposit,suhu curing 55°C, 30 menit



Gambar 4.15 Patahan komposit,suhu curing 55°C, 60 menit



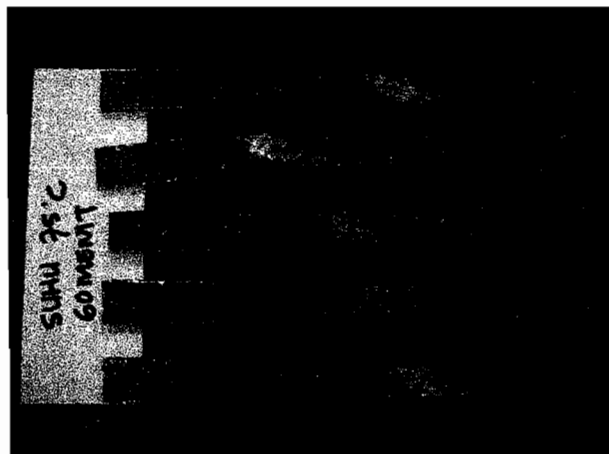
Gambar 4.16 Patahan komposit,suhu curing 65°C, 30 menit



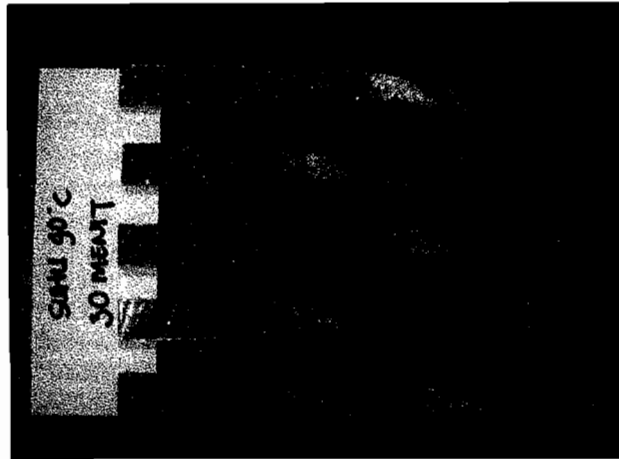
Gambar 4.17 Patahan komposit,suhu curing 65°C, 60 menit



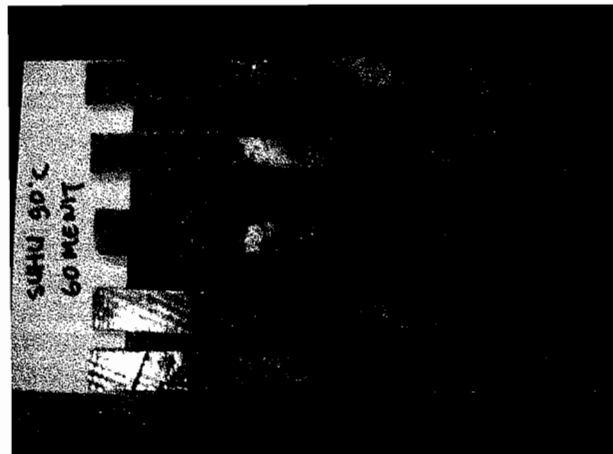
Gambar 4.18 Patahan komposit,suhu curing 75°C, 30 menit



Gambar 4.19 Patahan komposit,suhu curing 75°C, 60 menit



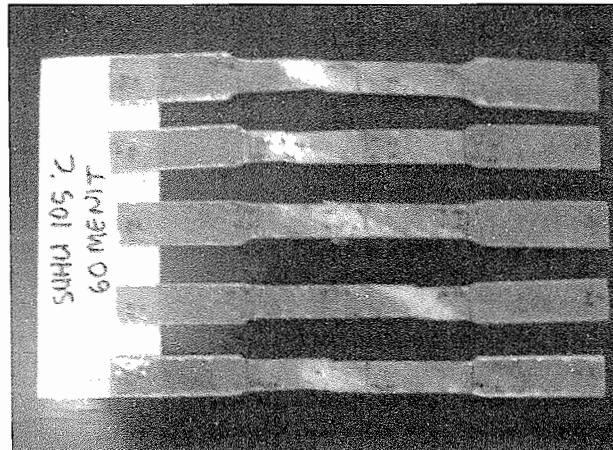
Gambar 4.20 Patahan komposit,suhu curing 90°C, 30 menit



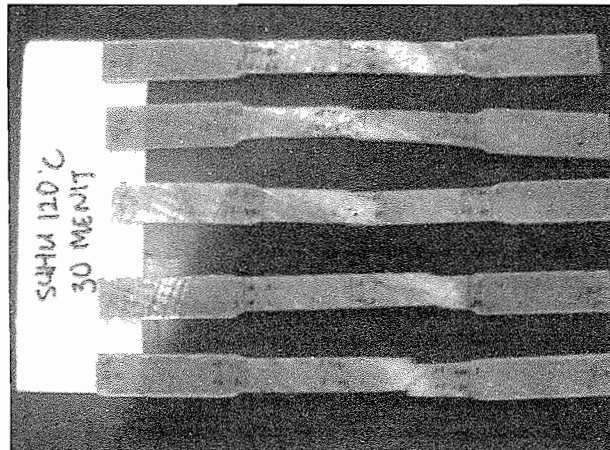
Gambar 4.21 Patahan komposit,suhu curing 90°C, 60 menit



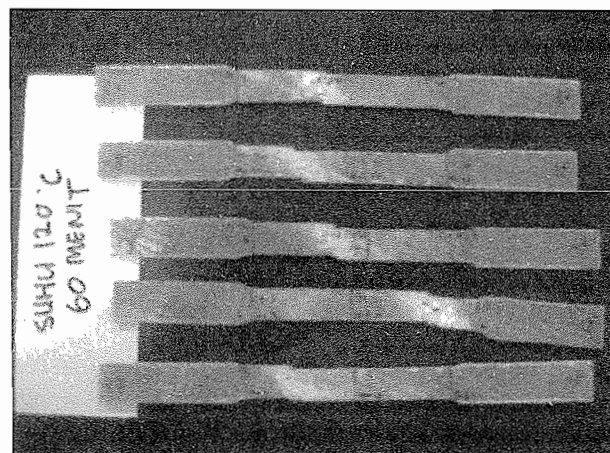
Gambar 4.22 Patahan komposit,suhu curing 105°C, 30 menit



Gambar 4.23 Patahan komposit,suhu curing 105°C. 60 menit



Gambar 4.24 Patahan komposit,suhu curing 120°C. 30 menit



Gambar 4.25 Patahan komposit,suhu curing 120°C. 60 menit

Suhu curing tidak terlalu mempengaruhi kekuatan komposit pada penelitian ini dapat disebabkan oleh hal-hal berikut ini :

1. Proses pencetakan (pembuatan) benda uji.

Proses yang digunakan adalah dengan metode *Hand Lay-Up* dengan alat-alat yang sederhana. Sehingga dalam proses pencetakan benda uji sedikit mengalami kendala, ditambah lagi kurangnya pengalaman dalam proses pencetakan komposit. Oleh karena itu hasil yang didapat tidaklah terlalu sempurna.

Ketika mencampur bahan matrik pengikat (Arindo 3210) dengan katalis timbul gelembung-gelembung udara yang terperangkap dalam campuran, dan gelembung-gelembung udara yang terperangkap itu susah untuk lepas dari campuran matrik pengikat dikarenakan kekentalan dari bahan matrik pengikat itu sendiri. Tentunya hal ini tidaklah dikehendaki karena akan menyebabkan terjadinya cacat bahan komposit ketika matrik pengikatnya mengeras, cacat ini berupa rongga (void) dalam komposit, ditunjukkan pada Gambar 4.28.

Diperlukan ketelitian, kecermatan dan kecepatan dalam proses pencetakan bahan komposit, hal ini disebabkan resin yang telah dicampur dengan katalis akan cepat mengental yang kemudian mengeras. Dalam proses pencetakan bahan komposit dilakukan dengan cara menuang sebagian resin yang telah dicampur dengan katalis kedalam cetakan yang disusul dengan menghamparkan serat yang telah dipotong seukuran dengan ukuran cetakan, hal ini diulang terus hingga bahan yang telah ditentukan komposisinya habis. Proses ini tentunya akan memakan waktu yang cukup lama, di lain sisi resin akan semakin mengental, hal ini tentunya akan mempersulit proses penuangan resin kedalam cetakan yang dapat menyebabkan tidak rata nya bahan yang dicetak.

2. Proses pengujian dan pengambilan data.

Pemasangan benda uji pada grip yang kurang teliti dan hati-hati dapat menyebabkan kerusakan awal yang sulit dideteksi. Pemasangan benda uji pada alat uji tarik yang tidak tegak lurus dengan arah pembebanan sehingga menimbulkan momen lengkung. Kertas milimeter blok tidak terpasang dengan baik pada printer menyebabkan sulitnya pencetakan grafik beban – regangan, sehingga memepersulit pembacaan grafik dan hasil dari grafik kurang akurat.

Beban pada waktu awal menarik benda uji belum nol. Pemasangan *extensometer* yang kurang tepat menyebabkan data regangan yang terbaca kurang akurat. Kondisi penjepit yang sudah kurang bagus dan kotornya kawat baja *extensometer* akibat serpihan serat maupun matrik yang patah menyebabkan pembacaan data pada *print out* kurang akurat.

3. Kerusakan pada benda uji.

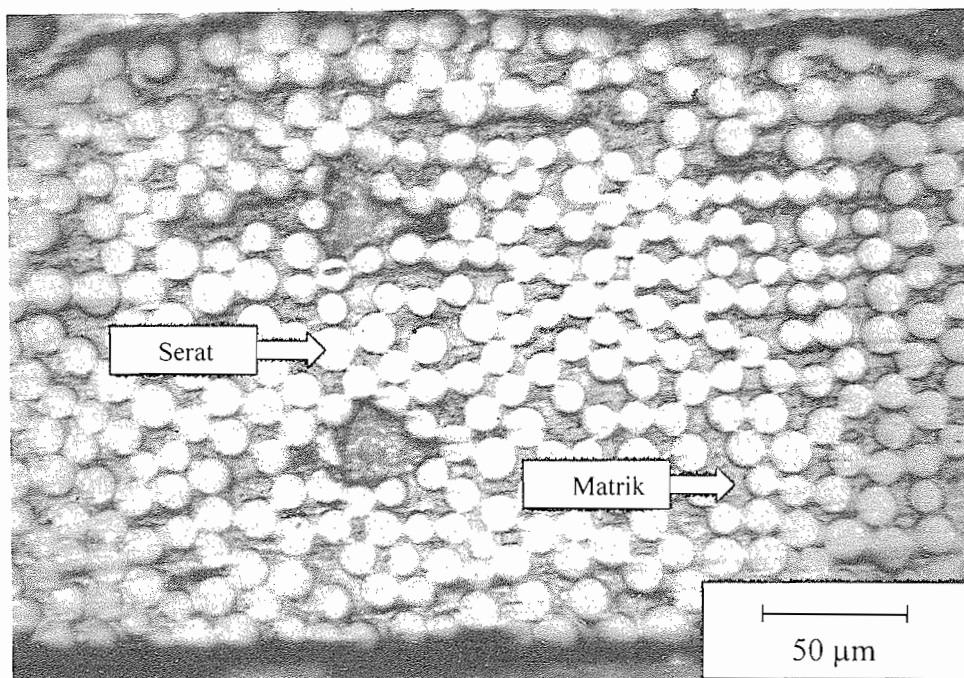
Kerusakan benda uji disebabkan adanya *void* yang berakibat kekuatan tariknya menjadi berkurang pada daerah itu, sehingga kekuatan pada komposit itu secara keseluruhan tidak rata. Void sangat sulit untuk dihindari karena proses pembuatan benda uji dilakukan dengan metode *Hand Lay-Up* dengan alat-alat yang sederhana dan komposisi serat yang mencapai 45 % volume cetakan.

Pemotongan benda uji dapat menyebabkan tercabutnya serat pada matrik yang dapat menyebabkan kerusakan awal. Pemotongan yang tidak lurus ataupun bergelombang dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan disuatu daerah pada bend uji sewaktu di uji tarik. Tergoresnya permukaan benda uji sewaktu membuat pola dengan benda tajam dapat menyebabkan kerusakan awal.

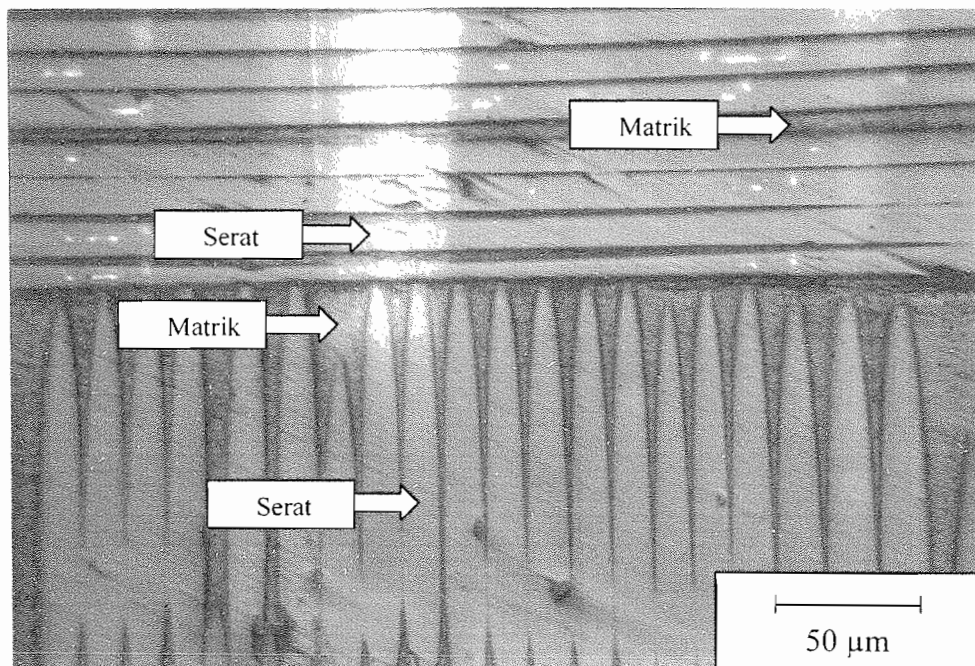
4.2 Pengujian Struktur Mikro

4.2.1 Hasil Pengujian Struktur Mikro

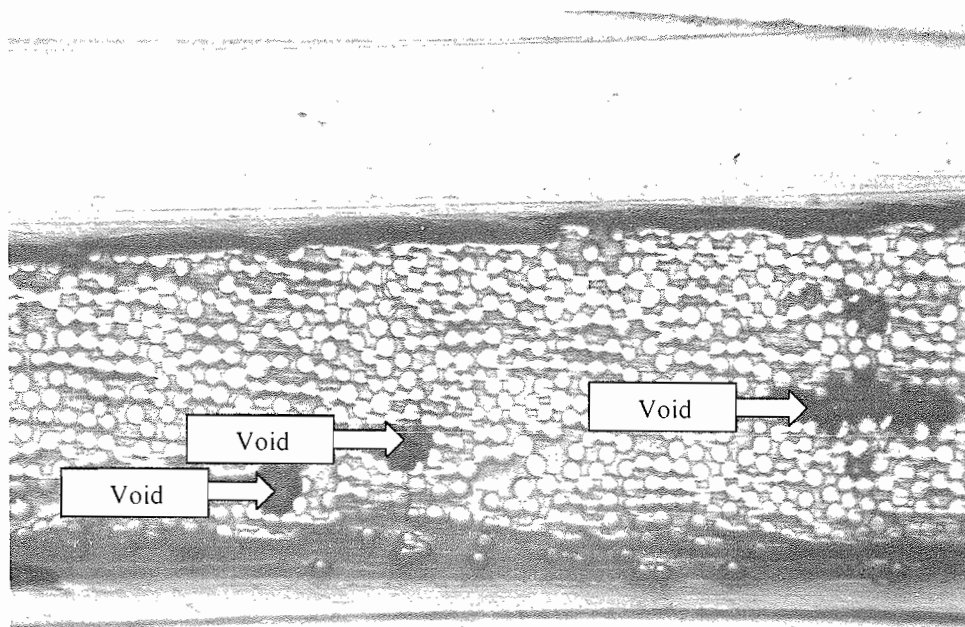
Dari pengujian struktur mikro diperoleh gambar (foto) suatu daerah pada benda uji komposit. Diperlihatkan susunan dan distribusi serat anyam, model cacat dan model kerusakan pada komposit dan foto yang dipergunakan untuk menghitung jumlah serat dalam melakukan pengujian tarik *phase reinforcing*.



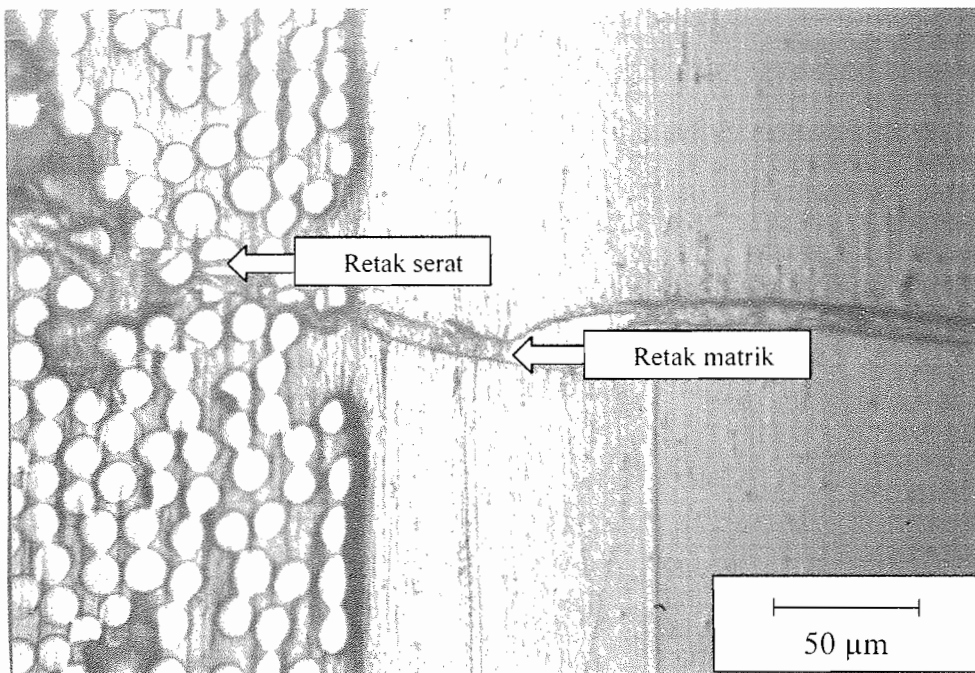
Gambar 4.26 Struktur mikro pada komposit tanpa curing



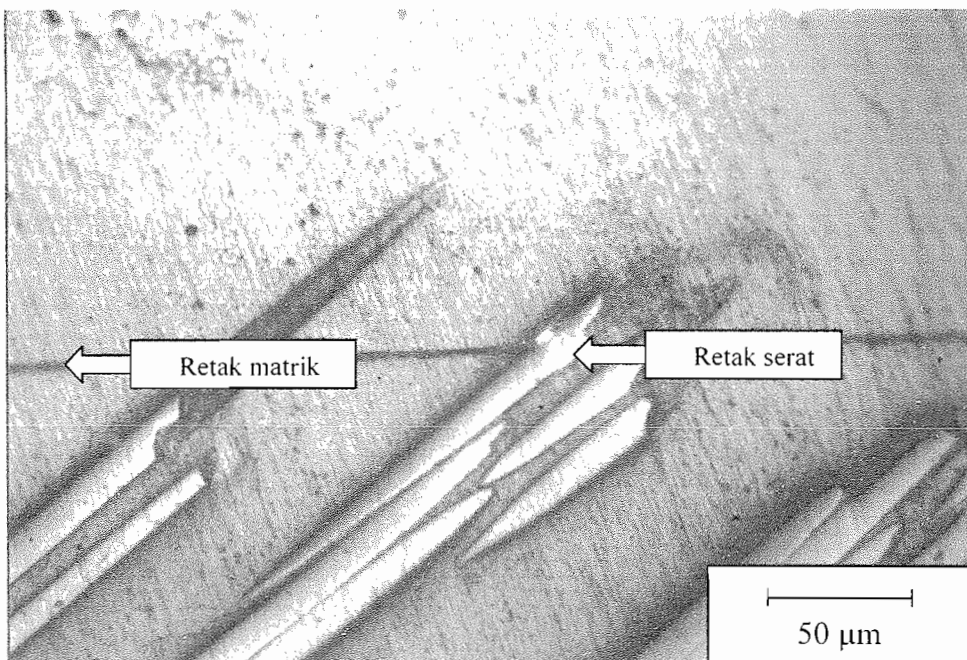
Gambar 4.27 Ikatan antara matrik dan serat tampak samping pada komposit tanpa curing



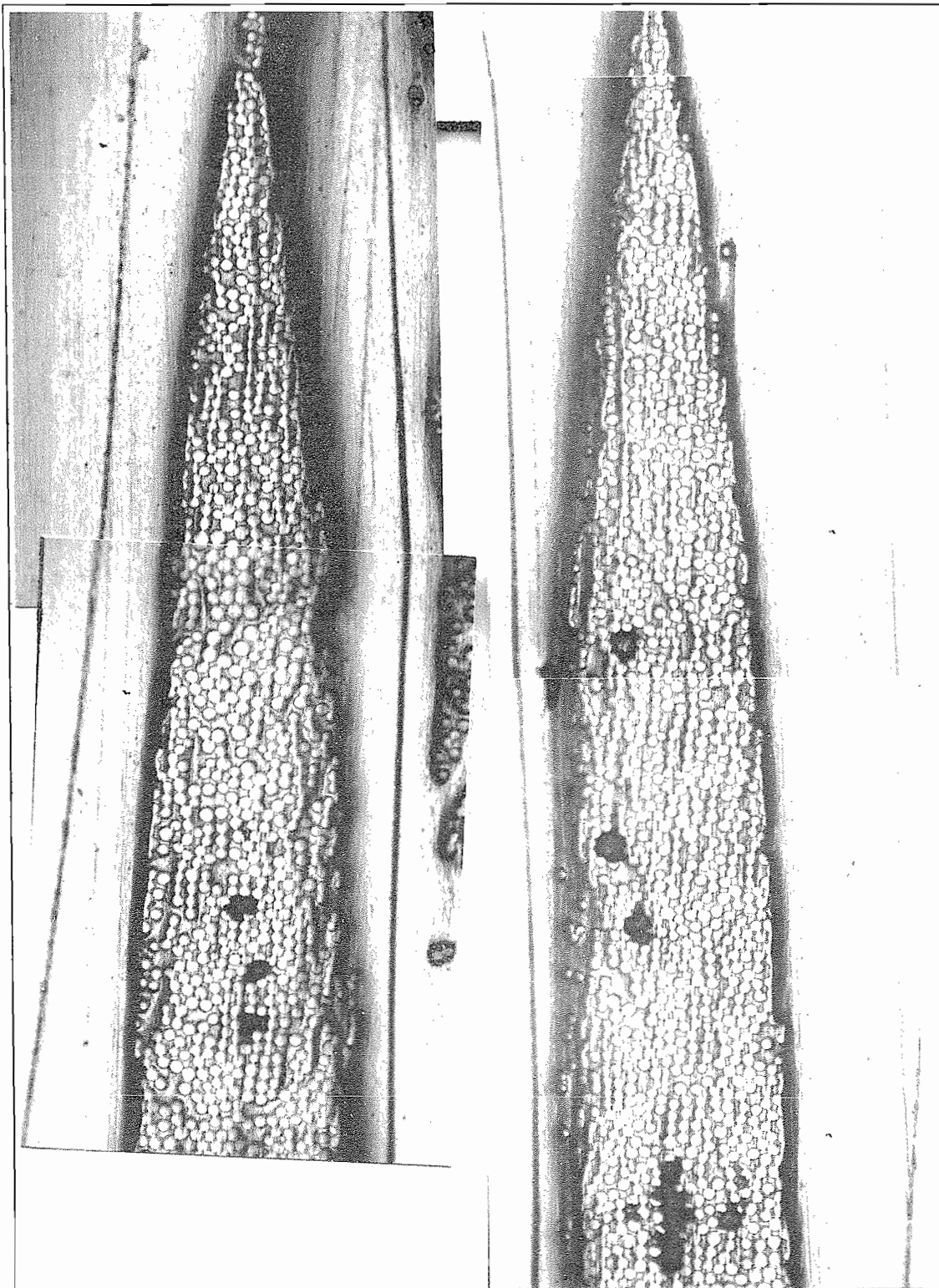
Gambar 4.28 Model cacat pada komposit berupa void pada komposit tanpa curing



Gambar 4.29 Model kerusakan retak matrik dan retak serat pada komposit tanpa curing



Gambar 4.30 Model kerusakan retak matrik dan retak serat pada komposit tanpa curing



Gambar 4.31 Jumlah serat dalam pengujian tarik phase reinforcing

4.2.2 Pembahasan Pengujian Struktur Mikro

Pada pengujian struktur mikro menggunakan alat berupa mikroskop yang digunakan untuk mengamati benda uji, mikroskop ini dilengkapi dengan kamera untuk mengambil gambar benda yang akan diambil sebagai data, negatif film yang digunakan menggunakan asa 100, semakin kecil nilai asa pada negatif film yang digunakan akan diperoleh hasil yang semakin bagus, dikarenakan untuk pengambilan gambar yang diam.

Pertama-tama, benda yang akan diamati dipotong, disesuaikan dengan kebutuhan dan ukuran mikroskop, setelah itu baru benda uji tersebut dihaluskan dengan menggunakan kertas amplas, dari ukuran yang kasar (no 800) sampai ukuran yang halus (no 1000). Baru kemudian digosok menggunakan *autosol* untuk *finishingnya*.

Benda uji yang telah halus benar kemudian diamati menggunakan mikroskop, diambil gambarnya menggunakan kamera yang ada, kemudian di cuci cetak untuk diambil sebagai data.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serat memiliki kekuatan tarik tertinggi 146 kg/mm² dan nilai regangannya terendah 4%, dan pada bahan matrik memiliki kekuatan tarik terendah 7 kg/mm² dan nilai regangannya tertinggi 4,7%.

Adanya peningkatan pada suhu curing ternyata dapat meningkatkan kekuatan tarik dan regangan pada komposit sampai batas suhu tertentu. Dalam penelitian ini, komposit yang mengalami perlakuan curing pada suhu 65°C dan lama curing 60 menit memiliki kekuatan tarik tertinggi 12 kg/mm², akan tetapi pada curing pada suhu 90°C dan lama curing 30 menit kekuatan tariknya terendah dari keseluruhan pengujian yang dilakukan.

Nilai regangan komposit dengan perlakuan curing selama 60 menit kecenderungannya lebih tinggi dari komposit dengan perlakuan curing selama 30 menit. Nilai regangan komposit pada perlakuan curing selama 60 menit mencapai puncaknya pada suhu 105°C yaitu 4,96 %, sedangkan pada perlakuan curing selama 30 menit mencapai puncaknya pada suhu 120°C yaitu 4,36 %.

5.2 Saran

Saran-saran yang diberikan semoga dapat berguna bagi universitas dan mahasiswa yang mengambil kuliah tugas akhir tentang komposit pada khususnya dan semua orang teknik pada umumnya. Penulis merasa perlu memberikan saran-saran yang semoga dapat dipertimbangkan bagi para pembaca, antara lain:

1. Pembuatan benda uji dengan menggunakan cetakan manual dan dilakukan secara manual membutuhkan ketrampilan dan juga keahlian dalam mencetak sehingga akan mendapatkan hasil cetakan yang baik. Penguasaan ketrampilan dan ketelitian dalam mencetak benda uji sangat diperlukan, karena hal ini akan sangat menentukan hasil cetakan yang didapat, semakin sempurna benda uji yang dihasilkan, akan mempengaruhi hasil pengujian mendekati perhitungan secara teoritis.
2. Hasil penelitian-penelitian yang sudah ada dapat menjadi pembanding dan menambah pengetahuan dalam penelitian yang kita lakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Bambang Kismono Hadi, Departemen Pendidikan Nasional, November 2000, **Mekanika Stuktur Komposit.**

Budinski, *Engeneering Materials, Properties and Seletion.*

James and Thomas, *Engeneering Materials Technology, Structure Processing, Properties and Selection.*

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

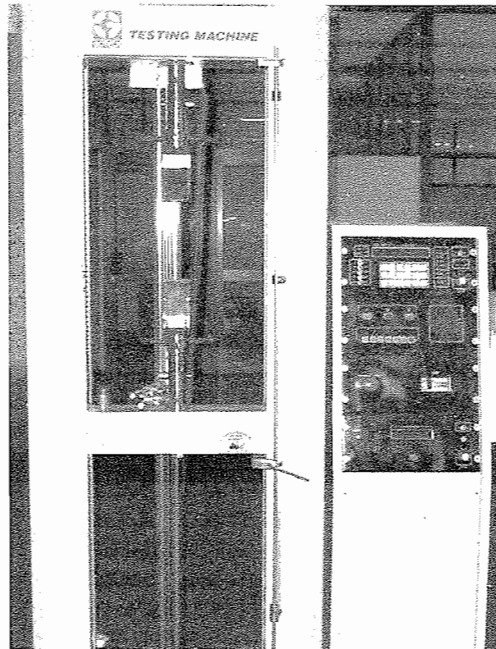
John Murphy, *Elsevier Science Publisers. LTD, 1994, Reinforced Plastics Hand Book.*

Philadelpia.PA, 1985, *Anual Book of ASTM Standart, American Society For Testing Material.*

Smith, W. F, Mc Graw Hill. Inc, 1996, *Principles of Material Science and Engineering.*

Viktor Malau, **Diktat mata kuliah komposit.**

LAMPIRAN



Gambar L.1 Foto Alat uji tarik universal

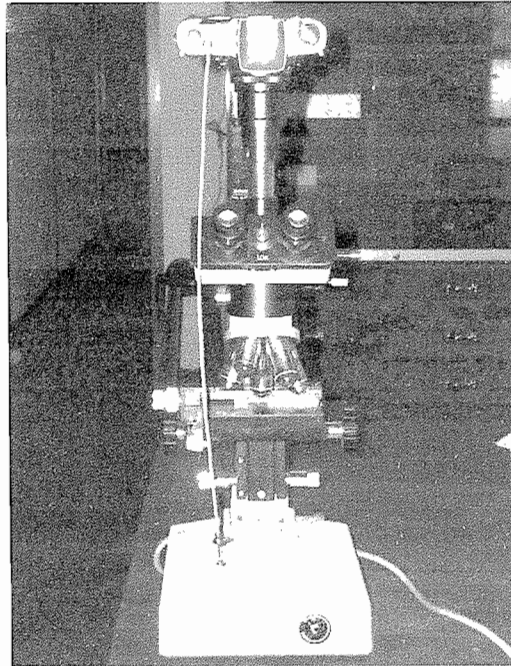
Keterangan :

Merk : GOTHECH TESTING MACHINES INC.

Model : GT-7010-A2

Kapasitas : 1000 Kg

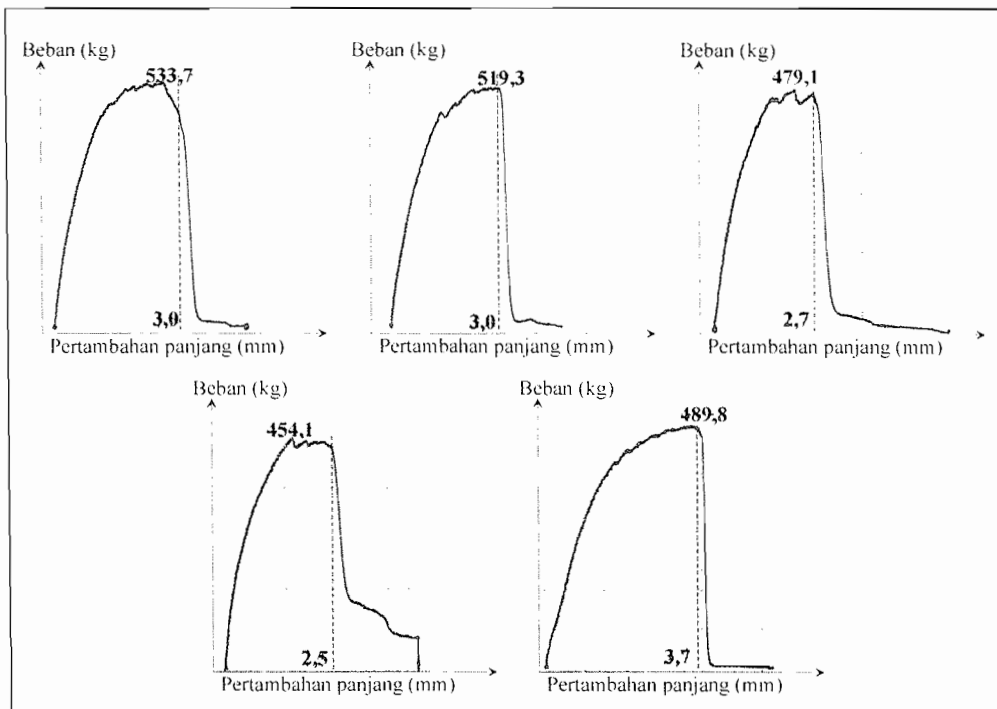
Lokasi : Lab. Ilmu logam USD



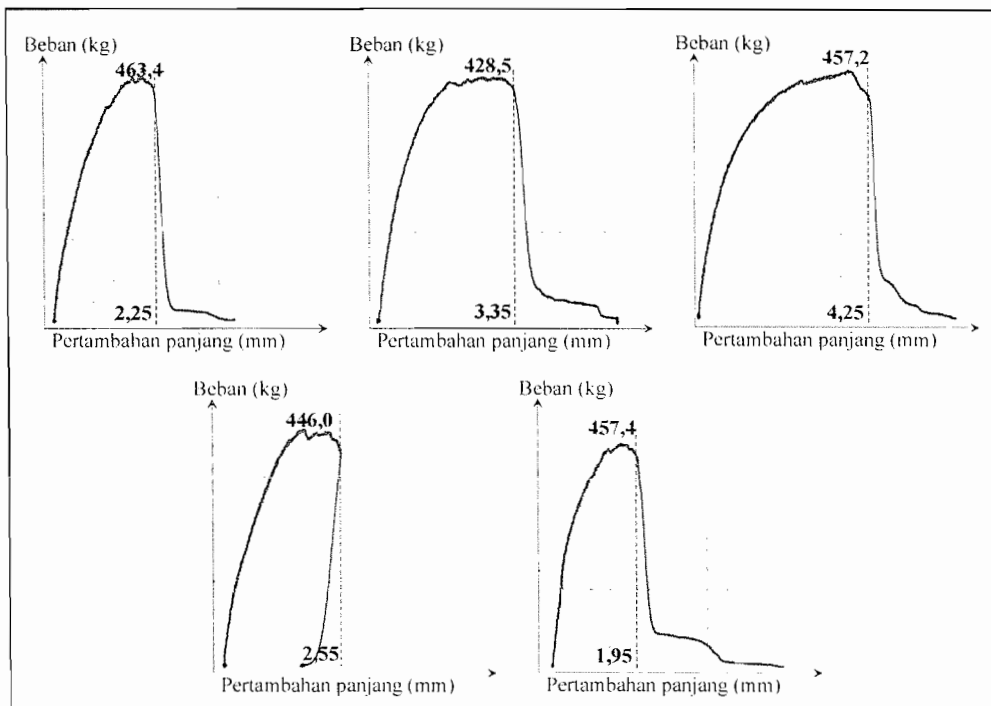
Gambar L.2 Mikroskop optik



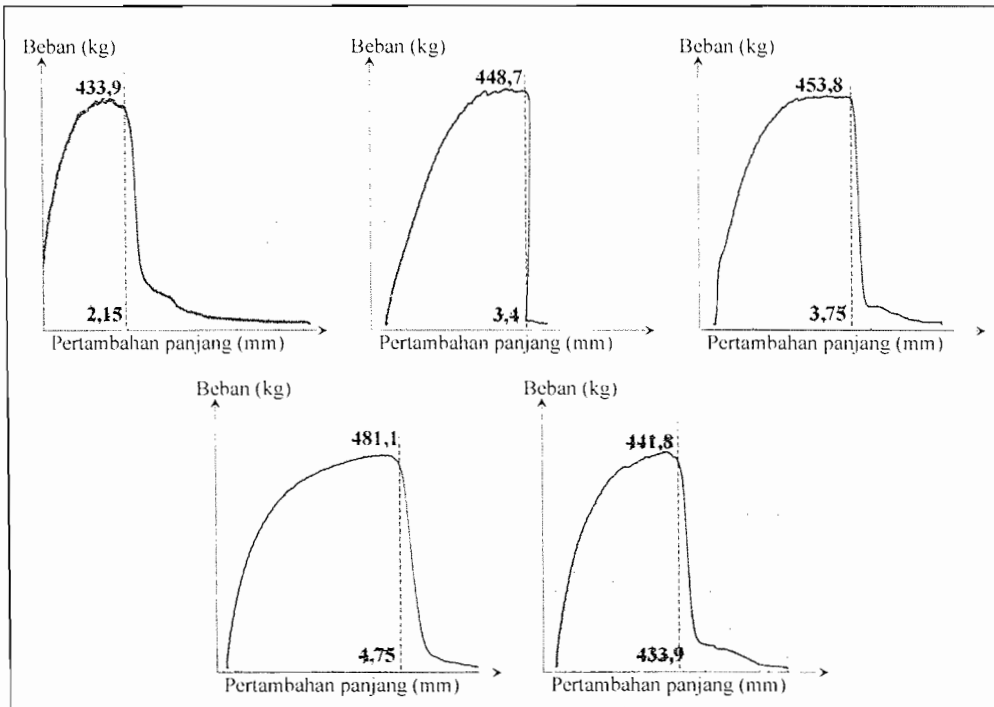
Gambar L.3 Alat dan bahan pembuatan komposit.



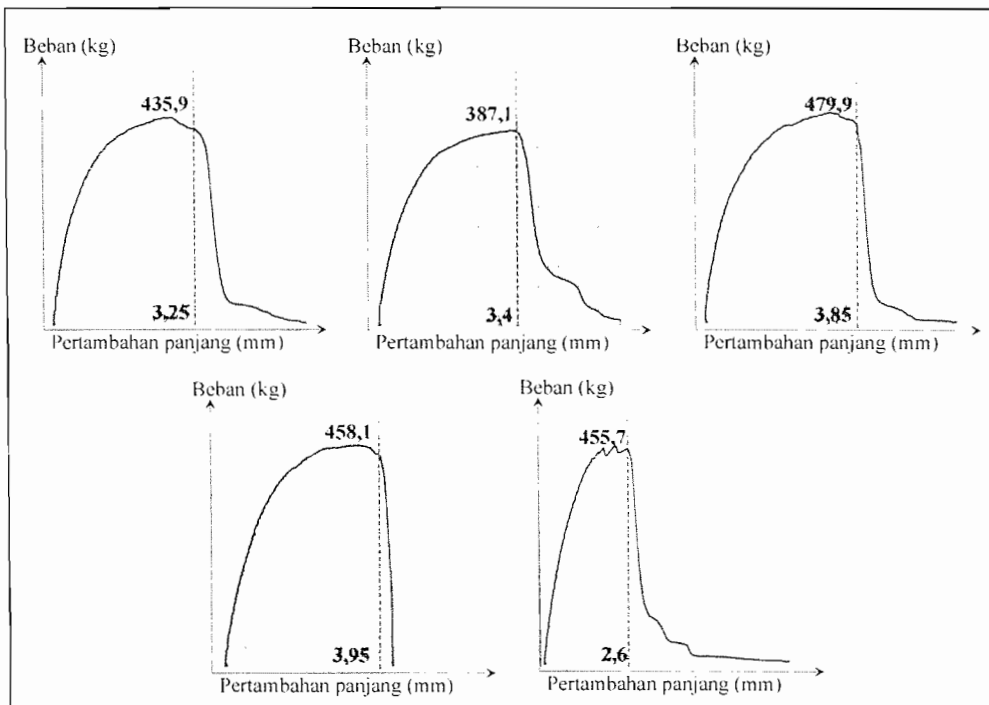
Gambar L.4 Grafik beban vs pertambahan panjang komposit tanpa curing.



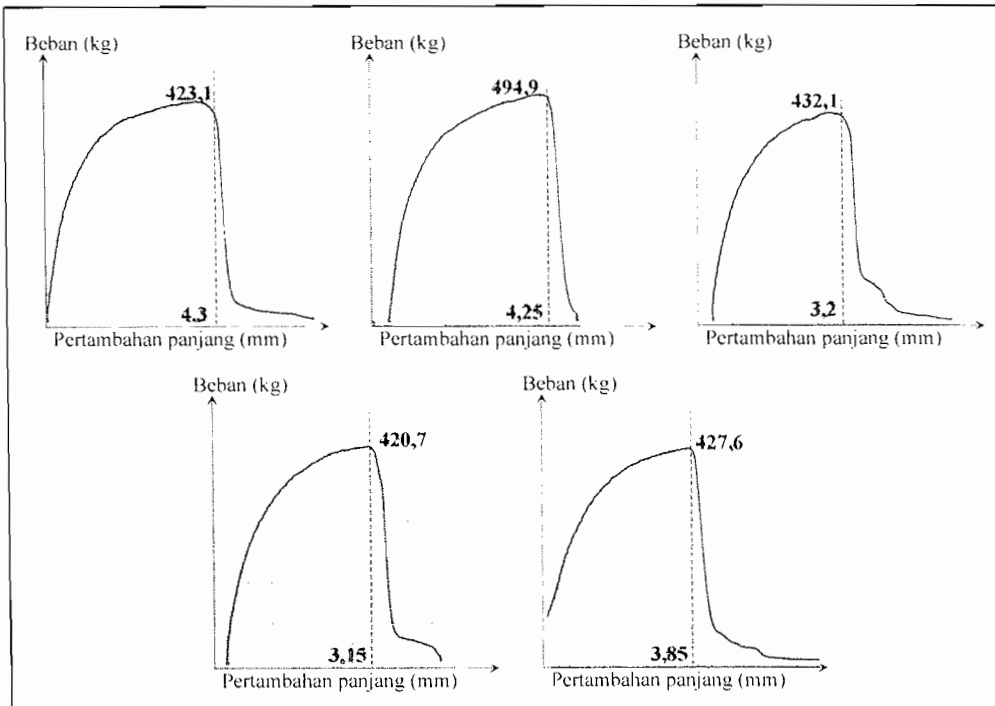
Gambar L.5 Grafik beban vs pertambahan panjang komposit pada suhu 55°C, 30 menit.



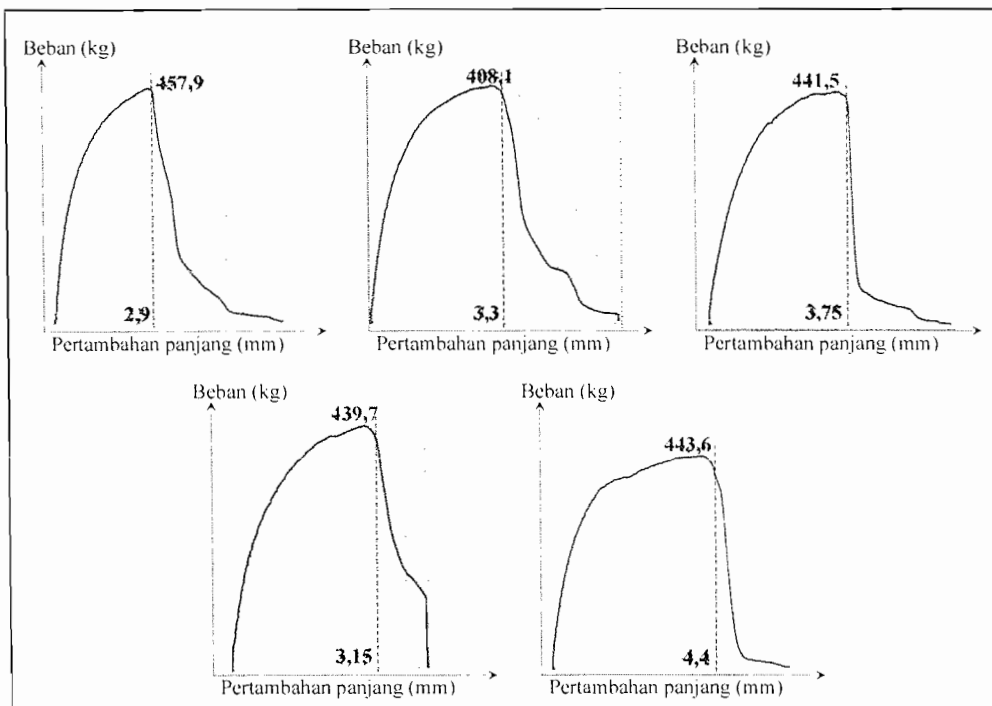
Gambar L.6 Grafik beban vs pertambahan panjang komposit pada suhu 55° C, 60 menit.



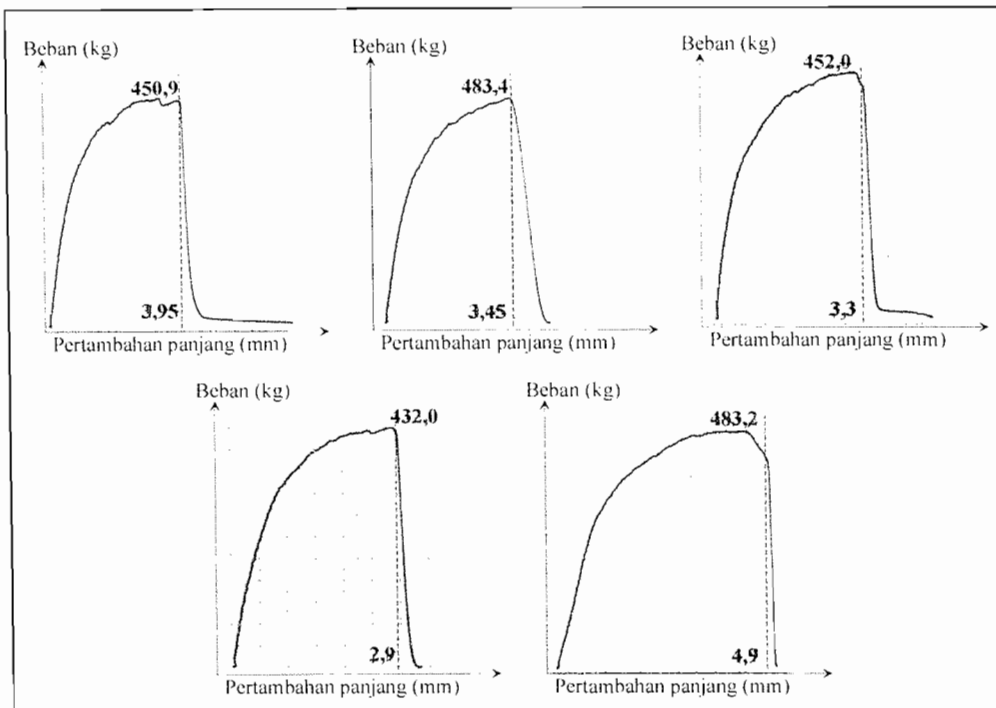
Gambar L.7 Grafik beban vs pertambahan panjang komposit pada suhu 65° C, 30 menit.



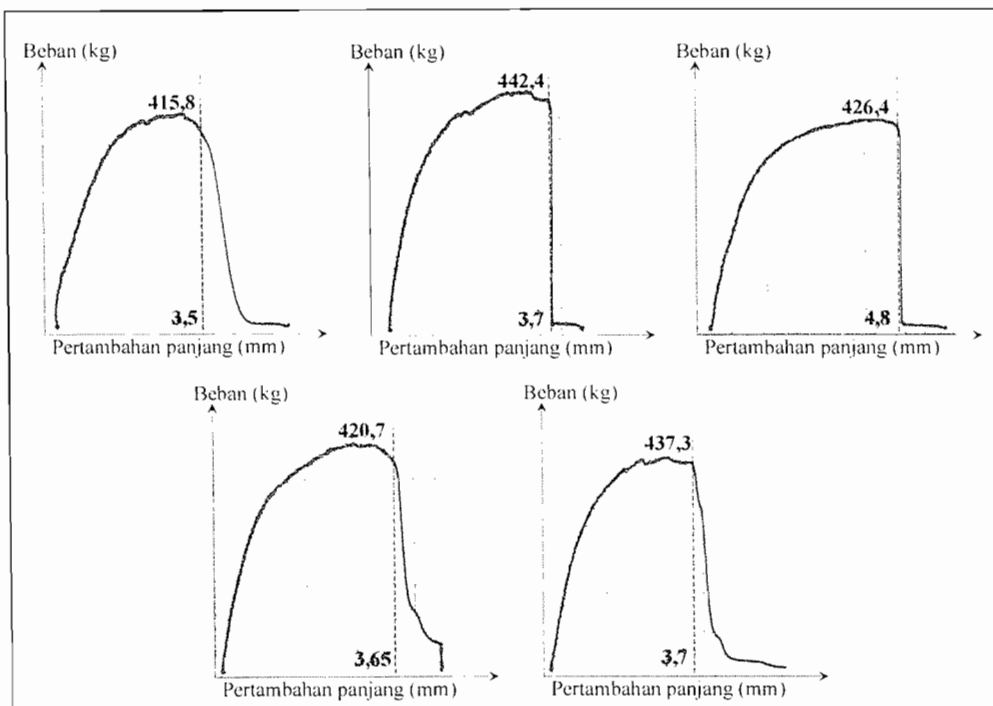
Gambar L.8 Grafik beban vs pertambahan panjang komposit pada suhu 65°C, 60 menit.



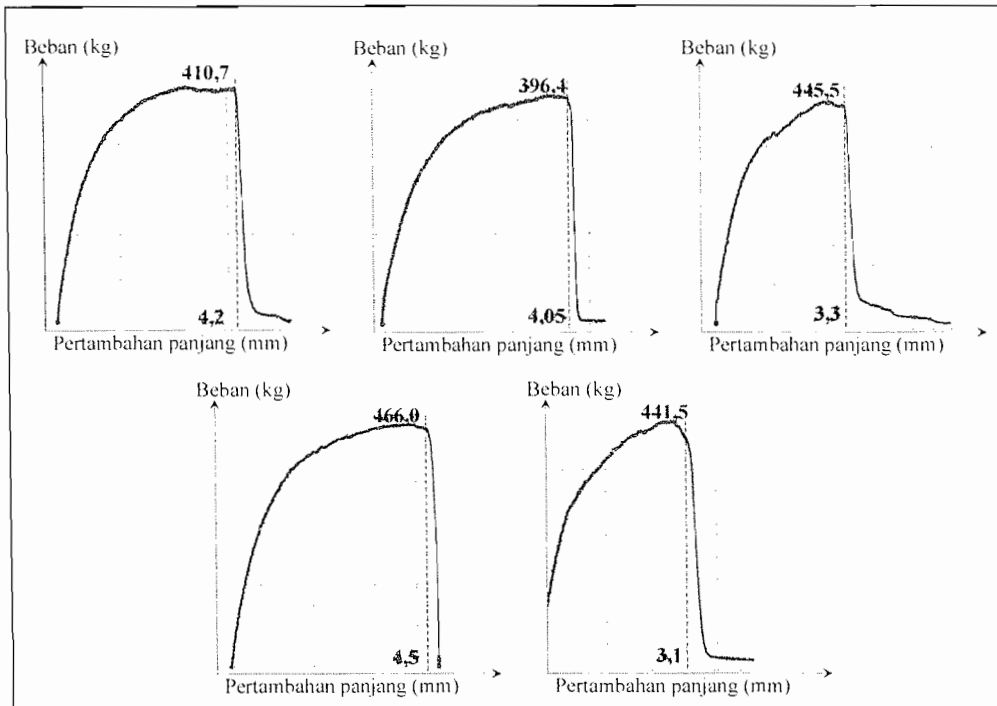
Gambar L.9 Grafik beban vs pertambahan panjang komposit pada suhu 75°C, 30 menit.



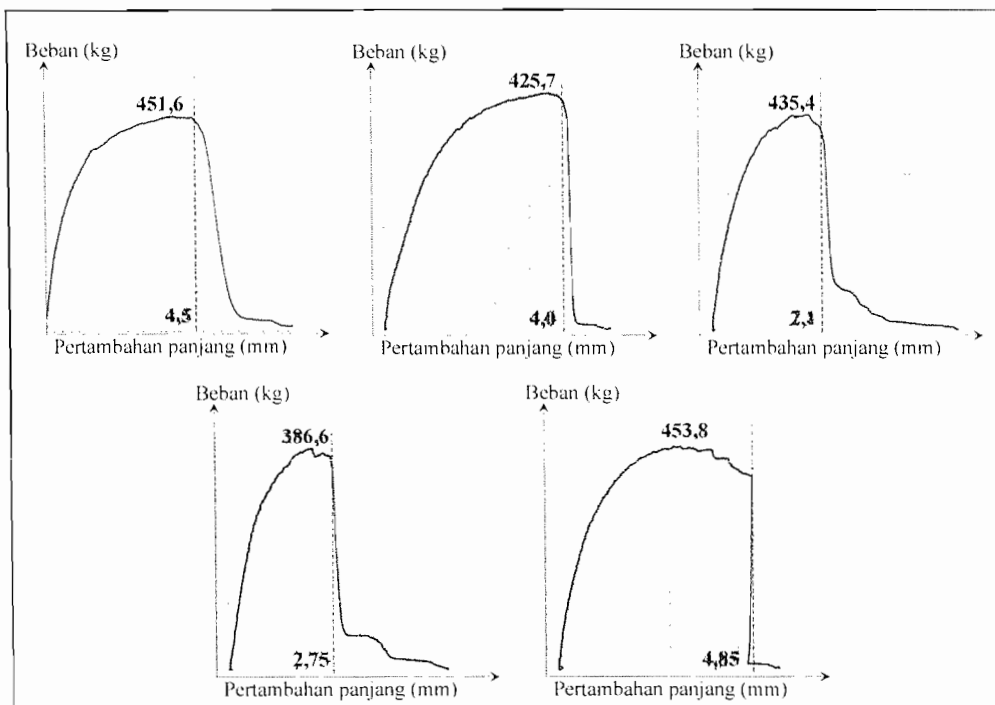
Gambar L.10 Grafik beban vs pertambahan panjang komposit pada suhu 75°C, 60 menit.



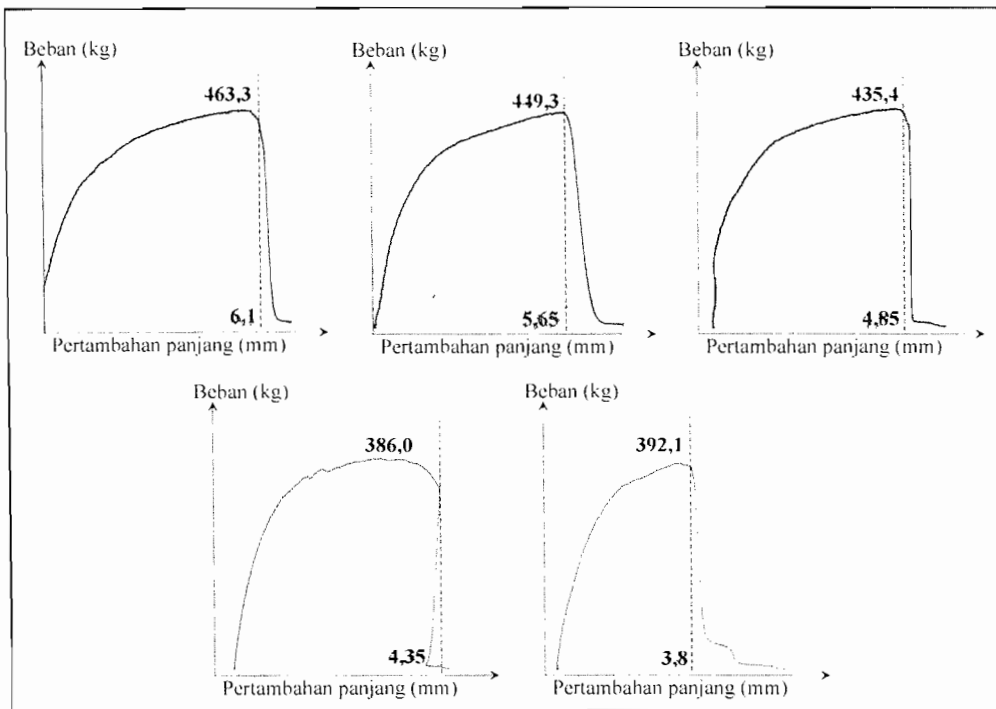
Gambar L.11 Grafik beban vs pertambahan panjang komposit pada suhu 90°C, 30 menit.



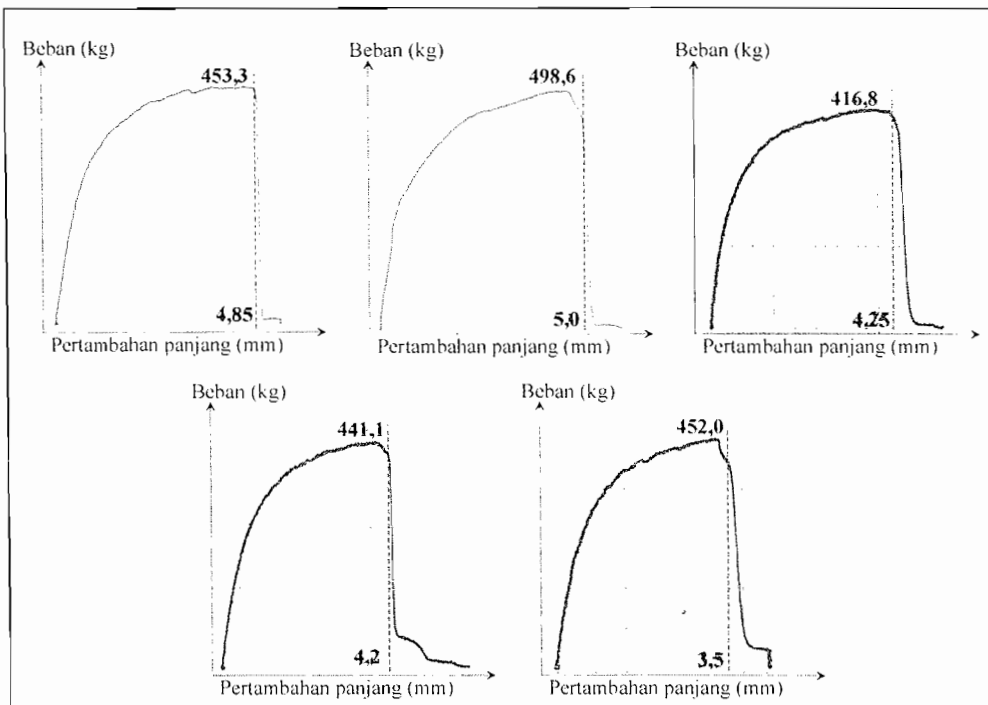
Gambar L.12 Grafik beban vs pertambahan panjang komposit pada suhu 90°C, 60 menit.



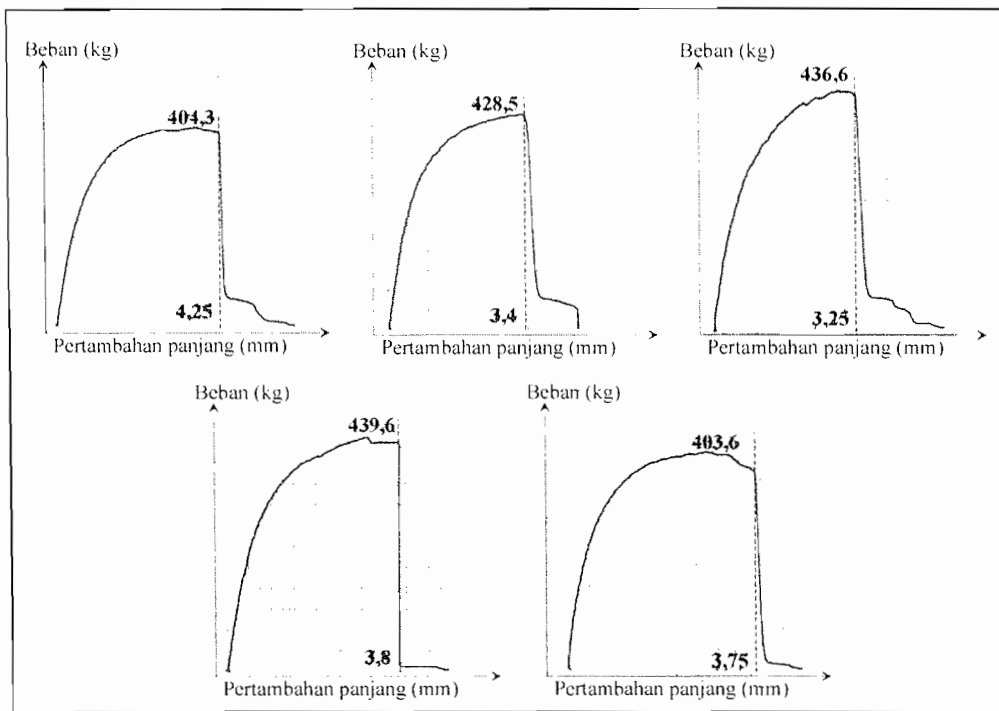
Gambar L.13 Grafik beban vs pertambahan panjang komposit pada suhu 105°C, 30 menit.



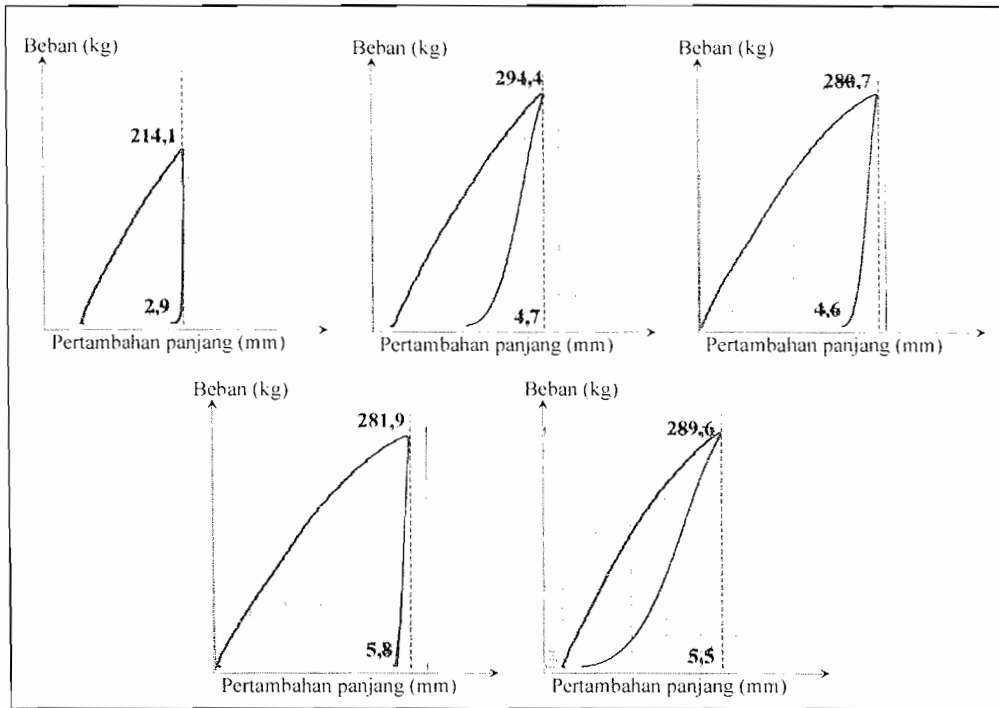
Gambar L.14 Grafik beban vs pertambahan panjang komposit pada suhu 105°C, 60 menit.



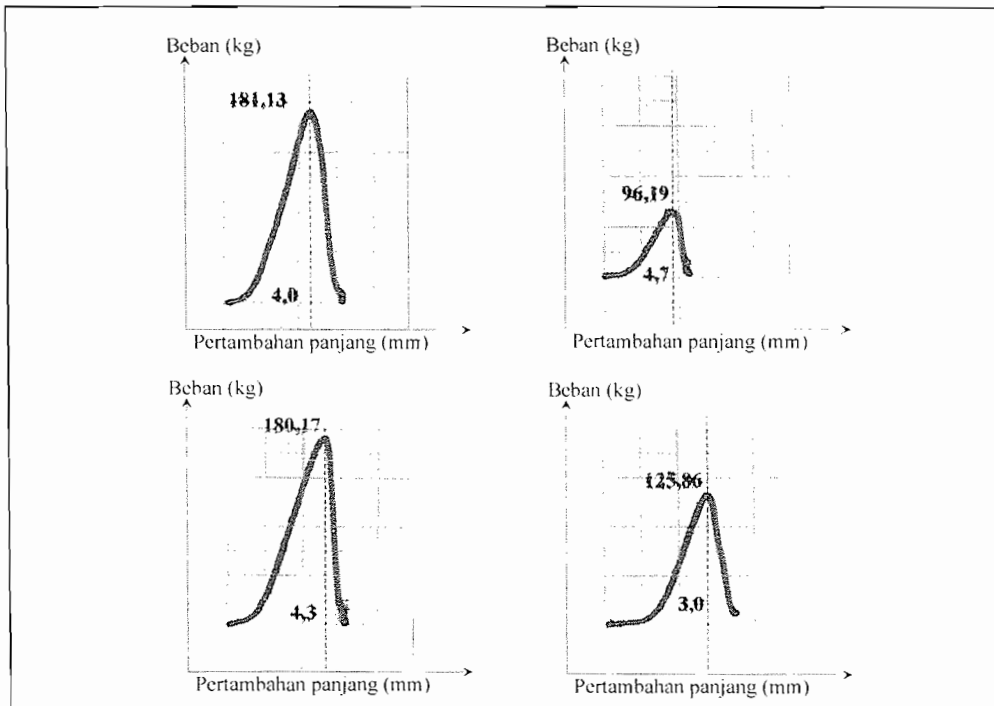
Gambar L.15 Grafik beban vs pertambahan panjang komposit pada suhu 120°C, 30 menit.



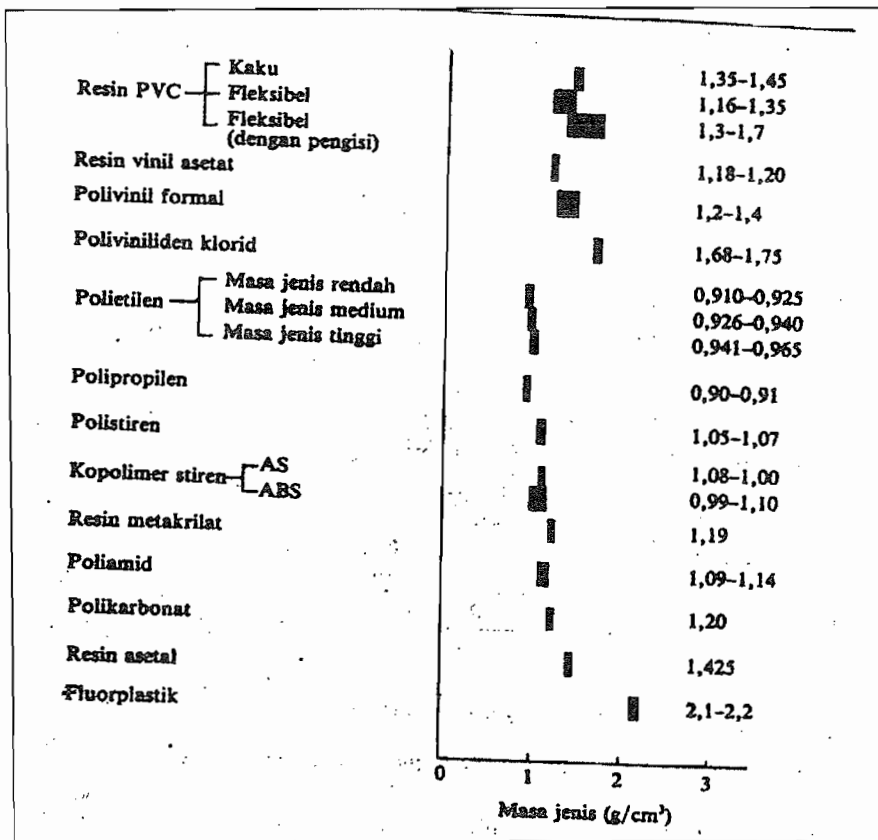
Gambar L.16 Grafik beban vs pertambahan panjang komposit pada suhu 120°C, 60 menit.



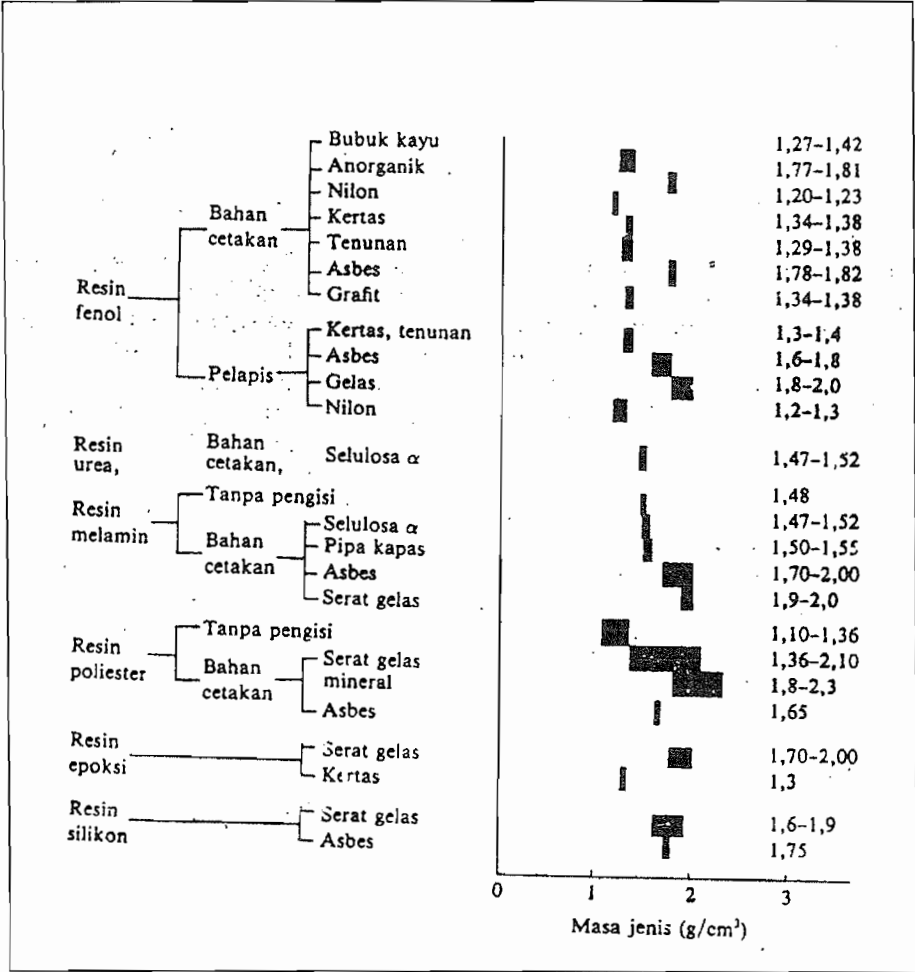
Gambar L.17 Grafik beban vs pertambahan panjang matrik.



Gambar L.18 Grafik beban vs pertambahan panjang serat.



Gambar L.19 Massa jenis resin Thermoplastic.

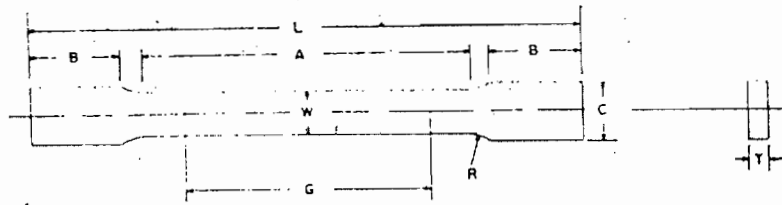


Gambar L.20 Massa jenis resin Thermoset

LAMPIRAN 1

Cara mengkonversikan satuan kg/mm^2 menjadi MPa :

- $$\text{Pa} = \frac{N}{m^2} = \frac{N}{10^6 \text{ mm}^2} = \frac{\text{gravitasi}(m / s^2) \times \text{massa}(kg)}{10^6 \text{ mm}^2}$$
- $$\text{MPa} = \frac{10^6 N}{m^2} = \frac{10^6 N}{10^6 \text{ mm}^2} = \frac{\text{gravitasi}(m / s^2) \times \text{massa}(kg)}{\text{mm}^2}$$
- Sehingga untuk mengkonversikan satuan dari kg/mm^2 menjadi MPa adalah dikalikan dengan gravitasi ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$).



DIMENSIONS

	Standard Specimens				Subsize Specimen	
	Plate-Type, 1 1/2-in. Wide		Sheet-Type, 1/2-in. Wide		1/4-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)	1 1/2 ± 1/4 - 1/4	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	1/2	13	1/2	13	1/4	6
L—Over-all length, min (Notes 2 and 7)	18	450	8	200	4	100
A—Length of reduced section, min	9	225	2 1/4	60	1 1/4	32
B—Length of grip section, min (Note 8)	3	75	2	50	1 1/4	32
C—Width of grip section, approximate (Notes 4, 9, and 10)	2	50	1/2	20	1/4	10

NOTE 1—For the 1 1/2-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 1 1/2-in. (40-mm) wide specimens are not required, a gage length (G) of 2.000 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 1 1/2 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 1 1/2-in. (40-mm) wide specimens shall be 1/4 in. (5 mm), except as permitted by the product specification. Maximum nominal thickness of 1/2-in. (12.5-mm) and 1/4-in. (6-mm) wide specimens shall be 1/4 in. (19 mm) and 1/8 in. (6 mm), respectively.

NOTE 7—To aid in obtaining axial loading during testing of 1/4-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 1/2-in. (13-mm) wide specimens is over 1/4 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 1 1/2-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



UJIAN PENDADARAN TUGAS AKHIR / SKRIPSI

TANGGAL : 14 Januari 2006

NAMA Mhs. : Agus Wijaya Vink Hardin

NIM : 995214130

JUDUL :
Pengaruh suhu curing terhadap sifat mekanis dan fisis komposit polimer (E-Glass dan Arindo 3210)

Pembimbing Utama : Dr. Ir. Viktor Malau, DEA.

Pembimbing Kedua : Doddy Purwadianto, S.T., M.T.

USULAN REVISI DARI DOSEN PENGUJI

1. 1 lembar untuk mahasiswa
2. 1 lembar untuk dosen pembimbing

- o) Grafik hal 77 (gambar 4.11 & 4.12) skala diperbesar ✓
- o) Kesimpulan lebih spesifik ✓
- o) Penulisan sumber acuan, Pustaka pustaka di susunikan dengan aturan penulisan ✓
- o) Grafik pada lampiran diberi satuan ✓
- o) lihat naskah

revisi 17/01/06

Viktor Malau

Viktor Malau

