

**PENGARUH FRAKSI VOLUME SERAT ALAM - WOVEN E-GLASS
TERHADAP KEKUATAN TARIK BOKOMPOSIT HIBRID
MATRIKS POLYESTER**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD OKKY ARDIANSYAH ARIPUTRA
NIM. 115060200111047

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2015

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH FRAKSI VOLUME SERAT ALAM – *WOVEN E-GLASS*
TERHADAP KEKUATAN TARIK BIOKOMPOSIT HIBRID
MATRIKS *POLYESTER*

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

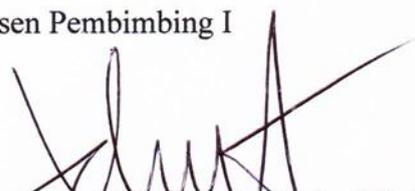
Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



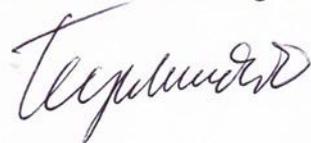
MUHAMMAD OKKY A A
NIM. 115060200111047

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 18 November 2015

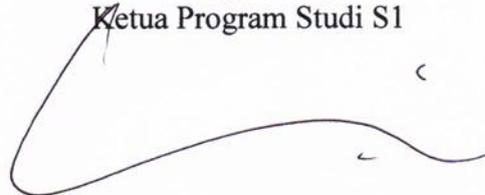
Dosen Pembimbing I


Dr. Eng. Anandito Purnawidodo, ST., M.Eng
NIP. 19710310 199802 1 001

Dosen Pembimbing II


Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D
NIK. 20141184 1123 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1



Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak 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, November 2015

Mahasiswa,



Muhammad Okky Ardiansyah Ariputra
NIM. 115060200111047

JUDUL SKRIPSI :

Pengaruh fraksi volume serat alam – *woven e-glass* terhadap kekuatan tarik biokomposit hibrid matriks *polyester*.

Nama Mahasiswa : Muhammad Okky Ardiansyah Ariputra

NIM : 115060200111047

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Teknik Produksi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Dr. Eng. Anindito Purnowidodo ST., M.Eng

Pembimbing 2 : Teguh Dwi Widodo ST.,M.Eng., Ph.D

TIM DOSEN PENGUJI

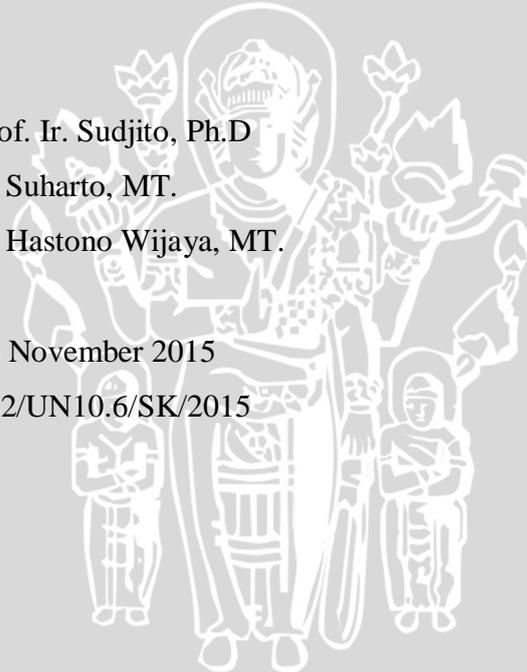
Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. Sudjito, Ph.D

Dosen Penguji 2 : Ir. Suharto, MT.

Dosen Penguji 3 : Ir. Hastono Wijaya, MT.

Tanggal Ujian : 18 November 2015

SK Penguji : 032/UN10.6/SK/2015



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Fraksi Volume Serat Alam – Woven E-glass Terhadap Kekuatan Tarik Biokomposit Hibrid Matriks Polyester”**

Skripsi ini merupakan laporan akhir yang harus dipenuhi dalam mata kuliah Tugas Akhir pada Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Skripsi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik tanpa bantuan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr.Eng Nurkholis Hamidi, ST, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Purnami, ST, MT., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr.Eng Anindito Purnowidodo ST.,M.Eng , selaku dosen pembimbing 1 yang telah banyak memberikan pengarahan dan motivasi selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi.
4. Bapak Teguh Dwi Widodo ST. M.Eng., Ph.D, selaku dosen pembimbing 2 yang telah banyak memberikan pengarahan dan motivasi selama pelaksanaan skripsi.
5. Bapak Ir. Hastono Wijaya MT selaku dosen pembimbing akademik yang banyak memberikan masukan dalam perkuliahan.
6. Seluruh dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Keluarga Tercinta Bpk. Nur Sugeng Ariputra dan Ibu Wiwik Hariyani yang tiada lelah terus men-*support*, memberikan semangat moral, dan doa selama perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
8. Teman seperjuangan dalam grup penelitian ini Sakti, Jefri, Yogi F, Abrari, terimakasih untuk kerjasama, motivasi, bantuan, perjuangan dan kebersamaanya selama ini.
9. Keluarga Besar Apatte-62 Team serta Divisi Otomasi Dan Robotika Teknik Mesin Universitas Brawijaya (Sakti, Jefri, Fahri, Dharmawan, Dwipa, Aji, Yossi, Rasyid, Hendi, Fauzie) yang selalu menyemangati, menemani selama perkuliahan hingga

penyusunan skripsi ini dan terimakasih untuk semua kesan dan perjuangan yang telah dilakukan bersama.

10. Keluarga Besar M'11 (KAMIKAZE) yang sudah menjadi keluarga dan menjadi penyemangat dalam perjuangan di Teknik Mesin.
11. KBMM (Keluarga Besar Mahasiswa Mesin) yang banyak memberikan pengalaman dalam pembentukan pola pikir dan pola sikap.
12. Dan semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dan memberikan arahan selama penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat menghargai setiap saran dan masukan untuk menjadikan skripsi ini lebih baik. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan rekan-rekan yang lain.

Malang, November 2015

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
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	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Komposit	6
2.2.1 <i>Fiber Reinforced Composite</i>	7
2.3 Komposit Hibrid	7
2.3.1 Biokomposit Hibrid	8
2.4 <i>Fiberglass</i>	8
2.5 Serat Alam	10
2.6 Matriks	14
2.6.1 <i>Polymer Matrix Composite</i>	14
2.6.2 <i>Polyester</i>	16
2.6.3 Katalis	17
2.7 Alkalisasi Serat Alam	18
2.7.1 Alkalisasi Dengan Senyawa NaOH	18
2.8 Metode Pembuatan Komposit	19
2.9 Pengujian Sifat Mekanik	24
2.9.1 Pengujian Tarik	24
2.10 Hipotesis	25



BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Metode Penelitian	26
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.3 Variabel Penelitian	26
3.3.1 Variabel Bebas	26
3.3.2 Variabel Terikat	27
3.3.3 Variabel Terkontrol	27
3.4 Peralatan dan Bahan Penelitian	27
3.4.1 Peralatan	27
3.4.2 Bahan	28
3.5 Prosedur Penelitian	29
3.5.1 Pengujian Tarik.....	30
3.6 Diagram Alir Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Data Hasil Pengujian	33
4.1.1 Pengujian Serat Tunggal.....	33
4.1.2 Pengujian Kekuatan Tarik	33
4.1.3 Data Hasil Pengujian Tarik Biokomposit Hibrid.....	35
4.1.4 Data Regangan Biokomposit Hibrid.....	36
4.1.5 Efek <i>Hybrid</i> pada Tegangan Biokomposit Hibrid	37
4.2 Pembahasan	38
4.2.1 Pembahasan Pengujian Tarik.....	38
4.2.2 Pembahasan Regangan Pada Biokomposit Hibrid	41
4.2.3 Pembahasan Efek <i>Hybrid</i> Pada Tegangan Biokomposit Hibrid....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

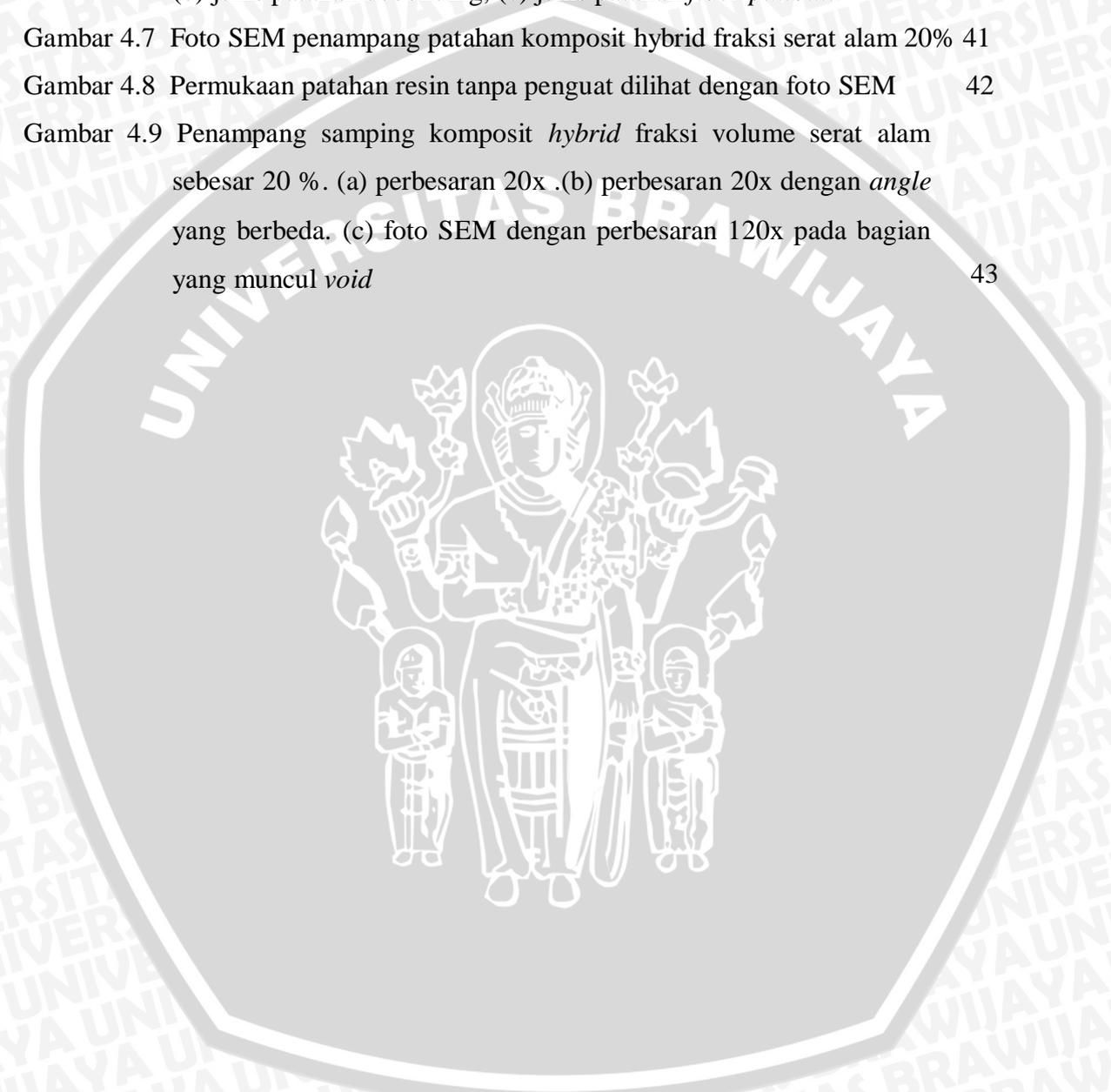
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Mekanik <i>Fiberglass</i>	9
Tabel 2.2	Sifat mekanik beberana jenis serat alam	12
Tabel 2.3	Komposisi kimia beberapa jenis serat alam	13
Tabel 2.4	Perbandingan sifat mekanik <i>thermoset</i> dan <i>thermoplastic</i>	16
Tabel 2.5	Spesifikasi resin <i>unsaturated polyester</i> YUKALAC 157 BQTN-EX	17
Tabel 3.1	Dimensi spesimen pengujian kekuatan tarik	30
Tabel 4.1	Sifat mekanik serat alam berdasarkan pengujian serat tunggal	33
Tabel 4.2	Perhitungan <i>rule of mixture</i> biokomposit hibrid	37



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Hasil penelitian pada uji Tarik	5
Gambar 2.2	Aplikasi komposit pada pesawat Airbus A-380	6
Gambar 2.3	Klasifikasi komposit.	6
Gambar 2.4	Beberapa bentuk <i>glass fiber</i> (a) <i>Chopped Strand Mat</i> , (b) <i>Roving</i> , (c) <i>Woven Roving</i>	10
Gambar 2.5	Kalsifikasi serat alam berdasarkan jenisnya	10
Gambar 2.6	Tanaman Kenaf	11
Gambar 2.7	Tanaman Sisal	12
Gambar 2.8	Ikatan antara resin termoset dengan serat alam	13
Gambar 2.9	Pembagian jenis matriks polimer	15
Gambar 2.10	Serat Sabut kelapa (a) sebelum alkalisasi (b) sesudah alkalisasi	19
Gambar 2.11	Metode metode pembuatan komposit	20
Gambar 2.12	Skema proses <i>filament winding</i>	20
Gambar 2.13	Skema proses <i>pultrusion</i>	21
Gambar 2.14	Skema Injection Molding	22
Gambar 2.15	Skema metode <i>hand lay-up</i>	23
Gambar 2.16	Proses <i>Spray-up</i> dengan menggunakan robot	24
Gambar 2.17	Skema pengujian Tarik	24
Gambar 3.1	Cetakan Spesimen	28
Gambar 3.2	<i>Universal Testing Machine</i>	28
Gambar 3.3	<i>Glass fiber woven roving</i>	29
Gambar 3.4	Serat Alam	29
Gambar 3.5	Susunan serat dalam spesimen komposit	30
Gambar 3.6	Spesimen tarik biokomposit hibrid	31
Gambar 3.7	Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1	Grafik perbandingan tegangan-regangan aktual matriks dan komposit	34
Gambar 4.2	Grafik data tegangan rata-rata maksimal komposit <i>hybrid</i>	35
Gambar 4.3	Grafik data regangan rata-rata maksimal komposit <i>hybrid</i>	36
Gambar 4.4	Grafik perbandingan data aktual dengan <i>rule of mixture</i> hubungan tegangan komposit dengan fraksi volume serat alam	38

Gambar 4.5 (a). Patahan pada matriks, (b). Patahan pada komposit 0% serat alam,(c). Patahan pada komposit 5% serat alam, (d). Patahan pada komposit 10% serat alam, (e). Patahan pada komposit 15% serat alam, (f). Patahan pada komposit 20% serat alam.	39
Gambar 4.6 Foto SEM penampang permukaan komposit fraksi serat alam 15%. (b) jenis patahan debonding, (c) jenis patahan <i>fiber pullout</i> .	40
Gambar 4.7 Foto SEM penampang patahan komposit hybrid fraksi serat alam 20%	41
Gambar 4.8 Permukaan patahan resin tanpa penguat dilihat dengan foto SEM	42
Gambar 4.9 Penampang samping komposit <i>hybrid</i> fraksi volume serat alam sebesar 20 %. (a) perbesaran 20x ,(b) perbesaran 20x dengan <i>angle</i> yang berbeda. (c) foto SEM dengan perbesaran 120x pada bagian yang muncul <i>void</i>	43



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data Pengujian Tarik Serat Tunggal Sisal
Lampiran 2	Data Pengujian Tarik Serat Tunggal Kenaf
Lampiran 3	Data Hasil Pengujian Tarik Spesimen Komposit



RINGKASAN

Muhammad Okky Ardiansyah A, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2015, *Pengaruh Fraksi Volume Serat Alam – Woven E-glass Terhadap Kekuatan Tarik Biokomposit Hibrid Matriks Polyester*, Dosen Pembimbing: Anindito Purnowidodo dan Teguh Dwi Widodo.

Komposit merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam dunia industri saat ini. Komposit digunakan karena memiliki keunggulan sifat mekanik dibandingkan dengan material lain, salah satunya adalah *tailorability* yang baik. *Tailorability* merupakan sifat mampu bentuk sesuai desain untuk mendapatkan kemampuan mekanik yang diinginkan. Komposit dapat terus dikembangkan melalui modifikasi matriks maupun penguat / *reinforcement*. Serat sisal dan serat kenaf merupakan jenis penguat serat alam yang berpotensi menggantikan peran serat sintetis yang jamak digunakan dalam industri komposit. Tentunya kekuatan serta sifat serat alam berbeda dengan kebanyakan serat sintetis, untuk meningkatkan sifat mekanik dari komposit serat alam diperlukan metode yang tepat. Salah satunya adalah dengan menggunakan kombinasi serat sintetis dengan serat alam di dalam satu matriks komposit yang biasa disebut *hybrid biocomposite* atau biokomposit hibrid.

Dalam penelitian ini, penguat spesimen komposit menggunakan serat sintetis *fiberglass* tipe *woven e-glass* dengan fraksi volume tetap sebesar 1.42% dan dengan penambahan gabungan serat alam kenaf - sisal dengan variasi fraksi volume serat sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Pengujian kekuatan tarik menggunakan standar ASTM D 638 tipe I dengan foto makro dan foto SEM (*scanning electron microscopy*) untuk mengetahui karakteristik patahan komposit. Pembuatan spesimen standar ASTM D 638 menggunakan metode *hand lay-up*.

Dari hasil pengujian diketahui bahwa dengan penambahan fraksi volume serat alam dapat meningkatkan kekuatan tarik dan regangan dari komposit *hybrid*. Nilai kekuatan tarik dan regangan tertinggi rata-rata diperoleh pada fraksi volume serat alam 20% sebesar 56,72 MPa dan 3,81%. Sedangkan nilai kekuatan tarik dan regangan terendah pada fraksi volume 0% sebesar 23,16 MPa dan regangan sebesar 1,5 %. Hasil foto makro maupun SEM menunjukkan jenis patahan *pullout* didominasi oleh spesimen dengan fraksi volume serat alam 5% , serat yang muncul pada patahan *pullout* semakin pendek seiring dengan penambahan fraksi volume serat alam dan jenis patahan kombinasi antara *pullout* dengan *debonding* terjadi pada komposit dengan fraksi volume serat alam 10%, 15%, dan 20%.

Kata Kunci : Komposit, biokomposit hibrid, serat sisal, serat kenaf, kekuatan tarik.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan pesat teknologi dan ilmu pengetahuan dalam dunia industri manufaktur saat ini telah mendorong peningkatan dalam permintaan pasar akan bahan dengan karakteristik tertentu. Berbagai pengembangan dan penelitian terus dilakukan untuk mendapatkan bahan yang tepat guna, salah satu contohnya adalah bahan komposit. Saat ini bahan komposit mulai banyak dipakai sebagai bahan alternatif di berbagai bidang dan berangsur angsur menggantikan peran material logam konvensional. Hal ini tidak dapat dipungkiri, karena komposit mempunyai sifat yang tidak dimiliki oleh logam pada umumnya seperti kemudahan dalam pembentukan, kekuatan yang dapat diatur (*tailorability*), ringan dan resistensi korosif yang tinggi.

Penggunaan bahan komposit sudah dimulai sejak jaman dahulu, tepatnya pada 800 SM, hal itu diperkuat oleh penemuan penggunaan jerami sebagai penguat dalam batu bata di Israel (Prasetyo, 2012). Bahan komposit semakin berkembang pada pertengahan abad ke 20, tepatnya saat terjadi perang dunia ke II, negara-negara yang berperang berlomba-lomba membuat kendaraan tempur yang ringan, awet, dan mudah diatur kekuatannya. Seperti kapal militer maupun pesawat tempur. Saat ini penggunaan komposit telah meluas meliputi peralatan olahraga, bodi kapal laut, infrastruktur, otomotif hingga bidang *aerospace*.

Di Asia Pasifik, perkembangan komposit saat ini telah meningkat pesat, dengan mengacu pada data JEC Composite, yakni lebih dari 10 juta metrik ton pada tahun 2015. Pertumbuhan ekonomi yang tinggi ini juga memacu perkembangan komposit di negara-negara Asia lainnya seperti China, Malaysia, Vietnam, dan Indonesia.

PMC atau *polymer matrix composites* merupakan salah satu dari klasifikasi komposit berdasarkan jenis matriksnya, yang terdiri dari resin polimer sebagai matriks dan serat sebagai penguat atau *reinforcement*. *Reinforcement* atau penguat yang berbahan sintetis seperti *fiberglass*, karbon, dan aramid/kevlar saat ini sudah banyak dipakai, namun penguat dengan bahan serat alam masih belum dimanfaatkan secara optimal. Contoh serat alam saat ini yang mulai dikembangkan adalah rami, sisal, abaca, aren, dan kenaf. Khusus untuk serat kenaf, kini sudah dipakai untuk bahan baku pembuatan *dashboard* mobil oleh salah satu

perusahaan otomotif terkemuka. Industri manufaktur sekarang berlomba untuk mengembangkan serat alam, karena melihat dari segi keuntungan pemakaiannya, mulai harga yang murah, mudah didapat, kekuatan yang hampir menyamai serat sintetis, dan lebih ramah lingkungan, karena serat berasal dari alam.

Tentunya kekuatan serta sifat serat alam berbeda dengan kebanyakan serat sintetis, untuk meningkatkan sifat mekanik dari komposit serat alam diperlukan metode yang tepat. Salah satunya adalah dengan menggunakan kombinasi serat sintetis dengan serat alam di dalam satu matriks komposit yang biasa disebut *hybrid biocomposite* atau biokomposit hibrid. Beberapa faktor yang mempengaruhi sifat mekanik suatu komposit, yaitu orientasi arah serat, fraksi volume, ukuran, dan bentuk dan material serat. Dalam penelitian penelitian terdahulu banyak digunakan faktor faktor diatas sebagai variasi penelitian untuk meningkatkan sifat mekanik komposit.

Berdasarkan penjelasan diatas, penulis akan melakukan penelitian tentang pengaruh variasi fraksi volume serat alam – *woven e-glass* terhadap kekuatan tarik pada biokomposit hibrid matriks *polyester*. Dengan penelitian ini nantinya diharapkan agar menjadi refrensi dalam bidang akademik maupun industri untuk menghasilkan produk komposit yang berkualitas dengan memanfaatkan serat alam yang ada disekitar kita.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang di angkat dalam penelitian ini adalah pengaruh variasi fraksi volume serat alam terhadap kekuatan tarik pada biokomposit hibrid matriks *polyester*.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini tidak melebar dan lebih terarah maka perlu diberikan batasan masalah. Batasan masalah penelitian ini yaitu :

1. Pembuatan spesimen komposit menggunakan metode *open mold hand lay-up*.
2. Pencampuran resin dan katalis dengan kecepatan pengadukan konstan.
3. Temperatur dan kelembaban selama proses pembuatan spesimen dianggap konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah

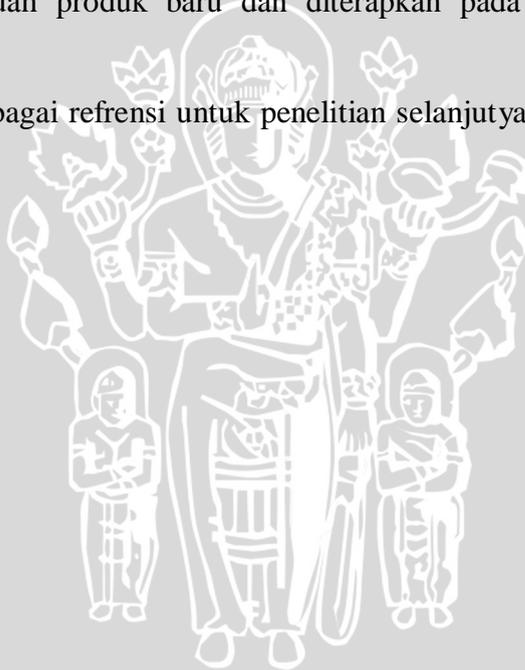
1. Menganalisa sejauh mana pengaruh variasi fraksi volume serat alam – *woven e-glass* terhadap kekuatan tarik biokomposit hibrid.

2. Mengetahui besar komposisi serat penyusun biokomposit hibrid yang optimal agar menghasilkan produk yang menghasilkan kekuatan tarik tinggi.
3. Mengetahui tegangan tarik dan regangan yang dihasilkan dari penambahan fraksi volume serat alam.
4. Mengetahui jenis patahan yang terjadi pada biokomposit hibrid.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan wawasan baru bagi penulis tentang komposit *hybrid* yang berpenguat serat alam dan serat sintesis.
2. Dapat mengetahui komposisi serat penyusun komposit *hybrid* yang optimal agar menghasilkan kekuatan tarik tinggi.
3. Dapat menjadi sebuah produk baru dan diterapkan pada industri manufaktur komposit.
4. Dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya tentang biokomposit hibrid.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Azhari (2013) dalam penelitian tentang pengaruh variasi komposisi serat *e-glass* dan serat rami terhadap kekuatan tarik dan bending komposit hybrid rami/ *e-glass* untuk struktur bodi pelindung motor, penelitiannya bertujuan untuk mengetahui penambahan serat rami terhadap kekuatan tarik dan bending komposit hybrid rami/*e-glass*. Penelitian dilakukan dengan membuat 5 jenis variasi komposisi serat yaitu 100% *e-glass*, *e-glass*/rami/*e-glass*, rami/*e-glass*/*e-glass*/rami, rami/*e-glass*/rami dan 100% rami. Spesimen dibuat dengan metode *hand lay up*. Proses *curing* dilakukan bersama dengan proses *press*. Spesimen di *press* menggunakan mesin *press* hidrolik dengan tekanan 1000 psi. Setelah kelima komposisi serat selesai dicetak selanjutnya dipotong menyesuaikan standar uji tarik ASTM D3039 dan standar uji bending ASTM D 790-02.

Dari hasil uji tarik didapatkan bahwa semakin tinggi fraksi volume serat *e-glass* terhadap serat rami maka kekuatan tarik komposit hybrid rami/*e-glass* semakin tinggi. Untuk kekuatan bendingnya, komposit hybrid dengan susunan serat *e-glass* pada bagian terluar memiliki kekuatan bending tertinggi dan modulus elastisitas bending tertinggi pada komposit hybrid dengan serat rami pada susunan terluarnya.

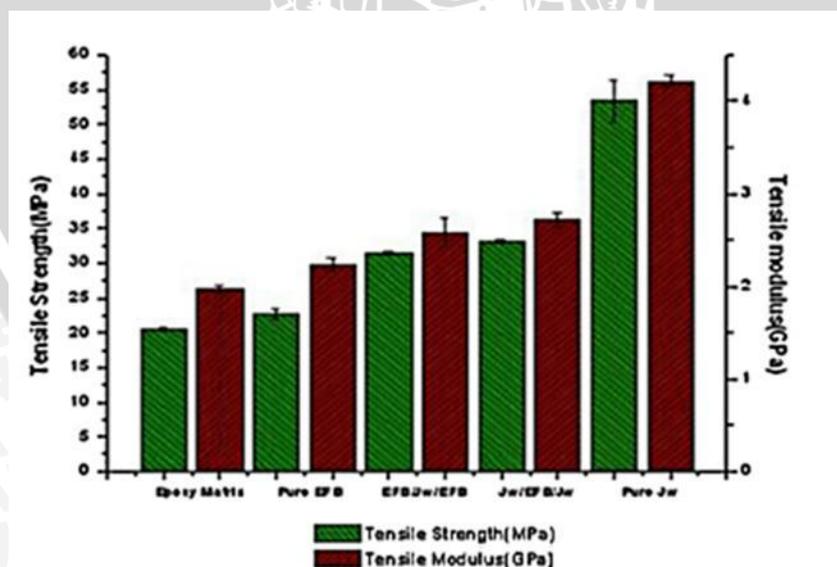
Hariyanto (2009) dalam penelitian yang berjudul *Pengaruh Fraksi Volume Serat Kenaf dan Serat Rayon Bermatriks Poliester terhadap Kekuatan Tarik dan Impak* menunjukkan bahwa penambahan fraksi volume serat dapat meningkatkan kekuatan tarik dan impak komposit. Pada penelitian ini serat disusun secara kontinyu, dengan variasi fraksi volume sebesar 10%, 15%, dan 20%. Hasil penelitian didapatkan kekuatan tarik komposit serat kenaf/*polyester* tertinggi pada V_f 20% sebesar 38,2 MPa dan kekuatan tarik komposit serat rayon/*polyester* pada V_f 15% sebesar 51,23 MPa.

Budi (2011) dalam penelitiannya yang berjudul *Pengaruh Fraksi Volume Serat Tebu terhadap Sifat-sifat Tarik Komposit Diperkuat Unidirectional Serat Tebu dengan Matrik Poliester* menggunakan fraksi volume serat tebu sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% untuk membuat spesimen tarik dengan standar ASTM D-638. Pada hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan bertambahnya fraksi volume serat tebu mengakibatkan penurunan kekuatan dan regangan tarik komposit namun meningkatkan

modulus elastisitasnya, yang dibuktikan dengan nilai kekuatan tarik pada fraksi volume serat 0% sebesar 32,29 Mpa, pada 10% sebesar 24,94 Mpa, pada 20% sebesar 25,86 Mpa, pada 30% sebesar 21,27 Mpa dan pada 40% sebesar 18,56 Mpa. Dan pada modulus elastisitas berangsur turun hingga pada V_f 40% hanya mencapai 4,31 %.

Jawaid (2011) dalam penelitiannya yang berjudul *Woven hybrid composites: Tensile and flexural properties of oil palm-woven jute fibres based epoxy composites*, meneliti tentang kekuatan tarik dan lentur pada spesimen tiga layer yang terdiri dari lapisan *Empty Fruit Bunches* (EFB) dan anyaman rami (Jw – *Jute woven*) diperkuat epoxy. Komposit dibuat dengan metode *hand lay-up* dalam cetakan (*closed mold*) dan dilakukan proses *curing* dengan suhu 105 °C selama 1 jam dengan menggunakan *hot press*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat tarik dan lentur komposit EFB murni dapat ditingkatkan dengan hibridisasi dengan anyaman serat rami. Ditemukan kesimpulan bahwa kekuatan tarik dan lentur komposit hibrid lebih tinggi dari komposit EFB murni tetapi kurang dari komposit anyaman rami murni.

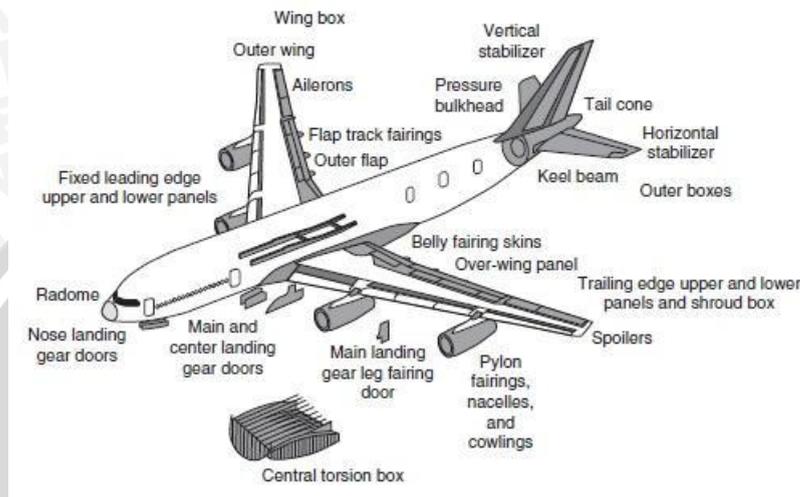
Pola *layering* (EFB / Jw / EFB dan Jw / EFB / Jw) secara signifikan mempengaruhi kekuatan tarik dan sifat lentur. Perbandingan antara kekuatan tarik dan sifat lentur komposit hibrid menunjukkan bahwa komposit hibrid dengan dua lapisan kulit di kedua sisi adalah kombinasi yang baik. Hal ini juga dapat dilihat bahwa kekuatan tarik dan lentur anyaman rami adalah yang tertinggi dibandingkan dengan semua komposit lainnya.



Gambar 2.1 Hasil penelitian pada uji tarik
Sumber : Jawaid (2011)

2.2 Komposit

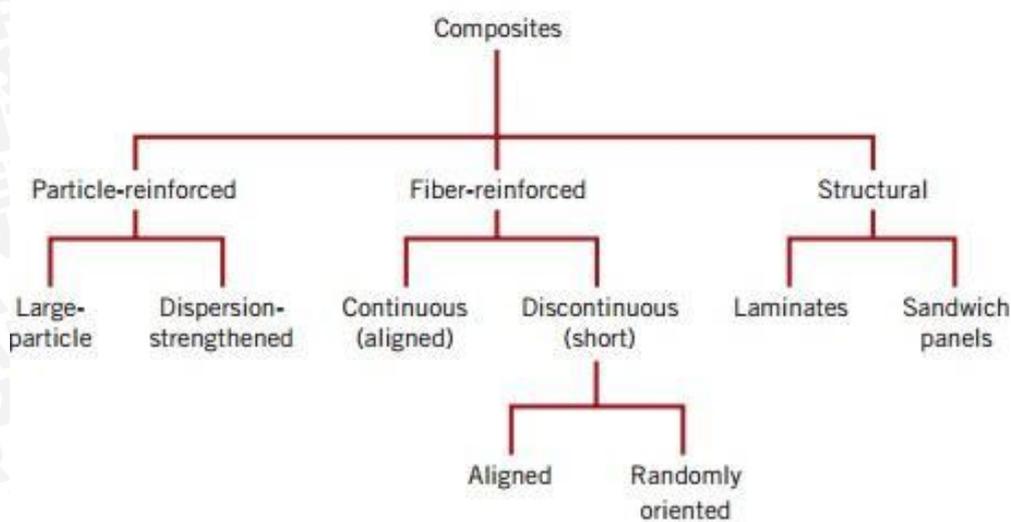
Komposit merupakan suatu material yang dibentuk dari kombinasi dua atau lebih jenis bahan dimana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda. Perbedaan material pembentuk ini akan membuat sebuah material baru yaitu komposit yang memiliki sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya (Schwartz, 1984).



Gambar 2.2 Aplikasi komposit pada pesawat Airbus A-380.

Sumber : Mallick (2007)

Berdasarkan jenis penguatnya, komposit diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu *Particle-Reinforced Composites*, *Fiber-Reinforced Composites* dan *Structural-Composites* (Callister, 2009).



Gambar 2.3 Klasifikasi komposit.

Sumber : Callister (2009)

Particle-Reinforced Composites adalah komposit yang fase terdispersinya berupa *equiaxed* yaitu dimensi partikel kurang lebih sama ke segala arah. *Fiber-Reinforced Composites* adalah komposit yang fase terdispersinya berupa geometri serat (yaitu rasio panjang dan besar diameter).

2.2.1 Fiber Reinforced Composites

Komposit berpenguat serat atau *fiber reinforced composite* tersusun atas serat atau penguat yang terikat pada matriks. Serat dan matriks tidak dapat menghasilkan kekuatan optimal jika berdiri sendiri, maka dari itu dibuatlah komposit untuk mengoptimalkan kekuatan matriks dan serat dengan kombinasi keduanya. Serat atau penguat berfungsi sebagai struktur utama dalam menahan beban, sedangkan matriks berfungsi untuk menjaga serat agar tetap pada lokasi dan orientasi yang diinginkan, selain itu matriks juga berfungsi sebagai bagian penghantar beban, dan melindungi dari kerusakan lingkungan akibat suhu tinggi, kelembaban ataupun korosi.

Serat yang paling umum digunakan dalam dunia komposit adalah *glass fiber*, *carbon fiber* serta *Kevlar*. Serat lainnya, seperti boron, silikon karbida, dan aluminium oksida, hanya digunakan dalam jumlah terbatas. Semua serat ini dapat dimasukkan ke dalam matriks baik dalam *continuous lengths* atau *discontinuous (short) lengths*. (Mallick, 2007).

Berdasarkan matriks penyusunnya *fiber reinforced composites* diklasifikasikan menjadi, *polymer matrix composite* (PMC) yaitu jenis komposit berpenguat serat dengan polimer sebagai matriks. *Metal matrix composite* (MMC) komposit berpenguat serat dengan logam atau *metal* sebagai matriks. *Ceramic matrix composite* (CMC) merupakan komposit berpenguat serat dengan keramik sebagai matriks.

2.3 Komposit Hibrid

Komposit hibrid ini terdiri atas dua atau lebih jenis serat yang tersusun dalam satu matriks. Pemilihan komponen yang membentuk komposit hibrid ditentukan oleh tujuan hibridisasi, persyaratan yang dikenakan pada bahan atau konstruksi yang akan dibuat. Pemilihan jenis serat yang kompatibel dengan sifat penyusun yang baik merupakan hal yang sangat penting ketika merancang dan memproduksi komposit hibrid.

Sifat sifat komposit hibrid tergantung pada kandungan serat, panjang serat, orientasi serat, tingkat pembauran serat, serat untuk ikatan matriks, dan susunan kedua

serat. Kekuatan komposit hibrid juga tergantung pada tegangan serat. Hasil hibrid akan maksimum bila serat regangan meregang secara cocok atau kompatibel. Sifat dari sistem hibrid yang terdiri dari dua komponen dapat diprediksi dengan aturan campuran (*rule of mixture*). Yang didefinisikan pada persamaan berikut (Matthews, 1994)

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot V_m \quad (2-1)$$

Jika terdapat lebih dari satu serat penguat, persamaan diatas menjadi

$$\sigma_c = \sigma_m \cdot V_m + \sigma_{f1} \cdot V_{f1} + \sigma_{f2} \cdot V_{f2} + \dots + \sigma_n \cdot V_n \quad (2-2)$$

Dimana:

σ_c = tegangan ultimate komposit (Mpa)

σ_m = tegangan ultimate matriks (Mpa)

σ_f = tegangan ultimate fiber/serat (Mpa)

V_m = fraksi volume matriks

V_f = fraksi volume serat

2.3.1 Biokomposit Hibrid

Dalam biokomposit hibrid ini, serat penyusun menggunakan serat yang berbeda dalam satu matriks baik serat alam ataupun sintesis. Secara umum biokomposit hibrid ini dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *biofiber-synthetic fiber composite*, *biofiber-biofiber composite*, *hybrid-textile composite*. (Mohanty, 2004)

Biofiber-synthetic fiber composite ini adalah jenis biokomposit hibrid yang dapat dirancang dengan kombinasi serat sintesis dan serat alami dalam satu matriks. Hibridisasi dengan serat gelas menyediakan metode untuk meningkatkan sifat mekanik komposit serat alam dan mempunyai efek pada modulus stress tergantung pada desain dan konstruksi komposit.

2.4 Fiber glass

Serat gelas (*fiber glass*) adalah material yang tersusun atas untaian serat dari kaca. *Fiberglass* terbuat dari berbagai jenis kaca, tergantung dari penggunaannya. Komposisi utama *fiberglass* adalah silika dengan sisanya adalah oksida-oksida unsur dengan jumlah bervariasi seperti aluminium (Al), kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), dan unsur-unsur lainnya. Serat kaca adalah yang paling umum dari semua serat penguat untuk dijadikan komposit matriks polimer (PMC). Fungsi utama serat dalam komposit adalah sebagai berikut (Mazumdar, 2002):

1. Untuk membawa beban. Dalam komposit struktur, 70 – 90% beban diterima oleh serat.
2. Untuk memberikan kekakuan, kekuatan, stabilitas panas, dan sifat struktur lainnya dalam komposit.
3. Menyediakan penghantaran atau insulasi elektrik, tergantung pada jenis serat atau serbuk yang digunakan.

Tabel 2.1 Sifat Mekanik *Fiberglass*

Property	Value	Test Method
Tensile strength	12,000 Psi	ASTM D 638
Flexural Strength	20,000 Psi	ASTM D 790
Flexural modulus	0.9×10^6 Psi	ASTM D 790
Compressive strength	17,000 Psi	ASTM D 695
Thermal expansion	10×10^{-6} (°F)	
Density (mg/m ³)	2,54	

Sumber : Architectural Fiberglass, Inc (2010)

Serat gelas dapat dibedakan menjadi *E-glass*, *S-glass*, dan *C-glass*. Dua jenis serat kaca yang biasa digunakan dalam komposit polimer diperkuat serat (FRP) industri adalah *E-glass* dan *S-glass*. Jenis lain, yang dikenal sebagai *C-glass*, digunakan dalam aplikasi kimia yang membutuhkan ketahanan korosi yang lebih besar untuk asam daripada dari *E-glass*.

Berdasarkan bentuk nya, *fiberglass* dibedakan menjadi :

1. *Chopped Strand Mat* berbentuk serat acak dianyam secara bertindih dan tidak teratur ke segala arah. Panjang serat ini lebih pendek dari woven roving. Jenis serat ini lebih fleksibel bila dibandingkan dengan bentuk lainnya.
2. *Roving*, berbentuk gulungan benang panjang yang digulung mengelilingi silinder roll.
3. *Woven Roving (WR)*, berbentuk anyaman seperti tikar, serat teranyam dibuat saling tindih secara selang seling dengan arah vertikal dan horisontal (0° dan 90°). Serat jenis ini lebih kaku dibandingkan jenis serat lainnya, lebih sulit dibentuk mengikuti lekukan mold.



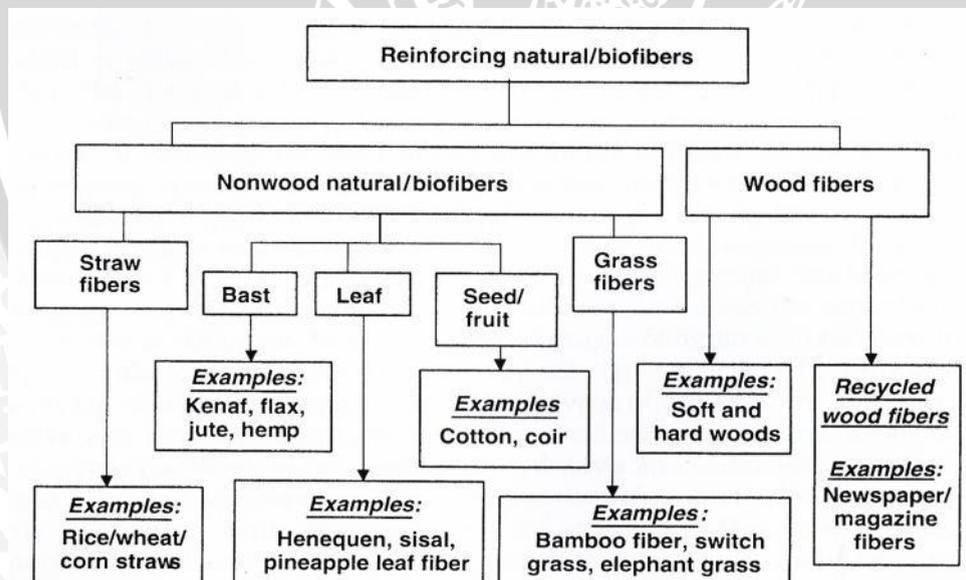
Gambar 2.4 Beberapa bentuk *glass fiber* (a) *Chopped Strand Mat*, (b) *Roving*, (c) *Woven Roving*

Sumber : Azo Materials (2007)

2.5 Serat Alam

Serat alam adalah serat yang berasal dari tumbuhan dan hewan. Untuk mendapatkan bentuk serat, diperlukan beberapa tahap pemrosesan tergantung dengan karakter bahan dasarnya. (Mohanty, 2005)

Tanaman yang menghasilkan serat alam, diklasifikasikan sebagai primer dan sekunder tergantung pada pemanfaatannya. Tanaman utama adalah mereka ditanam untuk kadar serat mereka sementara tanaman sekunder tanaman di mana serat diproduksi sebagai produk sampingan. Rami, rami, kenaf, dan sisal adalah contoh tanaman utama. Nanas, kelapa sawit dan sabut merupakan contoh tanaman sekunder.



Gambar 2.5 Kalsifikasi serat alam berdasarkan jenisnya

Sumber: Mohanty (2005)

Ada enam tipe dasar dari serat alami. Mereka diklasifikasikan berdasarkan asalnya, sebagai berikut: serat (jagung, padi, gandum), serat batang/kulit batang (kenaf,

flax, rami, jute), serat daun (sisal, henequen, serat nanas), serat rerumputan (serat bambu, alang alang), dan serat kayu.

Saat ini, serat alam berpenguat polimer telah dipakai dalam industri seperti pembuatan panel pintu, kursi, dan atap. Selain itu juga dipakai dalam industry otomotif karena beberapa alasan seperti:

1. Ramah lingkungan, yang berarti serat alam itu *biodegradable*, tidak seperti serat kaca maupun karbon. Konsumsi energy untuk memproduksi serat alam ini cenderung kecil
2. Massa jenis serat alam ini berada pada kisaran 1.25 -1.5 g/cm³ dibandingkan dengan serat kaca 2.54 g/cm³ dan serat karbon 1.8 – 2.1 g/cm³.
3. *Modulus weight ratio* pada beberapa serat alam lebih besar dari serat kaca type E-glass, yang berarti serat alam dapat lebih kompetitif dibandingkan serat E-glass pada desain ketangguhannya.

Dalam penelitian ini, dipakai beberapa serat alam seperti kenaf dan sisal.

Yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Kenaf (*Hibiscus cannabinus*)



Gambar 2.6 Tanaman Kenaf

Sumber : Balittas, Malang (2015)

Kenaf merupakan tanaman tahunan yang berasal di Asia dan Afrika. Kenaf cepat tumbuh dan mencapai ketinggian hingga 2,4 - 6 m dalam 5 bulan. Kenaf juga memiliki penyerapan karbondioksida tertinggi dari semua tanaman (kenaf 1 ton menyerap 1,5 ton CO₂ di atmosfer). Batang kenaf umumnya berbentuk bulat dan berduri. Dalam sejarahnya, serat kenaf dipakai untuk membuat tali, benang, kain karung atau goni. Sekarang berbagai aplikasi serat kenaf banyak bermunculan, termasuk produk kertas, material bangunan, penyerap, dan tidak tertutup kemungkinan penggunaan serat kenaf akan terus berkembang.

2. Sisal (*Agave sisalana*)



Gambar 2.7 Tanaman Sisal

Sumber : Balittas, Malang (2015)

Sisal berasal dari Meksiko dan Amerika Tengah, tetapi sekarang tumbuh luas di negara negara tropis di Afrika, India, dan Asia. Tanaman ini dapat tumbuh hingga mencapai 2 m. Serat di ekstrasi dari daun, lalu dicuci dan dijemur dibawah sinar matahari. Panjang sisal bervariasi, diantara 0.6 sampai 1.5 m dan diameternya berkisar antara 100 sampai 300 μm . Seratnya merupakan seikat subfiber yang berongga. Serat sisal halus, lurus, berwarna kuning dan mudah terdegradasi dalam air garam.

Tabel 2.2 Sifat mekanik beberapa jenis serat alam

Property	Ramie	Kenaf	Sisal	Jute
Density (g/cm^3)	1.1 - 1.45	1.0 - 1.5	1.0 - 1.45	1.1 - 1.3
Diameter (μm)	16-120	15-30	50-300	12-120
Modulus (Gpa)	24.5	53	9.4-22	2.5-15
Tensile Strength (Mpa)	200-1000	105-1500	350-600	400-500
Elongation to Failure (%)	1.7-3	2.5-3.5	3.0-7.0	1.5-2

Sumber : A K Mohanty (2005) , K.E.F.I (2006), Balittas (2011)

Komposisi kimia (tabel 2.2) maupun struktur dari serat tumbuhan cukup rumit. Serat tanaman adalah material komposit yang didisain oleh alam. Serat pada dasarnya kaku, diperkuat serat kristal mikro selulosa dengan lignin / hemiselulose sebagai matriks. Kebanyakan, serat tanaman kecuali kapas terbentuk oleh cellulose, hemicellulose, lignin (penyusun utama), dan waxes, serta beberapa senyawa yang larut dalam air. Cellulose, hemicellulosa, dan lignin adalah penyusun utama.

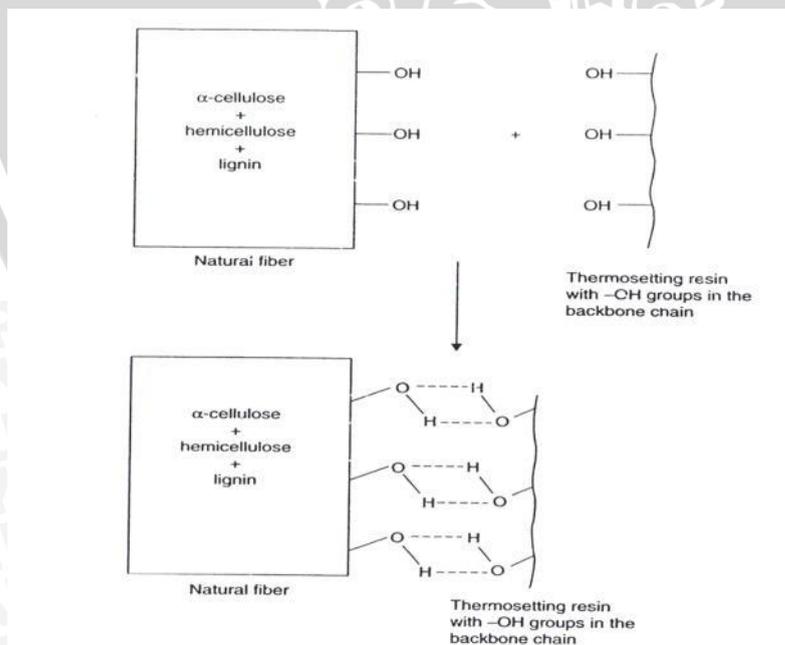
Tabel 2.3 Komposisi kimia beberapa jenis serat alam

Jenis Serat	Cellulose (wt%)	Hemicellulose (wt%)	Lignin (wt%)	Waxes (wt%)
Rami	68.6 – 76.2	13-16	0.6-0.7	0.3
Kenaf	72	20.3	9	-
Sisal	65	12	9.9	2
Jute	61-71	14-20	12-13	0.5

Sumber : Mohanty (2005)

Cellulose padat mempunyai struktur semi-kristal. Cellulose tahan terhadap alkali kuat (17.5 wt%) tetapi dapat secara mudah terhidrolisis oleh asam menjadi gula yang larut dalam air. Hemicellulose sangat mudah larut dan dapat dengan mudah terhidrolisis dalam asam. Lignin adalah senyawa yang memberikan kekakuan (*rigidity*) pada tanaman. Lignin tidak larut dengan asam, tapi larut dalam larutan alkali, dan mudah menguap dengan fenol.

Ikatan antara serat alam dengan resin dibagi menjadi tiga golongan, yaitu ikatan mekanis, ikatan molekular (fisikal) yang menarik (gaya van der Waals dan ikatan hidrogen), dan ikatan kimia serat alam dengan resin. Kelompok hidroksil (-OH) pada rantai ikatan utama pada resin memberikan rantai untuk berikatan dengan hidrogen pada permukaan serat alam, yang mengandung banyak gugus hidroksil dalam struktur kimia. Skema ikatan antara resin termoset dengan serat alam ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.8 Ikatan antara resin termoset dengan serat alam

Sumber : Mohanty (2005)

2.6 Matriks

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 di tempatnya, 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

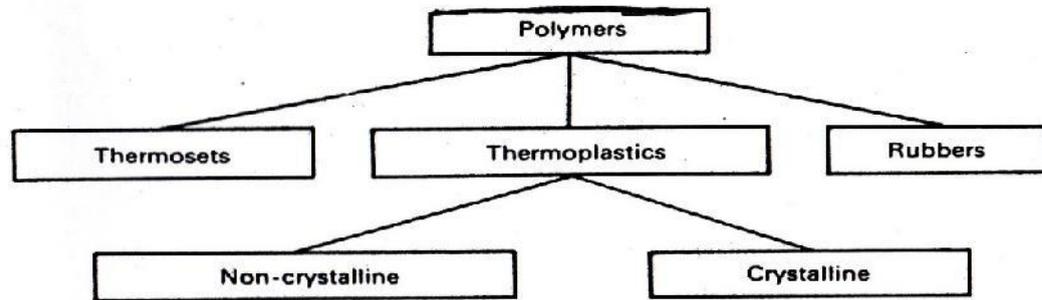
Berdasarkan matriks penyusunnya, komposit dibagi menjadi 3 bagian utama, *Polymer Matrix Composite*, *Ceramics matrix composite*, dan *Metal Matrix Composite*. *Polymer Matrix Composite* akan dibahas pada bab ini karena merupakan jenis matriks yang digunakan dalam penelitian.

Matriks berperan penting dalam kekuatan tarik dan daya dukung dari struktur komposit. Matriks memberikan dukungan lateral terhadap kemungkinan terjadinya *buckling* pada beban tekan, sehingga mempengaruhi sampai batas tertentu dai kekuatan tekan bahan komposit. Interaksi antara serat dan matriks juga penting dalam merancang toleransi kerusakan pada struktur. Akhirnya, pengolahan dan cacat dalam bahan komposit sangat bergantung pada karakteristik pengolahan matriks. Misalnya, untuk polimer epoxy digunakan sebagai matriks dalam berbagai komposit kedirgantaraan, karakteristik pengolahan meliputi viskositas cairan, suhu menyembuhkan, dan waktu *curing*. (Mallick, 2007)

2.6.1 *Polymer Matrix Composite*

Polymer matrix composites (PMC) terdiri dari resin polimer sebagai matriks, dengan serat sebagai media penguatan. *Polymer matrix composites* (PMC) merupakan jenis komposit yang paling beragam digunakan dalam aplikasi komposit, komposit ini adalah jenis komposit dengan penggunaan terbesar dikarenakan kemudahan fabrikasi, dan biaya yang dihabiskan untuk membuat jenis komposit ini. (Callister, 2009).

Polymer matrix composites diklasifikasikan menjadi 3 jenis utama. *Thermoset*, *thermoplastic*, dan *rubber/ karet*. (Matthew, 1994)



Gambar 2.9 Pembagian jenis matriks polimer

Sumber : Matthew (1994)

1. *Thermoset*

Jenis resin *thermoset* termasuk *irreversible* yang berarti tidak dapat mengikuti perubahan suhu. 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*, *Vinylesters*, *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 pemrosesan *thermoset*

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

2. *Thermoplastic*

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

akan meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (*reversibel*) 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 di daur ulang dengan menggunakan panas dan tekanan dan pengolahan komposit *thermoplastic* relative lebih singkat,
- Kerugian dari pemrosesan *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.

Tabel 2.4 Perbandingan sifat mekanik *thermoset* dan *thermoplastic*

	<i>Thermoset</i>	<i>Thermoplastic</i>
Young's Modulus (GPa)	1.3 – 6.0	1.0-4.8
Tensile strength (MPa)	20-180	40-190
Fracture toughness		
K_{Ic} (MPa \sqrt{m})	0.5-1.0	1.5-6.0
G_{Ic} (kJ/m ²)	0.002-0.2	0.7-6.5
Maximum temperature (°C)	50-450	25-230

Sumber: Matthew (1994)

2.6.2 Polyester

Salah satu jenis resin *thermoset* adalah *polyester*. Resin *polyester* ini adalah jenis resin cair dengan viskositas rendah yang banyak digunakan dalam aplikasi komposit pada dunia industri dikarenakan harga yang relatif murah, waktu *curing* relatif cepat, mempunyai ketahanan korosi dan kestabilan dimensional yang baik. Resin jenis ini dapat digunakan dalam pembuatan komposit dari proses sederhana hingga proses yang kompleks. (Billmeyer, 1984).

Unsaturated polyester diperoleh dengan mereaksikan asam organik jenuh dengan alkohol. Asam organik jenuh yang digunakan meliputi maleat, fumarat, ftalat, dan tereftalat. Alkohol yang digunakan seperti etilena glikol, propilen glikol, dan terhalogenasi glikol. Untuk proses *curing* atau pengikatan silang, monomer reaktif seperti stirena ditambahkan pada kisaran 30% sampai 50% berat.

Dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya kesehatan pada proses manufaktur, pengawasan pada emisi stirena / *styrene* semakin diperhatikan. Penggunaan stirena saat ini telah dikurangi. Metode saat ini menggunakan katalis untuk proses *curing*, yang perlahan mulai mengurangi pemakaian stirena pada produksi komposit *polyester*. (Mazumdar, 2002)

Dalam penelitian ini, digunakan resin *unsaturated polyester* dengan merk YUKALAC 157 BQTN-EX yang diproduksi oleh PT. Justus Kimiaraya

Tabel 2.5 Spesifikasi resin *unsaturated polyester* YUKALAC 157 BQTN-EX

	Nilai Tipikal	Catatan
Densitas (gr/cm ³)	1.215	
Suhu distorsi panas (%)	70	
Penyerapan air air (suhu ruangan) (%)	0,188	24 jam
	0,466	3 hari
Kekuatan Flexural (Kg/mm ²)	9,4	
Modulus Flexural (Kg/mm ²)	300	
Daya rentang (Kg/mm ²)	5,5	
Modulus rentang (Kg/mm ²)	300	
Elongasi (%)	1,6	

Sumber : Justus Kimiaraya (1996)

2.6.3 Katalis

Katalis adalah bahan kimia yang dapat meningkatkan laju suatu reaksi tanpa mengubah komposisi kimia bahan setelah reaksi berakhir. Penggunaan katalis dibatasi berdasarkan kebutuhan dan *properties* dari resin yang dipakai, pada saat penambahan katalis ke dalam resin maka akan timbul panas (60°-90° C). Penambahan katalis tidak boleh terlalu banyak karena akan berakibat komposit menjadi getas akibat panas berlebih yang timbul saat proses pengeringan. Maka dari itu penambahan katalis dibatasi 1-2% dari volume resin (Justus, 2001). Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis katalis MEKPO (*methyl ethyl keton peroxide*).

2.7 Alkalisasi Serat Alam

Sudah diketahui bahwa performa komposit tergantung pada sifat sifat komponen penyusun dan kompatibilitas antar permukaan (*interface*). Untuk pemanfaatan tanaman serat harus disiapkan atau diberi perlakuan terlebih dahulu, dengan tujuan sebagai berikut:

- Homogenisasi sifat serat
- Terbentuk gaya adhesi yang baik antara serat dan matriks
- Menurunkan kelembaban

Sifat sifat ini sebagian dipengaruhi oleh prosedur pemisahan serat yang berbeda, tetapi proses proses perlakuan serat setelahnya sangat berpengaruh. Beberapa komponen non-cellulose harus dihilangkan untuk memastikan kesesuaian antara tanaman serat dengan matriks yang dipakai. Perlakuan alkalisasi, tergantung pada konsentrasi unsur alkali dan temperaturnya dapat meningkatkan sifat mekanik serat itu secara signifikan. Setelah naturalisasi dengan pencucian dan pengeringan secara menyeluruh, terdapat perubahan dibandingkan dengan bahan serat tanpa perlakuan, sebagai berikut:

- Serat telah dimurnikan
- Unsur penyusun serat yang tidak diinginkan sebagian besar hilang
- Kemampuan pemisahan serat meningkat

Selama proses alkalisasi, komponen lilin berubah menjadi sabun atau ter saponifikasi (*saponified*) yang membuat lilin terlepas dari permukaan serat. Lilin yang menempel pada permukaan serat dipengaruhi oleh sifat selulosanya. (Mohanty, 2005)

2.7.1 Alkalisasi dengan senyawa NaOH

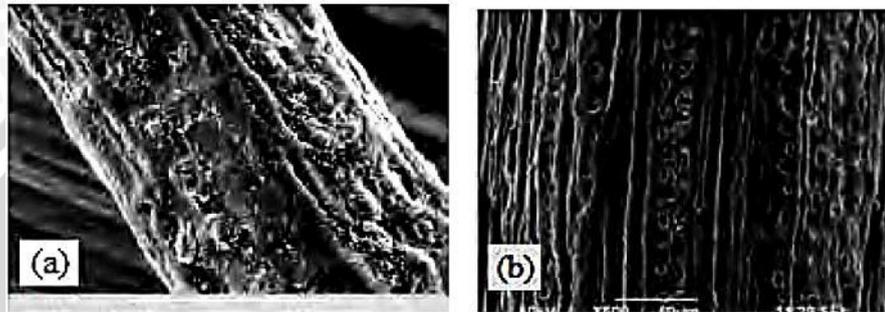
Perlakuan kimia serat sabut kelapa dengan NaOH (Alkalisasi) untuk memperoleh ikatan yang baik antara matriks dan serat dilakukan modifikasi permukaan serat. Modifikasi permukaan dilakukan untuk meningkatkan kompatibilitas antara serat alam dengan matriks. Alkalisasi pada serat alami adalah metode yang telah digunakan untuk menghasilkan serat berkualitas tinggi. Alkalisasi pada serat merupakan metode perendaman serat ke basa alkali. (Maryanti, 2011)



Alkaline treatment adalah perlakuan kimia yang paling sering digunakan untuk serat alam. Tujuan dari alkalisasi disini adalah mengacaukan ikatan hidrogen di stuktur serat, sehingga menambah kekasaran serat tersebut. Proses alkalisasi menghilangkan komponen penyusun serat yang kurang efektif dalam menentukan kekuatan antar muka

yaitu hemiselulosa, lignin atau pektin. Dengan berkurangnya hemiselulosa, lignin atau pektin, *wettability* serat oleh matriks akan semakin baik, sehingga kekuatan antarmuka pun akan meningkat. Selain itu, pengurangan hemiselulosa, lignin atau pektin, akan meningkatkan kekasaran permukaan yang menghasilkan *mechanical interlocking* yang baik (Maryanti, 2011).

Penelitian berkaitan tentang hasil alkalisasi dengan melakukan pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) pada serat sabut kelapa yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 (Karthikeyan, 2013)

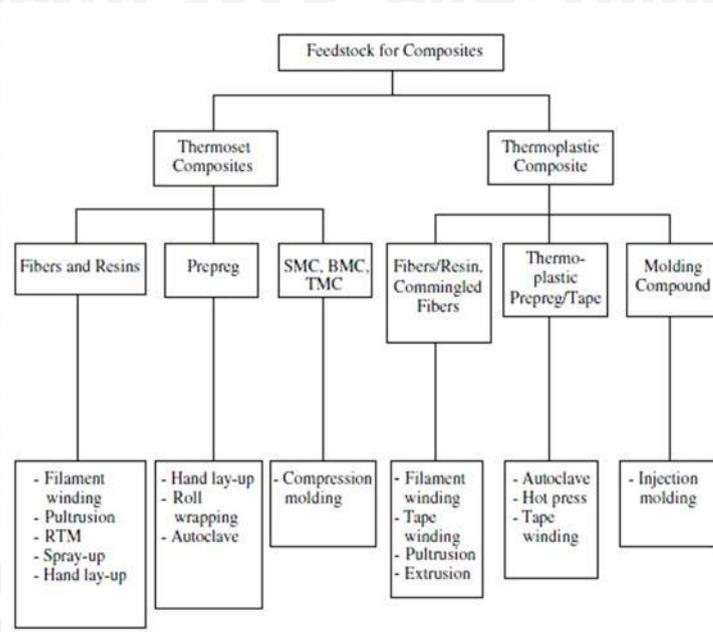


Gambar 2.10 Serat Sabut kelapa (a) sebelum alkalisasi (b) sesudah alkalisasi
Sumber : *Journal of Scientific & Industrial Research* Vol.72, February (2013)

Pada Gambar 2.10 (a) dan (b) menunjukkan serat sabut kelapa sebelum dan sesudah dilakukan *alkali treatment*. Dari Gambar 2.10.(a), dapat dilihat permukaan dari serat sabut kelapa diselubungi dengan berbagai lapisan yang diantaranya adalah pektin, lignin, dan kotoran. Permukaan serat yang kasar dan memiliki tekstur yang tidak beraturan. Setelah dilakukan *alkali treatment*, sebagian besar komposisi lignin dan pektin dihilangkan yang menghasilkan permukaan yang lebih kasar yang dapat dilihat pada Gambar 2.10.(b)

2.8 Metode Pembuatan Komposit

Terdapat beberapa metode pembuatan komposit pada jenis *thermoset* dengan bahan *fiber* dan resin. Yaitu *Filament winding*, *pultrusion*, *Spray up*, *hand lay-up*, dan RTM. (Mazumdar, 2002) :

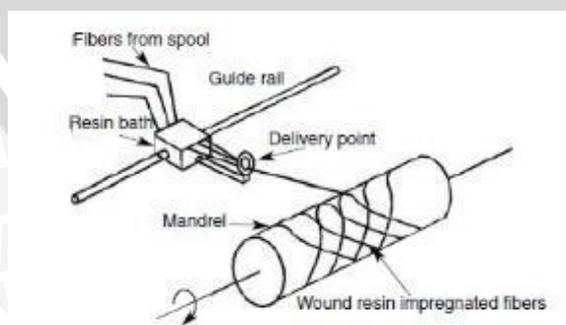


Gambar 2.11 Metode metode pembuatan komposit

Sumber : Mazumdar (2002)

1. *Filament Winding*

Filamen berliku atau *filament winding* adalah proses di mana serat resin terimpregnasi digulung selama *mandrel* (batang silinder) berputar pada sudut yang diinginkan. Proses *filament winding* ditunjukkan pada Gambar 2.14, di mana unit kereta bergerak bolak-balik dan batang silinder berputar pada kecepatan tertentu. Dengan mengontrol gerakan unit pengangkutan dan batang silinder, sudut serat yang diinginkan dapat dihasilkan. Proses ini sangat cocok untuk membuat bagian-bagian tubular. Proses dapat otomatis untuk membuat bagian-bagian volume tinggi dengan biaya yang efektif. Proses *filament winding* adalah satu-satunya teknik manufaktur cocok untuk membuat struktur khusus tertentu, seperti bejana tekan.



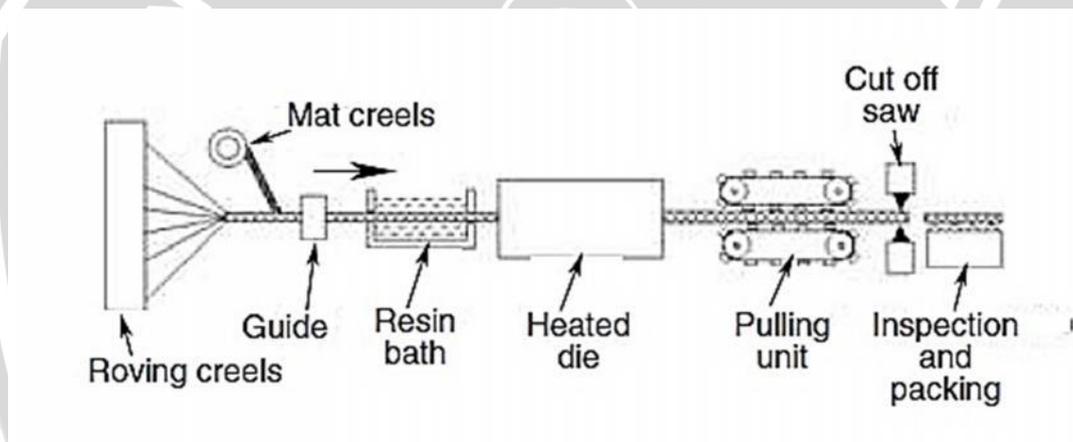
Gambar 2.12 Skema proses *filament winding*

Sumber : Mazumdar (2002)

2. Pultrusion

Proses *pultrusion* adalah proses dengan biaya rendah, proses manufaktur dengan volume tinggi di mana serat resin-terimpregnasi ditarik melalui suatu cetakan untuk membuat suatu *part* / bagian. Proses ini serupa dengan proses ekstrusi logam, dengan perbedaannya disamping material didorong melalui cetakan dalam proses ekstrusi, material ditarik melalui cetakan dalam proses pultrusion. Pultrusion menciptakan bagian konstan penampang dan panjang terus menerus.

Pultrusion merupakan proses yang sederhana, murah, kontinyu, dan otomatis. Gambar 2.13 mengilustrasikan proses *pultrusion* dimana benang benang resin terimpregnasi ditarik melalui cetakan panas dengan kecepatan konstan. Pada saat material melewati cetakan yang panas, material sebagian atau seluruhnya telah mengalami proses curing/ pengeringan. *Pultrusion* menghasilkan *part* yang halus yang biasanya tidak memerlukan proses perlakuan lanjutan.



Gambar 2.13 Skema proses *pultrusion*
Sumber : Mazumdar (2002)

3. RTM (*Resin Transfer Molding*) atau secara umum dikenal sebagai *Injection Mold*

Injection molding merupakan metode yang dilakukan dengan cara memberi tekanan injeksi (*injection pressure*) dengan besar tertentu pada material plastic yang telah dilelehkan oleh energi panas untuk dimasukkan ke dalam cetakan sehingga didapat bentuk yang diinginkan.

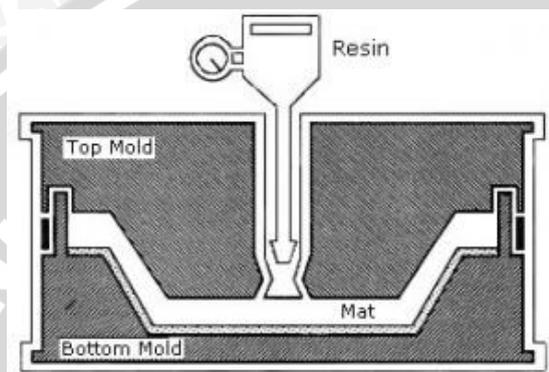
Kelebihan :

- Produk dapat dibuat dengan toleransi seminimal mungkin
- Komponen dapat dihasilkan dengan tingkat produksi tinggi

- Dapat membuat produk yang sama dengan bahan baku yang berbeda tanpa merubah desain dan cetakan

Kekurangan :

- Hanya digunakan padaserat pendek acak dan partikel.
- Apabila resin yang digunakan mempunya titik leleh tinggi maka energy yang dibutuhkan untuk pemanasan juga lebih tinggi, maka energi yang dibutuhkan untuk pemanasan juga lebih tinggi sehingga biaya pengerjaan bisa lebih tinggi.



Gambar 2. 14 Skema *Injection Molding*
Sumber : Illstreet Composite (2011)

4. *Hand Lay-up*

Pembuatan komposit dengan metode *hand lay-up* merupakan cara yang paling sederhana karena dilakukan dengan cara manual. Untuk menggunakan metode ini, cetakan yang digunakan harus bersih dan mempunyai permukaan yang halus agar hasil dapat diperoleh secara maksimal.

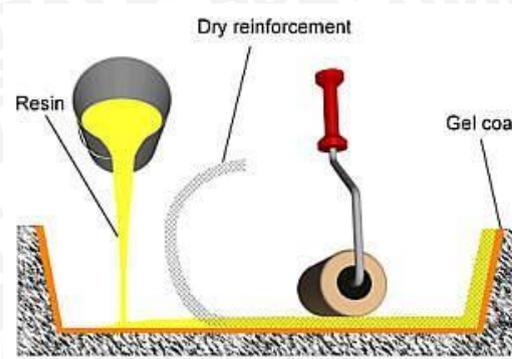
Proses metode *hand lay-up* dengan membuat lapisan (*Laminate*) dari serat dan resin diatas cetakan sampai ketebalan tertentu sesuai desain. Setelah ketebalan sesuai desain, proses selanjutnya adalah meratakan lapisan komposit dengan menggunakan *roller*, agar udara di dalam komposit keluar dan permukaan menjadi lebih rata.

Kelebihan Proses *hand lay-up* :

- Proses pengerjaan relative mudah dan murah
- Alat pendukung metode sederhana
- Dapat digunakan untuk benda besar maupun kecil
- dapat digunakan untuk serat pendek maupun panjang

Kekurangan

- Keseragaman produk kurang seragam, bergantung pengerjaan tangan
- Pengerjaan relative lama, dan volume produksi rendah



Gambar 2.15 Skema metode *hand lay-up*
 Sumber : *Design Technology Wiki* (2014)

5. *Spray-up*

Proses *spray-up* hampir sama dengan *hand lay-up*, dengan perbedaan dalam metode penerapan serat dan bahan ke cetakan. Proses *hand lay-up* merupakan proses kerja intensif karena serat penguat dan bahan resin dikerjakan secara manual. Dalam proses *spray-up*, *spraygun* yang digunakan untuk menerapkan resin dan penguat dengan kapasitas 1.000-1.800 pon bahan yang disemprotkan per jam. Dalam proses ini *spraygun* yang digunakan untuk menampung serat gelas dan resin / katalis ke cetakan. *Spraygun* secara bersamaan memotong serat jenis roving dengan panjang yang telah ditentukan sebelumnya (10 sampai 40 mm) dan mendorongnya melalui semprotan campuran resin / katalis ke cetakan. Proses *spray-up* jauh lebih cepat daripada basah proses *hand lay-up* dan merupakan pilihan yang lebih murah karena menggunakan roving, yang merupakan bentuk murah dari *fiber glass*.

Kelebihan :

- Hemat dalam penggunaan resin dan serat
- Volume produksi yang tinggi, karena waktu pengerjaan yang relative cepat

Kekurangan:

- Hanya dapat dipakai untuk *filler* berbentuk partikel dan serat pendek acak
- Karena proses penyemprotan maka resin yang dipakai harus mempunyai viskositas rendah
- Membahayakan kesehatan karena adanya kemungkinan partikel partikel resin yang terhirup selama proses penyemprotan, maka dari itu proses *spray-up* saat ini kebanyakan menggunakan tenaga robot.



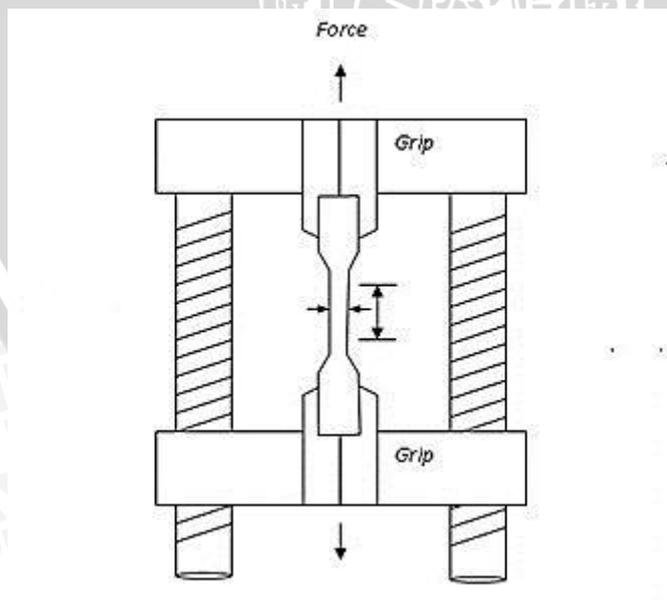
Gambar 2.16 Proses *Spray-up* dengan menggunakan robot
Sumber : Mazumdar (2002)

2.9 Pengujian Sifat Mekanik

2.9.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui tegangan, regangan, modulus elastisitas bahan atau material, dalam penelitian ini adalah biokomposit hybrid, dengan cara menarik specimen sampai patah.

Untuk pengujian Tarik ini, sebelumnya peneliti membuat bentuk specimen sesuai standar ASTM, yaitu ASTM D 638. Ujung specimen diletakkan pada penjepit di alat *universal testing machine*, lalu dilakukan penarikan secara konstan pada spesimen dengan kecepatan 5 mm per menit.



Gambar 2.17 Skema pengujian Tarik
Sumber: Ahmadi (2011)

Besar kekuatan tarik ultimate dengan luas penampang tertentu (A_u) adalah

$$\sigma_u = \frac{P_{max}}{A} \quad (2-3)$$

(Khurmi: *Strength of Material*, 2002)

Dimana :

σ_u = Kekuatan tarik *ultimate* (MPa)

A = Luas penampang (mm²)

P_{max} = Beban tarik maksimum (N)

Regangan yaitu awal pertambahan panjang dikarenakan pembebanan dengan dibandingkan panjang awal. Besar regangan adalah

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \quad (2-4)$$

(Khurmi: *Strength of Material*, 2002):

Dimana :

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

L_o = Panjang awal (mm)

ε = Regangan

Hubungan tegangan regangan pada tarikan memberi nilai yang cukup berubah tergantung pada laju tegangan, temperatur, kelembaban, dan seterusnya. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban tarik sesumbu pada batang uji standar yang dijepit kedua ujungnya secara perlahan-lahan sampai patah.

2.10 Hipotesis

Menurut penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan kajian teori di atas, dapat dibuat hipotesis bahwa, dengan meningkatkan fraksi volume serat alam dalam penguat komposit maka akan dapat meningkatkan hasil kekuatan tarik biokomposit hibrid. Dikarenakan dengan meningkatnya fraksi serat alam, jumlah penguat yang menahan beban akan meningkat, distribusi tegangan di dalam komposit akan semakin baik, hal inilah yang membuat tegangan tarik komposit hibrid akan meningkat.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental nyata (*true experimental research*). Dalam penelitian ini objek penelitian dibuat dalam bentuk spesimen sesuai standar yang berlaku yang kemudian diuji untuk mengetahui kekuatan tarik spesimen. Dengan penelitian ini akan diteliti pengaruh variasi fraksi volume serat alam – *woven e-glass* terhadap kekuatan tarik biokomposit hibrid matriks *polyester*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian mengenai pengaruh fraksi volume serat alam – *woven e-glass* terhadap kekuatan tarik biokomposit hibrid matriks *polyester*, dilaksanakan pada rentang waktu Februari - Oktober 2015 mulai dari tahap konsultasi judul, penelitian di laboratorium, sampai dengan analisa data.

Data yang diambil diperoleh dari penelitian yang dilakukan pada :

1. Laboratorium Fisika Dasar Jurusan Fisika MIPA Universitas Brawijaya
2. Laboratorium Sentral Teknik Mesin Universitas Brawijaya

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang bebas ditentukan nilainya sebelum dilakukan penelitian. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah

- Komposit hibrid yang digunakan adalah serat sintetis jenis *woven e-glass* dengan serat alam.
- Variasi jenis serat alam, yaitu serat kenaf dan sisal, dengan variasi :

Variasi fraksi volume serat (%)				Matriks
Kenaf	Woven e-glass	Sisal	Total Serat alam	
0	1.42%	0	0%	98.58%
2.5%	1.42%	2.5%	5%	93.58%
5%	1.42%	5%	10%	88.58%
7.5%	1.42%	7.5%	15%	83.58%
10%	1.42%	10%	20%	78.58%

3.3.2 Variable terikat (*dependent*)

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

3.3.3 Variabel Terkontrol (*controlled variable*)

Variable terkontrol adalah variable yang ditemukan oleh peneliti dan nilainya ditentukan konstan. Variable yang dikontrol dalam penelitian ini adalah:

- Kadar NaOH 5 % saat perendaman serat alam
- Waktu perendaman serat alam selama 2 jam
- Prosentase katalis, 2 % dari volume resin
- Menggunakan resin polyester BQTN 157
- Fraksi serat *woven e-glass* sebesar 4,86%

3.4 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.4.1 Peralatan

1. Gelas Plastik

Sebagai tempat mencampur resin dan katalis.

2. Syringe

Digunakan untuk mengetahui volume katalis yang digunakan dalam resin.

3. Spatula kaca

Untuk mengaduk campuran resin dan katalis.

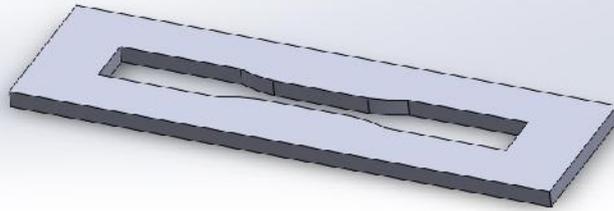
4. Timbangan Digital

Untuk menimbang berat resin dan katalis yang digunakan

5. Mirror Glaze

Sebagai *release agent* agar spesimen mudah dilepas dari cetakan.

6. Cetakan spesimen



Gambar 3.1 Cetakan spesimen

Volume cetakan sebesar $22192 \text{ mm}^3 \approx 22,192 \text{ cm}^3$

7. Stopwatch

Digunakan untuk menghitung waktu perendaman serat alam dan waktu *curing* spesimen

8. Universal testing machine

Spesifikasi alat

Tipe : Hydraulic servo capasitor 5 ton

Daya : 6000 Watt

Voltase : 380V



Gambar 3.2 Universal Testing Machine

3.4.2 Bahan

1. Resin *polyester* Yukalac 157 BTQN-EX

Sebagai matrik dalam pembuatan komposit

2. Katalis MEKPO

Sebagai *accelerator* untuk mempercepat dalam pengerasan resin

3. *Glass fiber woven roving*

Sebagai serat dalam komposit, yang digunakan adalah *woven roving* ukuran 200



Gambar 3.3 *Glass fiber woven roving*

4. Serat alam

Sebagai serat dalam komposit



(a)

(b)

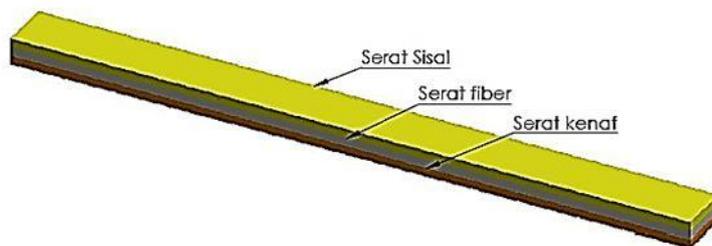
Gambar 3.4 (a) Serat kenaf. (b) serat sisal

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian pada biokomposit hibrid ini adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan cetakan dengan pemberian toleransi panjang, lebar, tebal agar spesimen yang terbentuk dapat dilakukan *finishing* untuk menyesuaikan dengan dimensi yang diinginkan.
2. Olesi cetakan dengan *mirror glaze* atau *release agent* agar nantinya komposit dapat dilepas dari cetakan.
3. Letakkan serat sesuai variasi penelitian, serat alam/ *woven e-glass*/ serat alam dengan panjang lebih dari cetakan. Lalu dijepit dengan *mold* kayu. Lalu dipasang cetakan spesimen pada pertengahan serat hibrid tersebut.

Susunan serat dalam spesimen komposit



Gambar 3.5 Susunan serat dalam spesimen komposit

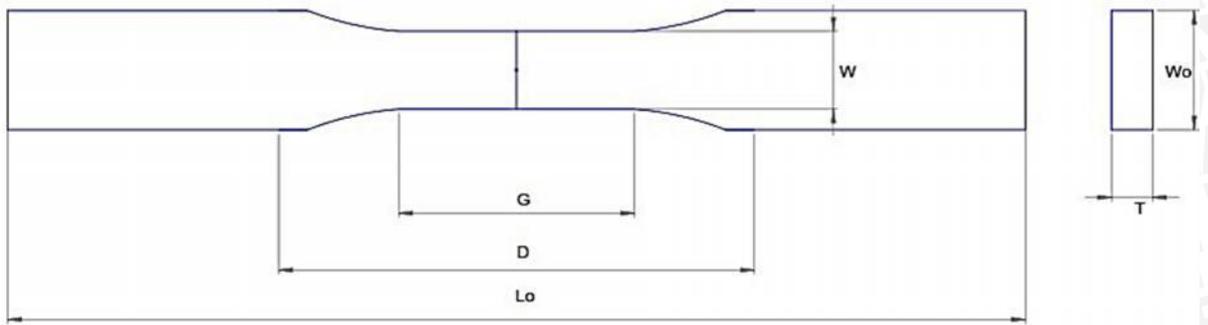
4. Tuang resin dalam gelas ukur dan timbang sesuai volume resin yang sesuai volume cetakan.
5. Ambil katalis dengan menggunakan *syringe*. Dan dicampur pada resin sesuai presentase (2%)
6. Tuangkan campuran resin ke atas serat hibrid, dan ratakan.
7. Tunggu hingga spesimen mengering (± 8 jam pada suhu ruangan).
8. Ulangi langkah 1 sampai 7 berdasarkan variasi fraksi volume serat alam : 0% , 5%, 10%, 15%, dan 20%
9. Lakukan finishing agar spesimen sesuai dengan dimensi yang sudah ditetapkan.
10. Pengujian tarik hasil pembuatan biokomposit hibrid dengan pengulangan sebanyak 2 kali.

3.5.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui besar kekuatan tarik dan modulus elastisitas dari bahan komposit. Pengujian ini dilakukan dengan mesin uji *Universal testing machine*. Spesimen berupa spesimen dengan standar ASTM D 638 tipe- I dengan desain dan dimensi sebagai berikut:

Tabel 3.1 Dimensi spesimen pengujian kekuatan tarik

Lo – Length Overall (mm)	D – Distance between grips (mm)	G – Gage length (mm)	T – Thickness (mm)	W – Width narrow section (mm)	Wo – Width overall (mm)	R – Radius fillet (mm)
165	115	50	6	13	19	76



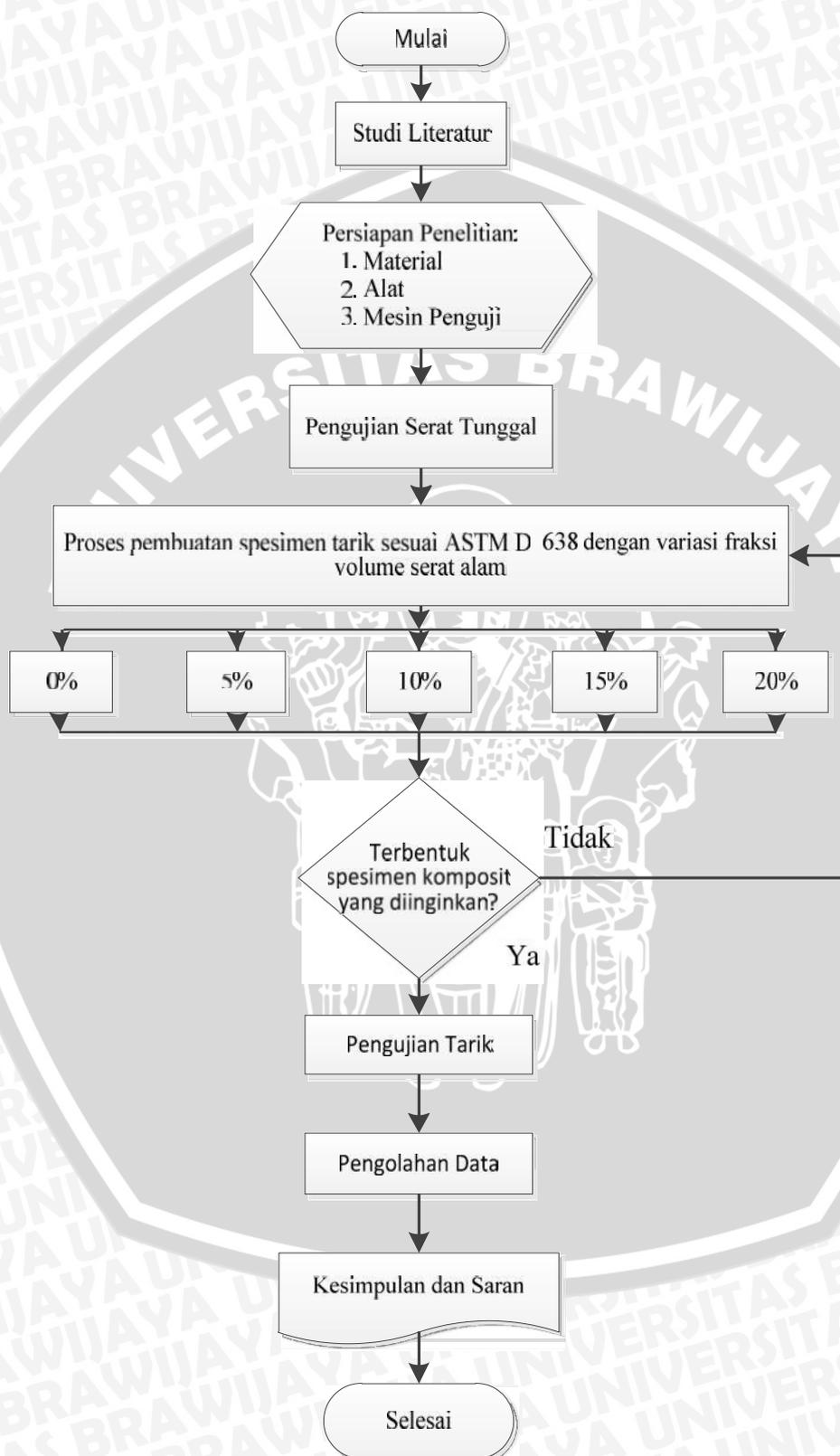
Gambar 3.6 Spesimen tarik biokomposit hibrid

Langkah – langkah pengujian kekuatan tarik dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pastikan kondisi temperatur dan kelembaban ruangan sama pada saat proses pembuatan spesimen.
2. Pastikan dimensi spesimen sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan dan beri tambahan sepanjang 5 mm pada ujung masing – masing gage.
3. Menyiapkan mesin uji tarik yang akan digunakan, seting *speed of testing* dengan kecepatan 2 mm/min.
4. Memasang spesimen dan pastikan terjepit dengan benar.
5. Menjalankan mesin uji tarik.
6. Amati pertambahan beban dan panjang sampai spesimen patah.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan seperti pada bagian di bawah ini :



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Pengujian Serat Tunggal

Pada penelitian ini terlebih dahulu dilakukan pengujian serat tunggal di Laboratorium Fisika Dasar Jurusan Fisika MIPA Universitas Brawijaya yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan mekanis serat alam sebelum digunakan sebagai penguat komposit *hybrid*. Data kekuatan tarik maksimal serat tunggal dapat dilihat pada tabel 4.1.

Pengukuran diameter serat tunggal dilakukan dengan menggunakan alat *profil projector* di laboratorium Metrologi Industri Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Untuk mendapatkan kekuatan mekanik serat alam, digunakan perhitungan sebagai berikut

$$\sigma_{max} = \frac{N_{max}}{A}$$

$$\sigma_{max} = \frac{2,67}{3,14 \times 0,047 \times 0,047}$$

$$\sigma_{max} = 384,933 \text{ N/mm}^2$$

Dimana :

σ_{max} = Kekuatan tarik ultimate (MPa)

A = Luas penampang serat alam (mm^2)
 πr^2

N_{max} = Beban tarik maksimum (N)

Dengan perhitungan rumus di atas, didapatkan data kekuatan tarik serat tunggal sebagai berikut:

Tabel 4.1 Sifat mekanik serat alam berdasarkan pengujian serat tunggal.

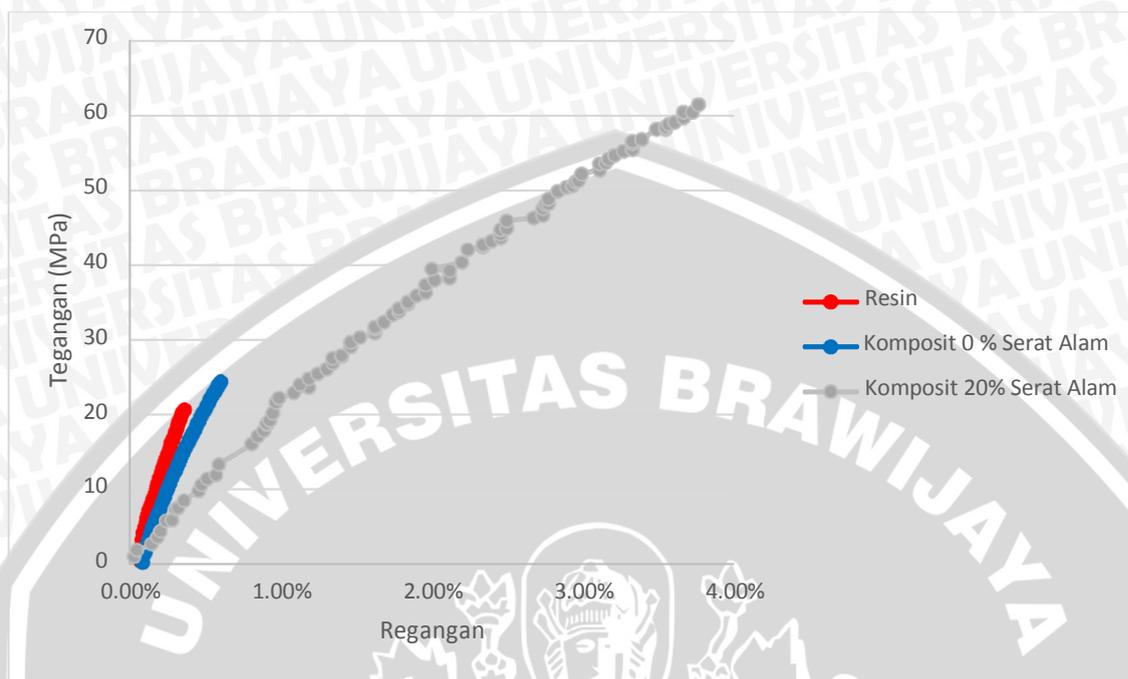
Serat	Densitas (gr/cm^3)	Diameter Serat (mm)	Tegangan Maksimum (N)	Kekuatan Tarik Maksimum (N/mm^2)
Rami	1,1	0,121	2,57	223,610
Sisal	1,05	0,094	2,67	384,933
Kenaf	1,1	0,054	0,88	384,43

4.1.2 Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik dilakukan di Laboratorium Sentral Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan standar pengujian sesuai ASTM D 638. Pengujian tarik diawali dengan menguji matriks dan *reinforcement*, hal ini dilakukan untuk mengetahui besar kekuatan mekanik penyusun sebelum dibuat spesimen komposit dan dapat digunakan untuk memprediksi kekuatan biokomposit hibrid nantinya.



Dari pengujian tarik didapat hasil tegangan dan regangan aktual dari matriks maupun spesimen bikomposit hibrid yang disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



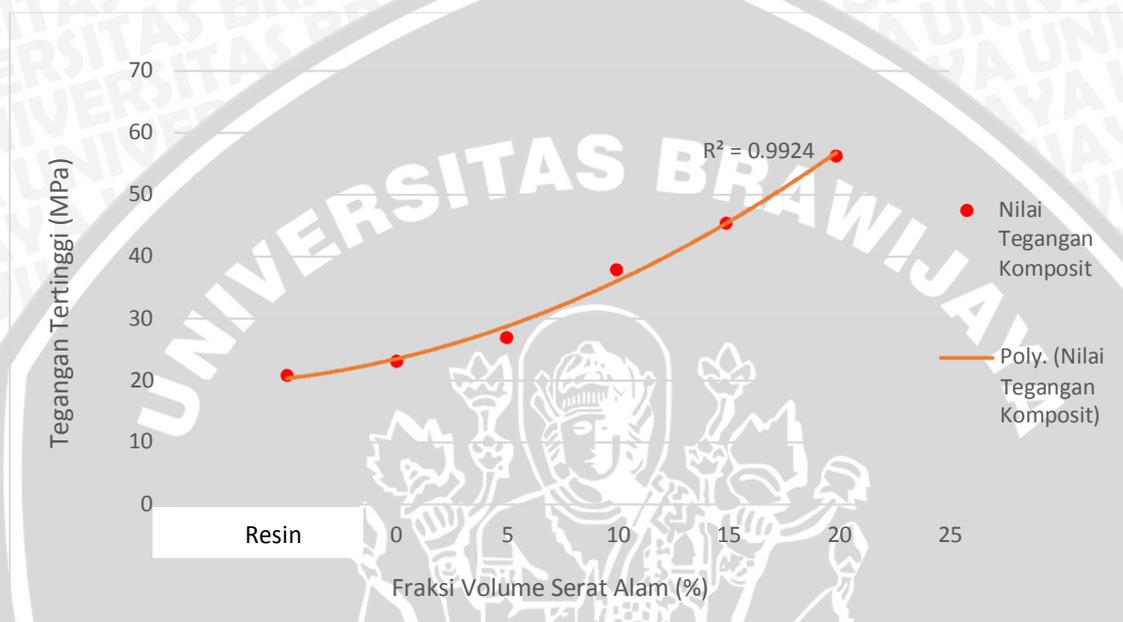
Gambar 4.1 Grafik perbandingan tegangan-regangan aktual matriks dan komposit.

Pada gambar 4.1 menampilkan data tegangan regangan aktual hasil pengujian tarik, diantaranya tegangan regangan matriks yang berbahan resin 157, komposit 0% serat alam yang tersusun atas resin dengan hanya berpenguat *fiberglass*, dan komposit 20% serat alam yang tersusun atas resin, *fiberglass*, dan 20 % serat alam (10% serat kenaf dan 10% serat sisal). Dapat dilihat pada gambar 4.1, kekuatan resin atau matriks menempati urutan paling rendah, lalu kekuatan mulai meningkat dengan penambahan serat penguat *fiberglass*, dan mencapai kekuatan paling tinggi pada komposit yang mempunyai fraksi volume serat alam 20%.

Kekuatan matriks jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan kekuatan serat tunggal *fiberglass* maupun serat alam, hal ini sesuai dengan teori komposit bahwa kekuatan matriks lebih rendah dari kekuatan serat penguat. Dibandingkan dengan kekuatan matriks, komposit berpenguat *fiberglass* ataupun serat alam mempunyai kekuatan yang jauh lebih besar dikarenakan terdapat penguat didalam matriks yang berfungsi sebagai bagian utama dalam menahan beban komposit.

4.1.3 Data Hasil Pengujian Tarik Biokomposit Hibrid

Berdasarkan hasil dari pengujian serat penguat, matriks, dan komposit berpenguat *fiberglass*, dilakukan pengujian tarik biokomposit hibrid yang tersusun atas resin 157 BQTN sebagai matriks, serat kenaf, *fiberglass*, dan serat sisal sebagai penguat sebagai pembuktian dari pengaruh penambahan fraksi volume serat alam terhadap kekuatan tarik komposit. Hasil pengujian kekuatan tarik komposit dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Grafik data tegangan rata-rata tertinggi biokomposit hibrid

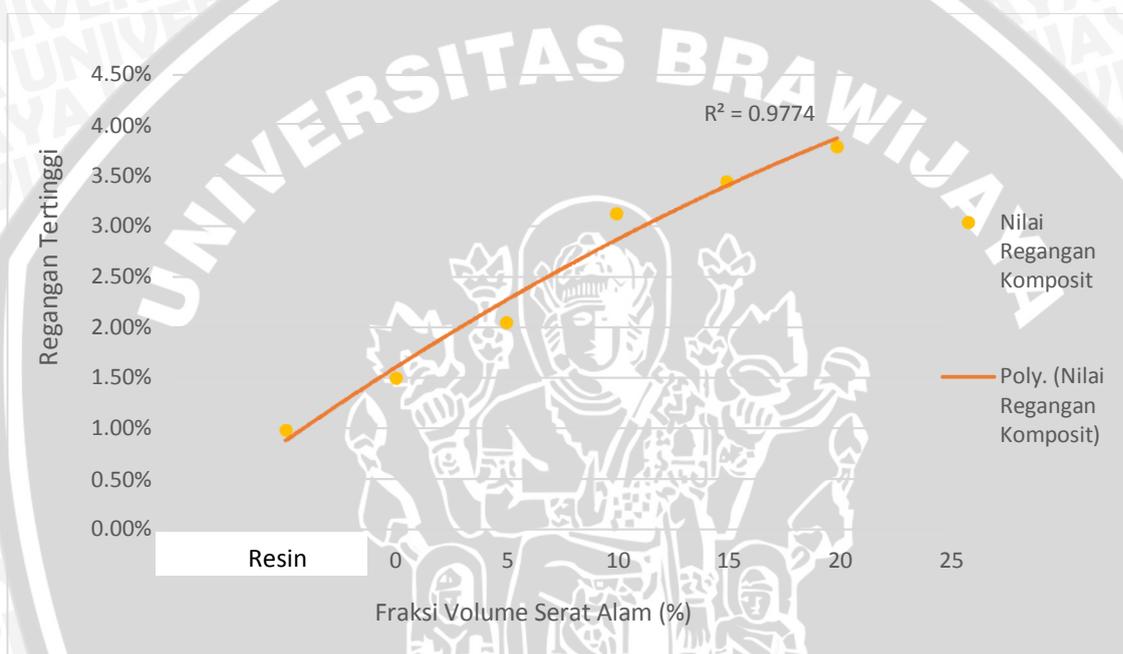
Pada gambar 4.2 menunjukkan grafik tegangan maksimum komposit *hybrid* dengan fraksi volume serat alam. Pada gambar 4.2 dapat diketahui kekuatan tarik pada matriks (resin) hanya mempunyai nilai maksimum sebesar 20,43 MPa, dengan penambahan serat penguat *fiberglass* yang ditunjukkan pada fraksi volume 0% nilai tegangan tarik maksimum naik menjadi 23,16 MPa.

Metode *hybrid* yang diangkat pada penelitian ini yaitu dengan mengkombinasikan penguat serat fiberglass dengan serat alam (sisal dan kenaf), dapat memberikan efek yang signifikan terhadap tegangan tarik maksimum spesimen komposit. Hal ini mulai terlihat pada fraksi volume serat alam sebesar 5%, tegangan tarik bertambah menjadi 25,61 MPa. Nilai tegangan tarik maksimum berangsur naik secara signifikan pada penambahan fraksi volume serat alam 10% dan 15% sebesar 36,92 MPa dan 49,15 MPa, hingga pada fraksi volume serat alam 20% yang memiliki tegangan tarik tertinggi sebesar 56,339 MPa.

Grafik pada gambar 4.2 memperlihatkan tren kenaikan, semakin bertambah fraksi volume serat alam garis grafik semakin ke atas, hal ini dapat memprediksi bahwa kekuatan tarik cenderung meningkat seiring dengan penambahan fraksi volume serat alam pada spesimen.

4.1.4 Data Regangan Biokomposit Hibrid

Dari hasil pengujian tarik juga didapatkan data regangan pada setiap penambahan fraksi volume serat alam pada spesimen komposit yang ditunjukkan pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Grafik data regangan rata-rata tertinggi biokomposit hibrid

Hasil penyajian data regangan pada gambar 4.3 menunjukkan nilai regangan matrik berada pada urutan paling bawah, dengan nilai regangan 0,97 % , lalu diikuti kenaikan komposit 0% serat alam yang hanya menggunakan *fiberglass* sebagai penguat sebesar 1,5% dan spesimen biokomposit hibrid 5% fraksi volume serat alam sebesar 2,05%. Regangan pada komposit fraksi volume serat alam 10 % naik secara drastis dibandingkan dengan sebelumnya. Lalu pada tiap penambahan fraksi volume serat alam sebesar 15% dan 20% pada spesimen komposit, regangan mengalami kenaikan menjadi 3,46% dan 3,81%, namun tidak meningkat secara signifikan.

4.1.5 Efek Hybrid Pada Tegangan Biokomposit Hibrid

Efek *hybrid* menentukan apakah campuran serat kenaf dan serat sisal yang dipakai telah sesuai dan kompatibel dengan matriks dalam pembuatan komposit, yang dibuktikan dengan perubahan kekuatan mekanik secara signifikan dengan menggunakan teori *rule of mixture*.

Efek *hybrid* dapat diketahui dengan melakukan pengujian agar mendapat data kekuatan tarik serat tunggal dan matriks penyusun komposit, kemudian dilakukan penghitungan teoritis dengan rumus teori *rule of mixture*. Perhitungan teoritis nantinya akan dibandingkan dengan perhitungan aktual hasil pengujian dalam bentuk grafik. Berikut contoh perhitungan kekuatan tarik komposit *hybrid* dengan fraksi 0% dan 20% serat alam.

- Fraksi 0% serat alam tersusun atas :

1.42% *fiberglass* + 98.6 % matriks

$$\sigma_c = \sigma_{fg} V_{fg} + \sigma_m V_m$$

$$\sigma_c = 1.42\% \times 82.737 + 98.6\% \times 53.9$$

$$\sigma_c = 54.3202654 \text{ MPa}$$

- Fraksi 20 % serat alam tersusun atas:

10% serat kenaf + 1.42% *fiberglass* + 10% serat sisal + 79 % matriks

$$\sigma_c = \sigma_k V_k + \sigma_{fg} V_{fg} + \sigma_s V_s + \sigma_m V_m$$

$$\sigma_c = 10\% \times 250 + 1.42\% \times 100 + 10\% \times 200 + 79\% \times 53.9$$

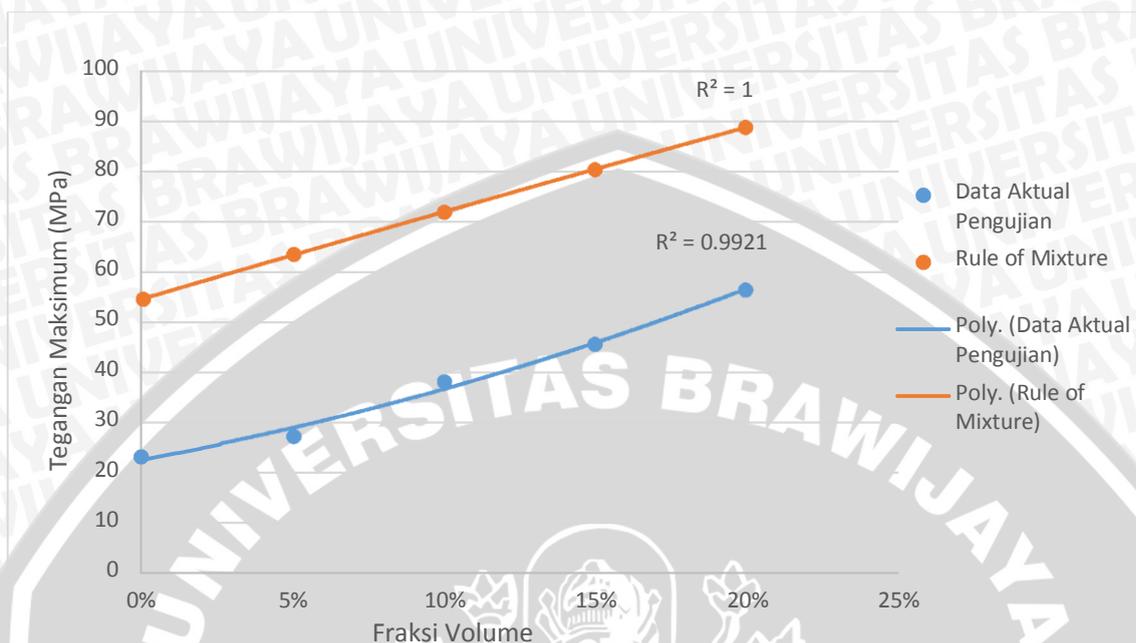
$$\sigma_c = 89.001 \text{ Mpa}$$

dengan cara yang sama didapatkan hasil *rule of mixture* teoritis sebagai berikut

Tabel 4.2 Perhitungan *rule of mixture* biokomposit hibrid

Fraksi serat alam	Nilai aktual	Nilai teoritis (<i>Rule of Mixture</i>)	Selisih	Efek hybrid
0	23,16222	54,32027	-31,158	(negatif)
5	27,00665	63,336	-37,7254	(negatif)
10	36,91667	71,891	-34,9743	(negatif)
15	45,72821	80,446	-34,7178	(negatif)
20	56,72735	89,001	-32,2737	(negatif)

Hasil perhitungan aktual dan teoritis dibandingkan serta disajikan berupa grafik pada gambar 4.4 berikut



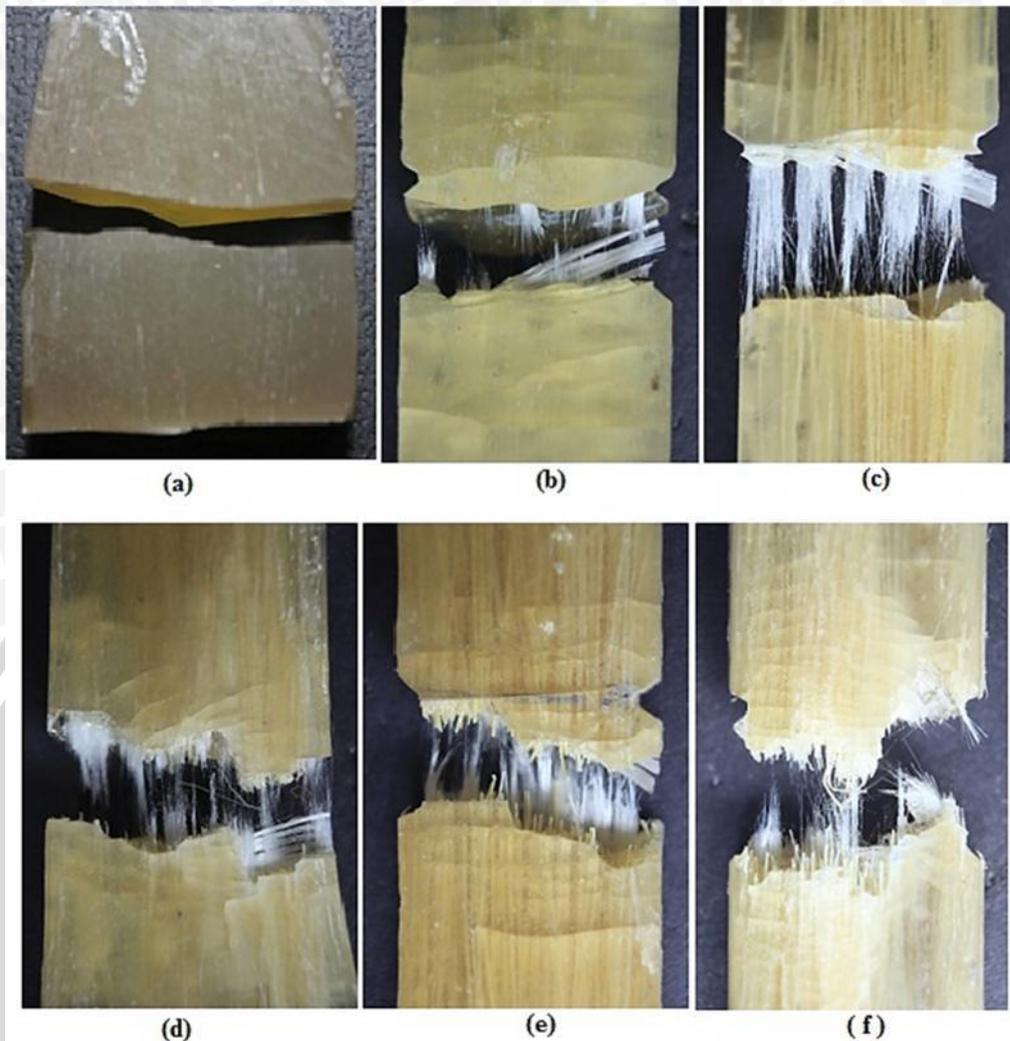
Gambar 4.4 Grafik perbandingan data aktual dengan *rule of mixture* hubungan tegangan komposit dengan fraksi volume serat alam

Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat bahwa kekuatan tarik teoritis komposit *hybrid* lebih tinggi daripada kekuatan tarik aktual pada semua variasi fraksi volume serat alam maupun matriks. Hasil perhitungan pada tabel 4.4 juga membuktikan bahwa kekuatan komposit aktual mempunyai efek *hybrid* negatif, dikarenakan kekuatan mekanik hasil pengujian lebih rendah dari perhitungan teoritis.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pembahasan Pengujian Tarik

Komposit tersusun atas matriks dan penguat, dalam penelitian ini yang bertindak sebagai matriks adalah resin 157 dan penguat adalah fiberglass maupun serat kenaf dan serat sisal. Berdasarkan pengujian tarik yang telah dilakukan, diketahui bahwa kekuatan tarik matriks penyusun komposit memiliki kekuatan paling rendah sebesar 20,82 MPa kemudian diikuti dengan kenaikan kekuatan tarik dengan penambahan penguat berupa *fiberglass* sebesar 23,16 MPa, lalu kekuatan tarik paling tinggi pada komposit dengan metode *hybrid* yaitu dengan penggabungan jenis serat penguat seperti *fiberglass*, serat sisal dan serat kenaf yang mencapai kekuatan tertinggi sebesar 56,72 MPa.



Gambar 4.5 (a). Patahan pada matriks, (b). Patahan pada komposit 0% serat alam, (c). Patahan pada komposit 5% serat alam, (d). Patahan pada komposit 10% serat alam, (e). Patahan pada komposit 15% serat alam, (f). Patahan pada komposit 20% serat alam.

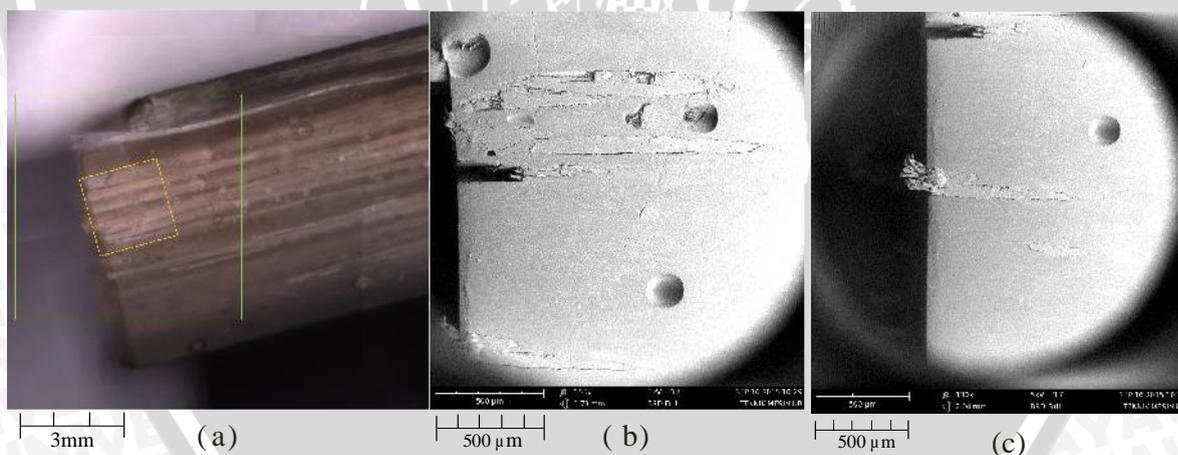
Umumnya kegagalan pada komposit terjadi atas dua tahap, tahap pertama mulai timbul retakan lalu tahap selanjutnya terjadi perambatan retakan yang akhirnya terjadi kegagalan atau *failure*. Kegagalan akibat beban tarik diawali dari retaknya penampang matriks dikarenakan kekuatan matriks lebih rendah dari penguat. Beban yang bertambah dari uji tarik, oleh matriks akan diteruskan ke penguat. Ketika penguat sudah tidak mampu untuk menahan beban, retakan akan merambat dan terjadi kegagalan. Pada gambar 4.5 terlihat bahwa terjadi patahan getas pada matriks, dikarenakan tidak adanya penguat yang menahan beban tarik, sehingga ketika menerima beban sampai titik dimana matriks tidak lagi dapat menahan beban, matriks akan langsung patah.

Berdasarkan foto spesimen pada gambar 4.5 retakan yang terjadi pada tiap fraksi volume serat alam sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% semakin banyak dan rapat seiring

dengan bertambahnya fraksi volume serat alam. Pada gambar 4.5 b, beban yang diterima oleh komposit hanya ditahan oleh *fiberglass*, permukaan serat *fiberglass* yang lebih licin dari serat alam membuat jumlah retakan yang terjadi hanya sedikit dan jarak antar retakan lebih lebar hingga akhirnya terjadi patah atau *failure*.

Permukaan serat alam yang kasar ditambah dengan pemberian perlakuan NaOH semakin membuat *mechanical interlocking* dengan matriks semakin kuat. Semakin banyak fraksi serat alam yang dipergunakan akan semakin memperbanyak luas permukaan penguat yang berikatan dengan matriks, hal ini membuat kekuatan tarik komposit akan semakin meningkat. Selain itu seiring dengan banyaknya fraksi serat alam di dalam komposit, tegangan yang didistribusikan sepanjang spesimen komposit akan semakin merata dan otomatis membuat komposit semakin kuat. Hal ini dibuktikan dengan foto spesimen pada gambar 4.5 c sampai 4.5 f, yang memperlihatkan retakan di sekitar patahan pada komposit semakin banyak dengan jarak antar retakan semakin menyempit dikarenakan pengaruh serat alam yang lebih dominan dalam menahan beban dari komposit.

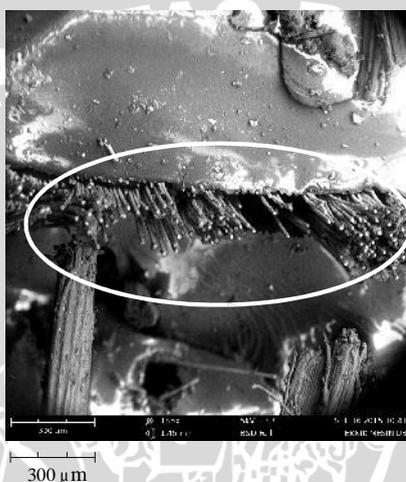
Dalam pengujian tarik ini terdapat beberapa jenis patahan/kegagalan yang terjadi pada spesimen komposit, diantaranya patah getas, *debonding*, *pullout*, atau gabungan *debonding* dan *pullout*.



Gambar 4.6 Foto SEM penampang permukaan komposit fraksi serat alam 15%. (a) foto makro spesimen fraksi volume serat alam 15%. (b) jenis patahan *debonding*, (c) jenis patahan *fiber pullout*.

Bond yang berarti ikatan, ketika proses *curing* berlangsung resin/matriks masuk ke dalam celah serat dan berikatan dengan serat, *debonding* sendiri merupakan pelepasan atau patahnya ikatan serat dengan resin dikarenakan ikatan resin dengan serat tidak dapat lagi menahan beban yang diberikan, kegagalan seperti ini berlangsung hampir bersamaan

pada bagian serat dan gaya yang dibutuhkan lebih besar untuk membuat kegagalan *debonding*, contohnya seperti yang terjadi pada gambar 4.6 b. *Pullout* sendiri merupakan kegagalan patahan berupa pemunculan ujung serat yang patah pada permukaan patahan akibat lemahnya ikatan antar matriks dan serat yang membuat serat tercabut dari matriks ketika beban yang diberikan bertambah, seperti pada gambar 4.6 c. Foto makro yang diperlihatkan pada gambar 4.5 menunjukkan terjadinya *pullout* yang berbeda tiap fraksi volume serat alam, semakin banyak fraksi volume serat alam, serat yang mengalami *pullout* akan semakin pendek, hal ini menunjukkan ikatan antara serat dan matriks dengan penambahan serat alam semakin kuat.



Gambar 4.7 Foto SEM penampang patahan komposit hybrid fraksi serat alam 20%

Pada gambar 4.7 terlihat beberapa bagian penampang komposit yang mengalami patah getas, patah getas ini terjadi pada daerah matriks saja dikarenakan matriks tidak mempunyai penguat yang menahan beban, maka dari itu ketika patah getas terjadi, rambatan retak akan merambat ke serat penguat. Jenis patahan lain dapat berupa dua mekanisme, yaitu *debonding* dan *pullout*. Seperti terlihat pada gambar 4.7 yang merupakan foto SEM penampang patahan spesimen komposit fraksi volume serat alam 20% dengan perbesaran yang lebih besar, terlihat serat alam nampak tertarik keluar, namun panjang serat yang tertarik sangat kecil, hal ini kemungkinan terjadi mekanisme *debonding* di dalam serat alam tersebut.

4.2.2 Pembahasan Regangan Pada Biokomposit Hibrid

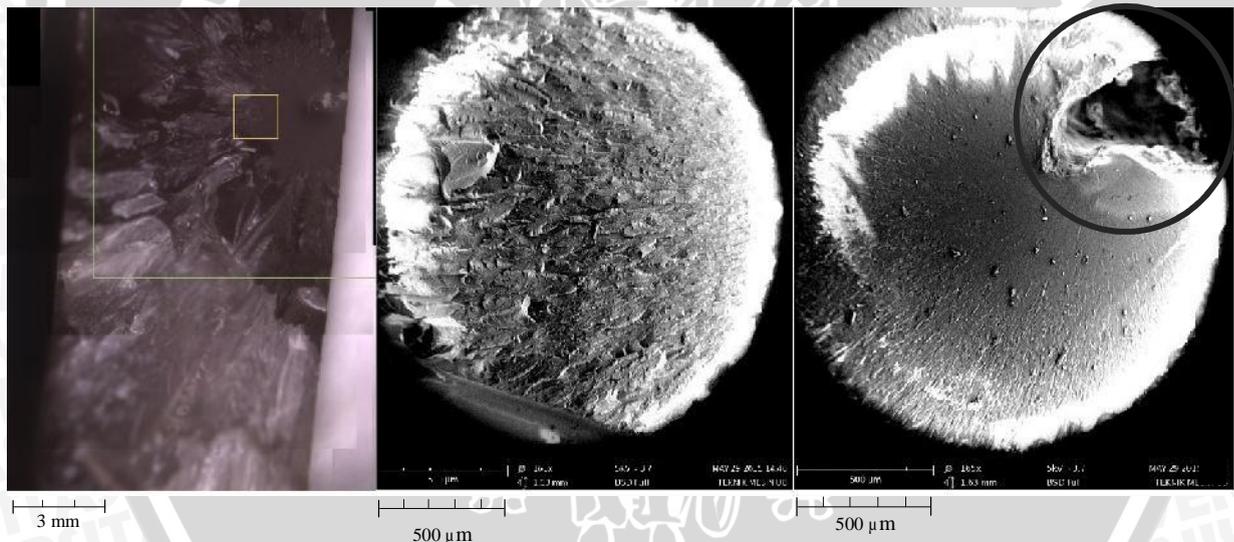
Dengan membandingkan gambar 4.3 yang menjelaskan data regangan dengan gambar 4.5 hasil pengujian tarik. Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 4.3 yang menunjukkan regangan pada komposit fraksi volume serat alam 5% naik secara drastis dibandingkan dengan fraksi 0% serat alam, melonjaknya nilai regangan ini ditunjukkan

dengan hasil patahan pada gambar 4.5 b dan 4.5 c , pada gambar 4.5 c terlihat fiberglass dalam komposit tercabut keluar atau mengalami *pullout* dengan rentang serat yang cukup panjang, hal ini membuat nilai regangan melonjak drastis pada komposit 0% serat alam dan setelah itu regangan berangsur naik seiring dengan penambahan fraksi volume serat alam.

Hal ini diakibatkan karena pengikatan matriks dan serat penguat semakin baik. Dengan pengikatan (*bonding*) yang semakin baik antara matriks dan serat, mengakibatkan kekuatan tarik komposit *hybrid* akan semakin kuat, ini membuat komposit akan semakin susah untuk meregang dan regangan komposit cenderung akan menurun.

4.2.3 Pembahasan Efek *Hybrid* Pada Tegangan Biokomposit Hibrid

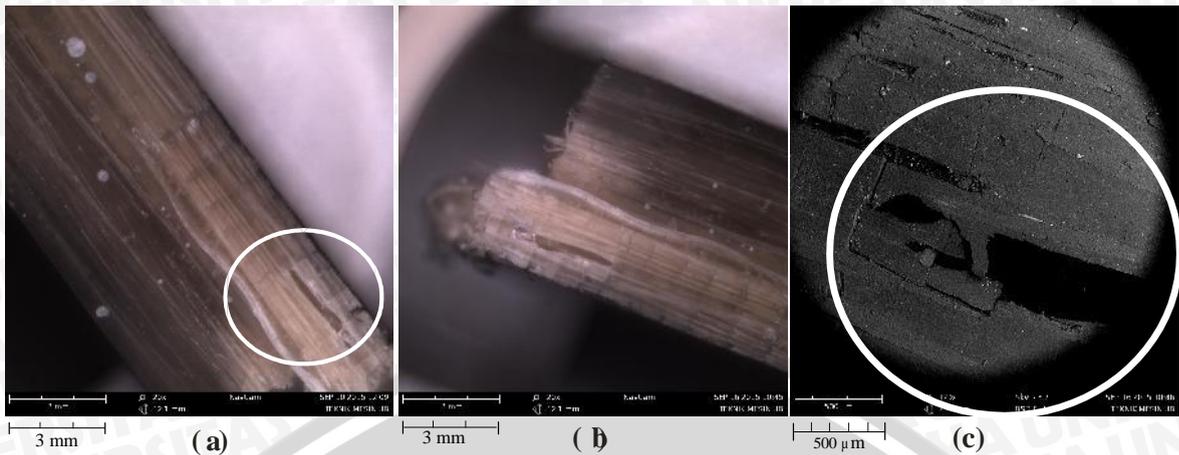
Efek *hybrid* didapatkan dari perbandingan nilai pengujian aktual dengan *rule of mixture*. Namun efek yang didapat bernilai negatif dikarenakan nilai pengujian aktual yang didapat jauh lebih rendah daripada nilai teoritis dari *rule of mixture*.



Gambar 4.8 Permukaan patahan resin tanpa penguat dilihat dengan foto SEM

Terdapat beberapa faktor yang mengakibatkan nilai aktual pengujian tarik lebih rendah dari *rule of mixture*, antara lain karena penyebaran matriks ke seluruh bagian penguat/serat tidak merata yang membuat campuran kurang homogen. Seperti pada gambar 4.6 terdapat gelembung udara atau disebut *void* pada permukaan patahan, hal ini yang memicu terjadinya retak yang berujung pada kegagalan.

Homogenisasi campuran yang kurang maksimal menyebabkan matriks sulit untuk mengisi celah-celah kecil antar serat *fiberglass*, serat kenaf, dan serat sisal yang berakibat kurangnya keseragaman kekuatan komposit.



Gambar 4.9 Penampang samping komposit *hybrid* fraksi volume serat alam sebesar 20 %
(a) perbesaran 20x .(b) perbesaran 20x dengan *angle* yang berbeda. (c) foto SEM dengan perbesaran 120x pada bagian yang muncul *void*

Selain itu faktor metode manufaktur yang kurang tepat juga turut berperan dalam ketidakseragaman kekuatan komposit, dengan metode *hand lay-up* penyebaran matriks ke seluruh bagian komposit bergantung pada gaya gravitasi dan viskositas matriks itu sendiri, tidak ada gaya penekanan ke segala arah untuk mengisi celah kecil di dalam komposit ketika proses *curing*, seperti contoh pada gambar 4.7, hal ini yang membuat *void* terbentuk di dalam spesimen komposit karena udara tidak dapat keluar dan terjebak di dalamnya, *void* yang terbentuk akan menginisiasi terjadinya *crack* yang membuat kekuatan komposit hasil dari metode *hand lay-up* semakin jauh berkurang dibandingkan dengan perhitungan teorinya.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- Dengan penambahan fraksi volume serat alam, kekuatan tarik atau tegangan pada komposit hibrid akan meningkat. Penambahan fraksi volume serat alam sebesar 0 %, 5%, 10%, 15% dan 20 % masing masing mempunyai nilai kekuatan tarik rata rata tertinggi sebesar 23,16222 MPa, 27,00665 MPa, 36,91667 MPa, 45,72821 MPa, dan 56,72735 MPa.
- Sedangkan nilai regangan spesimen seiring dengan peningkatan fraksi volume serat alam berurutan sebesar 0 %, 5%, 10%, 15% dan 20 % , secara berurutan juga meningkat dengan nilai regangan sebesar 0,975%, 1,5%, 2,05%, 3,14%, 3,46%, dan 3,81%.
- Penambahan serat alam pada *glass fiber reinforced matix-polyester* dalam komposit *hybrid* berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekuatan tariknya, meskipun dalam perbandingan dengan teori *rule of mixture* bernilai negatif, hal itu dibuktikan pada peningkatan kekuatan tarik pada tiap kenaikan penambahan fraksi volume serat alam.
- Semua patahan yang terjadi pada spesimen komposit *hybrid* didominasi oleh *fiber pull-out*, tetapi pada fraksi volume serat alam 10% - 20% mekanisme patahan *fiber pull-out* mulai turun dan juga terjadi mekanisme patahan *debonding* yang berarti distribusi beban yang diterima komposit lebih merata dan lebih baik sehingga membuat kekuatan komposit semakin meningkat.

5.2 Saran

1. Pada saat pembuatan spesimen komposit *hybrid* dengan serat alam sebaiknya lebih teliti dalam menyortir panjang serat alam sebelum diletakkan pada cetakan, agar serat alam dalam komposit memiliki panjang yang seragam.
2. Berdasarkan hasil perbandingan nilai dari teori *rule of mixture* dengan nilai aktual, pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan metode pembuatan

komposit yang lebih bagus, seperti metode vakum atau *injection mold* agar kekuatan yang dihasilkan oleh spesimen dapat maksimal.

3. Dalam penelitian selanjutnya diharapkan dapat meneliti pada variasi fraksi volume serat lebih dari 20 % agar mencapai nilai maksimum dari spesimen komposit *hybrid*.



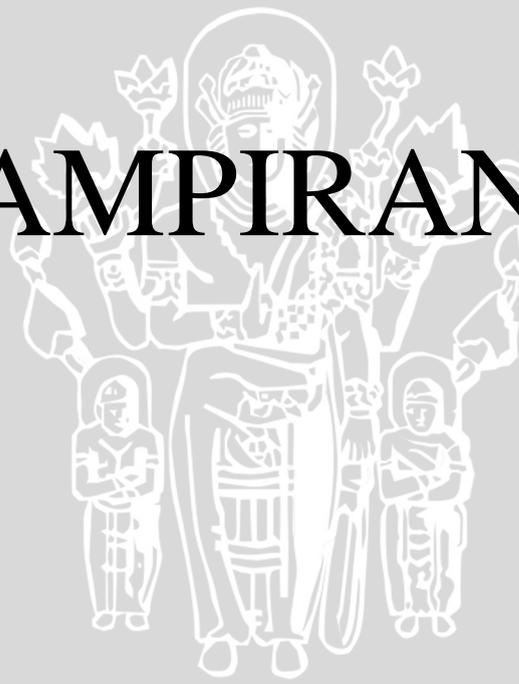
DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Volume 08.01 International. 2004. *Standard Test Method for Tensile Properties Composite*. ASTM
- Ahmadi. 2011. *Laporan matrial teknik uji tarik*. <https://sersasih.wordpress.com/2011/07/21/laporan-material-teknik-uji-tarik/>. (diakses pada tanggal 12 April 2015)
- Architectural Fiberglass, Inc. 2010. *Average Mechanical Properties of Fiberglass*. Cleveland, Ohio
- Azhari, K P . 2013. *Pengaruh variasi komposisi serat eglass dan rami terhadap kekuatan Tarik dan bending komposit hybrid rami/e-glass untuk struktur bodi pelindung motor*. Jogjakarta : Universitas Gajah Mada
- Azo Material. 2009. *E-glass Fibre*. <http://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID =764>. (diakses pada 18 April 2015)
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Indonesia. 2015. *Jenis - jenis Serat Alam*. Jakarta: Balitbang
- Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat. 2015. *Properties serat alam*. Malang : Balittas
- Budi Nur Rahman. 2011. *Pengaruh Fraksi Volume Serat terhadap Sifat-sifat Tarik Komposit Unidirectional Diperkuat Serat Tebu dengan Matrik Poliester*. Jogjakarta : FT Universitas Muhammadiyah Jogjakarta
- Design Tech Wiki. 2014. *Describe the process of hand lay-up*. <http://www.ruthtrumpold.id.au/designtech/pmwiki.php?n=Main.Forming>. (diakses pada tanggal 20 April 2015)
- Diharjo, Kuncoro. 2011. *Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester*. Surabaya : Universitas Kristen Petra
- Hariyanto, Agus . 2009. *Pengaruh Fraksi Volume Serat Kenaf dan Serat Rayon Bermatriks Poliester terhadap Kekuatan Tarik dan Impak*. Solo : Universitas Muhamadiyah Surakarta

- Jawaid M. 2011. *Woven hybrid composites: Tensile and flexural properties of oil palm-woven jute fibres based epoxy composites*. Malaysia: School of Industrial Technology, Universiti Sains Malaysia
- Justus Kimaraya, PT. 1996 *Product Data Sheet*. Jakarta
- Illstreet Composite. 2011. *Resin Transfer Molding (RTM)*. <http://www.carbonfiberglass.com/Composites-Manufacturing/Composites-Manufacturing-Processes.html>. (diakses pada tanggal 20 April 2015)
- Mallick, P K. 2007. *Fiber Reinforced Composites : Materials, Manufacturing, and Design*. Michigan : CRC Press
- Maryanti B. 2011. *Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik*. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 2, No. 2. Malang : Universitas Brawijaya
- Matthews. F. L.1994. *Composite Materials: Engineering and Science*. Great Britain: The Alden Press
- Mazumdar K. Sanjay. 2001. *Composites Manufacturing -Materials,Product,and Process Engineering*. USA: CRC Press.
- Mohanty, A K. 2005. *Natural Fibers : Biopolymer, and Biocomposites*. USA: CRC Press.
- Prasetyo, Yudi. 2012. *Glass Fiber Reinforced Polymer dan Aplikasinya* <https://yudiprasetyo53.wordpress.com/2012/03/>. (diakses pada tanggal 14 Februari 2014)
- Santulli, M.Jansen, G Jeronimidis. 2005 . *The effect of replacing glass fibers with flax fibers in composites and its influence on impact performance was investigated*. *Journal of Materials Science* 40 3581- 3585
- Schwartz M. Mel. 1997 *Composite Materials: Properties, nondestructive testing, and repair*. USA : Prentice Hall PTR.
- Utomo, Gatot Tri. 2004. *Pengaruh fraksi volume serat penguat terhadap sifat mekanik pada E-glass – Kenaf fiber reinforced polyester matrix hybrid composite*. Malang : Universitas Brawijaya
- William D. Callister. 2010. *Materials and Science : An Introduction*. USA :Wiley Inc

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN

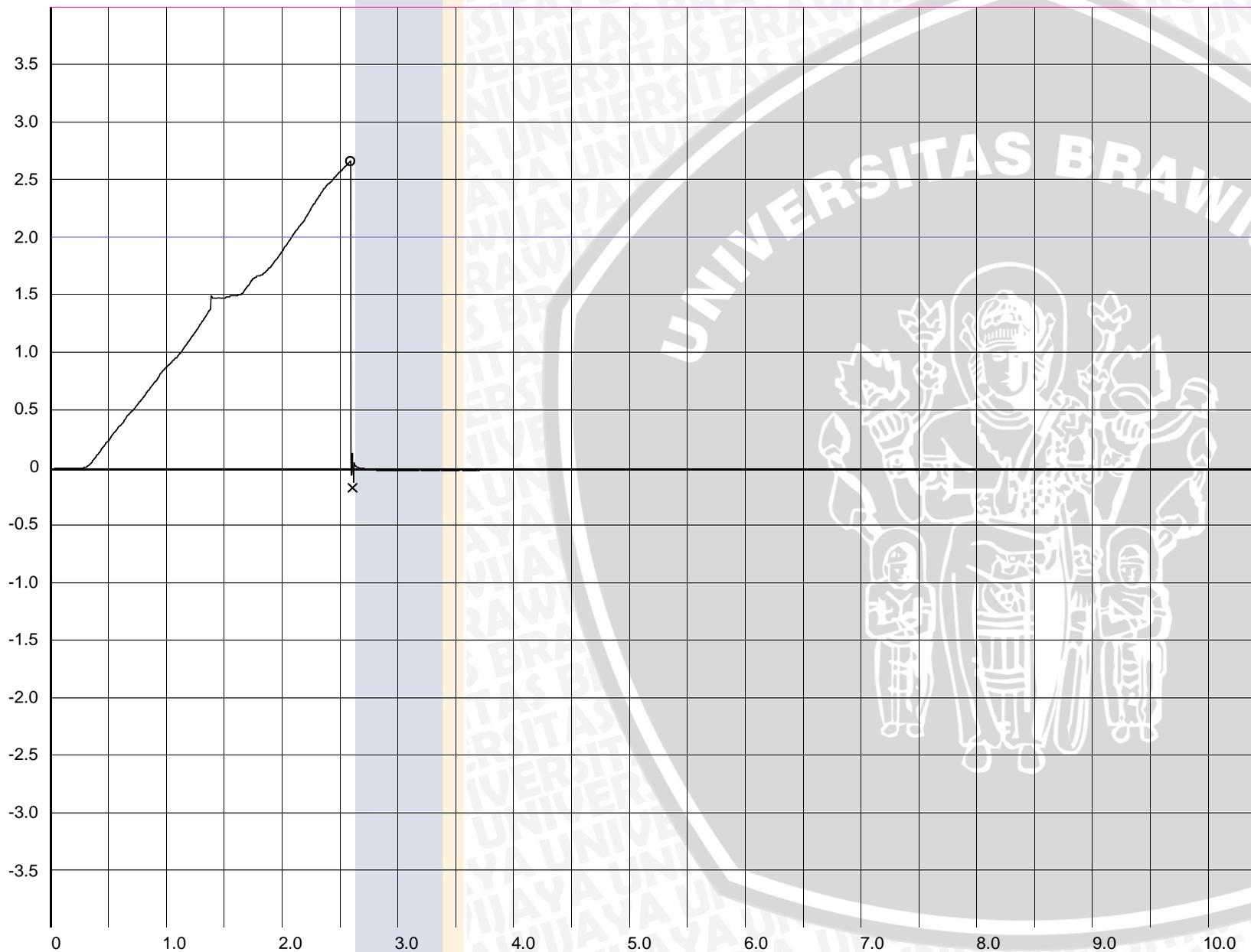


* Peak value may not be displayed if it's less than the data processing speed interval.

* [Data processing interval:0.003sec][File Name:C:\DATA PENGUKURANUJI TARIK\OKKY\SISAL.fce

][File Date:2015/03/17 08:54:43]

[0.5N /cm]



R	1000.00	S	3758
Mx	2.67	Mi	-0.17
A	0.817	Th	-----
V	-----	T	-----

Ceiling	4.000
Bottom	2.000
L-Boundary	-----
R-Boundary	-----

* Explanatory Notes

* R	Rate (Hz)	
S	Samples	
Mx	Maximum	○
Mi	Minimum	×
A	Average	
Th	Threshold	
V	Detected Peak Value	▲
T	Time at Peak Value	

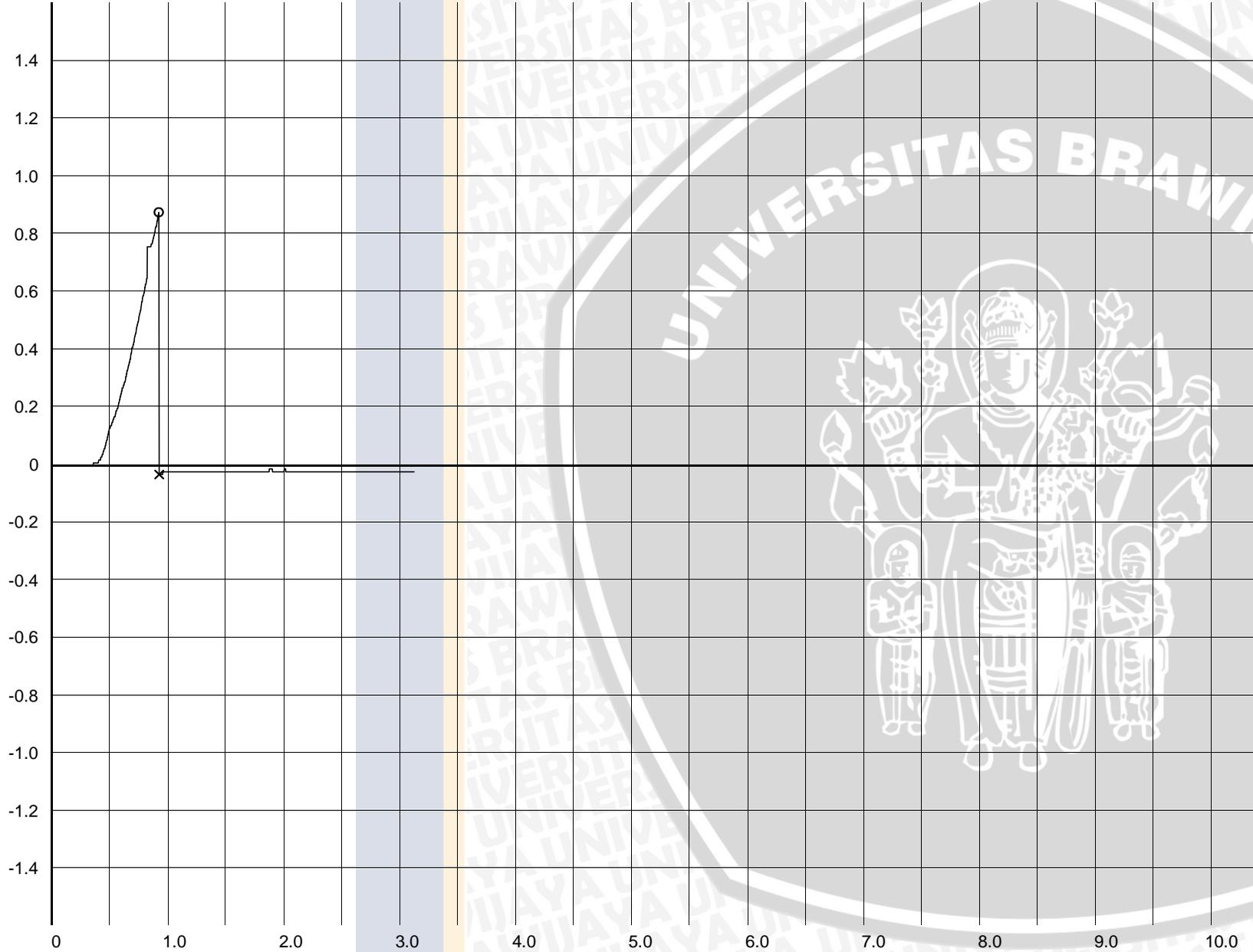
* Print Date:2015-Mar-17(Tuesday) 8:58:56 AM

* Peak value may not be displayed if it's less than the data processing speed interval.

* [Data processing interval:0.003sec][File Name:C:\DATA PENGUKURANUJI TARIK\OKKYK\ENAF..fce

][File Date:2015/03/17 09:13:39]

[0.2N /cm]



R	1000.00	S	3106
Mx	0.88	Mi	-0.03
A	0.052	Th	-----
V	-----	T	-----

Ceiling	4.000
Bottom	2.000
L-Boundary	-----
R-Boundary	-----

* Explanatory Notes *

R	Rate (Hz)	
S	Samples	
Mx	Maximum	o
Mi	Minimum	x
A	Average	
Th	Threshold	
V	Detected Peak Value	▲
T	Time at Peak Value	

* Print Date:2015-Mar-17(Tuesday) 9:15:13 AM



LABORATORIUM SENTRAL TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Il. MT Haryono 167 Malang. Telp (0341) 551611 – 551430 ext 157 Malang 65145

Data Hasil Pengujian Tarik Spesimen Komposit

➤ Contoh perhitungan kekuatan tarik :

$$\sigma_u = \frac{P_{max}}{A}$$

$$\sigma_u = \frac{4666}{90}$$

$$\sigma_u = 51,84444 \text{ MPa}$$

Dimana :

σ_u = Kekuatan tarik ultimate (MPa)

A = Luas penampang (mm²)

P_{max} = Beban tarik maksimum (N)

Data hasil pengujian tarik:

Tabel 1. Kekuatan tarik tertinggi komposit *hybrid*

Pengujian	Variasi fraksi volume serat alam (%)					
	Resin 157	0%	5%	10%	15%	20%
1	20,77977	21,65778	25,3133	37,66444	42,05385	51,84444
2	20,87778	24,66667	28,7	36,16889	49,40256	61,61026
Rata-rata	20,82878	23,16222	27,00665	36,91667	45,72821	56,72735

➤ Contoh perhitungan regangan komposit:

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

$$\varepsilon = \frac{1,92}{50}$$

$$\varepsilon = 0,0384$$

Dimana :

ε = Regangan

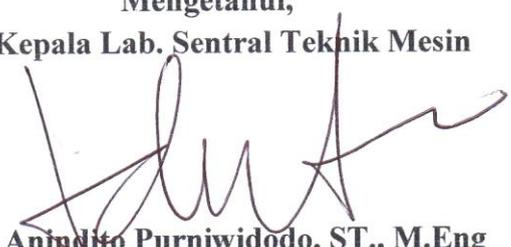
ΔL = Pertambahan panjang (mm)

L_o = Panjang awal (mm)

Tabel 2. Regangan tertinggi komposit *hybrid*

Pengujian	Variasi fraksi volume serat alam (%)					
	Resin 157	0%	5%	10%	15%	20%
1	0,015803	0,0238	0,0228	0,0316	0,0318	0,0384
2	0,00362	0,0061	0,00734	0,0312	0,0374	0,0378
Rata-rata	0,97%	1,50%	2,05%	3,14%	3,46%	3,81%

Mengetahui,
Kepala Lab. Sentral Teknik Mesin


Dr. Eng. Anindito Purniwidodo, ST., M.Eng
NIP. 19710310 199802 1 001