

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR CURING TERHADAP
KEKUATAN TARIK PADA PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT
DARI SERAT KULIT POHON WARU (*Hibiscus tiliaceus*)**

**SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD ADIPATI FIRDAUZ

NIM. 145060201111037

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR CURING TERHADAP
KEKUATAN TARIK PADA PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT
DARI SERAT KULIT POHON WARU (*Hibiscus tiliaceus*)**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD ADIPATI FIRDAUZ

NIM. 145060201111037

Skrripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada
tanggal 20 Desember 2018

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Anindito Purnowidodo ST., M.Eng.

NIP. 19710310 199802 1 001

Dosen Pembimbing II

Bayu Satriya Wardana ST., M.Eng.

NIP. 19841007 201212 1 001



Mengetahui,

Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.

NIP. 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

Pengaruh Variasi Temperatur *Curing* Terhadap Kekuatan Tarik Pada Proses Pembuatan Komposit Dari Serat Kulit Pohon Waru (*Hibiscus tiliaceus*)

Nama Mahasiswa : Muhammad Adipati Firdauz

NIM : 145060201111037

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Teknik Manufaktur

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng.

Pembimbing II : Bayu Satriya Wardana, ST., M.Eng.

TIM DOSEN PENGUJI

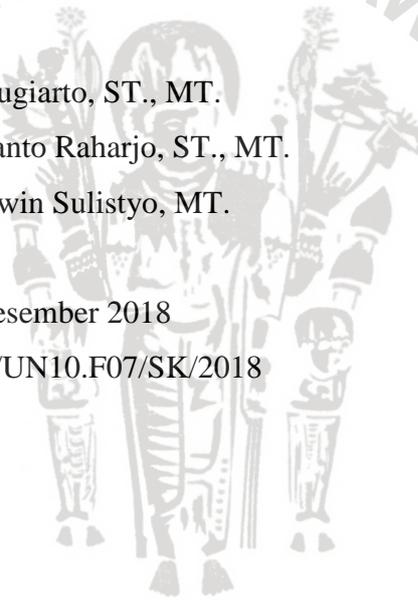
Dosen Penguji 1 : Dr. Sugiarto, ST., MT.

Dosen Penguji 2 : Rudianto Raharjo, ST., MT.

Dosen Penguji 3 : Ir. Erwin Sulistyono, MT.

Tanggal Ujian : 10 Desember 2018

SK Penguji : 2785/UN10.F07/SK/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelurusan berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak pernah terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 22 Desember 2018

Mahasiswa,



Muhammad Adipati Firdauz

NIM. 145060201111037



TURNITIN



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 179/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

MUHAMMAD ADIPATI FIRDAUZ

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR CURING TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA
PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT DARI SERAT KULIT POHON WARU (*Hibiscus
tiliaceus*)**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **20 DEC 2018**



Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Ir. Djazet B. Darmadi, MT., Ph.D.
NIP. 19670518 199412 1 001

Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT
NIP. 19740930 200012 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, berkah dan hidayahnya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Temperatur Curing Terhadap Kekuatan Tarik Pada Proses Pembuatan Komposit Dari Serat Kulit Pohon Waru (*Hibiscus tiliaceus*)”**, yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini, selain kepada Tuhan Yang Maha Esa, Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yaitu:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku ketua Jurusan Teknik Mesin dan Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D., selaku sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang yang telah memfasilitasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
2. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc., selaku ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Manufaktur Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang memberikan arahan dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Bayu Satriya Wardana, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan arahan, masukan, saran serta bimbingan selama penulisan skripsi ini.
5. Bapak Moch. Syamsul Ma'arif, ST., MT., selaku Dosen Pengamat Seminar Proposal yang memberikan ilmu dan arahan dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Sugiarto ST., MT., selaku Dosen Penguji I, Bapak Rudianto Raharjo ST., MT. selaku Dosen Penguji II, dan Bapak Ir. Erwin Sulisty, MT., selaku Dosen Penguji III sekaligus Pembimbing Akademik penulis yang memberikan ilmu dan arahan dalam penulisan skripsi ini.
7. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
8. Kedua orang tua penulis, yaitu Saib Alban Hasibuan dan Dewi Valentina beserta kakak penulis, yaitu Alwi Putra, Rhamadhani Putra, Anggi Sagitha Putri dan adik penulis, yaitu Anthony Hilman yang telah memberikan dukungan moral maupun materil, kasih sayang, dan doa-doa selama ini.

9. Octavian Madyatama, Muhammad Ikbar Bagastio dan M. Ramadhani Harun A. selaku kelompok tugas akhir penulis.

10. M. Alan Pratama, M. Hilmy Ibrahim, Ryandanu Aldy Yudhistira, dan Abi Yutaviando selaku sahabat kontrakan yang selalu memberikan semangat kepada penulis.

11. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya yang telah secara langsung maupun tidak langsung ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

12. Saudara-saudaraku M14 yang selalu memberikan dukungan pada penulis.

13. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna baik dari isi maupun format penulisan. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar kedepannya menjadi lebih baik. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, memunculkan ide baru dan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

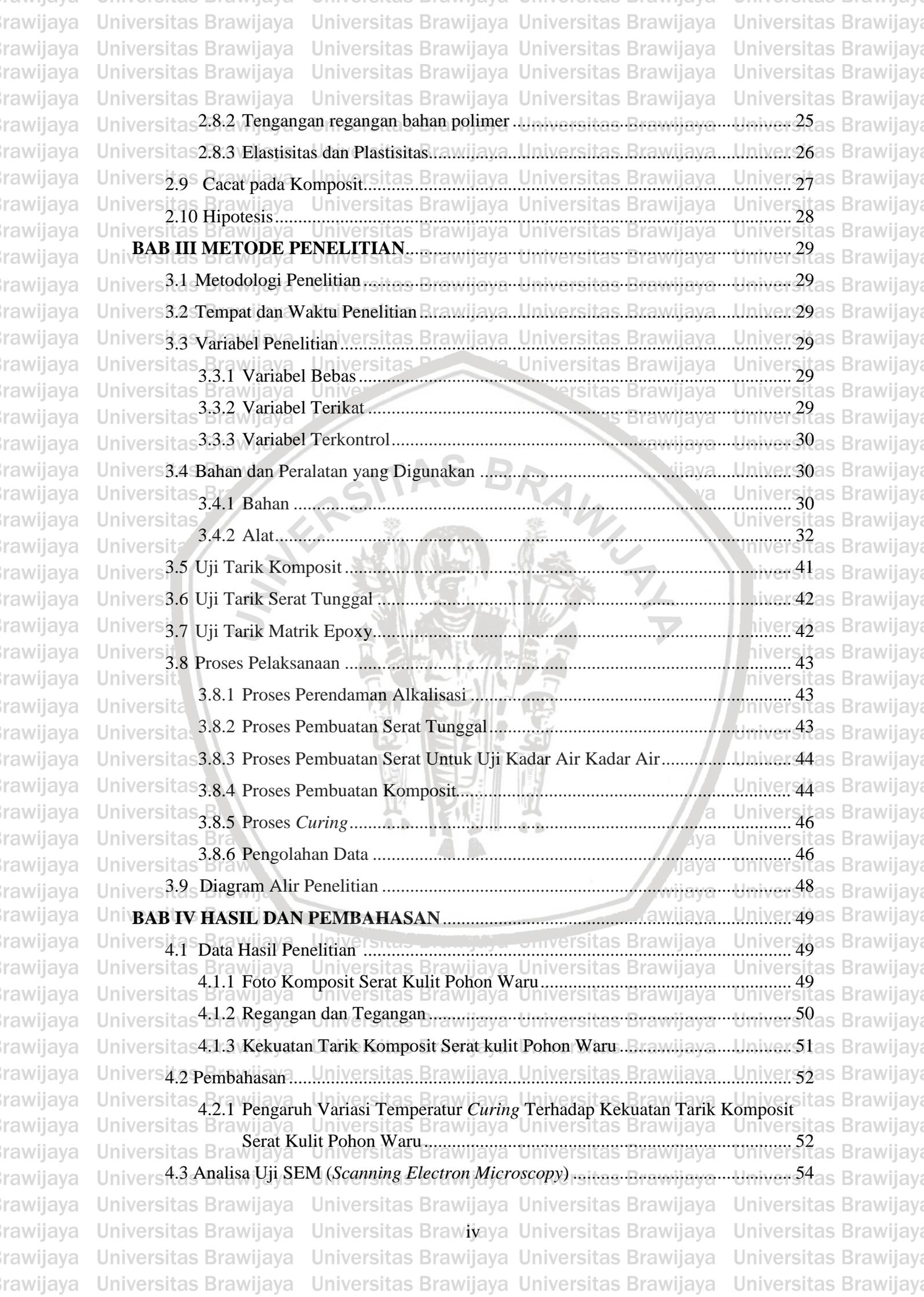
Malang, November 2018

Penulis



DAFTAR ISI

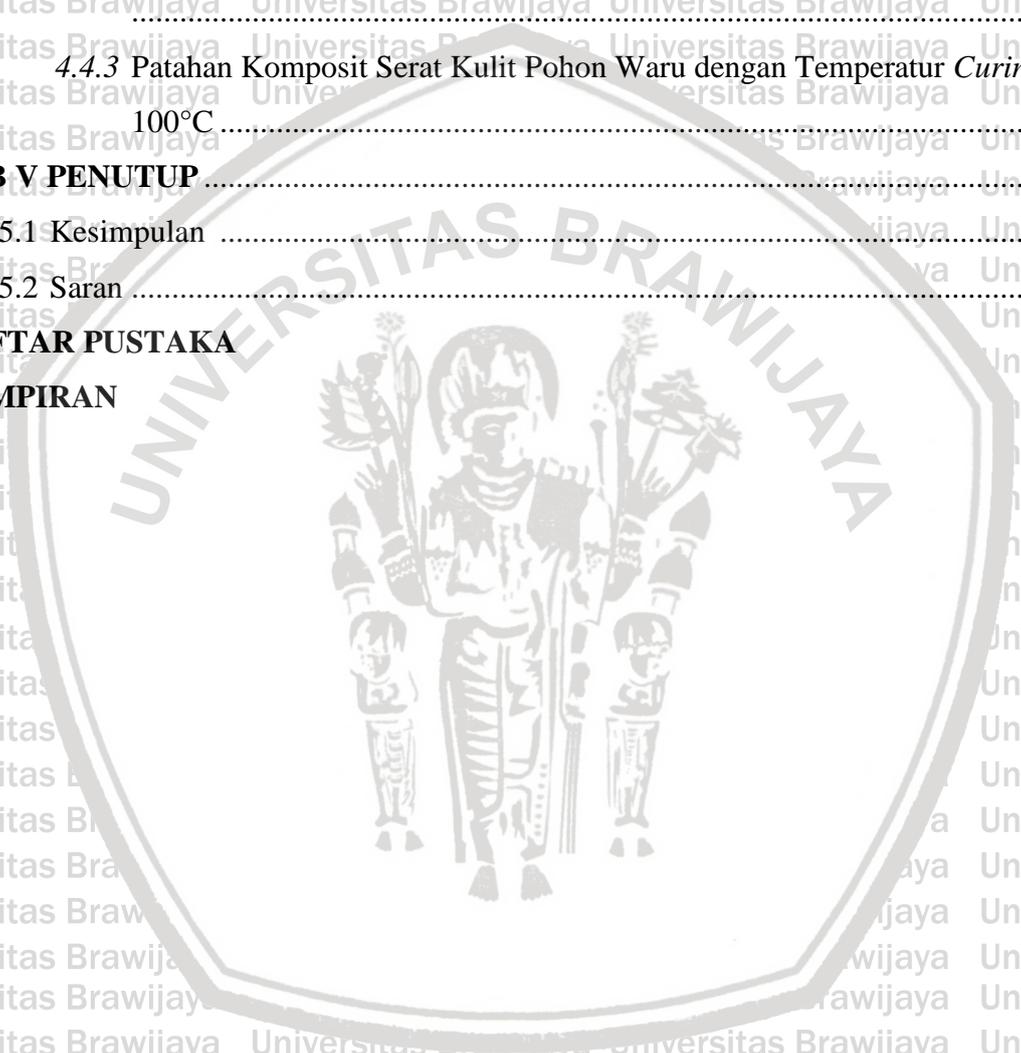
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	x
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penelitian Sebelumnya	3
2.2 Material Komposit	4
2.2.1 Pengertian Komposit	4
2.2.2 Klasifikasi Komposit	4
2.3 <i>Fiber</i> (Serat)	6
2.3.1 Serat Alam	7
2.3.2 Alkalisasi Serat	9
2.3.3 Deskripsi Pohon Waru	9
2.4 Matrik	10
2.4.1 Komposit Matrik Polimer	11
2.4.2 Resin Epoxy	12
2.5 <i>Curing</i>	13
2.5.1 Proses Curing	13
2.5.2 Pengaruh Temperatur Curing	14
2.6 Teori Ikatan Matrik dan Serat Penguat	16
2.7 Metode Manufaktur Komposit	17
2.7.1 Proses Cetakan Terbuka/ <i>Open-Mold Process</i>	18
2.7.2 Proses Cetakan Tertutup/ <i>Closed Mold Process</i>	20
2.8 Kekuatan Tarik	22
2.8.1 Hubungan Tegangan dan Regangan	22



2.8.2	Tengangan regangan bahan polimer	25
2.8.3	Elastisitas dan Plastisitas.....	26
2.9	Cacat pada Komposit.....	27
2.10	Hipotesis.....	28
BAB III METODE PENELITIAN.....		29
3.1	Metodologi Penelitian	29
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	29
3.3	Variabel Penelitian.....	29
3.3.1	Variabel Bebas	29
3.3.2	Variabel Terikat	29
3.3.3	Variabel Terkontrol.....	30
3.4	Bahan dan Peralatan yang Digunakan	30
3.4.1	Bahan	30
3.4.2	Alat.....	32
3.5	Uji Tarik Komposit.....	41
3.6	Uji Tarik Serat Tunggal	42
3.7	Uji Tarik Matrik Epoxy.....	42
3.8	Proses Pelaksanaan	43
3.8.1	Proses Perendaman Alkalisasi	43
3.8.2	Proses Pembuatan Serat Tunggal.....	43
3.8.3	Proses Pembuatan Serat Untuk Uji Kadar Air Kadar Air.....	44
3.8.4	Proses Pembuatan Komposit.....	44
3.8.5	Proses <i>Curing</i>	46
3.8.6	Pengolahan Data	46
3.9	Diagram Alir Penelitian	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		49
4.1	Data Hasil Penelitian	49
4.1.1	Foto Komposit Serat Kulit Pohon Waru.....	49
4.1.2	Regangan dan Tegangan.....	50
4.1.3	Kekuatan Tarik Komposit Serat kulit Pohon Waru.....	51
4.2	Pembahasan.....	52
4.2.1	Pengaruh Variasi Temperatur <i>Curing</i> Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Kulit Pohon Waru.....	52
4.3	Analisa Uji SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>).....	54

4.3.1 SEM Serat Kulit Pohon Waru.....	54
4.3.2 SEM Patahan Matrik <i>Epoxy</i>	56
4.3.3 SEM Patahan Komposit Serat Kulit Pohon Waru.....	58
4.4 Analisa Patahan Serat Kulit Pohon Waru.....	60
4.4.1 Patahan Komposit Serat Kulit Pohon Waru dengan Temperatur <i>Curing</i> -5°C.....	61
4.4.2 Patahan Komposit Serat Kulit Pohon Waru dengan Temperatur <i>Curing</i> 27°C.....	62
4.4.3 Patahan Komposit Serat Kulit Pohon Waru dengan Temperatur <i>Curing</i> 100°C.....	63
BAB V PENUTUP	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	65

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi Resin <i>Epoxy</i>	13
Tabel 3.1	Komposisi Serat Kulit Pohon Waru.....	31
Tabel 3.2	Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D638-01.....	41
Tabel 3.3	Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM C1557.....	42
Tabel 3.4	Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D638-02.....	43



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi komposit	5
Gambar 2.2	Komposit Partikel	5
Gambar 2.3	Skema penyusunan serat (a) Serat berturut, (b) Serat terputus, (c) Serat acak terputus	6
Gambar 2.4	<i>Structural Composit.</i> (a) laminates, (b) sandwich panel.....	6
Gambar 2.5	Klasifikasi serat alam.....	7
Gambar 2.6	(a) Struktur kimia selulosa, (b) Struktur kimia hemiselulosa.....	8
Gambar 2.7	Struktur lignin.....	8
Gambar 2.8	(a) Pohon waru (b) Kulit waru yang akan diekstrak untuk mendapatkan serat.....	10
Gambar 2.9	Klasifikasi komposit berdasarkan jenis matrik.....	11
Gambar 2.10	(a) Struktur kimia resin <i>Epoxy</i> dengan R (bentuk bebas), (b) Struktur kimia resin <i>epoxy</i> dengan hardener.....	12
Gambar 2.11	Struktur campuran <i>epoxy</i> dengan <i>hardener amines</i>	14
Gambar 2.12	<i>Time temperatur transition diagram</i>	15
Gambar 2.13	<i>Cure temperature parameter diagram</i> : versi modifikasi dari diagram t_g - t_p	16
Gambar 2.14	Ikatan mekanis	17
Gambar 2.15	Ikatan elektrostatik	17
Gambar 2.16	Ikatan reaksi.....	17
Gambar 2.17	<i>Hand lay up</i>	18
Gambar 2.18	<i>Vacuum bag</i>	18
Gambar 2.19	<i>Pressure bag</i>	19
Gambar 2.20	<i>Spray up</i>	19
Gambar 2.21	<i>Filament winding</i>	20
Gambar 2.22	<i>Compression molding</i>	20
Gambar 2.23	<i>Injection molding</i>	21
Gambar 2.24	<i>Continuous pultrusion</i>	21
Gambar 2.25	<i>Resin transfer molding</i>	22
Gambar 2.26	Hubungan tegangan dengan regangan.....	23

Gambar 2.27	Metode <i>offset</i>	24
Gambar 2.28	Hubungan tegangan regangan rekayasa dan sejati.....	25
Gambar 2.29	Grafik tegangan-regangan polimer.....	25
Gambar 3.1	Resin dan <i>hardener</i>	30
Gambar 3.2	Serat kulit pohon waru bentuk lembaran dan bentuk anyaman.....	31
Gambar 3.3	Larutan alkali.....	32
Gambar 3.4	Mesin uji tarik serat tunggal.....	32
Gambar 3.5	Mesin uji tarik komposit.....	33
Gambar 3.6	Cetakan akrilik dan logam.....	34
Gambar 3.7	Dimensi cetakan L.....	34
Gambar 3.8	Dimensi cetakan balok.....	34
Gambar 3.9	Timbangan digital.....	35
Gambar 3.10	<i>Sealant tape</i>	35
Gambar 3.11	<i>Mirror Glaze</i>	35
Gambar 3.12	<i>Mesh</i>	36
Gambar 3.13	<i>Plastic bag</i>	36
Gambar 3.14	<i>Vacuum compressor</i>	37
Gambar 3.15	<i>Resin trap</i>	37
Gambar 3.16	Kaca.....	38
Gambar 3.17	Dapur Listrik.....	38
Gambar 3.18	<i>Cool Case</i>	39
Gambar 3.19	Dremel.....	40
Gambar 3.20	<i>Vernier Caliper</i>	40
Gambar 3.21	<i>Moisture analyzer</i>	41
Gambar 3.22	Dimensi specimen tarik berdasarkan ASTM D638-01.....	41
Gambar 3.23	Dimensi specimen tarik berdasarkan ASTM C1557.....	42
Gambar 3.24	Dimensi specimen tarik berdasarkan ASTM D638-02.....	42
Gambar 3.25	Proses pembuatan komposit dengan metode <i>vacuum infusion</i>	44
Gambar 3.26	Diagram alir penelitian.....	48
Gambar 4.1	Foto komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur <i>curing</i> -5°C.....	49
Gambar 4.2	Foto komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur curing 27°C.....	49
Gambar 4.3	Foto komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur curing 100°C.....	49
Gambar 4.4	Grafik Tegangan Regangan Komposit Matrik Serat Kulit Pohon dari setiap specimen variasi temperatur <i>curing</i>	50

Gambar 4.5	Grafik kekuatan tarik komposit serat kulit pohon waru dengan variasi temperatur <i>curing</i>	51
Gambar 4.6	Grafik hubungan kekuatan tarik serat tunggal kulit pohon waru dengan variasi temperatur <i>curing</i>	52
Gambar 4.7	Grafik hubungan Kadar Air dengan variasi temperatur <i>curing</i>	53
Gambar 4.8	Grafik hubungan kekuatan tarik matrik <i>epoxy</i> dengan variasi temperatur <i>curing</i>	54
Gambar 4.9	SEM Serat kulit pohon waru dengan temperatur <i>curing</i> -5°C dengan perbesaran a) 500x dan b) 1000x	55
Gambar 4.10	SEM Serat kulit pohon waru dengan temperatur <i>curing</i> 27°C dengan perbesaran a) 500x dan b) 1000x	55
Gambar 4.11	SEM Serat kulit pohon waru dengan temperatur <i>curing</i> 100°C dengan perbesaran a) 500x dan b) 1000x	56
Gambar 4.12	SEM patahan matrik <i>epoxy</i> dengan temperatur <i>curing</i> -5°C dengan perbesaran a) 36x, b) 410x, dan c) 1550x	57
Gambar 4.13	SEM patahan matrik <i>epoxy</i> dengan temperatur <i>curing</i> 27°C dengan perbesaran a) 44x dan b) 320x	57
Gambar 4.14	SEM patahan matrik <i>epoxy</i> dengan temperatur <i>curing</i> 100°C dengan perbesaran a) 33x dan b) 350x.....	58
Gambar 4.15	SEM patahan komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur <i>curing</i> -5°C dengan perbesaran a) 500x dan b) 1000x.....	59
Gambar 4.16	SEM patahan komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur <i>curing</i> 27°C dengan perbesaran a) 500x dan b) 1000x.....	59
Gambar 4.17	SEM patahan komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur <i>curing</i> 100°C dengan perbesaran a) 500x dan b) 1000x.....	60
Gambar 4.18	Perbandingan patahan tiap variasi temperatur <i>curing</i>	6
Gambar 4.19	Permukaan patahan komposit serat dengan temperatur <i>curing</i> -5°C.....	61
Gambar 4.20	Permukaan patahan komposit serat dengan temperatur <i>curing</i> 27°C.....	62
Gambar 4.21	Permukaan patahan komposit serat dengan temperatur <i>curing</i> 100°C.....	63

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tabel Hasil Uji Tarik Komposit Dengan Perlakuan *Curing* Temperatur -5°C
- Lampiran 2 Tabel Hasil Uji Tarik Komposit Dengan Perlakuan *Curing* Temperatur 27°C
- Lampiran 3 Tabel Hasil Uji Tarik Komposit Perlakuan *Curing* Temperatur 100°C
- Lampiran 4 Tabel Hasil Uji Tarik Serat Tunggal Dengan Perlakuan *Curing* Temperatur -5°C
- Lampiran 5 Tabel Hasil Uji Tarik Serat Tunggal Dengan Perlakuan *Curing* Temperatur 27°C
- Lampiran 6 Tabel Hasil Uji Tarik Serat Tunggal Dengan Perlakuan *Curing* Temperatur 100°C
- Lampiran 7 Grafik Tegangan-Regangan Uji Tarik Serat Tunggal Perlakuan *Curing* -5°C
- Lampiran 8 Grafik Tegangan-Regangan Uji Tarik Serat Tunggal Perlakuan *Curing* 27°C
- Lampiran 9 Grafik Tegangan-Regangan Uji Tarik Serat Tunggal Perlakuan *Curing* 100°C
- Lampiran 10 Tabel Hasil Uji Kadar Air Serat Dengan Temperatur *Curing* -5°C
- Lampiran 11 Tabel Hasil Uji Kadar Air Serat Dengan Temperatur *Curing* 27°C
- Lampiran 12 Tabel Hasil Uji Kadar Air Serat Dengan Temperatur *Curing* 100°C
- Lampiran 13 Tabel Hasil Uji Tarik Matrik Epoxy Dengan Perlakuan *Curing* -5°C
- Lampiran 14 Tabel Hasil Uji Tarik Matrik Epoxy Dengan Perlakuan *Curing* 27°C
- Lampiran 15 Tabel Hasil Uji Tarik Matrik Epoxy Dengan Perlakuan *Curing* 100°C
- Lampiran 16 Grafik Tegangan-Regangan Uji Tarik Matrik Epoxy Tiap Variasi Temperatur *Curing*
- Lampiran 17 Data Tabel Fraksi Berat Komposit Serat Kulit Pohon Waru
- Lampiran 18 Data Tabel Persentase Fraksi Berat Serat dan Resin Terhadap Komposit Serat Kulit Pohon Waru
- Lampiran 19 Diagram Persentase Fraksi Berat Komposit Serat Kulit Pohon Waru
- Lampiran 20 Grafik dan Data Tabel Hasil Uji FTIR Serat Kulit Pohon Waru Dengan Perlakuan -5°C
- Lampiran 21 Grafik dan Data Tabel Hasil Uji FTIR Serat Kulit Pohon Waru Dengan Perlakuan 27°C
- Lampiran 22 Grafik dan Data Tabel Hasil Uji FTIR Serat Kulit Pohon Waru Dengan Perlakuan 100°C

RINGKASAN

Muhammad Adipati Firdauz, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2018, pengaruh variasi temperatur *curing* terhadap kekuatan tarik pada proses pembuatan serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*), Dosen Pembimbing: Anindito Purnowidodo, Bayu Satriya Wardana.

Perkembangan ilmu pengetahuan semakin berkembang seiring berjalannya waktu. Material dari logam memiliki kekurangan dari segi keringanan. Komposit sebagai pengganti material logam, yaitu gabungan dari dua material yang berbeda sebagai penyusunnya, tetapi sifat dari material pembentuk tetap ada. Pada proses manufaktur komposit, pengembangan dalam proses pembuatan komposit salah satunya adalah memodifikasi temperatur *curing*.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *curing* terhadap kekuatan tarik pada proses pembuatan komposit serat kulit pohon waru. Serat kulit pohon waru, diberi perlakuan alkali dengan NaOH 6% selama 2 jam, dengan variasi temperatur *curing* yang digunakan pada penelitian ini adalah -5°C , 27°C , dan 100°C . Penelitian menggunakan standar ASTM D638-03 dengan metode *vacuum infusion*.

Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik komposit menurun seiring meningkatnya perlakuan temperatur *curing*, hal ini disebabkan terjadi kerusakan pada serat kulit pohon waru. Morfologi pada serat, matriks *epoxy* dan komposit dilihat menggunakan *scanning electron microscopy*.

Kata Kunci: Komposit Serat Kulit Pohon Waru, Temperatur *Curing*, *Epoxy*, *Tensile Strength*



SUMMARY

Muhammad Adipati Firdaus, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, December 2018, Influence of curing temperature variations on tensile strength in process of making waru bark fiber composites (*Hibiscus tiliaceus*), lecturer: Anindito Purnowidodo and Bayu Satriya Wardana.

The development of science has progressed over time. Metal material has disadvantages in terms of lightness. Composite as an alternate for metal material, which is a combination of two different materials, but the characteristic of main material is still exists. Developments in the composite manufacturing process is modifying curing temperature.

The purpose of this research is to determine influence of curing temperature variations on tensile strength in process of making composite of waru bark fiber. The fiber of hibiscus tiliaceus treated alkaline with 6% NaOH for 2 hours, with curing temperature variations used in this research is -5°C , 27°C , and 100°C . This research use ASTM D638-01 standard with vacuum infusion method.

The results of this research showed that composite tensile strength decreased with increasing curing temperature treatment, this is caused by damage on waru bark fiber. The Morphology of fiber, epoxy matrix and composite are showed by using Scanning Electron Microscopy.

Keywords: Waru bark fiber composite, Curing Temperature, Epoxy, Tensile strength



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan perkembangan dunia industri saat ini, tuntutan membuat segala sesuatu menjadi ringan adalah hal yang wajar. Contohnya pada pesawat dan mobil berbobot ringan. Hal ini mendorong produsen untuk mengembangkan material lain yang ringan dan mempunyai sifat karakteristik yang sesuai dengan karakteristik logam. Salah satu material lain yang banyak dikembangkan saat ini adalah komposit.

Komposit adalah gabungan dua material atau lebih yang memiliki sifat yang berbeda, yang mana umumnya tersusun oleh fase matrik dan penguat (Mallick, 1997). Dalam pembuatan komposit, terdapat jenis komposit dengan penguat fiber, namun fiber yang digunakan kebanyakan adalah fiber buatan dan sulit terurai. Pemanfaatan serat alam sebagai penguat komposit merupakan alternatif untuk mengembangkan material ramah lingkungan, contohnya serat kulit pohon waru.

Waru laut (*hibiscus tiliaceus*) merupakan tanaman yang umum dikenal di Indonesia. Jenis ini biasanya dapat ditemukan dengan mudah karena tersebar luas di daerah tropik dan terutama tumbuh berkelompok di pantai berpasir atau daerah pasang surut (Arif, 2011). Aplikasi serat waru untuk saat ini hanya sebagai bahan dasar membuat jaring, tali dan tas-tas kasar untuk cinderamata (Dian, 2016). Serat kulit pohon waru telah terbukti dapat digunakan sebagai reinforcement dalam komposit. Hadyan (2017) melakukan pembuatan komposit serat kulit pohon waru menggunakan resin bisphenol-A dengan metode *vacuum infusion* menggunakan pola anyaman *plain*, didapatkan kekuatan tarik sebesar 115,15 MPa. Veda (2016) melakukan pengujian serat tunggal serat kulit pohon waru dan didapatkan kekuatan tarik sebesar 258,30 MPa.

Curing adalah proses polimerisasi yang merubah material resin dari keadaan cair ke padat. Kecepatan proses *curing* tergantung dari temperatur yang digunakan. Tujuan dari proses *curing* adalah memobilisasi molekul matrik agar bereaksi secara sempurna dan membuang unsur air atau bahan lain yang mudah menguap (Bobby, 2005). Herwin (2016) melakukan penelitian tentang *Karakteristik curing 80°C, 100°C, dan 120°C komposit serabut kelapa* dengan variasi suhu 80°C, 100°C, dan 120°C menggunakan resin *polyester* dengan metode *hand lay-up* dan didapatkan kekuatan tarik tertinggi pada temperatur *curing* 100°C

sebesar 22,92 MPa, regangan sebesar 0,84%, dan modulus elastisitas sebesar 2728,57 MPa.

Hal ini membuktikan bahwa temperatur *curing* mempengaruhi sifat mekanik dari komposit.

Berdasarkan data diatas, dapat diketahui bahwa variasi temperatur *curing* dapat mempengaruhi karakteristik pada komposit. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian secara eksperimen untuk meneliti tentang “Pengaruh variasi temperature curing terhadap kekuatan tarik pada proses pembuatan komposit dari serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*)”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan yaitu bagaimana pengaruh variasi temperatur *curing* terhadap kekuatan tarik pada proses pembuatan komposit dari serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*).

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian lebih terarah, maka batasan masalah penelitian adalah:

1. Temperatur ruang pada saat pembuatan komposit serat serai wangi yang dianggap konstan.
2. Kecepatan aliran resin pada metode *vacuum infusion* yang dianggap konstan, (bergantung pada *vacuum pump*).

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *curing* terhadap kekuatan tarik pada proses pembuatan komposit dari serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini diharapkan sebagai berikut.

1. Memperoleh informasi mengenai potensi serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan variasi temperatur *curing* untuk menghasilkan komposit yang berkualitas.
2. Untuk memperoleh bahan serat alam sebagai alternatif pengganti serat sintesis
3. Dapat dijadikan referensi terhadap penelitian yang serupa yaitu tentang komposit dengan serat alam.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Bobby et al., (2005) dalam penelitian tentang Pengaruh suhu *curing* terhadap kekuatan tarik dan regangan pada komposit dengan serat E-Glass kontinyu dua arah dengan resin *polyester eternal* 2504 dan katalis *mepoxe*, penelitiannya bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis dari serat penguat E-Glass jenis *woven* dan matrik pengikat *Eternal* 2504 dengan variasi suhu dan lama *curing* pada bahan komposit. Material ujinya merupakan serat E-Glass dengan standar ASTM 638-03 dan variasi matrik yang digunakan adalah *polyester* dan diberi perlakuan *curing* dengan variasi temperatur 55 °C, 65 °C, 75 °C, 90 °C, 105 °C, dan 120 °C menggunakan resin *polyester* dengan metode pembuatan komposit *hand lay up*. Dari penelitian tersebut diperoleh data pengujian tarik dengan variasi suhu *curing*. Nilai kekuatan tarik maksimal yaitu 188,94 MPa terjadi pada suhu 105 °C dengan lama *curing* 3 jam. Nilai regangan maksimal yaitu 3,73% terjadi pada suhu 90 °C dengan lama *curing* 3 jam.

Hadyan et al., (2016), dalam penelitian tentang *pengaruh variasi anyaman serat kulit waru (hibiscus tiliaceus) terhadap kekuatan tarik pada komposit bermatrik bisphenol-A*, penelitiannya bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik material komposit ditinjau dari kekuatan tariknya berdasarkan jenis anyaman yang digunakan. Material ujinya merupakan serat waru dengan standar ASTM 638-03 dan variasi matrik yang digunakan adalah *bisphenol-A* dengan metode pembuatan komposit *vacuum infusion*. Dari penelitian tersebut diperoleh data pengujian tarik dengan variasi anyaman. Anyaman *basket* memiliki nilai kekuatan tarik yang paling tinggi yaitu sebesar 115,15 MPa, anyaman *twill* dengan kekuatan tarik 109.65 MPa, anyaman *plain* dengan kekuatan tarik 105,99 MPa dan anyaman *satın* dengan nilai kekuatan tarik terendah 82.7 MPa. Hal yang paling mempengaruhi nilai kekuatan tarik pada anyaman ialah jumlah silangan, stabilitas, bentuk simetris anyaman dan juga porositas.

Herwin et al., (2016) dalam penelitian tentang *Karakteristik curing 80 °C, 100 °C, dan 120 °C komposit serabut kelapa*, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik rata-rata, regangan dan modulus elastisitas yang diperoleh pada komposit serat alam yang diberi *curing*. Material ujinya merupakan serat kelapa dengan orientasi acak dengan bentuk specimen berdasarkan ASTM D638 dan diberi perlakuan *curing* dengan variasi temperatur 80 °C, 100 °C, dan 120 °C menggunakan resin *polyester* dengan metode pembuatan

komposit *hand lay up*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan modulus elastisitas rata-rata yang terbaik pada komposit dengan perlakuan 100°C. Kekuatan tarik rata-rata pada komposit yang diberikan *curing* dengan temperatur 80°C sebesar 17,88 MPa, regangan sebesar 1,01%, dan modulus elastisitas sebesar 1770,3 MPa. Kekuatan tarik rata-rata pada komposit *curing* dengan temperatur 100°C sebesar 22,92 MPa, regangan sebesar 0,84%, dan modulus elastisitas sebesar 2728,57 MPa. Kekuatan tarik rata-rata pada komposit *curing* dengan temperatur 120°C sebesar 18,24 MPa, regangan sebesar 1%, dan modulus elastisitas sebesar 1824 MPa. Penurunan kekuatan tarik disebabkan adanya void (kekosongan) pada matrik sehingga tegangan dari *fiber* tidak tersebar dengan merata ke matrik yang mengakibatkan timbulnya *crack*. Semakin banyak *void* maka komposit akan makin rapuh dan apabila semakin sedikit *void* maka komposit akan semakin kuat.

2.2 Material Komposit

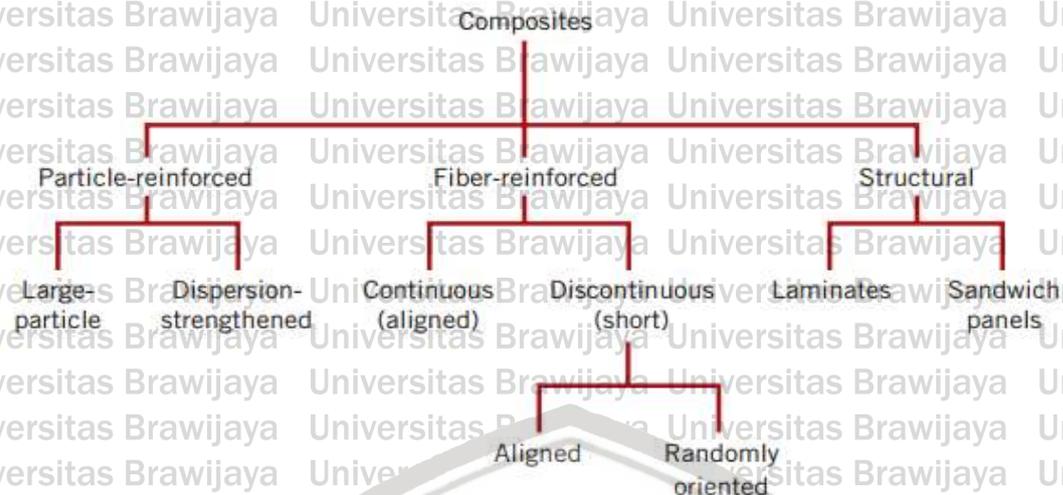
2.2.1 Pengertian Komposit

Menurut Mallick (1997), komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang memiliki sifat yang berbeda yang disusun oleh fase matrik dan penguat.

Menurut Matthews et al. (1994), komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuk melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Perbedaan material pembentuk ini akan membuat sebuah material baru yaitu komposit yang memiliki sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya (Schwartz, 1984).

2.2.2 Klasifikasi Komposit

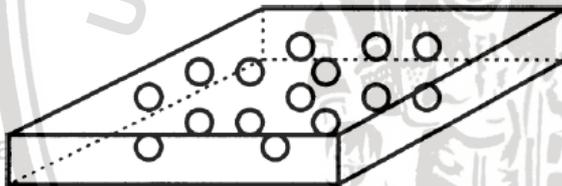
Pada umumnya komposit dapat dikelompokkan dalam beberapa jenis, tergantung pada jenis penguat dapat dibagi menjadi 3 yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Klasifikasi komposit
Sumber: Callister (2007)

1. Material Komposit Partikel

Particle-reinforced adalah jenis komposit yang memanfaatkan partikel sebagai pengisi (*filler*). Seperti pada Gambar 2.2, *Filler* dapat menggunakan partikel berupa logam maupun non-logam. *Particle-reinforced* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu partikel besar (*large-particle*) dan penyebaran partikel kecil (*dispersion-strengthened*).

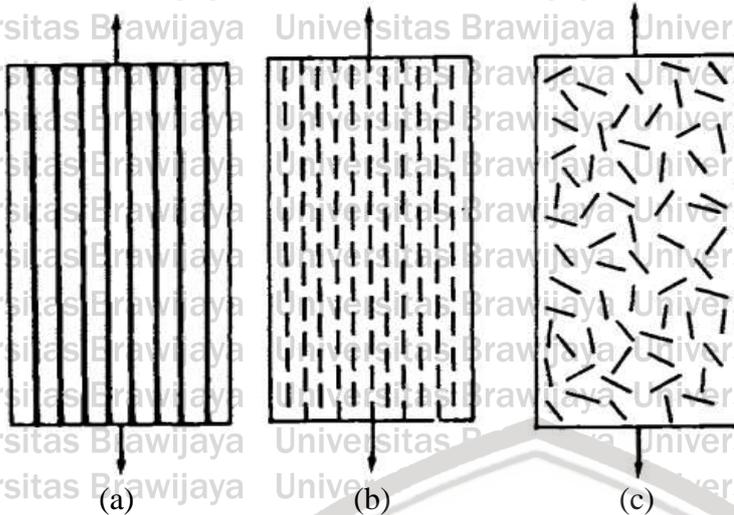


Gambar 2.2 Komposit Partikel
Sumber: Autar (2006)

2. Fiber-reinforced

Fiber-reinforced adalah jenis komposit yang tersusun dari matrik dan berpenguat serat. Komposit berpenguat dibagi menurut panjang serat, yaitu serat panjang (*continuous fiber*) dan serat pendek (*discontinuous fiber*). Untuk serat pendek dapat dibedakan berdasarkan arah orientasinya yaitu searah (*aligned*) dan acak (*random oriented*).

Skema *fiber-reinforced* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

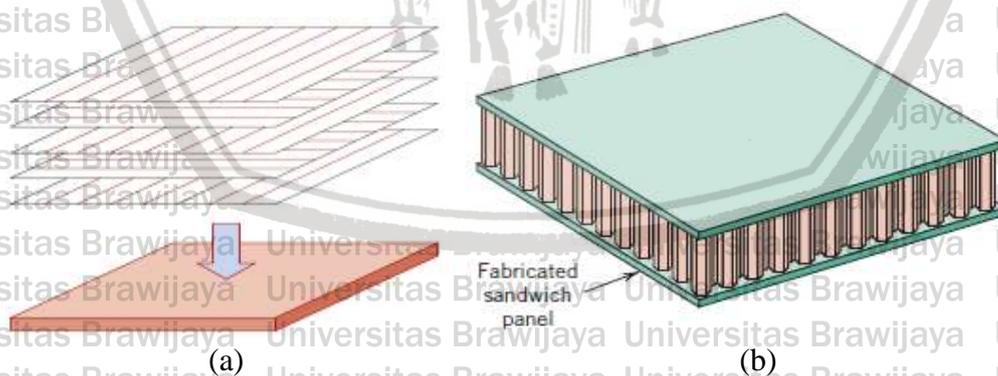


Gambar 2.3 Skema penyusunan serat. (a) serat berturut, (b) serat terputus, (c) serat acak terputus

Sumber: Matthews (1994)

3. Structural Composite

Komposit struktural adalah komposit yang dibentuk oleh dua atau lebih material yang direkatkan bersama-sama dengan mengkombinasikan aspek terbaik dari masing masing lapisan untuk mendapatkan material yang memiliki sifat yang baik. Berdasarkan Gambar 2.4, komposit jenis struktural dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur *laminates* dan struktur *sandwich*. *Laminates* adalah lapisan yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya dibentuk dengan sudut yang bervariasi. *Sandwich panels* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri flat composite (metal sheet) sebagai kulit permukaan (*skin*) serta meterial inti (*core*) di bagian tengahnya (berada diantaranya).



Gambar 2.4 Structural composite. (a) laminates, (b) sandwich panel

Sumber: Callister (2007)

2.3 Fiber (Serat)

Serat adalah salah satu jenis komponen penguat (*reinforcement*) yang akan berikatan pada komponen pengikat (*matrix*). Komponen ini berfungsi sebagai penentu

kekuatan dan kekakuan dari suatu material komposit. Hal ini dikarenakan fungsi utama dari komponen penguat adalah sebagai penahan beban dari suatu material. Pada material komposit, serat menahan beban sekitar 70%-90% dari total beban yang diterima oleh komposit (Mazumdar, 2002), ada dua hal yang membuat serat dapat menahan gaya yaitu:

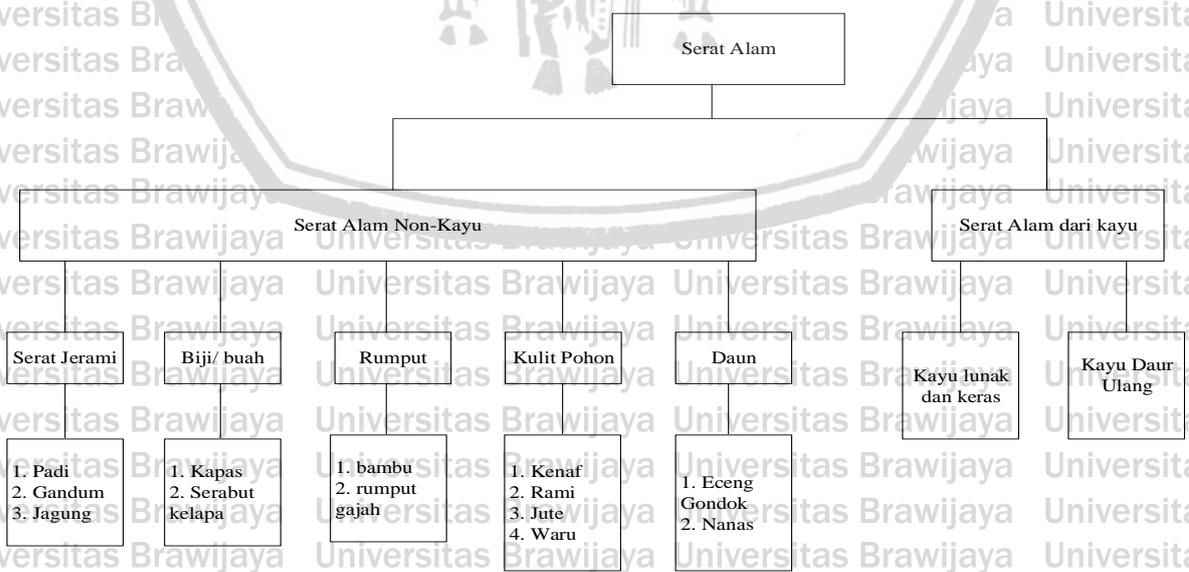
- a. Perekatan (*bonding*) antara serat dan matriks (*interfacial bonding*) yang baik dan kuat sehingga tidak mudah terjadi pelepasan antara matrik dan serat (*debonding*).
- b. Kelangsingan (*aspec ratio*) yaitu perbandingan antara panjang serat dengan diameter serat cukup besar.

Arah serat penguat menentukan kekutan komposit dan mempengaruhi jumlah serat yang dapat diisikan ke dalam matrik semakin cermat penataannya, semakin banyak penguat dapat dimasukkan. Hal tersebut menentukan kekuatan optimum yang dapat diterima komposit (Surdia, 2003). Berdasarkan asalnya, serat dibedakan menjadi dua macam, yaitu serat alam (*natural fibre*) dan serat buatan (*syntetic fiber*)

2.3.1 Serat Alam

Serat alam (*natural fibre*) adalah jenis-jenis serat sebagai bahan baku industri tekstil atau lainnya, yang diperoleh langsung dari alam. Berdasarkan asal usulnya, serat alam dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok, yaitu serat yang berasal dari hewan, bahan tambang dan tumbuhan.

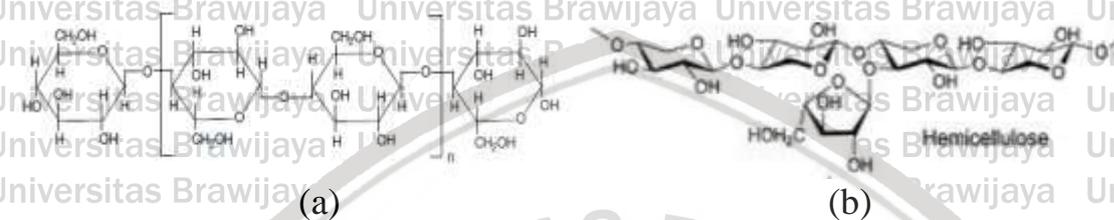
Serat alam yang berasal dari tumbuhan memiliki beberapa klasifikasi serat alam yang dijelaskan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Klasifikasi serat alam
Sumber: Amar (2005)

Serat alam yang tergolong dalam kayu atau non kayu jenis memiliki komposisi utama selulosa dan lignin. Jumlah selulosa dalam sistem lignoselulosa dapat bervariasi, hal tersebut tergantung pada spesies dan umur tanaman. Selulosa adalah *hydrophilic glucan polymer* yang terdiri dari rantai linear unit *1,4-β anhydroglucose*, yang mengandung gugus *alcoholic hydroxyl*. Kelompok hidroksil akan membentuk ikatan hidrogen antar molekul dan intramolekul dengan jangkauan makromolekul selulosa atau molekul polar.

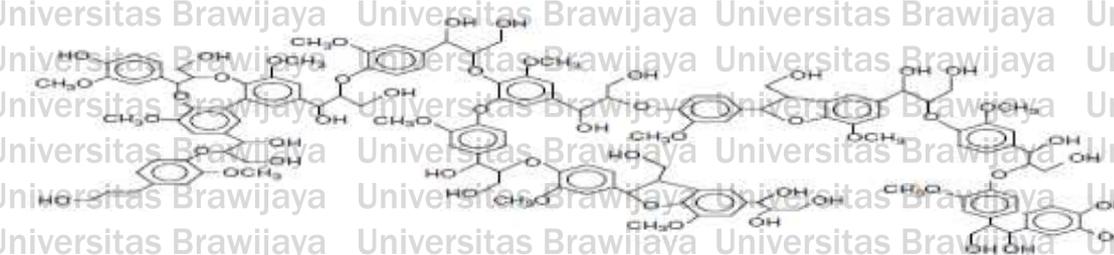
Secara kimia, maka struktur dari selulosa dapat dijelaskan pada Gambar 2.6 (a).



Gambar 2.6 (a) Struktur kimia selulosa, (b) Struktur kimia hemiselulosa
Sumber: Mohanty (2005)

Hemiselulosa adalah bagian senyawa matriks yang berada diantara mikrofibril-mikrofibril selulosa. Hemiselulosa merupakan senyawa polisakarida yang larut dalam alkali. Molekul hemiselulosa memiliki karakteristik senyawa yang lebih mudah menyerap air, tidak tahan panas, mempunyai permukaan kontak antar molekul yang lebih luas dari selulosa, dan ikatannya lemah sehingga mudah dihidrolisis (John, 2008). Secara kimia maka struktur dari selulosa dapat dijelaskan pada Gambar 2.6 (b).

Komposisi lignin atau zat kayu pada setiap jenis tumbuhan memiliki jumlah yang berbeda-beda tergantung pada jenis tumbuhannya. Lignin memiliki fungsi sebagai pengikat komponen lainnya dalam tumbuhan terutama pada bagian batang, sehingga menyebabkan batang sebuah pohon dapat berdiri tegak. Struktur kimia pada lignin memiliki pola yang tidak sama dan sangat kompleks. Lignin termasuk kedalam gugus aromatik, hal ini yang saling menghubungkan dengan rantai alifatik dan terdiri dari 2-3 karbon. Hasil dari proses pirolisis pada lignin menghasilkan senyawa berupa fenol dan kresol yang termasuk kedalam senyawa kimia aromatis. Struktur kimia dari lignin dapat dijelaskan pada Gambar 2.7.



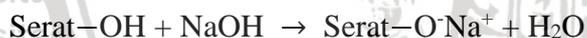
Gambar 2.7 Struktur lignin
Sumber: Mohanty (2005)

Zat ekstraktif merupakan senyawa-senyawa yang larut dalam pelarut organik. (Fengel, 1995). zat ekstraktif tidak tersebar secara merata dalam batang dan dinding sel serat. Zat Ekstraktif dalam kayu dapat berupa karbohidrat, gula, pektin dan asam-asam tertentu yang berasosiasi dan mudah larut dalam air dingin. Zat yang terlarut dalam air panas antara lain lemak, dan zat warna. Selanjutnya yang terlarut dalam NaOH terdiri dari senyawa karbohidrat dan lignin (Achmadi, 1990). Kegunaan zat ekstraktif yaitu, lemak merupakan sumber energi sel-sel kayu, sedangkan asam-asam resin, dan senyawa-senyawa fenol melindungi kayu terhadap kerusakan secara mikrobiologi atau serangan serangga.

Abu adalah mineral yang tertinggal dalam serat dan secara tidak langsung memberikan efek terhadap sifat fisik serat. Kadar zat ini bervariasi antara, 1-2 % dari berat kayu (Dumanauw, 1990).

2.3.2 Alkalisasi Serat

Alkalisasi pada serat merupakan metode yang digunakan untuk menghasilkan serat berkualitas tinggi dengan cara merendamkan serat ke dalam larutan basa alkali. Tujuan alkalisasi pada serat untuk memperoleh ikatan yang baik antara permukaan serat dengan matriks (Mohanty, 2005). Alkali memiliki tiga jenis larutan, yaitu KOH, NaOH, dan LiOH. NaOH adalah larutan yang sering digunakan untuk memodifikasi serat alam. Reaksi alkalisasi NaOH pada serat yaitu:



Proses alkalisasi akan menghilangkan komponen penyusun serat yang tidak mendukung ikatan yang kuat antara serat dan matriks, yaitu hemiselulosa, selulosa dan lignin. Dengan berkurangnya komponen serat tersebut, maka kekuatan serat akan semakin baik dikarenakan kekasaran permukaan serat akan semakin meningkat, sehingga menghasilkan ikatan mekanik yang baik antara serat dan matriks.

2.3.3 Deskripsi Pohon Waru

Pohon Waru yang memiliki nama ilmiah *hibiscus tiliaceus* termasuk tumbuhan pada suku kapas-kapasan atau malvaceae. Pohon tersebut juga dikenal sebagai waru laut. Pada Gambar 2.8 (a), tumbuhan ini tumbuh didaerah tropis dan berbagai kondisi tanah. Perbedaan pada batang pohon waru berdasarkan jenis tanah adalah pada kondisi tanah subur pohon waru tumbuh dengan batang yang lurus, namun pada tanah yang kurang subur batang pohon waru cenderung tumbuh membengkok, serta percabangan dan daun-daunnya lebih lebar. Pohon bisa mencapai tinggi 5-15 m. Diameter dari batang pohon waru sekitar 19 cm.

Manfaat dari pohon waru antara lain terdapat pada daun dan batang tanaman waru yang diketahui mengandung zat musilago yang sifatnya berfungsi untuk melapisi dinding saluran cerna, saluran kencing serta tenggorokan dan zat emolien bermanfaat sebagai pembasmi kuman (anti septik). Selain itu, kayu waru banyak dimanfaatkan untuk pembuatan ukiran sebagai cinderamata.

Perhatikan Gambar 2.8 (b), kulit batang pohon waru yang telah direndam dan dipukul-pukul, dapat diolah menjadi serat yang disebut *lulup waru* (dalam Bahasa Jawa). Serat ini sangat baik untuk dijadikan tali. Serat ini juga merupakan bahan yang penting, sebagai bahan dasar membuat jaring dan tas-tas kasar.



Gambar 2.8 (a) Pohon waru, (b) Kulit waru yang akan diekstrak untuk mendapatkan serat
Sumber: Widiatmoko (2016)

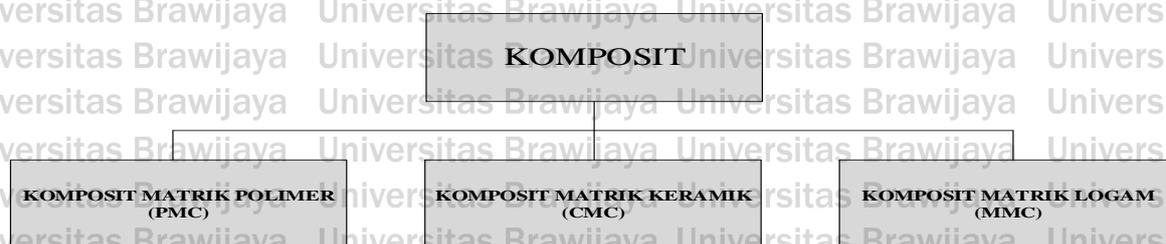
2.4 Matrik

Matriks merupakan bagian komposit yang membungkus dan mengelilingi bagian serat penguat, matriks inilah yang berfungsi melindungi serat penguat (*reinforcement*). Matriks harus memiliki kemampuan memanjang (*elongation*) yang tinggi dan modulus elastisitas lebih rendah dari serat penguat (Mazumdar, 2002). Menurut Mallick dan Mazumdar, fungsi utama dari matriks adalah sebagai berikut:

1. Matriks menjaga serat tetap ditempatnya, serta memberikan kekakuan dan bentuk terhadap struktur komposit yang terbentuk, dan menahan terjadinya retak.
2. Matriks mengikat serat atau penguat dengan membentuk ikatan yang koheren dengan serat dan matriks juga mendistribusikan tegangan beban ke dalam serat.
3. Matriks melindungi serat terhadap keadaan lingkungan yang merugikan, seperti bahan kimia yang berakibat korosi, dan kerusakan mekanik.

Matriks berperan penting dalam kekuatan tarik dan daya dukung dari struktur komposit. Interaksi antara serat dan matriks juga penting dalam merancang toleransi kerusakan pada struktur. Misalnya, untuk polimer *epoxy* digunakan sebagai matriks dalam berbagai komposit kedirgantaraan, karakteristik pengolahan meliputi viskositas cairan, temperatur,

dan waktu *curing* (Mallick, 2007). Matrik yang dapat digunakan dalam pembuatan komposit dapat berupa polimer (*Polymer Matrix Composite*), logam (*Metal Matrix Composite*), dan keramik (*Ceramic Matrix Composite*) seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Klasifikasi komposit berdasarkan jenis matrik
Sumber: Nurun (2015)

2.4.1 Komposit Matrik Polimer

Matrik polimer banyak digunakan dalam dunia manufaktur karena fleksibilitas dan kemudahan pengolahannya. Matrik polimer menurut sifatnya dibedakan menjadi dua, yaitu *thermoset resin* dan *thermoplastic resin*.

1. *Thermoset Resin*

Jenis resin *thermoset* termasuk *irreversible* yang berarti tidak dapat mengikuti perubahan temperatur. Sekali terjadi pengerasan, bahan *thermoset* tidak dapat dilunakkan dan dipakai kembali. Pemanasan yang tinggi tidak dapat melunakkan *thermoset* tetapi akan membentuk arang dan terurai. Contoh dari *thermoset* yaitu *Epoxy*, *phenolics*, *polyesters*, *vinylester*, *cyanate esters*, *bismaleimide (BMI)* and *Polyimide*, *Polyurethane*.

Keuntungan dari penggunaan resin jenis *thermoset* (Mazumdar, 2002)

- Serat lebih mudah basah, sehingga rongga dan porositas yang terjadi dapat berkurang.
- Pembuatan komposit lebih sederhana, biaya perkakas rendah.
- Pengolahan komposit termoset jauh lebih mudah karena sistem resin awal dalam keadaan cair.

Kekurangan dari proses *thermoset*

- Pengolahan komposit termoset membutuhkan waktu curing yang relative lama yang membuat kecepatan produksi lebih rendah dari thermoplastic.
- Setelah kering dan padatkan, komposit *thermoset* tidak dapat didaur ulang untuk mendapatkan bentuk lain.

2. Termoplastik

Thermoplastic masuk kedalam resin jenis *reversible*, karena jenis resin ini dapat dilunakkan dicairkan berulang kali (*recycle*) dengan menggunakan panas.

Thermoplastic akan meleleh pada temperatur tertentu, melekat mengikuti perubahan temperatur dan mempunyai sifat dapat balik (*reversible*) pada sifat aslinya, yaitu kembali mengeras bila didinginkan. Contoh dari *thermoplastic* yaitu *Nylons*,

Polypropylene (PP), *Polyetheretherketone* (PEEK), *Polyphenylene Sulfide* (PPS).

Berikut keuntungan dan kerugian dari *thermoplastic* (Mazumdar, 2002).

Keuntungan dari penggunaan *thermoplastic*

- Komposit *thermoplastic* dapat dan mudah didaur ulang dengan menggunakan panas dan tekanan dan pengolahan komposit *thermoplastic* relative lebih singkat.

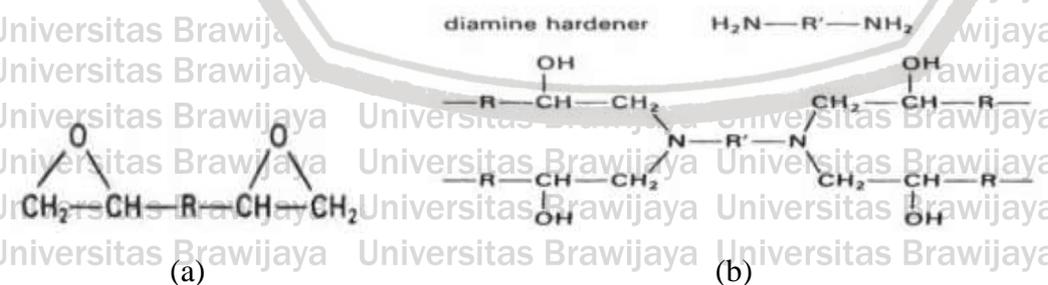
Kerugian dari proses *thermoplastic*

- Pengolahan komposit *thermoplastic* lebih rumit, dengan menyediakan perkakas yang canggih dan kuat untuk perlakuan panas dan tekanan. Hal ini yang membuat biaya produksi dengan resin *thermoplastic* mahal.

2.4.2 Resin Epoxy

Resin *epoxy* terdiri dari 2 bagian penyusun, diantaranya : *epoxy A* resin dan *hardener*.

Resin *epoxy* ini memiliki bentuk berupa cairan yang sangat kental serta padat. Penggunaan dari resin ini dengan cara menggabungkan atau mencampurkan antara resin dan *hardener* yang akan menghasilkan reaksi antara resin dan *hardener* yang bertujuan untuk membentuk polimer *crosslink*, sehingga akan terjadi pengerasan resin *Epoxy*. *Curing time* yang terjadi pada resin ini tergantung dari penggunaan *hardener*. Struktur kimia serta spesifikasi dari resin *epoxy* dapat dilihat pada Gambar 2.10 (a)-(b) dan Tabel 2.1.



Gambar 2.10 (a) Struktur kimia resin *epoxy* dengan R (bentuk bebas), (b) Struktur kimia resin *epoxy* dengan *hardener*

Sumber: Matthews (1994)

Tabel 2.1
Spesifikasi Resin *Epoxy*

Sifat Mekanik	Besaran	Satuan	Keterangan
<i>Tensile Strength, Yield</i>	70	MPa	ISO R527
<i>Elongation at Yield</i>	2.6	%	ISO R527
<i>Tensile Modulus</i>	2.8	GPa	ISO R527
<i>Toughness</i>	100	J	ASTM D399
<i>Density</i>	1.21	g/cc	ISO 1675 - 1975

Sumber : Matweb, 171/174/176 120°C *Curing Epoxy Matrix*

2.5 *Curing*

Curing adalah proses polimerisasi yang merubah material resin dari keadaan cair ke padat. Kecepatan pada proses curing ini berbeda-beda tergantung dari persentase katalis dan temperature yang digunakan. Pada suhu dibawah suhu ruangan, diperlukan waktu *curing* yang tepat untuk menghasilkan material komposit yang memiliki ikatan-ikatan yang kuat pada bahan-bahan pembentuk material tersebut (Ellis (1993)).

Adanya kenaikan suhu *curing* pada proses pembuatan material komposit dapat menaikkan kekuatan ikatan antar bahan pembentuknya. Kenaikkan suhu curing tersebut mempercepat proses polimerisasi yang memperkuat ikatan antar serat dan resin sehingga mengurangi rongga-rongga yang ada di dalam komposit sehingga dihasilkan komposit yang berkualitas baik (Ellis, 1993). Proses curing dapat dilakukan pada suhu dibawah temperatur 0 °C, ruangan atau diatas suhu ruangan. Alexander (2016), mendapatkan temperatur awal polimerisasi yaitu pada temperatur -30.64 °C yaitu dengan menggunakan *coolcase* atau *freezer*. Contoh Proses *curing* diatas suhu kamar dengan menggunakan oven, *hot oil*, *lamps method*, *steam method*, *autoclave*, *microwave* atau metode lainnya seperti *electron laser beam*, *radio frequency energy*, *ultrasonics*.

Beberapa tujuan dari proses curing, yaitu:

1. Memobilitas molekul matrik agar bereaksi secara sempurna.
2. Memberi kesempatan resin untuk mengalir sehingga dicapai distribusi yang merata yang dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit.

2.5.1 Proses *Curing Resin Epoxy*

Proses curing pada resin epoxy melewati tahapan-tahapan proses antara lain:

1. Polimerisasi antar molekul

Polimerisasi adalah proses reaksi kimia monomer untuk membentuk rantai polimer.

Polimer adalah suatu molekul besar atau makro molekul yang dibentuk atas susunan

mengakibatkan serat menjadi kering dan rapuh. Ketika temperatur *curing* rendah, serat akan menyerap air di lingkungan sehingga menambah kadar air di dalam serat.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{Berat basah} - \text{Berat kering}}{\text{Berat kering}} \times 100 \% \quad (2-1)$$

Sumber: Surdia dan Chijiwa (1980)

Dimana:

Berat basah : berat (awal) sebelum dilakukan perlakuan panas (gram)

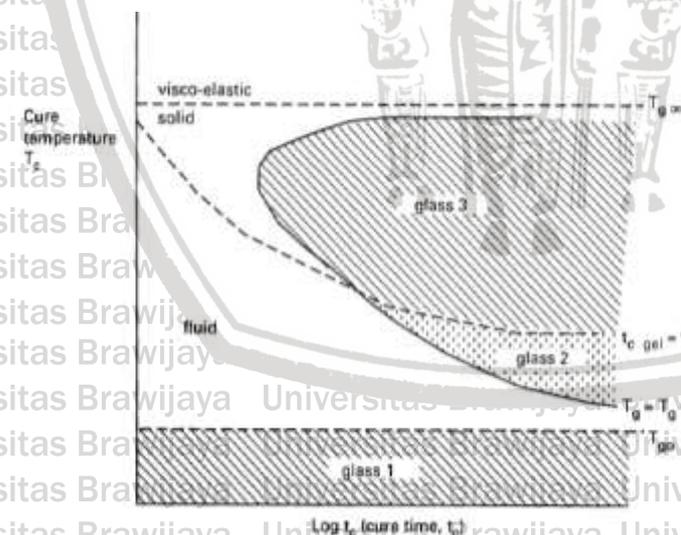
Berat kering : berat (akhir) setelah dilakukan perlakuan panas (gram)

2. Temperatur *curing* terhadap waktu *curing* pada resin *epoxy*

Cure Temperature (T_c) adalah temperatur yang digunakan dalam proses curing.

Temperature glass transition (T_g) adalah temperatur di mana polimer bertransisi dari gel ke bentuk padat. T_{g0} adalah *glass transition temperature* resin *epoxy* yang belum mengalami proses polimerisasi, Sedangkan $T_{g\infty}$ adalah *glass transition temperature* maksimum dari *epoxy* dan *hardener* yaitu pada suhu 180 °C (Ellis,1993).

Berdasarkan Gambar 2.12, pada fase *glass* (1) terjadi ketika $T_c < T_{g0}$, proses *crosslink* (ikatan antar molekul) yang terjadi sangat lambat sehingga dibutuhkan waktu yang lama untuk perubahan fase dari *fluid* menjadi *glass*. Pada fase *glass* (2) terjadi ketika $T_c \geq T_g$, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai fase *glass* menjadi lebih cepat dibandingkan fase *glass* (1). Pada fase *glass* (3) terjadi ketika $T_c > T_g$, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai fase *glass* menjadi lebih cepat dibandingkan fase *glass* (2).



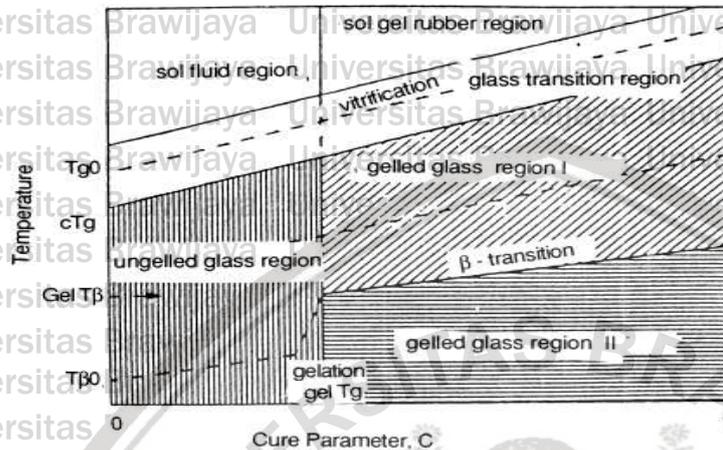
Gambar 2.12 Time temperatur transition diagram (TTT)

Sumber: Ellis (1993)

3. Temperatur *curing* terhadap *cure parameter* pada resin *epoxy*

Cure parameter (C) adalah parameter dari perbandingan T_c dan $T_{g\infty}$ yang digunakan untuk mengukur ikatan molekul *hardener* dan *epoxy*. T_B adalah temperature yang dimodifikasi pada suhu curing dibawah T_{g0} . Pada Gambar 2.13 dijelaskan bahwa $T_{g\infty}$ dan

$T_{\beta 0}$ berada pada parameter *cure* dengan nilai 1 dan nilai 0 untuk T_{g0} dan $T_{\beta 0}$. Dengan meningkatnya temperature maka nilai *cure parameter* semakin meningkat. Pada temperatur dibawah T_{g0} dengan jumlah cure temperature sama, perubahan bentuk dari polimerisasi resin dan hardener untuk mencapai fase vitrifikasi semakin sulit sehingga ikatan antar molekul menjadi lebih lambat.



Gambar 2.13 Cure temperature parameter diagram: versi modifikasi dari diagram t_g - t_p
Sumber: Ellis(1993)

Parameter *cure* (C) dapat diketahui dapat dihitung dengan rumus:

$$C = \frac{T_c - T_{g0}}{T_{g\infty} - T_{g0}} \quad (2-2)$$

Sumber: Ellis (1993)

Dimana:

C = Cure Parameter

T_c = Cure Temperature

T_{g0} = Glass Transition Temperature

$T_{g\infty}$ = Glass Transition Temperature Maksimum

2.6 Teori Ikatan Matriks dan Serat Penguat

Ketika matriks melapisi dan melekat pada serat penguat terjadi ikatan antar serat dengan matriks.ada beberapa macam ikatan yang terbentuk antara lain.

1. Ikatan mekanik (*Mechanical bonding*)

Matriks cair akan menyebar ke seluruh permukaan serat penguat dan mengisi setiap lekuk dan permukaan serat penguat yang kasar akan saling mengunci dan semakin kasar permukaan serat maka ikatan yang terjadi akan semakin kuat. Ilustrasi dari ikatan mekanik dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Ikatan mekanis

Sumber: Matthews (1994)

2. Ikatan elektrostatik (*elektrostatic bonding*)

Ikatan elektrostatik seperti yang diunjukkan pada Gambar 2.15, ikatan terjadi antara matriks dan serat penguat ketika salah satu permukaan yang mempunyai muatan positif dan permukaan lain mempunyai muatan negatif, sehingga terjadi tarik menarik antara dua permukaan tersebut.



Gambar 2.15 Ikatan elektrostatik

Sumber: Matthews (1994)

3. Ikatan reaksi (*Reaction bonding*)

Atom atau molekul dari dua komponen dalam komposit dapat bereaksi pada permukaan sehingga terjadi ikatan reaksi. Pada Gambar 2.16, ikatan ini akan membentuk lapisan permukaan yang mempunyai sifat yang berbeda dari kedua komponen tersebut ikatan ini dapat terjadi karena adanya difusi atom-atom permukaan dari komponen komposit



Gambar 2.16 Ikatan reaksi

Sumber: Matthews (1994)

2.7 Metode Manufaktur Komposit

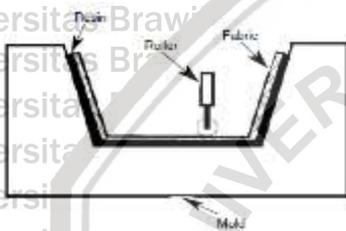
Pada zaman yang semakin maju dan modern ini, kemajuan teknologi juga mempengaruhi berkembangnya metode manufaktur komposit. Pada dasarnya metode manufaktur komposit terbagi menjadi dua proses, cetakan terbuka (*open-mold process*) dan cetakan tertutup (*close-mold process*).

2.7.1 Proses Cetakan Terbuka/ Open-Mold Process

Proses cetakan terbuka dibagi menjadi beberapa cara, yaitu:

1. *Hand Lay Up/ Contact Molding*

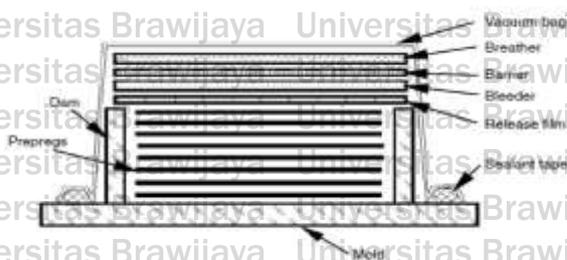
Hand lay-up adalah metode yang paling sederhana dan merupakan salah satu proses dengan metode cetakan terbuka dari proses fabrikasi komposit. Pada Gambar 2.17, proses dari pembuatan metode ini ditunjukkan dengan cara menuangkan resin dengan tangan kedalam serat berbentuk anyaman, rajuan atau kain, kemudian memberi tekanan sekaligus meratakannya menggunakan rol atau kuas. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan yang diinginkan tercapai. Pada proses ini resin langsung berkontak dengan udara dan biasanya proses pencetakan dilakukan pada temperatur kamar.



Gambar 2.17 *Hand lay up*
Sumber: Mazumdar (2002)

2. *Vacuum bag*

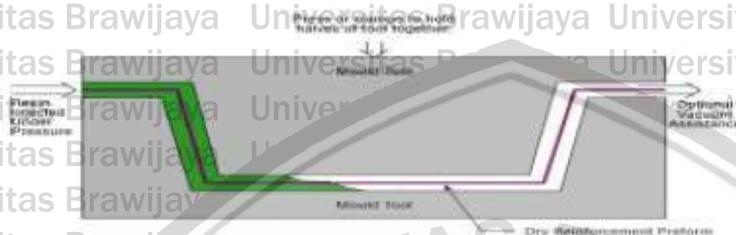
Proses *vacuum bag* merupakan penyempurnaan dari *hand lay-up*, seperti pada Gambar 2.18, penggunaan dari proses vakum ini adalah untuk menghilangkan udara yang terperangkap dan kelebihan resin. Pada proses ini digunakan pompa vakum untuk menghisap udara yang ada dalam wadah/tempat dimana komposit akan dilakukan proses pencetakan. Dengan divakumkan udara dalam wadah maka udara yang ada diluar penutup plastik akan menekan kearah dalam. Hal ini akan menyebabkan udara yang terperangkap dalam spesimen komposit akan dapat diminimalkan. Metode vakum memberikan penguatan konsentrasi yang lebih tinggi, adhesi yang lebih baik, dan kontrol yang lebih antara lapisan dan resin.



Gambar 2.18 *Vacuum bag*
Sumber: Mazumdar (2002)

3. *Pressure bag*

Pressure bag memiliki kesamaan dengan metode *vacuum bag*, perbedaannya adalah metode ini tidak memakai pompa vakum tetapi menggunakan udara atau uap bertekanan yang dimasukkan melalui suatu wadah elastis. Wadah elastis ini yang akan berkontak pada komposit yang akan dilakukan proses. Besar tekanan yang diberikan pada proses ini adalah sebesar 30 sampai 50 psi. Ilustrasi *pressure bag* dapat dilihat pada Gambar 2.19.

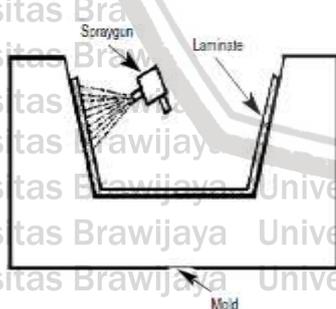


Gambar 2.19 *Pressure bag*

Sumber: Setyanto (2012)

4. *Spray-up*

Spray-up merupakan metode cetakan terbuka yang dapat menghasilkan bagian-bagian yang lebih kompleks dan lebih ekonomis dari *hand lay-up*. Pada Gambar 2.20, proses *spray-up* dilakukan dengan cara penyemprotan serat (*fiber*) yang telah melewati tempat pemotongan (*chopper*). Sementara resin yang telah dicampur dengan katalis juga disemprotkan secara bersamaan wadah tempat pencetakan *spray-up* telah disiapkan sebelumnya. Setelah itu proses selanjutnya adalah dengan membiarkannya mengeras pada kondisi atmosfer standar. Teknologi ini menghasilkan struktur kekuatan yang rendah, yang biasanya tidak termasuk pada produk akhir. *Spray-up* ini juga digunakan secara terbatas untuk mendapatkan *fiberglass splash* dari alat transfer.



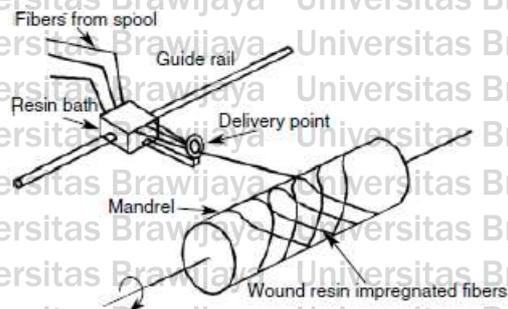
Gambar 2.20 *Spray up*

Sumber: Mazumdar (2002)

5. *Filament Winding*

Fiber tipe roving atau *single strand* dilewatkan melalui wadah yang berisi resin, kemudian *fiber* tersebut akan diputar sekeliling mandrel yang sedang bergerak dua arah, arah radial dan arah tangensial. Proses ini dilakukan berulang, sehingga cara ini

didapatkan lapisan serat dan sesuai dengan yang diinginkan. Metode *filament winding* dapat dilihat pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Filament winding

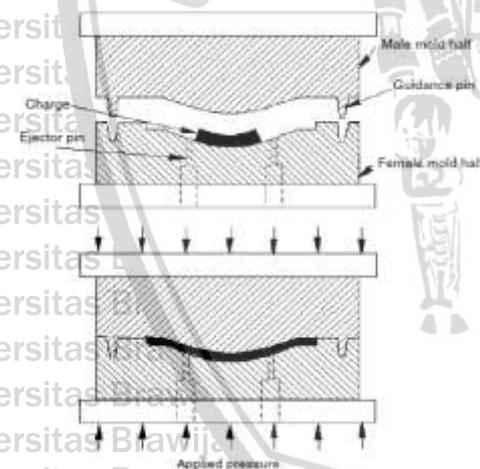
Sumber: Mazumdar (2002)

2.7.2 Proses Cetakan Tertutup/ Closed Mold Processes

Proses cetakan tertutup dibagi menjadi beberapa cara, yaitu:

1. Proses Cetakan Tekan (*Compression Molding*)

Proses cetakan ini menggunakan *hydraulic* sebagai penekannya. Dapat dilihat pada Gambar 2.22, Serat yang telah dicampur dengan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan, kemudian dilakukan penekanan dan pemanasan.

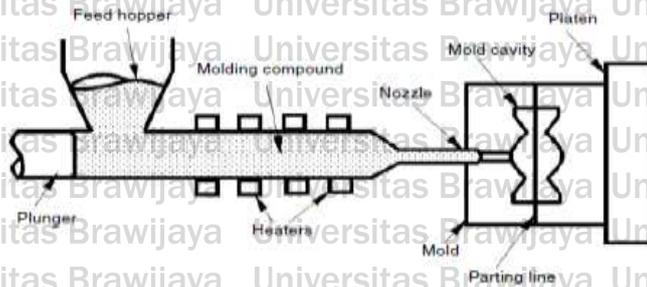


Gambar 2.22 Compression molding

Sumber: Mazumdar (2002)

2. Injection Molding

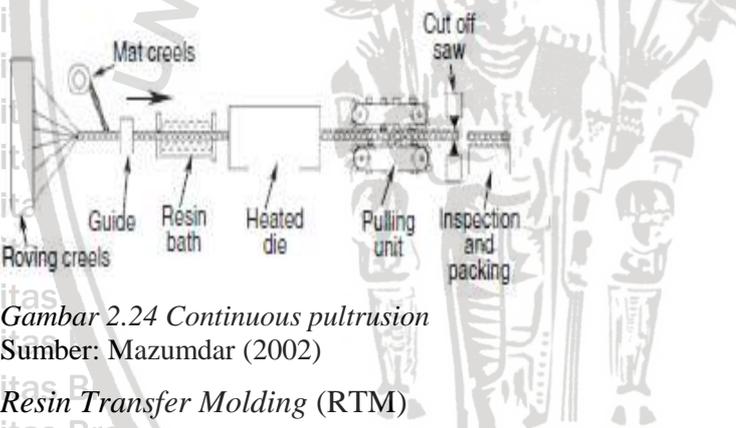
Metode *injection molding* juga dikenal sebagai reaksi pencetakan cairan atau pelapisan tekanan tinggi. Pada Gambar 2.23, dijelaskan bahwa *fiber* dan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan bagian atas, kondisi temperatur dijaga supaya tetap dapat mencairkan resin. Resin cair beserta *fiber* akan mengalir ke bagian bawah, kemudian injeksi dilakukan oleh mandrel ke arah *nozlel* menuju cetakan.



Gambar 2.23 Injection molding
Sumber: Mazumdar (2002)

3. Continuous Pultrusion

Fiber jenis roving dilewatkan melalui wadah berisi resin, kemudian secara kontinu dituangkan ke cetakan pra cetak dan diawetkan (*cure*), kemudian dilakukan pengerolan sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Atau juga bisa disebut sebagai penarikan serat dari suatu jaring atau *creel* melalui bak resin, kemudian dilewatkan pada cetakan yang telah dipanaskan. Fungsi dari cetakan tersebut ialah mengontrol kandungan resin, melengkapi pengisian serat, dan mengeraskan bahan menjadi bentuk akhir setelah melewati cetakan. Skema dari continuous pultrusion dapat dilihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24 Continuous pultrusion
Sumber: Mazumdar (2002)

4. Resin Transfer Molding (RTM)

Resin Transfer Molding (RTM) atau biasa disebut *resin infusion* adalah metode pembuatan komposit dengan menggunakan aplikasi tekanan rendah untuk mengatur jalannya resin menjadi lamina. Setelah lembaran-lembaran antara resin dan matrik sudah terbentuk, *vacuum* akan menghisap sisa-sisa resin yang tertinggal sehingga lembaran komposit yang terbentuk memiliki ketebalan yang sama. Metode *resin infusion* dapat dilihat pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25 Resin transfer molding

Sumber: Mazumdar (2002)

2.8 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik merupakan kekuatan untuk menerima beban tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum bahan sebelum patah. Kekuatan tarik dapat dicari dengan cara melakukan uji tarik. Pada uji tarik spesimen dibebani gaya tarik searah sumbu secara kontinyu untuk memperoleh informasi dari kekuatan bahan dan sebagai uji spesifikasi bahan.

2.8.1 Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan tegangan regangan dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Tegangan tarik merupakan distribusi gaya tarik persatuan luas bahan, dirumuskan:

$$\sigma_T = \frac{F}{A} \quad (2-2)$$

Sumber: Avner (1974)

Dimana:

σ_T = Tegangan tarik (N/mm²)

F = Gaya tarik (N)

A = Luas penampang (mm²)

2. Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang awal, dirumuskan:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2-3)$$

Sumber: Avner (1974)

Dimana:

ϵ = Regangan (%)

l_0 = Panjang awal (mm)

Δl = Pertambahan panjang (mm)

Untuk hampir semua bahan material tahap uji tarik hubungan antara beban atau gaya yang diberikan pada bahan percobaan berbanding lurus terhadap perubahan panjang bahan tersebut, ini disebut daerah linier.

3. Modulus Elastisitas merupakan keseimbangan antara tegangan dan regangan dibawah batas proporsional.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2-4)$$

Sumber: Avner (1974)

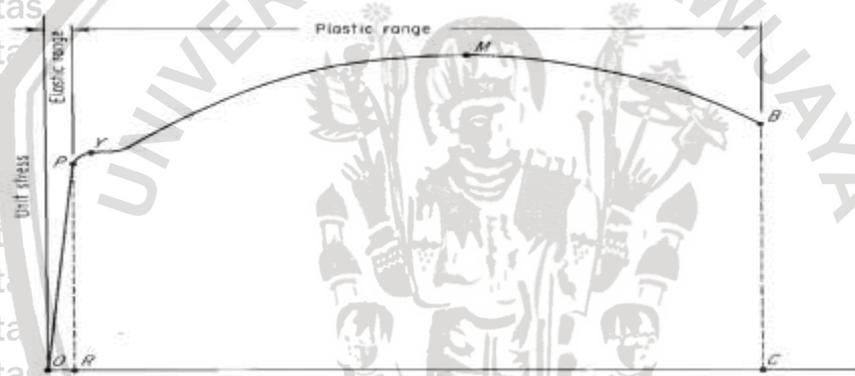
Dimana:

E = Modulus Elastisitas (Mpa)

ϵ = Regangan (%)

σ = Tegangan tarik (MPa)

Hubungan antara regangan dan tegangan juga dapat diketahui dengan jelas dari grafik tegangan-regangan yang berdasarkan hasil uji tarik sebagai berikut:



Gambar 2.26 Hubungan tegangan dengan regangan

Sumber: Avner (1974)

Istilah mengenai sifat-sifat mekanik bahan dengan melihat hasil uji tarik diatas.

Asumsikan bahwa kita melakukan uji tarik mulai titik O sampai B sesuai dengan arah panah dalam Gambar 2.26.

4. Daerah Elastis (*Elastic Range*)

Dalam Gambar 2.26 diatas daerah elastis dinyatakan pada titik O sampai dengan R.

Daerah elastis adalah tegangan terbesar yang dapat ditahan logam tanpa mengalami regangan permanen ketika beban dilepaskan.

5. Batas proporsional (P)

Dalam gambar 2.26 diatas daerah proporsional dinyatakan pada titik P. Batas

Proporsional adalah batas dari keseimbangan antara pertambahan tegangan dan regangan yang ditandai dengan penyimpangan linearitas kurva tegangan-regangan.

6. Tegangan luluh (*Yield Stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing, peralihan deformasi elastis ke plastis.

7. Daerah plastis

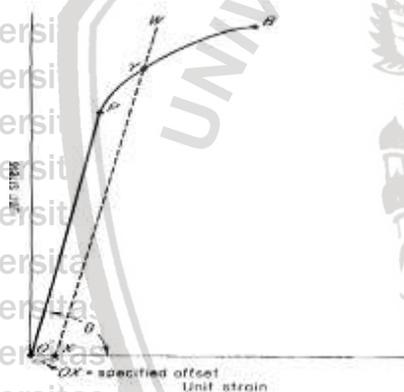
Daerah dimana terjadinya deformasi plastis yang terjadi setelah *yield strength* sampai *fracture*. Kenaikan tegangan regangan merupakan fungsi *polynomial* sampai titik *ultimate strength*, kemudian putus sampai *fracture*.

8. *Ultimate Tensile Strength (M)*

Titik terjadinya tegangan regangan tertinggi yang dapat dicapai material atau spesimen. Pada saat titik *Ultimate (M)*, spesimen mengalami *necking* (pengecilan penampang) dengan diikuti penurunan tegangan, tapi panjangnya tetap bertambah sampai akhirnya putus.

9. *Fracture (B)*

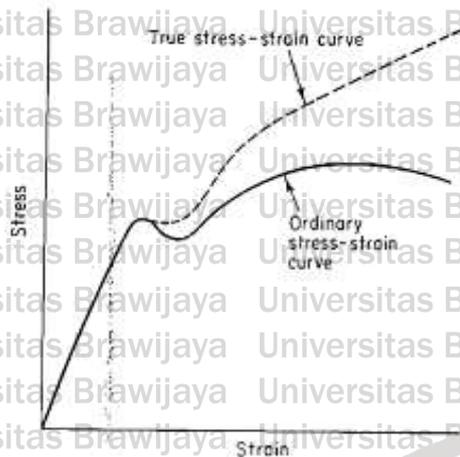
Titik dimana terjadinya patahan pada spesimen.



Gambar 2.27 Metode *offset*

Sumber: Avner (1974)

Pada Gambar 2.27, ditunjukkan dengan titik *B*, merupakan besar tegangan dimana bahan yang di uji putus atau patah. Apabila suatu proses material dihasilkan dengan tegangan-regangan yang tidak memperlihatkan titik luluh/ *yield*, maka mencarinya dengan metode *offset*, yaitu menarik garis lurus sejajar dengan diagram tegangan dimulai dari titik 0 regangan yang digunakan sebagai acuan dengan jarak 0,2% dari regangan maksimum. Perpotongan garis *offset* dengan kurva tegangan regangan itulah tegangan *yield* dari bahan tersebut.

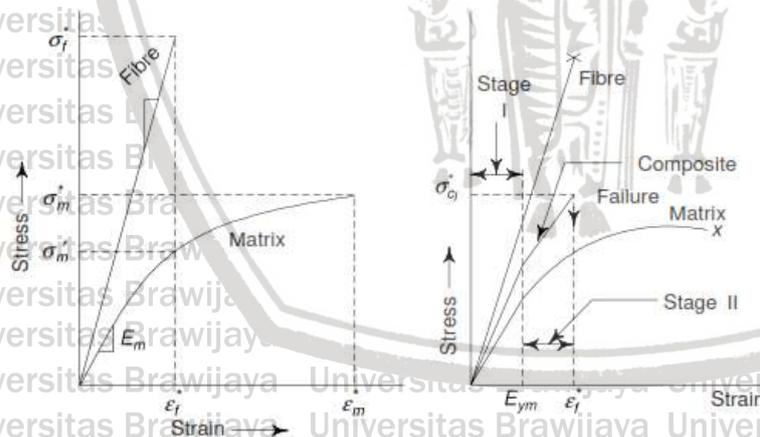


Gambar 2.28 Hubungan tegangan regangan rekayasa dan sejati
Sumber: Avner (1974)

Kurva tegangan regangan pada Gambar 2.28 menunjukkan perbedaan tegangan regangan rekayasa dengan sejati. Tegangan regangan rekayasa dari hasil pengukuran benda uji tarik, sedangkan tegangan regangan sejati dapat dihitung dengan membagi gaya (F) dengan penampang awal benda kerja (A_0).

2.8.2 Tegangan regangan bahan polimer

Hubungan antara regangan dan tegangan juga dapat diketahui dengan jelas dari grafik tegangan-regangan yang berdasarkan hasil uji tarik sebagai berikut.



Gambar 2.29 Grafik tegangan-regangan polimer
Sumber: Kakani (2004)

Dalam buku *Material Science*, Kakani (2004) menuliskan tentang kurva tegangan regangan yang dimiliki oleh komposit. Pada dasarnya komposit merupakan gabungan dari dua material yang bersifat *brittle* (*fiber*) dan bersifat *ductile* (*matrix*). Pada grafik tersebut terlihat bahwa kurva tegangan regangan komposit berada ditengah tengah antara kurva

tegangannya regangan *fiber* dan *matrix*. ini terjadi dikarenakan komposit merupakan gabungan dari *fiber* dan *matrix* yang saling melengkapi sehingga membentuk suatu material baru yang lebih tepat guna.

2.8.3 Elastisitas dan Plastisitas

1. Elastisitas

Kemampuan suatu material untuk kembali ke bentuk atau ukuran semula saat tegangan yang diberikan dihilangkan.

2. Kekakuan

Merupakan kemampuan bahan menerima beban atau ketegangan tanpa menyebabkan perubahan bentuk (deformasi atau defleksi).

3. *Resilient*

Merupakan kemampuan menyerap energi tanpa terjadi deformasi plastis. Biasanya dinyatakan dalam *modulus resilient* (energi yang diserap untuk meregangkan satu satuan volume bahan sampai batas plastis).

4. Plastisitas

Kemampuan suatu material untuk mengalami sejumlah deformasi plastis (permanen) tanpa mengalami patah dan dinyatakan dalam presentase perpanjangan atau presentase pengurangan luas penampang. Keuletan menunjukkan kemampuan material untuk dibentuk tanpa mengalami patah. material yang memiliki kualitas tinggi, kerusakan dapat diketahui secara dini dengan melihat deformasi yang mendahului bahan tersebut patah.

5. Keuletan

Merupakan kemampuan suatu material untuk berdeformasi plastis tanpa mengalami patah dan dinyatakan dalam presentase perpanjangan atau presentase pengurangan luas penampang. Keuletan menunjukkan kemampuan logam untuk dibentuk tanpa mengalami patah/retak,

6. Ketangguhan

Ketangguhan dinyatakan dalam *modulus ketangguhan* (banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan bahan persatuan volume) dan sangat sulit untuk diukur karena dipengaruhi oleh cacat, bentuk, ukuran bahan, dan kondisi pembebanan.

7. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik merupakan kekuatan untuk menerima beban tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimum bahan sebelum patah.

2.9 Cacat Pada Komposit

Dalam proses pembuatannya, sangat memungkinkan apabila terjadi cacat pada produk hasil proses manufaktur.

1. Cacat material merupakan cacat yang terjadi sebelum material penyusun komposit mengalami proses manufaktur dan merupakan cacat material penyusun komposit.

a. Cacat Serat

Merupakan cacat yang terjadi akibat kualitas serat yang kurang baik, serat yang tersobek, terlipat, dan berlubang tentunya mempengaruhi kualitas dari produk komposit yang dihasilkan.

b. Cacat Matrik

Merupakan cacat yang terjadi pada matrik sebelum dicampurkan dengan serat, cacat ini terjadi akibat komposisi campuran matrik yang tidak sesuai sehingga matrik memasuki *gelling time*.

2. Cacat produk merupakan cacat yang terjadi pada produk komposit setelah mengalami proses pembuatan dan manufaktur komposit.

a. *Porosity/Void*

Merupakan cacat yang terbentuk karena adanya gelembung udara yang terperangkap pada produk komposit pada saat proses curing akibat kurang meratanya resin yang dicampurkan pada permukaan *fiber*.

b. *Resin Rich*

Merupakan cacat yang terjadi akibat terlalu berlebihannya resin yang diberikan sehingga melewati batas idealnya.

c. *Resin Starved*

Merupakan cacat yang terjadi akibat kurangnya resin yang diberikan pada komposit.

d. *Delaminasi*

Merupakan cacat yang terjadi karena terpisahnya lamina satu dengan lainnya sehingga menurunkan sifat mekanisnya.

e. *Fiber Ringkle*

Merupakan cacat pada komposit dimana serat pada produk komposit mengalami pengerutan didalam komposit.

f. *Excess Resin*

Merupakan cacat komposit dimana terdapat penumpukan matrik pada salah satu bagian komposit.

g. *Improppter Pressure*

Merupakan cacat pada produk komposit dikarenakan tekanan yang diberikan pada komposit pada saat proses curing tidak sesuai dengan yang dibutuhkan.

h. *Debonding*

Merupakan cacat yang terjadi akibat kurangnya ikatan antara matrik dan serat sehingga kekuatan komposit menurun.

i. *Shrinkage*

Merupakan cacat yang terjadi akibat penyusutan dimensi komposit sehingga tidak sesuai dengan dimensi awal.

2.10 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka diatas dapat diambil hipotesis bahwa pengaruh variasi temperatur *curing* menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda dari komposit yang dihasilkan. Pengaruh temperatur pada serat, semakin tinggi temperatur curing maka kadar air semakin menurun. Hal ini disebabkan terdegradasinya hemiselulosa pada serat. Pengaruh temperatur curing pada matrik, semakin tinggi temperatur *curing* akan mempercepat waktu pengikatan antar molekul dari matrik sehingga proses polimerisasi *epoxy* dan *hardener* menjadi lebih sempurna. Pengaruh temperatur *curing* terhadap komposit, semakin tinggi temperatur curing menyebabkan terdegradasinya hemiselulosa pada serat sehingga ikatan resin dan serat semakin meningkat. semakin meningkatnya ikatan matrik dan serat maka kekuatan tarik pada komposit semakin tinggi.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimental nyata (*true experimental research*) untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *curing* terhadap kekuatan tarik komposit dari serat kulit pohon waru (*hibiscus tiliaceus*).

3.2 Tempat Pengambilan Data Pengujian

Penelitian ini mulai dilaksanakan pada Maret 2018 hingga selesai dan laboratorium yang digunakan pada penelitian ini, antara lain:

1. Proses Produksi

Ruangan Produksi Komposit Gedung Mesin II Universitas Brawijaya

2. Proses *Curing*

Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin.

3. Uji Tarik Komposit dan Matrik *Epoxy*

Laboratorium Material UIN Malang Fakultas Sains dan Teknologi Jurusan Fisika.

4. Uji Tarik Serat Tunggal

Laboratorium Material Universitas Brawijaya Fakultas MIPA Jurusan Fisika.

5. Uji SEM

Laboratorium Sentral Universitas Brawijaya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin.

6. Uji Kadar Air

Laboratorium Pengcoran Logam Universitas Brawijaya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin.

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang bebas ditentukan nilainya sebelum dilakukan penelitian. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah variasi temperatur *curing* yaitu: $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel hasil yang nilainya tidak dapat ditentukan oleh peneliti dan tergantung pada nilai variabel bebasnya. Dalam penelitian ini variabel terikat yang diamati adalah kekuatan tarik komposit serat kulit pohon waru.

3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang ditentukan oleh peneliti dan nilainya ditentukan konstan. Dalam hal ini yang menjadi variabel terkontrol adalah:

1. Metode pembuatan spesimen yang digunakan adalah *Vacuum Infusion*.
2. Menggunakan serat kulit pohon waru (*hibiscus tiliaceus*) jenis *woven* dengan jumlah *layer* sebanyak 6 *layer* dengan orientasi *serat* $0^{\circ}/90^{\circ}$.
3. Menggunakan fraksi berat 60% serat dan 40% resin.
4. Menggunakan resin jenis Epoxy dan hardener EPH-555 dengan perbandingan 2:1 yaitu 60 gram resin dan 30 gram hardener.
5. Jumlah NaOH yang digunakan untuk merendam serat sebanyak 6% dari jumlah air yang digunakan.
6. NaOH yang digunakan sebagai larutan alkali memiliki kadar kemurnian NaOH sebesar 98% dengan waktu perendaman selama 120 menit.
7. Uji tarik menggunakan standar ASTM D638-01.
8. Proses curing dilakukan selama 12 jam.

3.4 Bahan dan Peralatan yang Digunakan

3.4.1 Bahan

1. Resin dan Katalis

Resin ini berbentuk cairan kental yang digunakan untuk penguat pada komposit atau serat. *Hardener* adalah cairan yang berfungsi untuk mempercepat proses pengerasan pada resin. Resin dan katalis dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Resin dan hardener

Sumber: Dokumentasi pribadi

2. Serat

Serat adalah bahan penguat yang memiliki kekuatan serta kekakuan yang bagus. Serat yang digunakan adalah serat kulit pohon waru. Serat dan spesifikasi kulit pohon waru dapat dilihat pada gambar 3.2 dan Tabel 3.1.



Gambar 3.2 Serat kulit pohon waru bentuk lembaran dan bentuk anyaman
Sumber: Dokumentasi pribadi

Tabel 3.1
Komposisi Serat Kulit Pohon Waru

No	Komposisi	% Berat
1	lignin	19,08
2	Zat ekstraktif	10,90
3	Abu	1,89
4	Selulosa	45,91
5	Hemiselulosa	24,22

Sumber: Dian (2016)

3. Larutan Alkalisasi

Larutan alkali (NaOH) *Natrium Hidroxida* dengan kemurnian 98% adalah larutan yang digunakan untuk membersihkan lignin, selulosa dan hemiselulosa. Untuk meningkatkan ikatan antara serat dan matrik. Larutan alkalisasi dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Larutan alkali

Sumber: Dokumentasi pribadi

3.4.2 Alat

1. Mesin Uji Tarik Serat

Mesin uji tarik berfungsi untuk pengujian tarik dari komposit seperti pada Gambar 3.4.

Spesifikasi alat:

Produksi : IMADA CO LTD

Model : ZTS

Kapasitas : 50 N

Tingkat akurasi : 0,2 %

Metode Operasi : kontrol computer



Gambar 3.4. Mesin uji tarik serat tunggal

Sumber : Laboratorium Fisika Material Universitas Brawijaya Fakultas MIPA Jurusan Fisika

2. Mesin Uji Tarik Komposit

Mesin uji tarik berfungsi untuk pengujian tarik dari komposit seperti pada Gambar 3.5.

Spesifikasi alat:

Produksi : Dogguan Liyi Test Equipment Co., Ltd.

Model : LY-1066B

Kapasitas : 1000 kg

Tingkat akurasi : 0,5 %

Ruang tarik efektif : 1200 mm (mengandung grips)

Lebar tes yang efektif : 320 mm

Uji kekuatan resolusi : 1/150.000

Tes kecepatan : 50 ~ 500 mm/min

Metode operasi : kontrol komputer

Voltage : 220 V, 50 Hz



Gambar 3.5 Mesin uji tarik komposit

Sumber: Laboratorium Material UIN Malang Fakultas MIPA Jurusan Fisika.

3. Cetakan

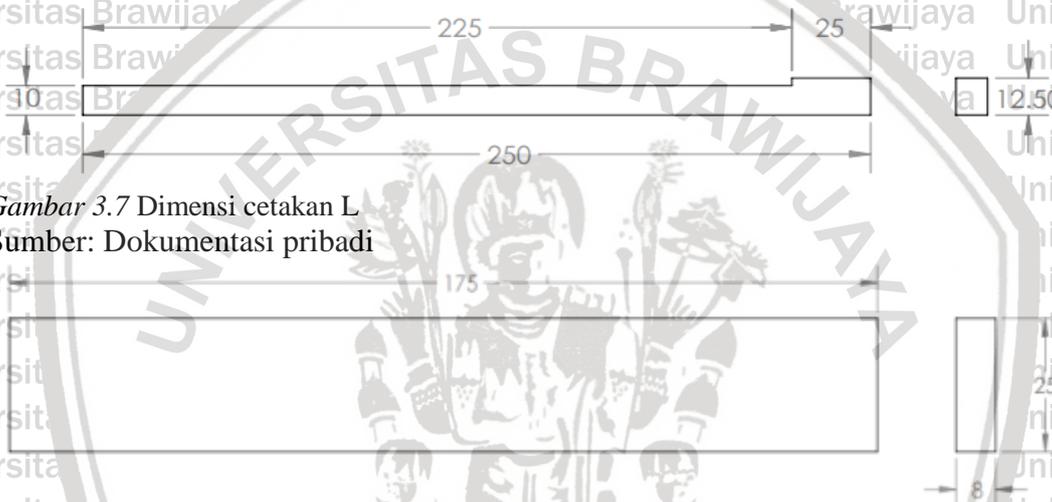
Cetakan yang digunakan berbentuk 'L' sebanyak 2 buah dengan tebal 1 cm dan cetakan berbentuk balok dengan tebal 0,8 mm. Bahan cetakan akrilik dan aluminium.

Cetakan dan dimensi ditunjukkan pada Gambar 3.6, Gambar 3.7 dan Gambar 3.8.



Gambar 3.6 Cetakan akrilik dan logam

Sumber: Dokumentasi pribadi



Gambar 3.7 Dimensi cetakan L

Sumber: Dokumentasi pribadi

Gambar 3.8 Dimensi cetakan balok

Sumber: Dokumentasi pribadi

4. Timbangan digital

Timbangan digital untuk mengukur berat dari serat, matrik, katalis dan promotor, serta untuk membuat larutan alkali. Timbangan digital dapat dilihat pada Gambar 3.9.

Spesifikasi alat:

Kapasitas : 100 gram

Ketelitian : 0.01 gram

Dimensi : 113 mm x 73 mm x 15 mm



Gambar 3.9 Timbangan digital

Sumber: Dokumentasi pribadi

5. Sealent Tape

Berfungsi Sebagai perekat dan mencegah kebocoran. *Sealent tape* dapat dilihat pada

Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Sealent tape

Sumber: Dokumentasi pribadi

6. Release Agent

Release agent berfungsi untuk memudahkan melepas komposit dari cetakan. *Release*

agent yang digunakan adalah *release agent mirror glaze* seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Mirror glaze

Sumber: Dokumentasi pribadi

7. Mesh

Mesh berfungsi sebagai jalan masuk resin dan pesebaran resin. Mesh dapat dilihat pada

Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Mesh

Sumber: Dokumentasi pribadi

8. Plastic Bag

Plastic Bag berfungsi sebagai penjebak udara dalam ruang agar tidak ada yang masuk dari lari dan menjaga udara agar hanya keluar melalui T-Connector. Plastic Bag dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Plastic bag

Sumber: Dokumentasi pribadi

9. Vacuum Compressor

Berfungsi sebagai pemberi ruang hampa dengan menghisap udara yang ada pada tempat cetakan. Vacuum Compressor dapat dilihat pada Gambar 3.14.

Spesifikasi alat:

Model : VE2100N

Flow rate : 12.0 CFM

Ultimate Vacuum : 15 micron

Voltage/Frequency : 230 V / 50-60 Hz

Power : 1 HP



Gambar 3.14 Vacuum compressor

Sumber: Dokumentasi pribadi

10. Resin Trap

11. Berfungsi sebagai penampung resin agar tidak masuk terus sampai ke Vacuum

Compressor. Resin Trap dapat dilihat pada Gambar 3.15.

Spesifikasi alat:

Tekanan maksimum : -1 bar / -30 hg

Kapasitas : 10 Liter



Gambar 3.15 Resin trap

Sumber: Dokumentasi pribadi

12. Kaca

Berfungsi sebagai alas cetakan seperti pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Kaca

Sumber: Dokumentasi pribadi

13. Dapur Listrik

Alat ini digunakan untuk proses pemanasan (heating), penahanan (holding), atau pendinginan (cooling) dalam dapur pada benda kerja. Dapur Listrik dapat dilihat pada

Gambar 3.17.

Spesifikasi alat:

Produksi	: HOFFMANN Industrieofenbau, Leinz - Austria
Type	: K1
Voltage	: 3-380 V, 50 Hz
Power	: 6,6 kW 10 A
Temperatur maksimal	: 1200 °C
Berat	: 250 kg
Tahun Pembuatan	: 1991



Gambar 3.17 Dapur listrik

Sumber: Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya Fakultas Teknik
Jurusan Teknik Mesin

14. *Cool Case*

Alat ini digunakan untuk proses *curing* dengan temperature -5°C . *Coolcase* dapat dilihat pada Gambar 3.18.

Spesifikasi alat:

Produksi : PT Toshiba Indonesia, Cikarang - Indonesia

Type : Toshiba Glacio Xd7

Dimensi : 70 X 63 X 62 cm

Daya : 55 Watt

Kapasitas : 70 L



Gambar 3.18 Cool case

Sumber: Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya Fakultas Teknik
Jurusan Teknik Mesin

15. *Dremel*

Alat ini digunakan untuk proses pemotongan spesimen seperti pada Gambar 3.19.

Produksi : Mexico

Daya Listrik : 120 Watt

Kec. Putar : 10000-32000 rpm

Kapasitas Collet : 3mm (1/8")



Gambar 3.19 Dremel

Sumber: Dokumentasi pribadi

16. Vernier caliper

Alat ini digunakan untuk proses pengukuran spesimen seperti pada Gambar 3.20.

Merk : Krisbow (Digital Caliper)

Ukuran : 200 mm & 8 in

Akurasi : 0.01 mm & 1/128 in



Gambar 3.20 Vernier caliper

Sumber: Laboratorium Metrologi Industri Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

17. Moisture Analyzer

Alat ini digunakan untuk mengukur kandungan kadar air seperti pada gambar 3.21.

Spesifikasi alat :

Merk : Saitorius

Voltase : 100-120/220-290 VAC

Model : MA 30

Frekuensi : 50-60 Hz

Arus : 3,3 A / 1,6 A

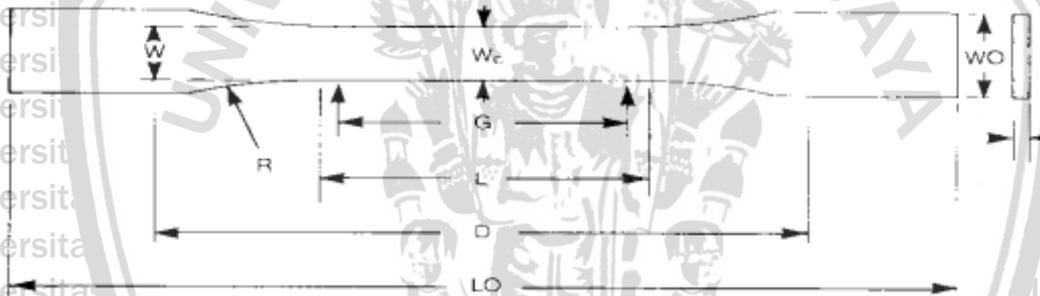


Gambar 3.21 Moisture Analyzer

Sumber: Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

3.5 Uji Tarik Komposit

Spesimen uji tarik pada pengujian tarik ini menggunakan bentuk spesimen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22 Dimensi spesimen tarik berdasarkan ASTM D638-01

Sumber: ASTM D638-01, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic*

Ukuran spesimen uji tarik berdasarkan standar ASTM dapat dilihat pada Tabel 3.2.

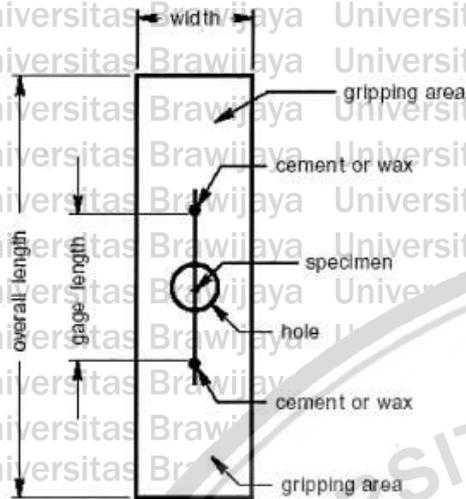
Tabel 3.2
Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D638-01

Dimension	Value, mm
Thickness, T	2
Width of narrow selection, W	13
Length of narrow selection, L	57
Width overall, WO	19
Length overall, LO	165
Gauge length, G	50
Distance between grips, D	115
Radius of fillet, R	76

Sumber: ASTM D638-03, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic*

3.6 Uji Tarik Serat Tunggal

Spesimen uji tarik pada pengujian tarik ini menggunakan bentuk spesimen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Dimensi pengujian tarik serat tunggal berdasarkan ASTM C1557

Sumber: ASTM C1557, *Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers*

Ukuran spesimen uji tarik berdasarkan standar ASTM dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3

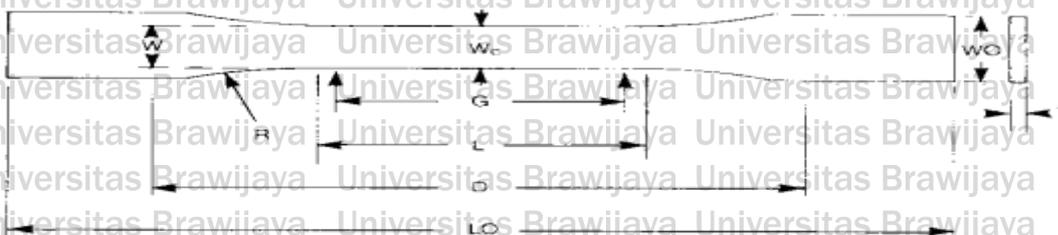
Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM C1557

Dimension	Value, mm
Length overall	160
Gage length	100
Width	30

Sumber: ASTM 1557, *Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers*

3.7 Uji Tarik Matrik Epoxy

Spesimen uji tarik pada pengujian tarik ini menggunakan bentuk spesimen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.24.



Gambar 3.24 Dimensi spesimen tarik berdasarkan ASTM D638-02

Sumber: ASTM D638-02, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic*

Ukuran spesimen uji tarik berdasarkan standar ASTM dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4
Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D638-02

Dimension	Value, mm
Thickness, T	5
Width of narrow selection, W	6
Length of narrow selection, L	57
Width overall, WO	19
Length overall, LO	183
Gauge length, G	50
Distance between grips, D	133
Radius of fillet, R	76

Sumber: ASTM D638-02, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic*

3.8 Proses Pelaksanaan

3.8.1 Proses Perendaman Alkali Serat

Pada proses alkalisasi dilakukan tahapan-tahapan proses pengerjaan, antara lain:

1. Siapkan peralatan, antara lain: timbangan, gelas ukur, sendok pengaduk.
2. Siapkan bahan, antara lain: aquades, NaOH 98 % dan serat kulit pohon waru.
3. Gunakan perlengkapan safety, antara lain: kaos tangan, masker.
4. Timbang NaOH sebanyak 6% dari jumlah aquadest yang digunakan.
5. Tuangkan aquades kedalam gelas ukur.
6. Masukkan NaOH kedalam gelas ukur yang telah dituangkan aquades.
7. Rendam serat kulit pohon waru pada larutan alkali yang telah disiapkan.
8. Serat kulit pohon waru direndam selama 120 menit.
9. Jika perendaman telah mencapai 120 menit, maka serat di cuci dengan air bersih dan kemudian dikeringkan.

3.8.2 Proses Pembuatan Serat untuk Uji Kekuatan Tarik Serat Tunggal

Proses pembuatan serat tunggal dilakukan tahapan-tahapan proses pengerjaan, antara lain :

1. Persiapkan serat kulit pohon waru, kertas, jarum, spons, dan lem yang akan digunakan.
2. Tusukkan 1 buah jarum pada spons, Spons berguna agar posisi jarum tegak lurus.
3. Ukur Serat kulit pohon waru dengan ukuran panjang serat 16 cm.
4. Gunakan penggaris dan pensil untuk memberi tanda pada serat kulit pohon waru.

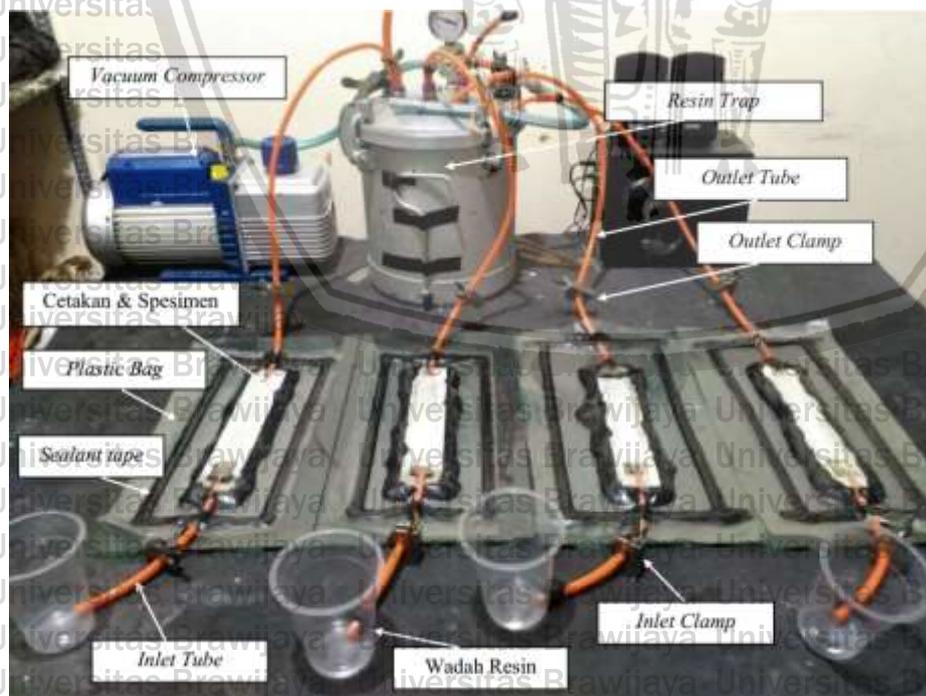
5. Potong serat kulit pohon waru yang sudah di ukur dan diberi tanda.
6. Tusukkan ujung atas serat yang telah dipotong pada jarum
7. Tarik serat secara perlahan dari ujung atas serat ke hingga ke ujung bawah serat sehingga pemotongan serat mengikuti alur pada serat
8. Lakukan langkah 7 dan 8 sampai ukuran serat menjadi sehelai benang
9. Serat diukur, dipotong dan dibentuk sesuai standar yang sudah ditentukan.
10. Letakkan serat pada kertas sesuai standar yang sudah ditentukan dan eratkan dengan lem.
11. Ulangi langkah 2-11 untuk spesimen berikutnya
12. Serat siap untuk di uji tarik.

3.8.3 Proses Pembuatan Serat Untuk Uji Kadar Air

Proses pengujian kadar air dilakukan tahapan-tahapan proses pengerjaan tahapan, anatara lain:

1. Siapkan serat yang telah dipotong panjang 2 cm dari setiap variasi temperatur *curing* dengan berat 1 gram sebanyak 3 buah spesimen
2. Serat siap untuk di uji kadar air.

3.8.4 Proses Pembuatan Komposit



Gambar 3.25 Proses pembuatan komposit dengan metode *vacuum infusion*

Sumber: Dokumentasi pribadi

Tahapan dalam proses pembuatan komposit dengan metode *vacuum infusion resin* ditunjukkan pada Gambar 3.25, antara lain:

1. Persiapkan alat bahan.
2. Persiapkan serat yang sudah diukur 2,5 x 17,5 cm sebanyak 6 layer.
3. Letakkan alas cetakan pola di atas meja.
4. Letakkan cetakan pola di atas alas.
5. Beri tanda pada alas sesuai ukuran cetakan pola.
6. Taruh kembali cetakan pola di atas alas.
7. Berikan *release agent* pada alas sesuai dengan daerah yang sudah ditandai dan berikan pula *release agent* pada cetakan pola.
8. Pasang *sealant tape* pada bagian luar kanan dan kiri cetakan pola.
9. Masukkan serat pengisi pada cetakan pola.
10. Potong *PE-tube* sepanjang 1,2 m untuk cetakan pola ke *resin trap* dan potong *PE-tube* sepanjang 20 cm gelas ke cetakan pola.
11. Potong *mesh* dengan ukuran 3 x 2,5 cm dan *plastic bag* dengan ukuran 40 x 30 cm.
12. Belah satu bagian ujung dari *PE-tube* gelas ke cetakan pola searah horizontal sepanjang 1 cm dan jepitkan *mesh* pada belahan PE-Tube.
13. Pasangkan bagian ujung *PE-tube* yang tidak dibelah ke gelas penampung resin yang sudah dilubangi sesuai ukuran *PE-tube* pada bagian samping dekat alas gelas.
14. Pasang *sealant tape* di bagian luar gelas agar penampung resin tidak bocor.
15. Pasang *PE tube* arah masuk resin ke cetakan pola dan *PE tube* arah keluar resin dari cetakan pola dan pasang *sealant tape* pada bagian atas dan bawah cetakan pola.
16. Pasang *sealant tape* pada alas cetakan mengitari cetakan pola dengan jarak 5 cm dari kanan dan kiri cetakan pola dan 2 cm dari bagian atas dan bawah cetakan pola.
17. Tutup semua bagian cetakan dengan *plastic bag*.
18. Rekatkan *plastic bag* dengan *sealant tape* yang terpasang pada cetakan.
19. Sumbat *PE-tube* arah masuk resin dengan *clamp*.
20. Sambungkan *PE-tube* arah keluar resin ke *resin trap*.
21. Sambungkan *PE-tube* dari *resin trap* ke *vacuum compressor*.
22. Sumbat saluran masuk dengan *clamp*.
23. Nyalakan *vacuum compressor*.
24. Tunggu sampai *pressure gauge* mencapai tekanan negatif maksimum yang bias dicapai (jarum penunjuk berhenti).
25. Matikan *vacuum compressor* dan tunggu selama 10 menit untuk mengetahui kebocoran.

26. Jika tekanan stabil selama 10 menit, lakukan pencampuran resin dan katalis dengan perbandingan yang sudah ditentukan.
27. Setelah resin dan katalis tercampur tuangkan campuran resin dan katalis ke dalam penampung resin.
28. Buka *clamp* aliran masuk resin ke cetakan pola secara perlahan.
29. Tunggu sampai resin mengalir ke cetakan dan masuk ke *resin trap*.
30. Setelah semua resin dipastikan sudah masuk ke dalam cetakan, Sumbat aliran keluar resin dan aliran masuk resin dengan *clamp*.
31. Potong *PE tube* bagian luar *clamp* pada aliran masuk resin dan keluar resin

3.8.5 Proses Curing

1. Siapkan spesimen beserta cetakan yang sudah dipotong antara aliran masuk dan keluar
2. Pindahkan spesimen beserta cetakan kedalam:
 - Dapur listrik untuk suhu 100°C selama 12 jam.
 - Coolcase untuk temperature -5°C selama 12 jam.
 Sedangkan untuk temperatur 27°C di diamkan diruangan selama 12 jam.
3. Setelah selesai, spesimen beserta cetakan dikeluarkan dari dapur listrik dan coolcase dan tunggu hingga temperatur spesimen sama dengan temperatur ruangan.
4. Lepaskan komposit dari cetakannya.
5. Komposit diukur, dipotong dan dibentuk sesuai dengan standar yang sudah ditentukan.
6. Komposit siap di uji tarik.

3.8.6 Pengolahan Data

Tahapan dalam proses ini, antara lain:

1. Menghitung kekuatan tarik komposit, serat tunggal dan matrik epoxy dengan rumus:

$$\sigma_T = \frac{F}{A} \quad (3-1)$$

Dimana:

σ_T = Tegangan tarik (N/mm²)

F = Gaya tarik (N)

A = Luas penampang(mm²)

2. Menghitung regangan komposit, serat tunggal dan matrik epoxy dengan rumus:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3-2)$$

Dimana:

ε = Regangan (%)

l_0 = Panjang awal (mm)

Δl = Pertambahan panjang (mm)

3. Menghitung modulus elastisitas komposit dengan rumus:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3-3)$$

Dimana:

E = Modulus Elastisitas (Mpa)

ε = Regangan (%)

σ = Tegangan tarik (MPa)

4. Menghitung kadar air pada serat dengan rumus:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{Berat basah} - \text{Berat kering}}{\text{Berat kering}} \times 100 \quad (3-4)$$

Dimana:

Berat basah : berat (awal) sebelum dilakukan perlakuan panas (gram)

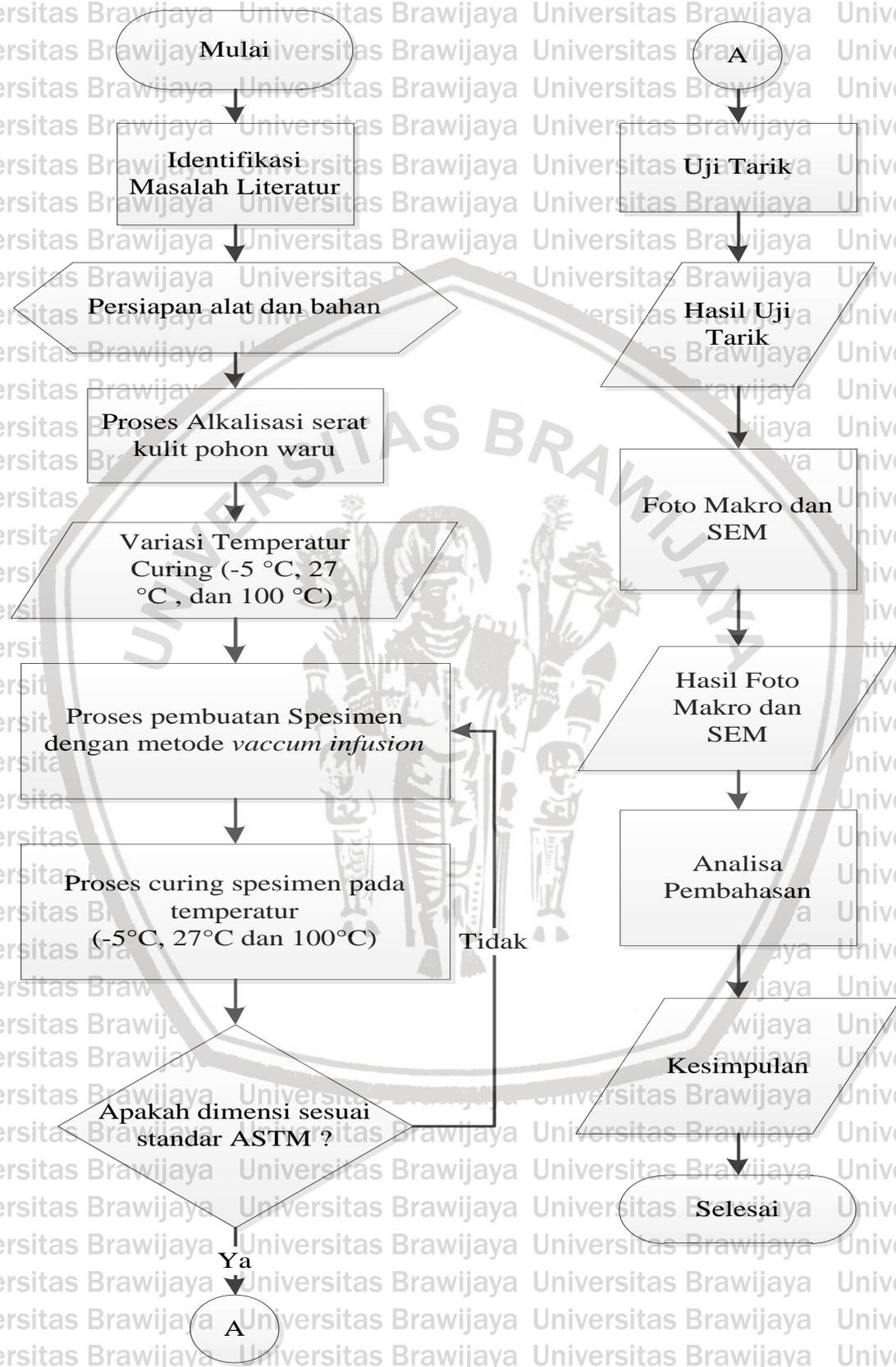
Berat kering : berat (akhir) setelah dilakukan perlakuan panas (gram)

5. Pembentukan grafik yang membandingkan kekuatan tarik dengan temperatur *curing*
 6. Pembentukan grafik yang membandingkan kadar air dengan temperatur *curing*



3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat Gambar 3.26.



Gambar 3.26 Diagram alir penelitian

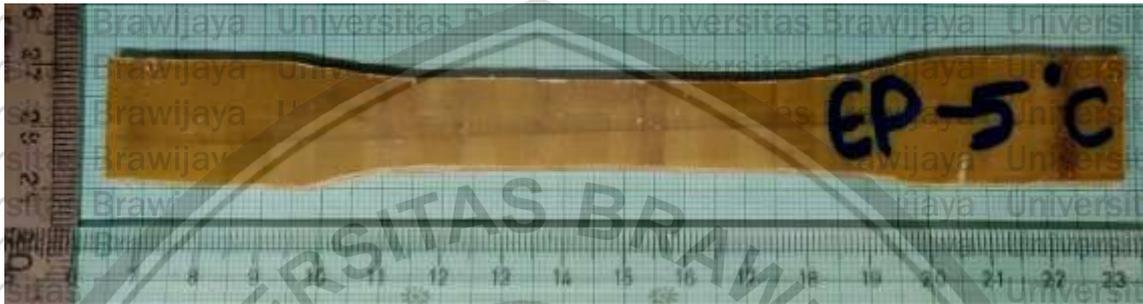
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Foto Komposit Serat Kulit Pohon Waru

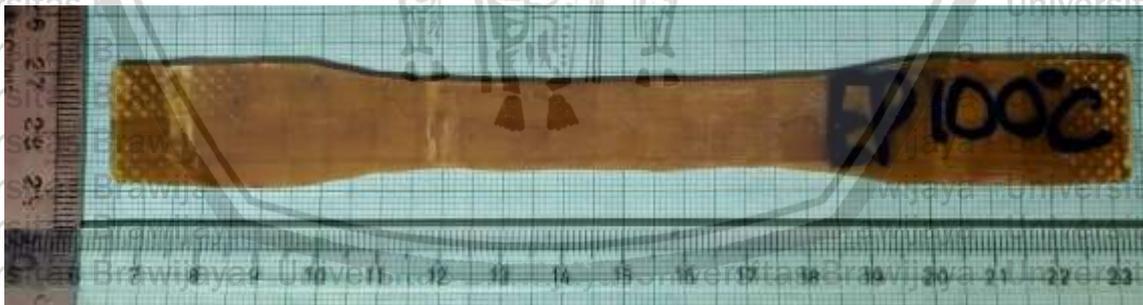
Berikut adalah hasil komposit serat kulit pohon waru yang telah dibuat dengan metode *vacuum infusion* dengan variasi temperatur *curing* -5°C , 27°C , dan 100°C .



Gambar 4.1 Foto komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* -5°C



Gambar 4.2 Foto komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* 27°C



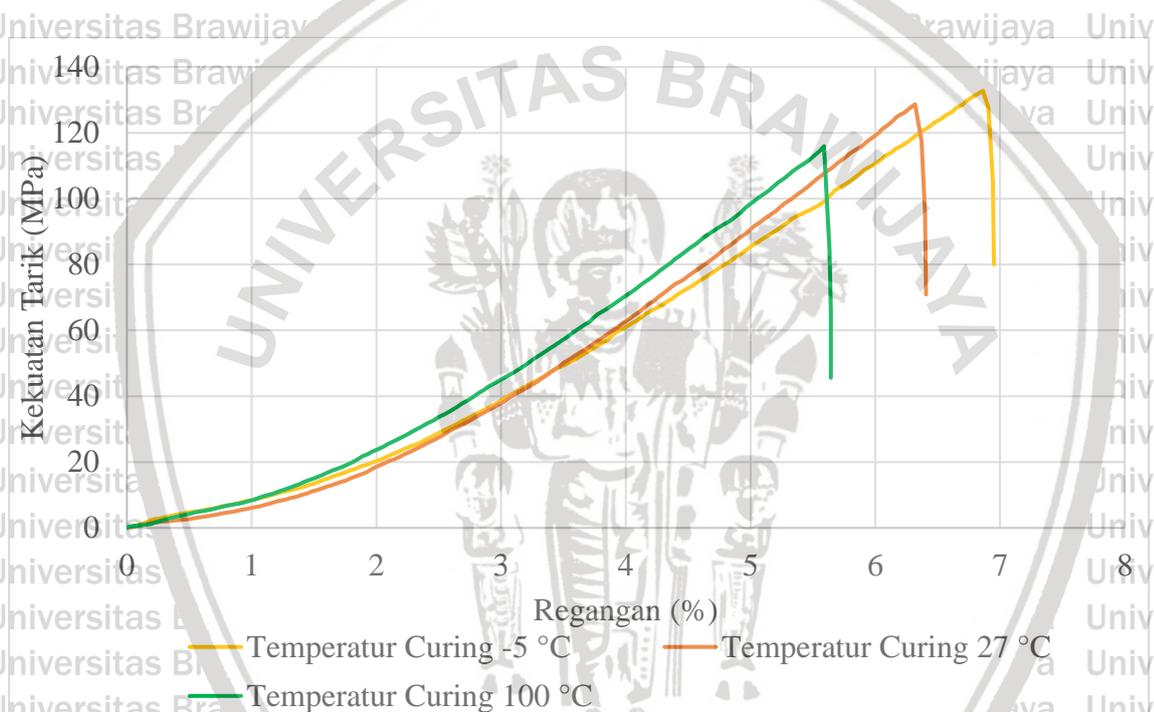
Gambar 4.3 Foto komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* 100°C

Dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 adalah hasil dari pembuatan komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* -5°C , 27°C dan 100°C . Ada perbedaan warna dari tiap temperatur *curing* komposit serat kulit pohon waru. Pada Gambar 4.1 adalah komposit dengan variasi temperatur *curing* -5°C terlihat

warna coklat terang. Pada Gambar 4.2, komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* 27 °C, warna komposit terlihat lebih gelap dari temperatur *curing* -5 °C. Pada Gambar 4.3, komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* 100 °C, warna komposit terlihat lebih gelap dari temperatur 27 °C.

4.1.2 Regangan dan Tegangan

Berdasarkan hasil dari pengujian *tensile strength* (kekuatan tarik) yang ditunjukkan oleh *ultimate strength* spesimen dan nilai *tensile strength* dengan variasi temperatur *curing* maka didapatkan diagram regangan dan tegangan dari salah 1 spesimen dari tiap variasi temperatur *curing*.



Gambar 4.4 Grafik tegangan regangan komposit serat kulit pohon dari setiap spesimen variasi temperatur *curing*

Hubungan tegangan regangan komposit serat kulit pohon waru dari setiap spesimen variasi temperatur *curing* pada komposit dengan matriks *epoxy* dapat dilihat pada Gambar 4.4. Variasi yang digunakan adalah temperatur *curing* -5 °C, 27 °C, dan 100 °C. Diperoleh urutan tegangan regangan tertinggi ke terendah yaitu temperatur *curing* -5 °C, 27 °C, dan 100 °C.

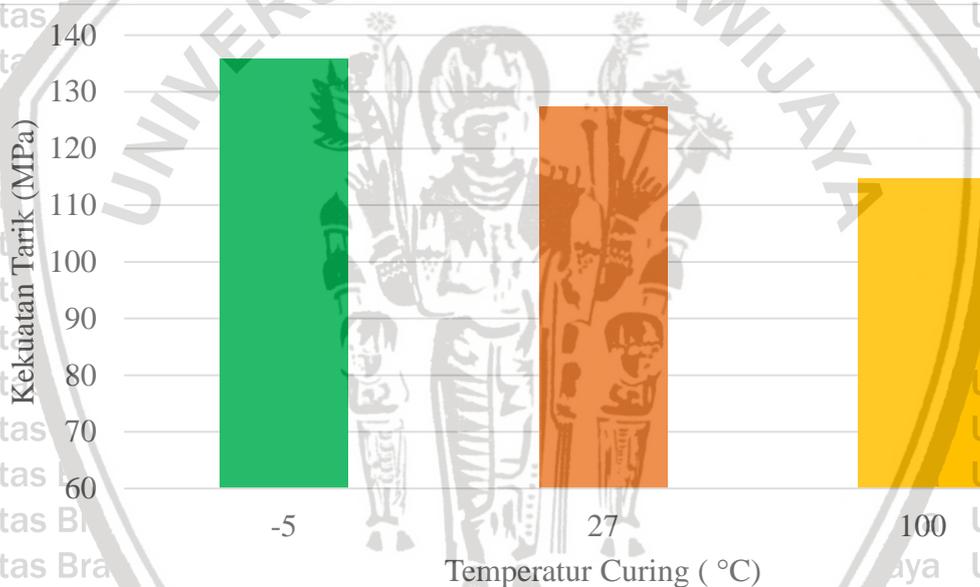
Komposit dengan variasi temperatur *curing* -5 °C bermatriks *epoxy*. Kekuatan tarik komposit temperatur *curing* -5 °C dengan matriks *epoxy* yaitu sebesar 132,77 MPa adalah

tegangan maksimal spesimen sampai patah dengan besar regangan maksimal yaitu 6,862% sehingga didapatkan nilai modulus elastisitas sebesar 1934,79 MPa.

Komposit dengan variasi temperatur *curing* 27 °C bermatriks *epoxy*. Kekuatan tarik komposit temperatur *curing* 27 °C dengan matriks *epoxy* yaitu sebesar 128,67 MPa adalah tegangan maksimal spesimen sampai patah dengan besar regangan maksimal yaitu 6,319% sehingga didapatkan nilai modulus elastisitas sebesar 2036,29 MPa.

Komposit dengan variasi temperatur *curing* 100 °C bermatriks *epoxy*. Kekuatan tarik komposit temperatur *curing* 100 °C dengan matriks *epoxy* yaitu sebesar 115,94 MPa adalah tegangan maksimal spesimen sampai patah dengan besar regangan maksimal yaitu 5,550% sehingga didapatkan nilai modulus elastisitas sebesar 2089,05 MPa.

4.1.3 Kekuatan Tarik Komposit Serat Kulit Pohon Waru



Gambar 4.5 Grafik kekuatan tarik komposit serat kulit pohon waru dengan variasi temperatur *curing*

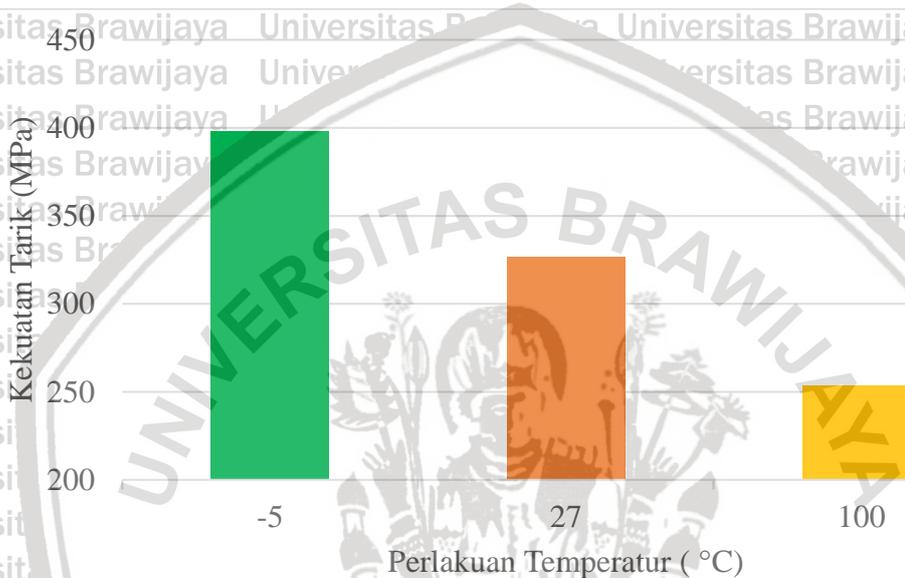
Dapat dilihat pada Gambar 4.5 terdapat pengaruh variasi temperatur *curing* terhadap kekuatan tarik komposit serat kulit pohon waru. Urutan rata-rata kekuatan tarik komposit dari yang paling tinggi hingga paling rendah adalah perlakuan temperatur *curing* -5 °C dengan nilai 135,79 MPa, perlakuan temperatur *curing* 27 °C dengan nilai 127,29 MPa, dan perlakuan temperatur *curing* 100 °C dengan nilai 114,75 MPa.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Variasi Temperatur *Curing* Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Kulit Pohon Waru

Berdasarkan Gambar 4.5, kekuatan tarik komposit serat kulit pohon waru semakin menurun seiring meningkatnya temperatur *curing*. Hal ini disebabkan oleh:

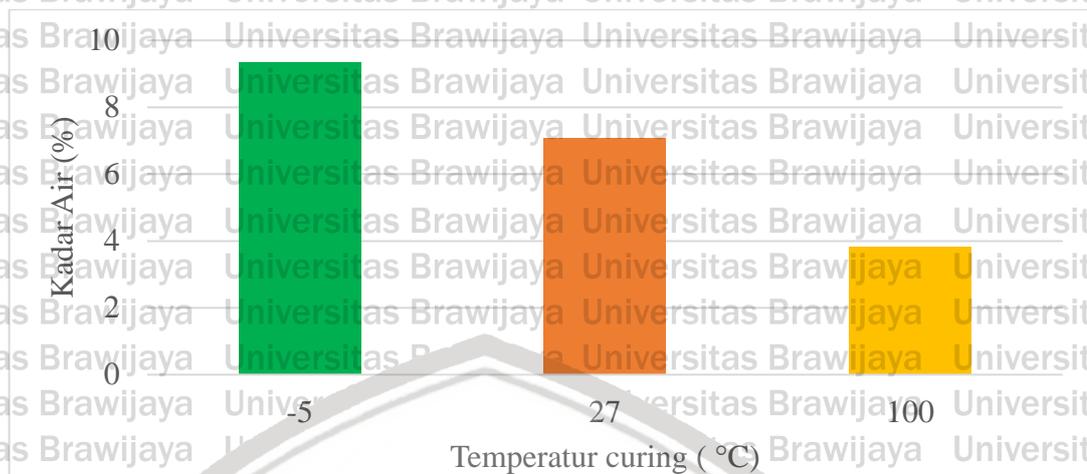
1. Kekuatan tarik serat tunggal kulit pohon waru



Gambar 4.6 Grafik hubungan kekuatan tarik serat tunggal kulit pohon waru dengan perlakuan temperatur berbeda

Berdasarkan Gambar 4.6, Urutan rata-rata kekuatan tarik serat dari yang paling tinggi hingga paling rendah adalah perlakuan temperatur $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan nilai 398,19 MPa, perlakuan temperatur $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan nilai 326,50 MPa, dan perlakuan temperatur $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan nilai 253,71 MPa. Pada perlakuan temperatur $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, kekuatan tarik serat memiliki kekuatan tarik tertinggi dikarenakan air yang diserap berguna untuk memobilisasi hemiselulosa pada serat dikarenakan sifat hemiselulosa yaitu hidrofilik. Hemiselulosa berfungsi sebagai matrik pada selulosa sehingga tenggangan yang diterima serat semakin merata. Selulosa berfungsi untuk membentuk ikatan hidrogen antar molekul selulosa pada serat sehingga kekuatan tarik serat meningkat. Kekuatan serat tunggal kulit pohon waru semakin menurun seiring meningkatnya temperatur *curing*, hal ini disebabkan penguapan air terikat pada serat kulit pohon waru sehingga serat rusak dan rapuh dikarenakan hemiselulosa yang semakin berkurang sehingga kepadatan serat semakin berkurang (Shazad, 2011).

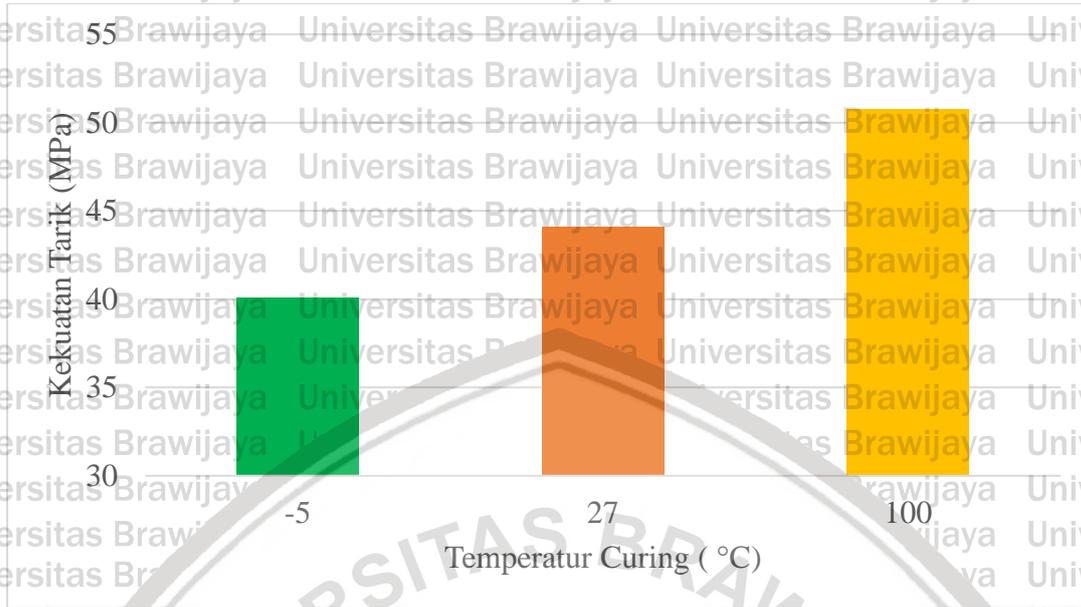
2. Kadar air serat kulit pohon waru



Gambar 4.7 Grafik hubungan kadar air dengan perlakuan temperatur berbeda

Berdasarkan Gambar 4.7, Urutan kadar air serat dari yang paling tinggi hingga paling rendah adalah perlakuan temperatur berbeda -5°C dengan nilai 9,35%, perlakuan temperatur 27°C dengan nilai 7,07 %, dan perlakuan temperatur 100°C dengan nilai 3,84 %. Kadar air serat semakin menurun seiring meningkatnya temperatur, hal ini dikarenakan temperatur mempengaruhi kelembaban suatu lingkungan. Semakin tinggi temperatur maka kelembaban semakin rendah. Serat mempunyai sifat higroskopis yaitu kemampuan untuk menyerap air atau melepaskan air sehingga ketika kelembaban semakin rendah, serat dapat melepaskan air yang terkandung didalam serat yang menyebabkan penurunan kadar air didalam serat.

3. Kekuatan tarik matrik epoxy



Gambar 4.8 Grafik hubungan kekuatan tarik matrik epoxy dengan variasi temperatur curing

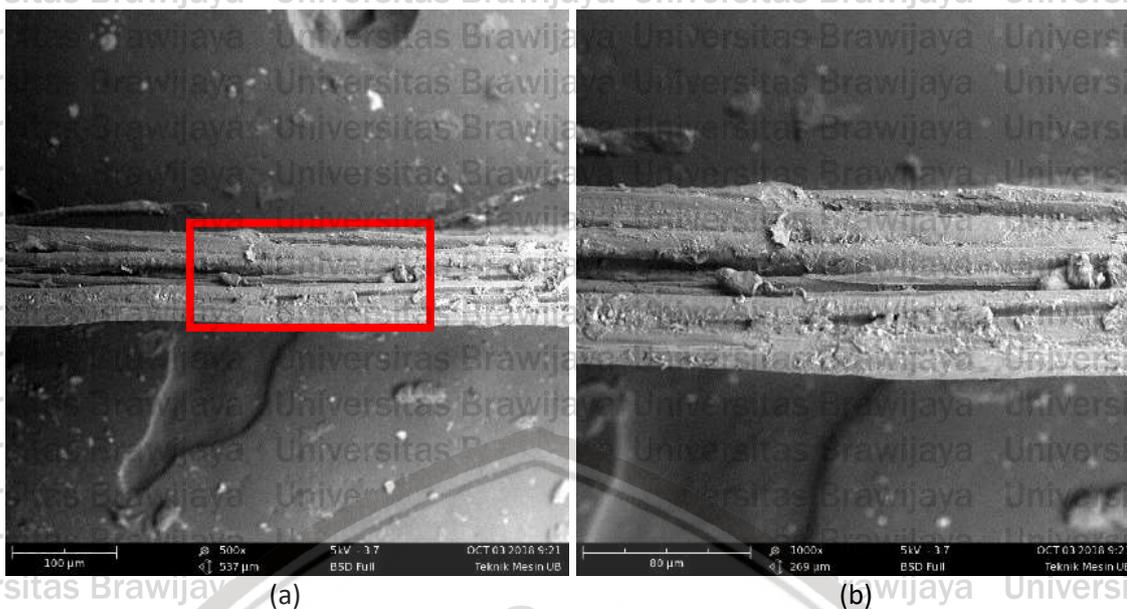
Dapat dilihat pada Gambar 4.8, Urutan rata-rata kekuatan tarik matrik epoxy dari yang paling tinggi hingga paling rendah adalah matrik dengan temperatur curing 100 °C yaitu 50,74 MPa, temperatur curing 27 °C yaitu 44,08 MPa, dan temperatur curing -5 °C yaitu 40,07 MPa. Kekuatan tarik matrik epoxy semakin meningkat dengan meningkatnya temperatur curing, hal ini disebabkan polimerisasi antara epoxy dan hardener lebih semakin sempurna sehingga beban yang diterima oleh matrik lebih merata. Peningkatan kekuatan tarik matrik epoxy tidak mempengaruhi kekuatan tarik komposit hal ini dikarenakan penurunan kekuatan serat lebih tinggi dibandingkan peningkatan kekuatan tarik matrik epoxy.

4.3 Analisa Uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

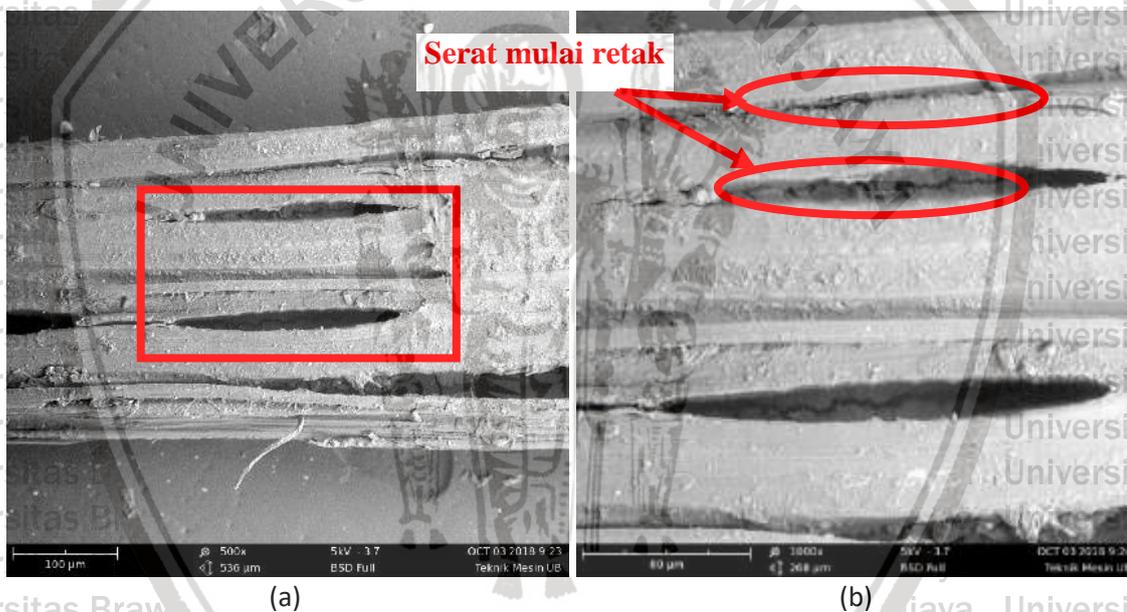
4.3.1 SEM Serat Kulit Pohon Waru

Pengujian SEM (*scanning electron microscopy*) dengan perbesaran 500x dan 1000x yang bertujuan untuk mengetahui permukaan serat pada serat kulit pohon waru. Variasi morfologi serat kulit pohon waru yang diamati menggunakan temperatur curing -5 °C, 27 °C, dan 100 °C.

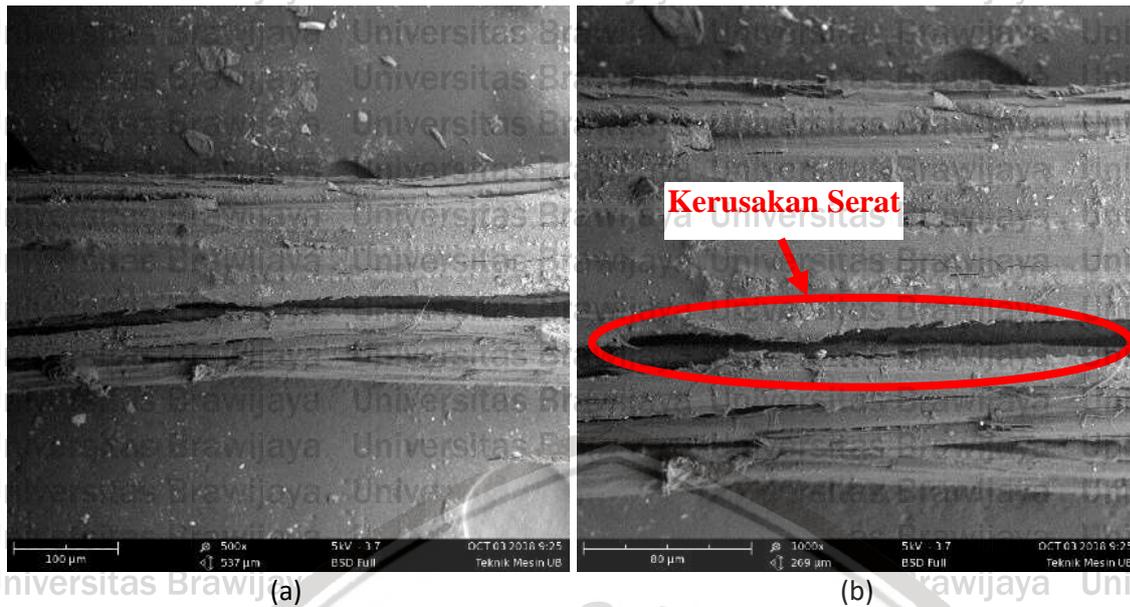
Adapun hasil foto SEM tersebut sebagai berikut:



Gambar 4.9 SEM Serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan perbesaran a) 500x dan b) 1000x



Gambar 4.10 SEM Serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan perbesaran a) 500x dan b) 1000x



Gambar 4.11 SEM Serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* 100 °C dengan perbesaran a) 500x dan b) 1000x

Ditinjau dari foto SEM (*scanning electron microscopy*) pada serat, kondisi serat dengan temperatur *curing* -5 °C lebih baik dibandingkan dengan temperatur *curing* 27 °C dan 100 °C yang dapat dilihat pada Gambar 4.9. Hal ini disebabkan tingginya kadar air yang menyebabkan air yang diserap berguna untuk memobilisasi hemiselulosa dalam serat sehingga hemiselulosa mengikat selulosa semakin sempurna.

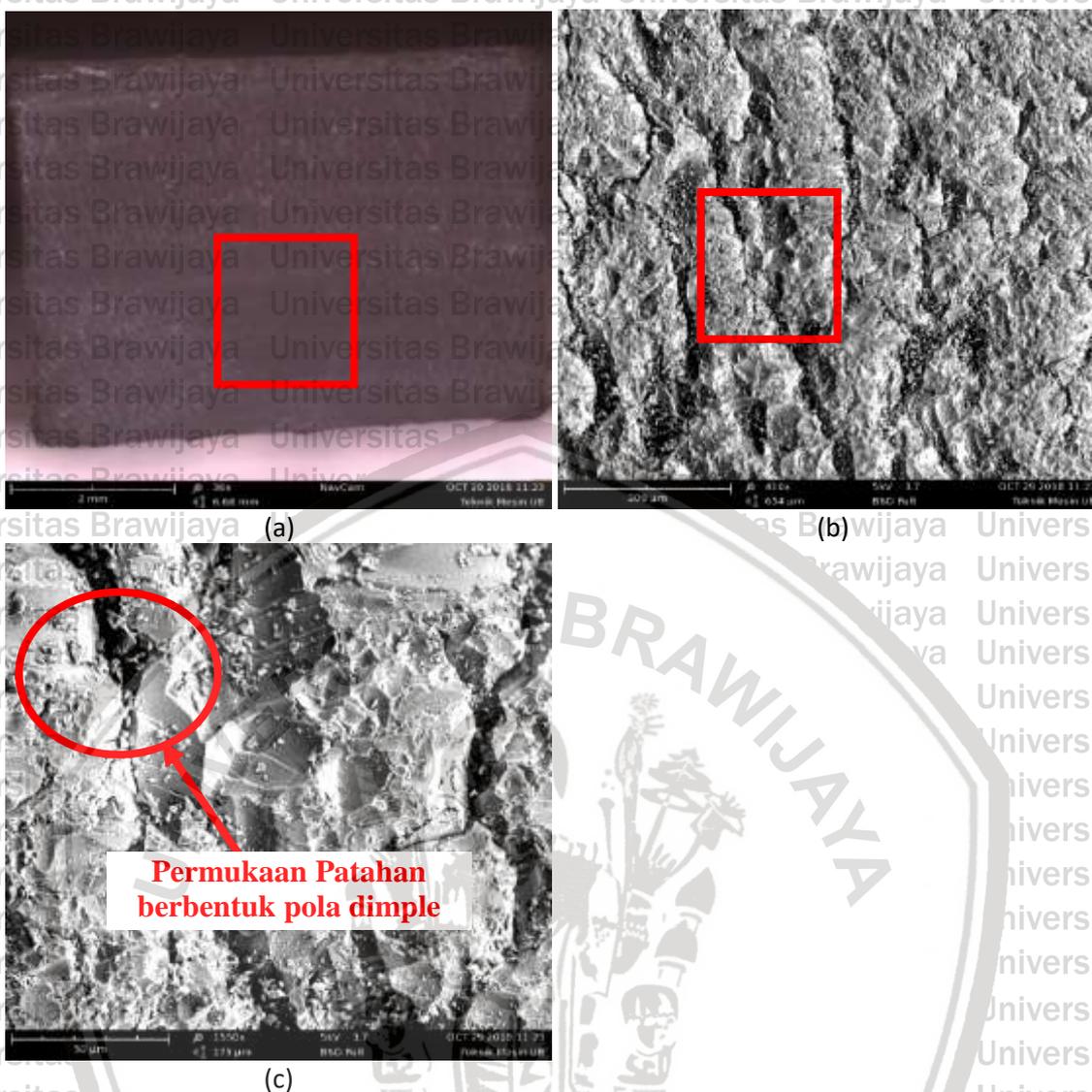
Pada temperatur *curing* 27 °C, serat mulai mengalami keretakan yang dapat dilihat pada Gambar 4.10. Hal ini disebabkan kadar air menurun sehingga mobilisasi hemiselulosa berkurang sehingga terdapat rongga pada serat yang menyebabkan distribusi tegangan yang diterima serat tidak merata melainkan terkonsentrasi pada titik tertentu sehingga kekuatan serat menurun.

Pada temperatur *curing* 100 °C, kerusakan serat semakin terlihat pada Gambar 4.11. Hal ini diakibatkan kadar air yang semakin menurun pada serat sehingga hemiselulosa terdegradasi dari serat. Berkurangnya hemiselulosa menyebabkan hilangnya matrik alami serat sehingga lepasnya ikatan serat yang dibuktikan dengan terbelahnya serat pada Gambar 4.11. Penurunan kadar air juga menyebabkan serat menjadi kering dan rapuh.

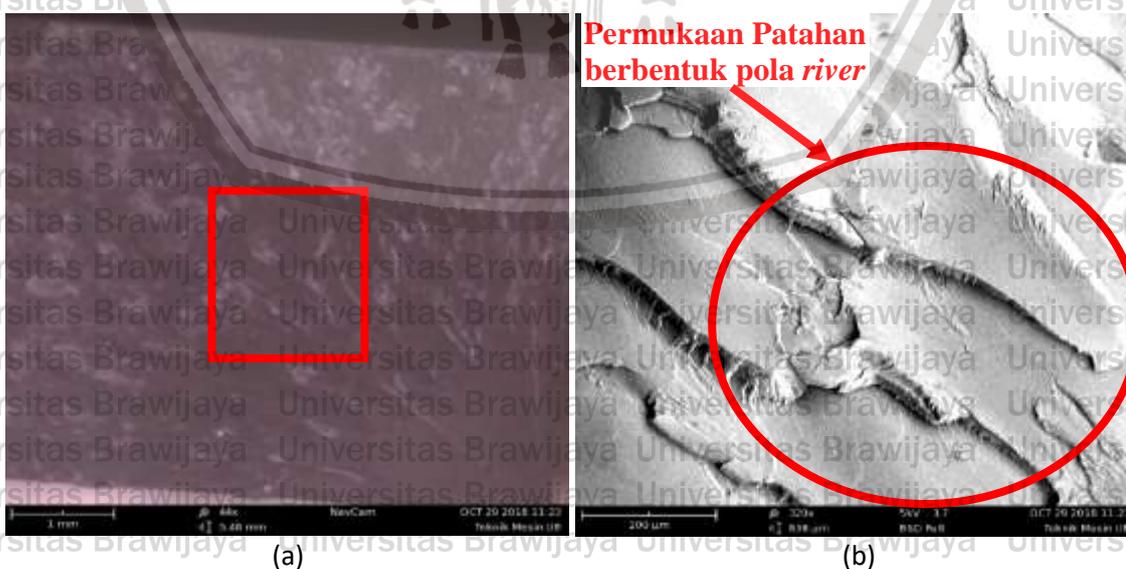
4.3.2 SEM Patahan Matrik Epoxy

Pengujian SEM (*scanning electron microscopy*) dengan perbesaran berbeda yang bertujuan untuk mengetahui permukaan matrik epoxy. Variasi morfologi serat kulit pohon waru yang diamati menggunakan temperatur *curing* -5 °C, 27 °C, dan 100 °C.

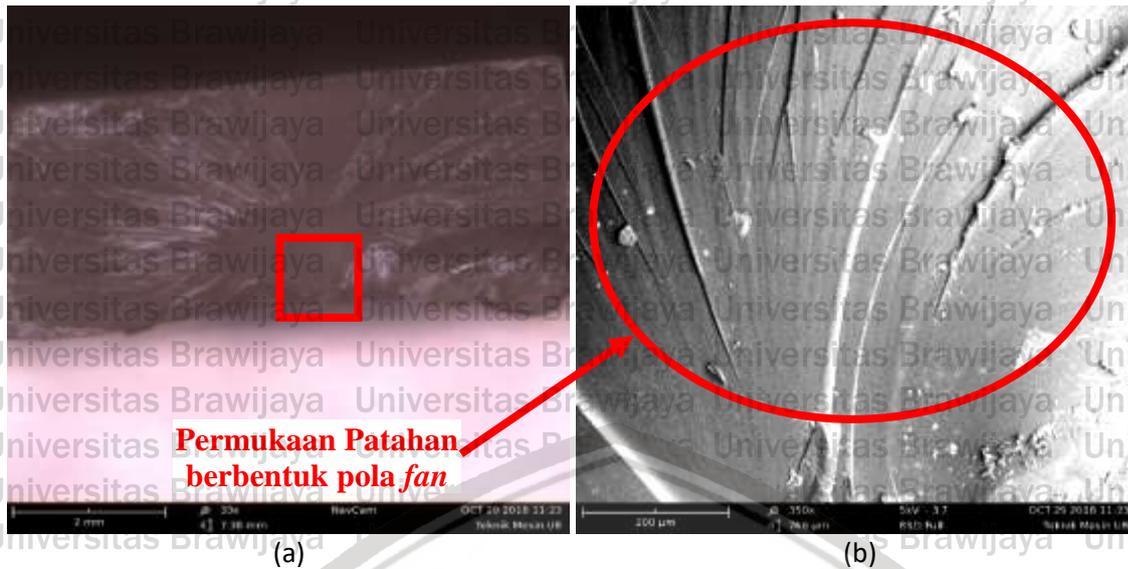
Adapun hasil foto SEM tersebut sebagai berikut:



Gambar 4.12 SEM patahan matrik epoxy dengan temperatur curing -5°C dengan perbesaran a) 36x, b) 410x, dan c) 1550x



Gambar 4.13 SEM patahan matrik epoxy dengan temperatur curing 27°C dengan perbesaran a) 44x dan b) 320x



Gambar 4.14 SEM patahan matrik epoxy dengan temperatur curing 100 °C dengan perbesaran a) 33x dan b) 350x

Ditinjau dari foto SEM (*scanning microscopy electron*) pada matrik epoxy, pada matrik dengan temperatur curing -5 °C, kondisi permukaan patahan matrik terlihat tidak rata yang membentuk pola patahan *dimple* yang menunjukkan material bersifat ulet (*ductile*), hal ini dikarenakan polimerisasi yang tidak sempurna antara epoxy dan *hardener* yang dapat dilihat pada Gambar 4.12.

Pada temperatur curing 27 °C, kondisi permukaan patahan lebih rata yang membentuk pola patahan aliran sungai (*river line*) sehingga material lebih *brittle* dibandingkan dengan temperatur curing -5 °C yang dibuktikan di Gambar 4.13.

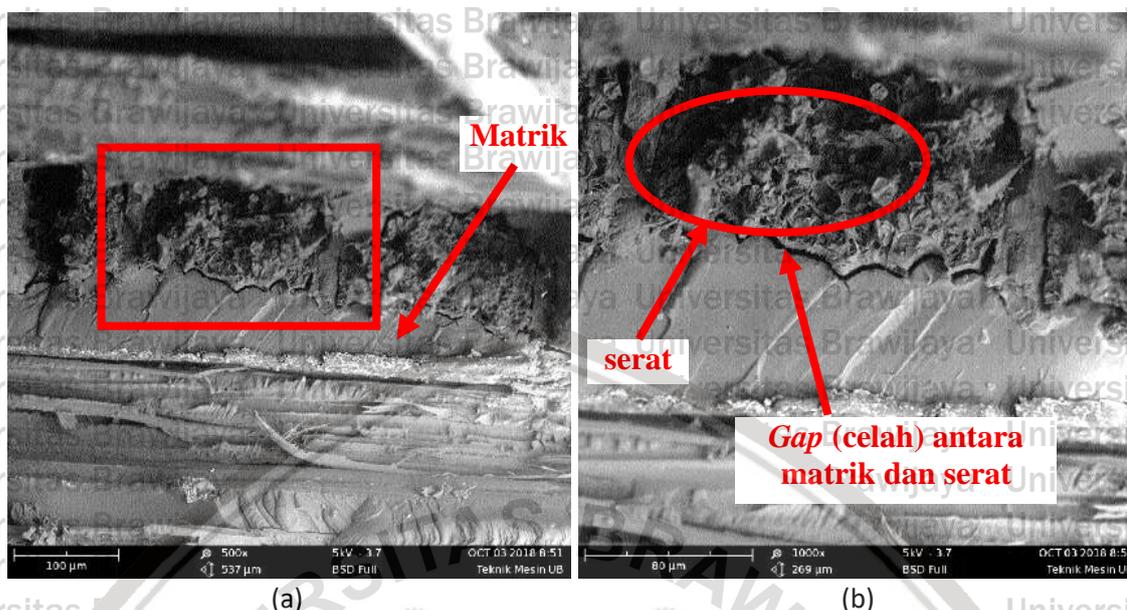
Pada Gambar 4.14 dengan temperatur curing 100 °C, kondisi permukaan patahan lebih rata dibandingkan dengan temperatur curing -5 °C dan 27 °C. permukaan membentuk pola patahan kipas (*fan*) yang membuktikan bahwa material sangat *brittle*. Hal ini disebabkan polimerisasi antara haderner dan epoxy semakin sempurna seiring dengan bertambahnya temperatur curing.

Kekuatan tarik matrik semakin meningkat dengan meningkatnya temperatur curing yang dibuktikan dengan permukaan semakin rata pada bagian patahan sehingga beban yang diterima oleh matrik lebih merata. Hal ini juga membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur curing maka material semakin getas (*brittle*).

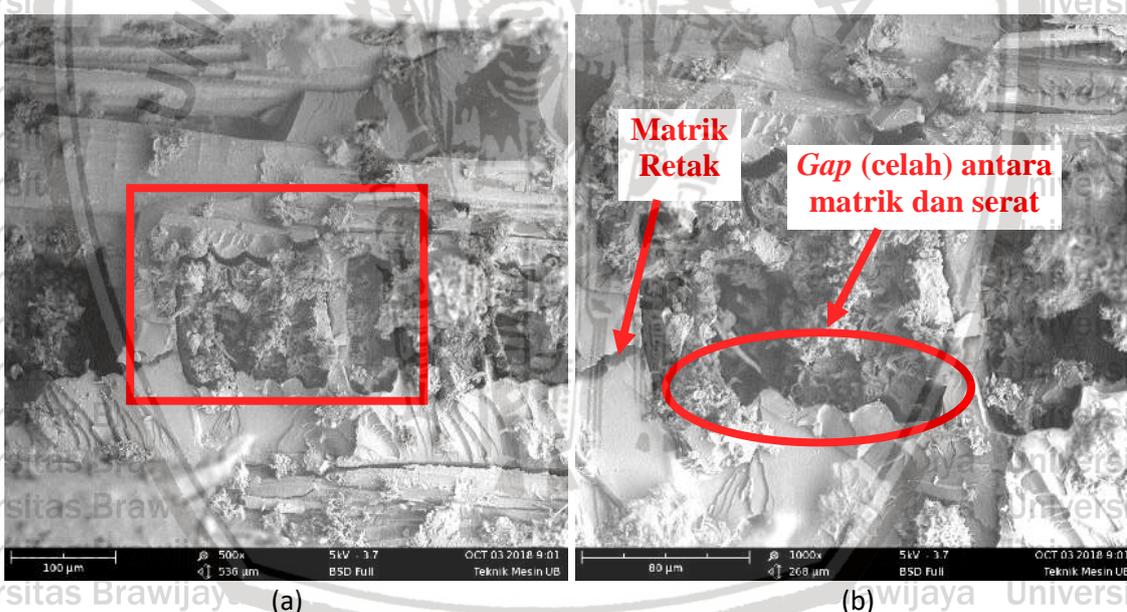
4.3.3 SEM Patahan Komposit Serat Kulit Pohon Waru

Pengujian SEM (*scanning electron microscopy*) dengan perbesaran 500x dan 1000x yang bertujuan untuk mengetahui ikatan antara matrik dan serat pada komposit serat kulit

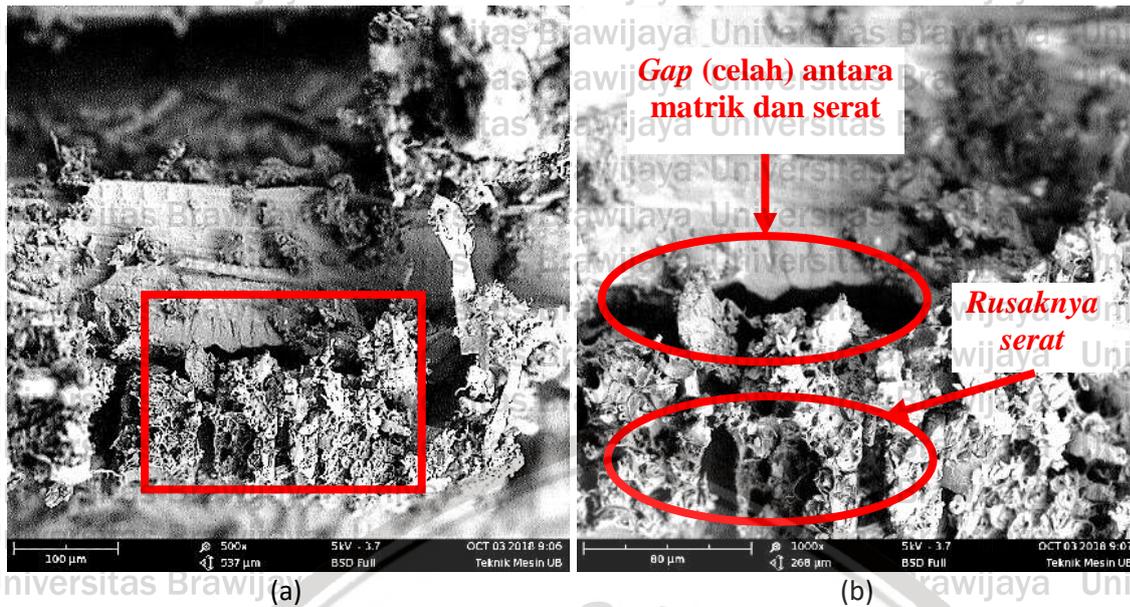
pohon waru. Variasi komposit serat kulit pohon waru yang diamati menggunakan temperatur *curing* $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4.15 SEM patahan komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan perbesaran a) 500x dan b) 1000x



Gambar 4.16 SEM patahan komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan perbesaran a) 500x dan b) 1000x



Gambar 4.17 SEM Patahan komposit Serat kulit pohon waru dengan temperatur curing 100 °C dengan perbesaran a) 500x dan b) 1000x

Ditinjau dari foto SEM (*scanning microscopy electron*) pada komposit. komposit dengan temperatur curing -5 °C. Kondisi yang baik dan kecilnya *gap* (celah) antara matrik dan serat sehingga kekuatan tarik komposit lebih tinggi dari variasi lainnya. Hal ini dibuktikan tingginya kadar air pada serat menyebabkan hemiselulosa mengikat selulosa secara sempurna yang dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Pada komposit dengan temperatur curing 27 °C, dapat dilihat *gap* (celah) antara matrik dan serat semakin besar dan terlihat matrik mengalami retak sehingga kekuatan tarik pada komposit menurun yang dibuktikan di Gambar 4.16. Hal ini disebabkan menurunnya kadar air pada serat sehingga terdapat rongga didalam komposit.

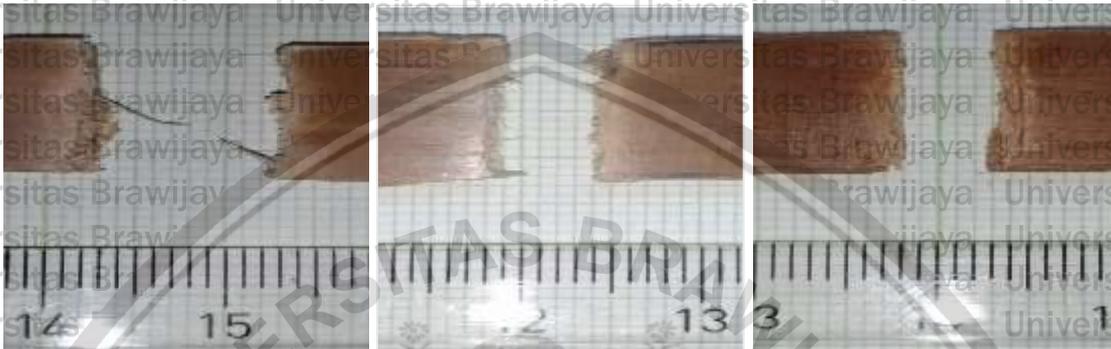
Pada Gambar 4.17, yaitu komposit dengan temperatur curing 100 °C, *gap* (celah) antara serat dan matrik semakin membesar. Hal ini disebabkan karena menguapnya air didalam serat, sehingga kadar air pada serat semakin rendah. Semakin menurunnya kadar air menyebabkan terdegradasinya hemiselulosa pada serat sehingga matriks pada selulosa semakin berkurang. hal ini yang menyebabkan serat terlihat rusak pada komposit yang menyebabkan *gap* serat dan matrik semakin besar. Dari gambar 4.17 juga dapat diduga bahwa *gap* serat dan matrik semakin besar dikarenakan lignin di dalam serat yang mencapai temperatur rekristalisasi yang menyebabkan ikatan matrik dan serat tidak sempurna.

Kekuatan tarik matrik semakin menurun dengan meningkatnya temperatur curing yang dibuktikan dengan *gap* antara matrik dan serat yang semakin besar. Hal ini juga

dibuktikan oleh rusak serat dikarenakan menurunnya kadar air serat sehingga serat menjadi rapuh.

4.4 Analisa Patahan Komposit Serat Kulit Pohon Waru

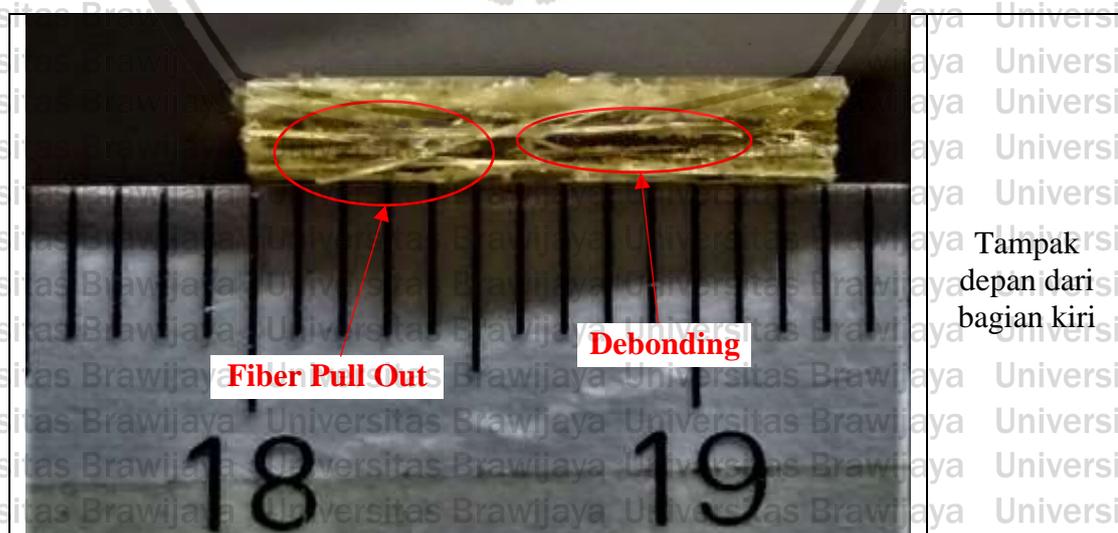
Dari hasil pengujian tarik dapat diketahui bentuk permukaan patahan spesimen komposit serat kulit pohon waru bermatrik epoxy dengan berbagai variasi temperatur *curing* adalah sebagai berikut:

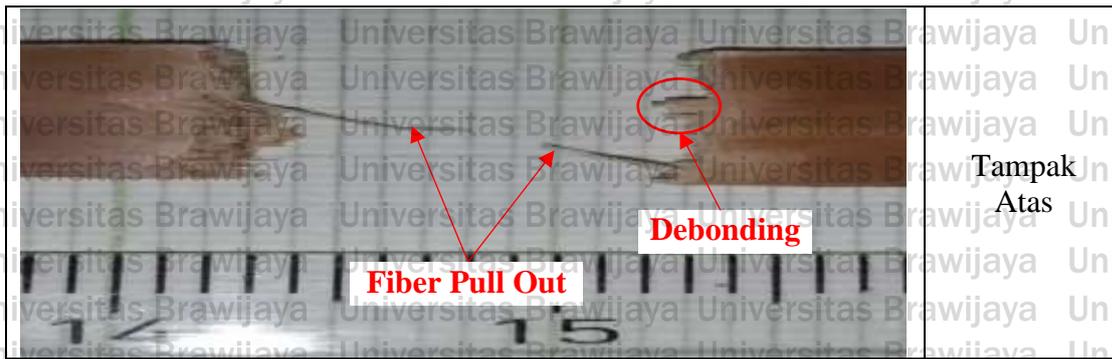


Gambar 4.18 Perbandingan patahan tiap variasi temperatur *curing*

Pada Gambar 4.18 menunjukkan bentuk patahan dari masing masing variasi spesimen uji tarik komposit. Debonding adalah jenis kegagalan komposit yang terjadi karena lemahnya matrik untuk berikatan pada serat, ciri-cirinya adalah pada bagian tengah spesimen akan terjadi pengelupasan antar serat. Sedangkan, *pull out* adalah jenis kegagalan pada komposit yang terjadi akibat beban yang mampu ditahan oleh serat sudah mencapai batas maksimal. Ciri-cirinya adalah memiliki serabut serabut serat pada bagian patahan seperti pada Gambar 4.18.

4.4.1 Patahan Komposit Serat Kulit Pohon Waru dengan Temperatur *Curing* -5 °C

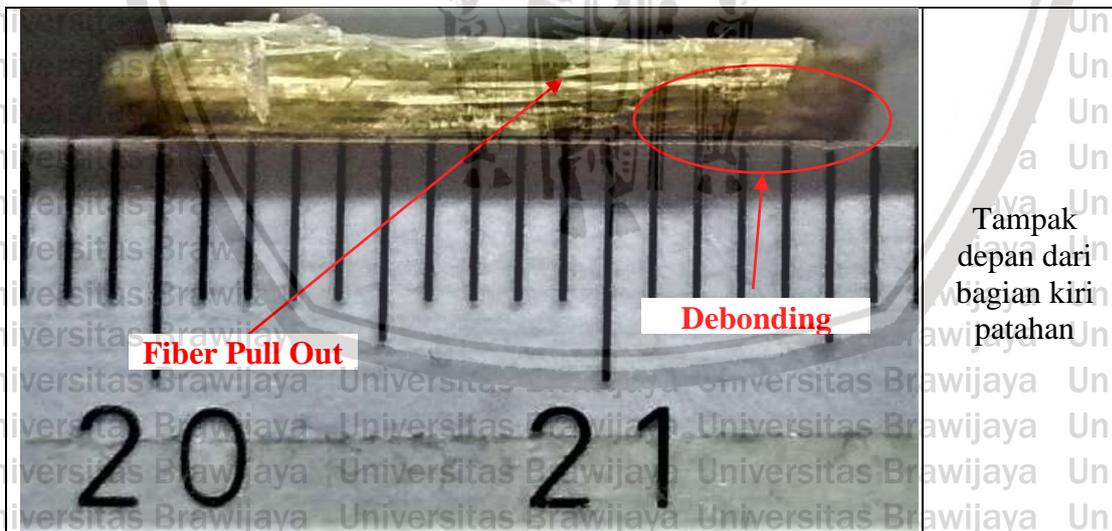




Gambar 4.19 Permukaan patahan komposit serat dengan temperatur *curing* -5°C

Gambar 4.19 menunjukkan bentuk patahan komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* -5°C . Kegagalan *pull out* terjadi pada permukaan patahan, dimana serat tecabut dari matrik. Kegagalan *debonding* juga terjadi pada permukaan patahan. Dapat dilihat, *pull out* pada komposit dengan temperatur *curing* -5°C terlihat lebih banyak tetapi kegagalan *debonding* terlihat lebih kecil dibandingkan variasi temperatur *curing* yang lainnya. Hal ini diakibatkan kondisi serat yang baik karena kadar air serat yang tinggi menyebabkan serat menerima beban secara merata sehingga *fiber pull out* yang terjadi lebih banyak dan *debonding* lebih sedikit. Kekuatan tarik tertinggi pada komposit serat dengan variasi temperatur *curing* -5°C yaitu 137,573 MPa.

4.4.2 Patahan Komposit Serat Kulit Pohon Waru dengan Temperatur *Curing* 27°C

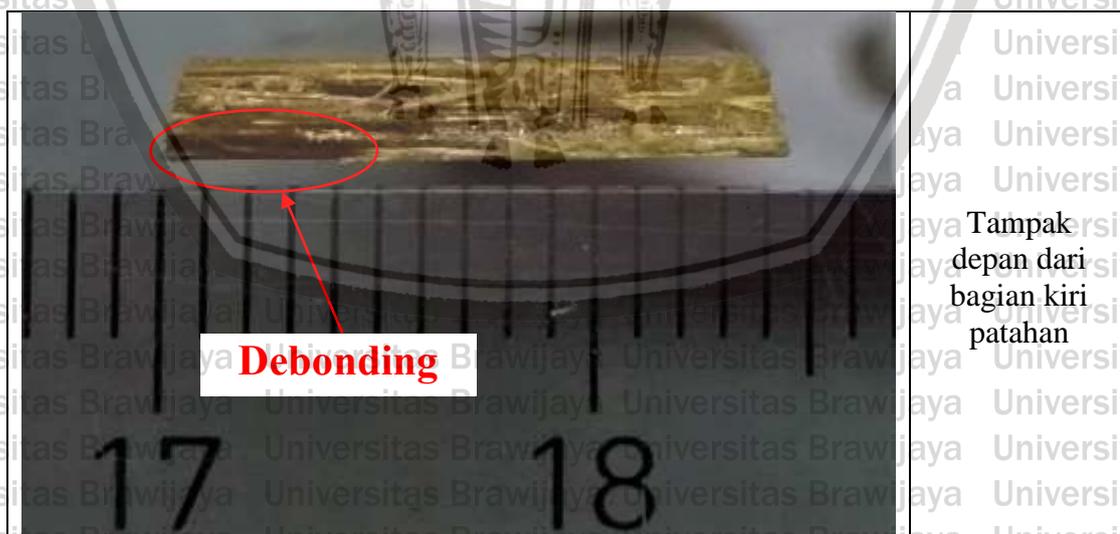




Gambar 4.20 Permukaan patahan komposit serat dengan temperatur *curing* 27 °C

Gambar 4.20 menunjukkan bentuk patahan komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* 27 °C. Kegagalan *pull out* terjadi pada permukaan patahan, dimana serat tecabut dari matrik. Kegagalan debonding juga terjadi pada permukaan patahan. Pada temperatur *curing* 27 °C, dapat dilihat debonding yang terjadi lebih besar tetapi kegagalan *pull out* lebih sedikit dibandingkan temperatur *curing* -5 °C. Hal ini dikarenakan kadar air yang turun sehingga beban yang diterima serat menurun tetapi ikatan matrik pada serat semakin meningkat yang menyebabkan fiber pull out berkurang dan debonding bertambah. Kekuatan tarik tertinggi pada komposit serat dengan variasi temperatur *curing* 27 °C yaitu 128,673 MPa.

4.4.3 Patahan Komposit Serat Kulit Pohon Waru dengan Temperatur *Curing* 100 °C





Gambar 4.21 Permukaan patahan komposit serat dengan temperatur *curing* 100 °C

Gambar 4.21 menunjukkan bentuk patahan komposit serat kulit pohon waru dengan temperatur *curing* 100 °C. Kegagalan *pull out* terjadi pada permukaan patahan, dimana serat tecabut dari matrik. Kegagalan debonding juga terjadi pada permukaan patahan. Dapat dilihat, tidak ada *pull out* yang terjadi pada temperatur *curing* 100 °C tetapi debonding lebih besar dari variasi *curing* lainnya. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur *curing* maka kadar air serat semakin menurun sehingga serat menjadi kering dan rapuh tetapi ikatan matrik pada serat semakin meningkat sehingga debonding yang terjadi semakin besar. Kekuatan tarik tertinggi pada komposit serat dengan variasi temperatur *curing* 100 °C yaitu 119,50 MPa.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Semakin tinggi temperatur *curing* maka kekuatan tarik komposit menurun. Hal ini disebabkan kerusakan pada serat kulit pohon waru dalam komposit. Kerusakan pada serat disebabkan oleh kadar air yang menurun seiring peningkatan temperatur *curing* yang menyebabkan kekuatan tarik serat semakin menurun. Kekuatan tarik matrik *epoxy* semakin meningkat seiring meningkatnya temperatur *curing*, tetapi peningkatan kekuatan tarik matrik *epoxy* tidak sebanding dengan penurunan kekuatan tarik pada serat.
2. Pengujian Scanning Electronics Microscope (SEM) memperlihatkan morfologi serat, matrik, dan komposit. Pada serat kulit pohon waru, semakin tinggi temperatur *curing* maka semakin rusak kondisi serat kulit pohon waru. Pada matrik *epoxy*, semakin tinggi temperatur *curing* maka permukaan matrik semakin rata. Pada komposit, semakin tinggi temperatur *curing* maka gap antara matrik dan serat semakin besar dikarenakan kerusakan serat kulit pohon waru pada komposit.
3. Pada analisis patahan, semakin tinggi temperatur *curing* maka semakin kecil kegagalan *pull out* dan debonding yang terjadi pada komposit. Hal ini disebabkan rapuhnya serat seiring meningkatnya temperatur *curing*.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk dapat mengetahui perbandingan waktu yang digunakan untuk proses *curing* dengan temperatur yang sama.
2. Pada proses pengadukan atau mencampurkan resin dan penuangan resin dilakukan secara perlahan untuk meminimalisir *void* yang terbentuk.
3. Perlu pengembangan dalam metode *vacuum infusion* agar menghasilkan komposit dengan kualitas maksimal.



DAFTAR PUSTAKA

Achmadi. 1990. *Kimia Kayu*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Arif. 2011. *Karakterisasi Kekuatan Mekanik Komposit Berpenguat Serat Kulit Waru (Hibiscus Tiliaceus) Kontinyu Laminat Dengan Perlakuan Alkali Bermatriks Polyester*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.2, No. 3 Tahun 2011 : 209-217.

ASTM D638-03. 2003. *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. ASTM International, West Conshohocken, PA.

Autar K. Kaw. 2006. *Mechanics of Composites Material*. CRC Press-Taylor & Francis Group : New York.

Callister W. D. 2007. *Material Science and Engineering, 7nd edition*, Jhon Wolley & Sons, Inc., New York.

Dumanauw, J. F. 1990. *Mengenal Kayu*. Yogyakarta: Kanisius.

Ellis B. 1993. *Chemistry and Technology Of Epoxy Resin*, Springer Science Bussines Media, B.V., Inggris.

Fengel, D. dan Wegener, G, 1995. *Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi. Terjemahan*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.

John. J. M. dan Anandjwala. R. D. 2008. *Recent Developments In Chemical Modification and Characterization Of Natural Fiber*. Council for Scientific and Industrial Research. South Africa

H. Avner S. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. McGraw-Hill book Company, New York.

Imaniah. 2013. *Pengujian Bahan*.

Mallick, P.K. 2007. *Fiber Reinforced composite materials, manufacturing, and design*. Boca raton: CRC Press.

Matthews F. L. And R.D . Rawling. (1994). *Composite Material Engineering Science Technology and Medicine*. Chopman & Hall. London.

Mazumdar. 2002. *Composite Manufacturing*. United States of America: Acid-free paper.

Mohanty, Amar K. 2005. *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. CRC Press.

Muslihan, Muhammad Hadyan. 2017. *Pengaruh Variasi Anyaman Serat Kulit Waru (Hibiscus Tiliaceus) Terhadap Kekuatan Tarik Pada Komposit Bermatrik Bisphenol-A*. Malang: Universitas Brawijaya.

Nurudin, A. 2011. *Potensi Pengembangan Komposit Berpenguat Serat Kulit Waru (Hibiscus tiliaceus) Kontinyu Laminat Sebagai Material Pengganti Fiberglass Pada Pembuatan Lambung Kapal*. Cirebon: Universitas Muhammadiyah Cirebon.

Nurun Nayiroh. 2015. *Teknologi Material Komposit*.

PT. Justus Kimia Raya. 2003. *Data Sheet*.

Pascault, Jean-Pierre. 2010. *Epoxy Polymer*. Wiley-Vch. Inggris.

Prasetyo, Boby Endro. 2005. *Pengaruh Suhu Curing Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Polimer (Serat E-Glass Dan Resin Eternal 2504)*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma

Putra, Veda Ariska. 2017. *Pengaruh Variasi Matrik Terhadap Kekuatan Tarik Pada Komposit Berserat Kulit Waru (Hibiscus Tiliaceus)*. Malang: Universitas Brawijaya.

Shahzad, A. 2011. *Effects of Fibre Surface Treatments on Mechanical Properties of Hemp Fibre Composites*. *Composite Interfaces*, 18, 737-754.

Sitohang. Herwin. 2016. *Karakteristik Curing 80°C, 100°C, dan 120°C Komposit Serabut Kelapa*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.

Schwartz. 1984. *Composite Material Hand Book*. New York: McGraw-Hill Book Company.

Setyanto R. Hari. 2012. *Review: Teknik Manufaktur Komposit Hijau dan Aplikasinya*. *Performa* (2012) Vol. 11, No. 1: 9 - 18

Surdia T. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Prandinya Paramita, Jakarta.

Suwanto, Bodja., 2016, *Pengaruh Temperatur Post-Curing Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Epoksi Resin Yang Diperkuat Woven Serat Pisang*. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.

Widiatmoko, R Dian., 2016 *Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Kulit Batang Waru (Hibiscus Tiliaceus) – Resin Epoxy*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.