

**ANALISIS PENAMBAHAN *COUPLING AGENT* TERHADAP
KEKUATAN TARIK PADA *NATURAL FIBER COMPOSITE***

TESIS

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK MESIN
MINAT MATERIAL MANUFAKTUR**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh
gelar Magister Teknik



WILLY ARTHA WIRAWAN
NIM. 166060200111011

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

TESIS

ANALISIS PENAMBAHAN *COUPLING AGENT* TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA *NATURAL FIBER COMPOSITE*

Oleh :

WILLY ARTHA WIRAWAN
NIM. 166060200111011

telah dipertahankan didepan penguji
Pada tanggal 8 Januari 2018
dinyatakan telah memenuhi syarat
untuk memperoleh gelar Magister Teknik

Komisi Pembimbing,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Dr. Eng. Sofyan Arief Setyabudi, ST., M.Eng.

Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D.

Malang,

Universitas Brawijaya
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin
Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin




Dr. Eng. Lilis Yuliati, S.T., M.T.
NIP. 197507022000032001



IDENTITAS TIM PENGUJI TESIS

JUDUL TESIS :

**ANALISIS PENAMBAHAN COUPLING AGENT TERHADAP KEKUATAN
TARIK PADA NATURAL FIBER COMPOSITE**

Nama Mahasiswa : Willy Artha Wirawan

Nim : 16606020011011

Program Studi : Teknik Mesin

Minat Material : Manufaktur

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Dr.Eng. Sofyan Arief Setyabudi, S.T., M.Eng.

Anggota : Teguh Dwi Widodo, S.T., M.Eng., Ph.D.

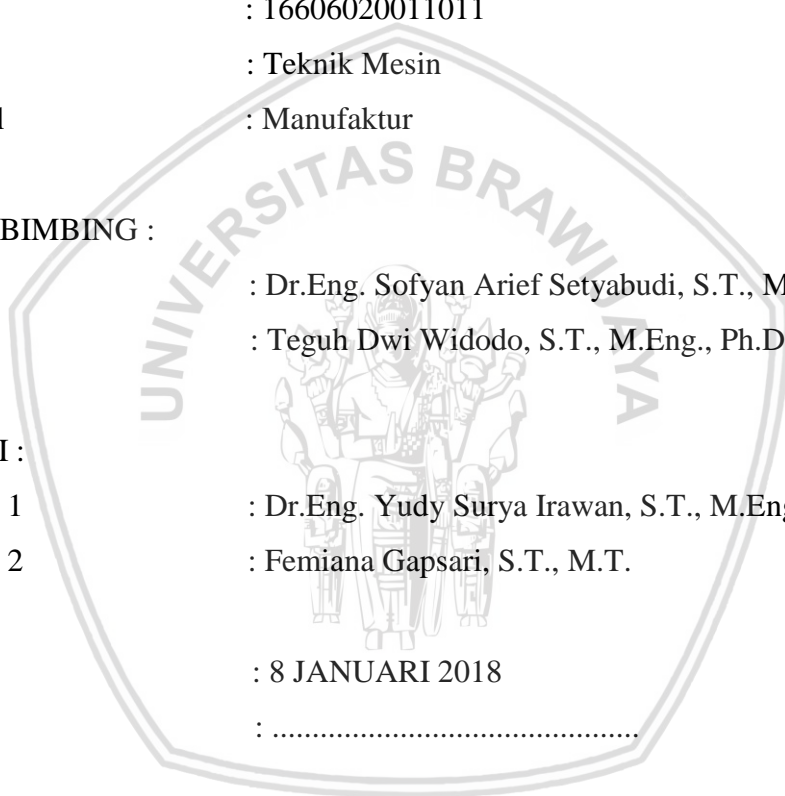
TIM PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, S.T., M.Eng.

Dosen Penguji 2 : Femiana Gapsari, S.T., M.T.

Tanggal Ujian : 8 JANUARI 2018

SK. Penguji :



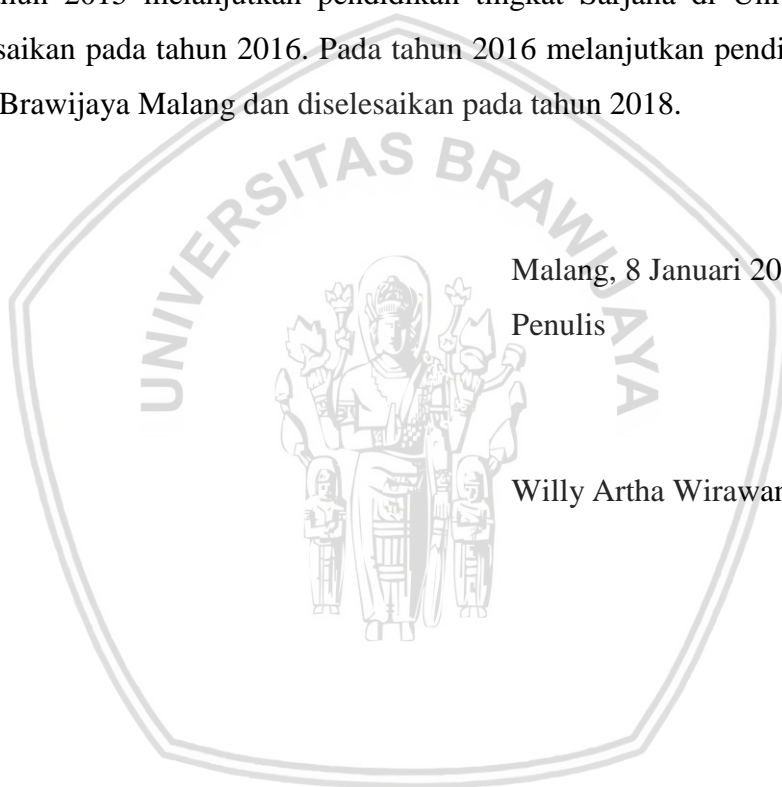
DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Willy Artha Wirawan lahirkan di Madiun pada tanggal 18 Juli 1993 anak dari Almarhum Bapak Narto dan Ibu Sri Yani Wayuningsih. Pendidikan Sekolah Dasar Negeri Sangen 03 lulus pada tahun 2005, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama Negeri 10 Madiun lulus pada tahun 2008 dan pendidikan Sekolah Menengah Atas Negeri 4 Madiun lulus pada tahun 2011. Pada Tahun 2011 melanjutkan pendidikan Diploma Tiga di Universitas Sebelas Maret Surakarta diselesaikan pada tahun 2014. Pada tahun 2015 melanjutkan pendidikan tingkat Sarjana di Universitas Negeri Malang diselesaikan pada tahun 2016. Pada tahun 2016 melanjutkan pendidikan Magister di Universitas Brawijaya Malang dan diselesaikan pada tahun 2018.

Malang, 8 Januari 2018

Penulis

Willy Artha Wirawan



PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

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

Malang, 8 Januari 2018

Mahasiswa,



Nama : Willy Artha Wirawan

NIM : 1660602C0111011

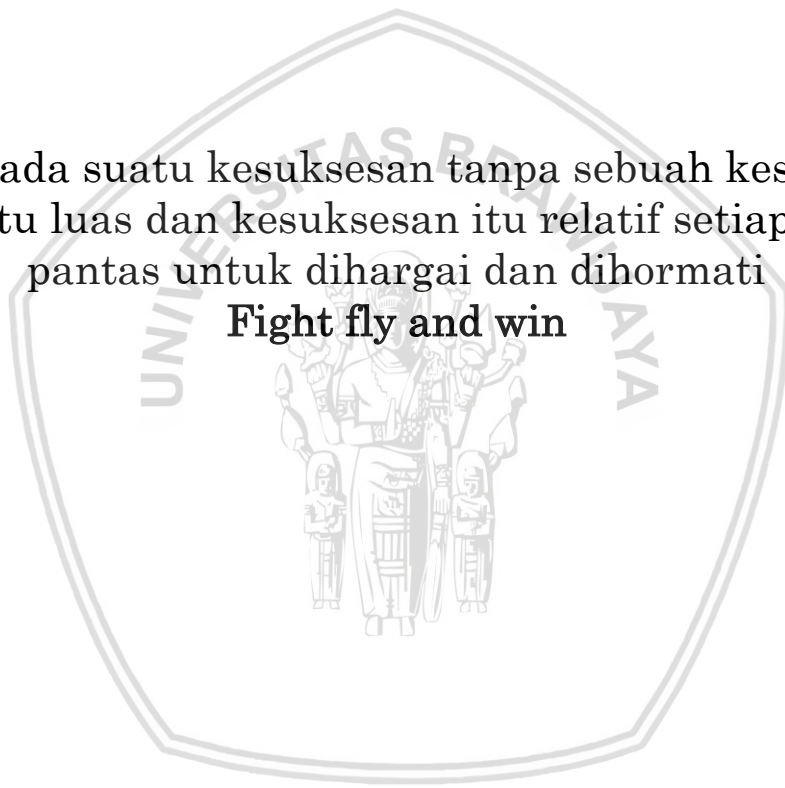


Lembar Persembahan

Syukur Alhamdulillah ku panjatkan kepada Tuhan YME atas segala nikmat yang tiada hentinya sehingga dapat menyelesaikan studi ini selama tiga semester. Tesis ini ku persembahkan kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta yang telah mendidiku dan membesarkanku hingga saat ini tak lupa kepada guruku, adekku, kakaku dan calon istriku

Tidak ada suatu kesuksesan tanpa sebuah kesakitan
Ilmu itu luas dan kesuksesan itu relatif setiap orang
pantas untuk dihargai dan dihormati

Fight fly and win



UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan dengan baik. Atas dukungan dan terselesaikannya tesis ini, maka penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ayahanda Misnan dan ibunda Sriyani Wahyuningsih serta keluarga tercinta yang telah memberikan doa, biaya, dorongan, serta motivasi dalam menyelesaikan tesis ini.
2. Pembimbing tesis Bapak Dr. Eng. Sofyan Arief Setyabudi, S.T M.Eng. dan Teguh Dwi Widodo S.T., M.Eng., Ph.D. yang tiada hentinya selalu memberikan bimbingan dan bantuan atas keberhasilan penelitian dan penyusunan tesis ini
3. Penguji tesis Bapak Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, S.T M.Eng. dan Ibu Dr. Femiana Gapsari S.T., M.T. yang telah memberikan bimbingan dan masukan untuk menyempurnakan tesis ini.
4. Rektor Universitas Brawijaya dan Civitas Akademik Fakultas maupun Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
5. Bapak Dr. Eng Anindito Purnowidodo S.T., M.Eng dan Bapak Dr. Eng. Moch. Agus Choiron S.T., M.T., yang telah membantu dalam proses pengujian dan publikasi artikel jurnal ilmiah
6. Bapak Dr. Ir Wijang Wisnu raharjo, M.T beserta teman-teman di Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta yang telah membantu dalam proses penelitian ini.
7. Ibu RR. Poppy Puspitasari., S.Pd., M.T., Ph.D dari Universitas Negeri Malang yang telah memberikan bimbingan, arahan maupun rekomendasi untuk melanjutkan pendidikan di Universitas Brawijaya Malang.
8. PT. Biopolytech Innovattion Jakarta yang telah memberikan bantuan berupa material *silane coupling agent* yang digunakan dalam proses penelitian ini

9. Teman-teman seperjuangan angkatan 2016 serta teman-temanku jurusan Teknik Material Manufaktur Fakhruddin S.T., M.T., Rezki S.T., M.T. dan Suteja S.T., M.T.
10. Sahabatku dan kakak tingkatku Rita Fajarwati S.Pd., M.T., Ayan Sabitah S.T., M.T., Setiawan S.T., M.T., Rusdi S.T., M.T., Hilmi Firmansyah S.T., M.T., Halman S.T., M.T., Rusdin S.T., M.T, Fauzan Baananto S.T., M.T., Roby S.T., M.T., Aryati Ari Marali S.Pd., M.T.

Serta seluruh yang terlibat dalam penelitian ini yang tidak dapat saya sebutkan secara keseluruhan dari pihak Universitas Brawijaya Malang, Universitas Sebelas Maret Surakarta, Universitas Negeri Malang maupun orang-orang yang disekitar sehingga tesis ini dapat terselesaikan. Semoga Tuhan selalu memberikan balasan amal kebaikan. Terima kasih



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur selalu penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahNya sehingga dapat menyelesaikan penelitian maupun penyusunan tesis dengan baik. Tidak lupa Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak yang telah membantu memberikan bantuan baik secara materi maupun pemikiran.

Tesis ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik Mesin di Universitas Brawijaya Malang sehingga penulis berharap tesis ini dapat menambah ilmu pengetahuan dan pengembangan penelitian selanjutnya khususnya tentang komposit berbasis *natural fiber* untuk mendapatkan material yang baru serta ramah lingkungan. Selain itu semoga tesis ini dapat memberikan manfaat pada masyarakat secara umum dan diaplikasikan pada kehidupan.

Mengingat keterbatasan penulis dalam penyusunan tesis ini baik dalam segi penulisan, bahasa, maupun pembahasan, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun sehingga menjadi lebih sempurna. Selain itu dapat dijadikan sebagai bekal untuk menulis penelitian selanjutnya yang lebih baik dan bermanfaat bagi pembaca

Malang, 8 Januari 2018

Penulis

Willy Artha Wirawan

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN DEPAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR IDENTITAS TIM PENGUJI TESIS	i
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iv
UCAPAN TERIMAKASIH	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
RINGKASAN	xvi
SUMMARY	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	7
2.2 Material Komposit.....	9
2.2.1 Klasifikasi Material Komposit.....	10
2.2.2 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Strukturnya	11
2.3 Komposit Serat Alam	13

2.4 Serat Kulit Pohon Waru.....	17
2.5 Matrik Pada Komposit.....	18
2.6 Karakteristik <i>Polymer</i>	18
2.6.1 Resin <i>Polyester</i>	20
2.6.2 Resin <i>Epoxy</i>	21
2.6.3 Resin <i>Ripoxy</i>	22
2.6.4 Resin <i>Bisphenol</i>	23
2.7 Modifikasi Serat Alam.....	23
2.7.1 Perlakuan Alkali.....	25
2.7.2 <i>Silane Coupling Agent</i>	25
2.8 Teori Perlekatan (<i>Adhesion Theory</i>).....	27
2.8.1 <i>Mechanical Adhesion</i>	29
2.8.1 <i>Electrostatic Attraction</i>	29
2.8.1 <i>Chemical Bonding</i>	30
2.9 <i>Interface</i> dan <i>Interphase</i> Matrik dan Fiber.....	30
2.10 <i>Debonding</i> dan <i>Pull Out</i> pada Komposit.....	31
2.11 Metode Manufaktur Komposit.....	32
2.12 Anyaman Basket.....	33
2.13 Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Komposit.....	35
2.14 Analisis Komposit.....	35

BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Deskripsi Penelitian.....	37
3.2 Kerangka Konsep Penelitian.....	39
3.3 Hipotesis Penelitian.....	40
3.4 Operasional, Variabel dan Pengukuran.....	40

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	43
4.2 Variabel Penelitian.....	43
4.3 Bahan dan Alat Penelitian.....	44
4.3.1 Bahan Penelitian.....	44
4.3.2 Alat Penelitian.....	48
4.4 Prosedur Penelitian.....	51

4.4.1 Spesimen Uji Tarik Komposit	51
4.4.2 Penyiapan Bahan Serat	51
4.4.3 Perlakuan Alkali Serat	52
4.4.4 Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i>	53
4.4.5 Pembuatan Komposit Metode <i>Vacuum Infusion</i>	55
4.5 Proses Pengujian.....	56
4.5.1 Uji Tarik Komposit.....	56
4.5.2 Uji Tarik Serat Tunggal	57
4.5.3 SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	58
4.5.4 Foto Makro	59
4.5.5 Menghitung <i>Fracture area</i> Komposit	61
4.5 Diagram Alir Penelitian.....	62

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Komposit Dengan Variasi Resin	65
5.1.1 Analisis Kekuatan Komposit Dengan Variasi Resin	65
5.1.2 Analisis Patahan Komposit Variasi Resin	72
5.2 Komposit Variasi <i>Silane Coupling Agent</i>	78
5.2.1 Analisis Kekuatan Komposit Variasi <i>Silane Coupling Agent</i>	78
5.2.2 Analisis Patahan Komposit Variasi <i>Silane Coupling Agent</i>	83
5.3 Komposit Variasi Sudut Orientasi.....	89
5.2.1 Analisis Kekuatan Komposit Variasi Sudut Orientasi	89
5.2.2 Analisis Patahan Komposit Variasi Sudut Orientasi	93
5.4 Perbandingan Penurunan <i>Fracture Area</i> Komposit	100

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan.....	103
6.2 Saran.....	103

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Mekanik Beberapa Serat Alam dan Sintetis	15
Tabel 2.2	Komposisi Unsur Kimia Beberapa Serat Alam.....	16
Tabel 2.3	Komposisi Kimia Serat Kulit Waru	18
Tabel 2.4	Spesifikasi Resin <i>Polyester</i>	20
Tabel 2.5	Spesifikasi Resin <i>Epoxy</i>	21
Tabel 2.6	Spesifikasi Resin <i>Ripoxy</i>	22
Tabel 2.7	Spesifikasi Resin <i>Bisphenol</i>	23
Tabel 2.8	Spesifikasi <i>Silane Coupling Agent</i>	27
Tabel 3.1	Variasi Pada Spesimen Komposit.....	38
Tabel 4.1	Spesifikasi Pompa Vacuum.....	48
Tabel 4.2	Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D638-03.....	51
Tabel 4.3	Komposisi Larutan <i>Silane Coupling Agent</i>	54
Tabel 4.4	Komposisi Resin Sintetis.....	56
Tabel 4.5	Spesifikasi Mesin Uji Tarik.....	57
Tabel 4.6	Spesifikasi SEM	58
Tabel 4.7	Spesifikasi Foto Makro	60

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Penyusun Material Komposit	10
Gambar 2.2.	Tipe Komposit Serat	11
Gambar 2.3	Komposit laminat(<i>laminated composite</i>).....	13
Gambar 2.4.	Komposit Partikel	13
Gambar 2.5.	Klasifikasi Serat Alam	14
Gambar 2.6.	Struktur Kimia Selulosa.....	15
Gambar 2.7.	Struktur Kimia Hemiselulosa	16
Gambar 2.8.	Struktur Kimia Lignin	16
Gambar 2.9.	Pohon Waru	17
Gambar 2.10.	Struktur Kimia Resin <i>Polyester</i>	21
Gambar 2.11.	Struktur Kimia Resin <i>Epoxy</i>	22
Gambar 2.12.	Struktur Kimia Resin <i>Ripoxy</i>	22
Gambar 2.13.	Struktur Kimia Resin <i>Bisphenol</i>	23
Gambar 2.14.	Reaksi alkali, Reaksi Silane, Reaksi Alkali Silane.....	24
Gambar 2.15.	Reaksi Silane dengan Resin <i>Polyester</i>	24
Gambar 2.16.	Perlakuan Alkali	25
Gambar 2.17.	Struktur <i>Silane Coupling Agent</i>	26
Gambar 2.18.	<i>Interdiffusion Silane Coupling Agent</i>	27
Gambar 2.19.	<i>Mechanical Interlocking</i>	28
Gambar 2.20.	Ilustrasi Sudut Kontak Serat dan Matrik	28
Gambar 2.21.	Ikatan <i>Mechanical Bonding</i>	29
Gambar 2.22.	Ikatan <i>Electrostatic Attraction</i>	30
Gambar 2.23.	Ikatan <i>Chemical Bonding</i>	30
Gambar 2.24.	Ilustrasi <i>Interface</i> Matrik dan Fiber.....	31
Gambar 2.25.	Mekanisme <i>Fiber Fracture, Pullout, Debonding, Cracking</i>	32
Gambar 2.26.	Variasi Metode Manufaktur Komposit terhadap porosity	32
Gambar 2.27.	Diagram Sistematis metode VARI.....	33
Gambar 2.28.	Anyaman Pada Serat.....	34
Gambar 2.29.	Interaksi <i>Interlocking</i> Antar Serat/benang Anyaman	34
Gambar 2.30.	Pengaruh Orientasi Sudut Terhadap Kekuatan.....	35

Gambar 2.31. Deformasi Pada Komposit.....	35
Gambar 3.1. Prosedur Penelitian	40
Gambar 4.1. Serat kulit pohon waru.....	44
Gambar 4.2. Resin Sintetis	44
Gambar 4.3 Katalis dan Promotor	45
Gambar 4.4 NaOH dan Hydrobatik.....	45
Gambar 4.5. <i>Silane Coupling Agent</i>	46
Gambar 4.6. Asam Asetat.....	46
Gambar 4.7. <i>Mirror Glaze</i>	46
Gambar 4.8. Lem Loctite.....	47
Gambar 4.9. Plat Aluminium.....	47
Gambar 4.10. Bahan Penunjang <i>Vacuum Infusion</i>	48
Gambar 4.11. Pompa <i>Vacuum</i>	49
Gambar 4.12. Kaca	49
Gambar 4.13. <i>Vacuum Trap</i>	49
Gambar 4.14. Timbangan Digital	50
Gambar 4.15. Kertas pH Meter	50
Gambar 4.16. Alat Penunjang <i>Vacuum Infusion</i>	50
Gambar 4.17. Spesimen ASTM D638-03	51
Gambar 4.18. Persiapan Serat Kulit Waru	52
Gambar 4.19. Alkali Serat Kulit Waru	53
Gambar 4.20. Proses Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i>	54
Gambar 4.21. Proses <i>Vacuum Infusion</i>	56
Gambar 4.22. <i>Hydraulic Servo Pulser</i>	57
Gambar 4.23. Mesin Uji tarik Serat Tunggal.....	58
Gambar 4.24. SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	59
Gambar 4.25. Foto Makro.....	60
Gambar 4.26. <i>Software ImageJ</i>	61
Gambar 5.1. Grafik Kekuatan Tarik Serat Tunggal Pada Serat Kulit Pohon Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>)	65
Gambar 5.2. Grafik Kandungan Lignin, Selulosa dan Hemiselulosa Pada Serat Kulit Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>)	66
Gambar 5.3. Grafik Kekuatan Tarik Berbagai Jenis Matrik Sintetis Tanpa Serat Dengan Metode <i>Vacuum Infusion</i>	67

Gambar 5.4. Grafik Tegangan-Regangan Komposit Serat Kulit Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>) Dengan Berbagai Jenis Resin Sintetis Dengan Metode <i>Vacuum Infusion</i>	69
Gambar 5.5. Grafik Kekuatan Tarik Maksimum Komposit Serat Kulit Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>) Dengan Berbagai Jenis Resin Sintetis Dengan Metode <i>Vacuum Infusion</i>	70
Gambar 5.6. Grafik Regangan Tarik Maksimum Komposit Serat Kulit Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>) Dengan Berbagai Jenis Resin Sintetis Dengan Metode <i>Vacuum Infusion</i>	71
Gambar 5.7. Patahan Komposit Dengan Matrik <i>Polyester</i>	72
Gambar 5.8. Patahan Komposit Dengan Matrik <i>Ripoxy</i>	72
Gambar 5.9. Patahan Komposit Dengan Matrik <i>Bisphenol</i>	73
Gambar 5.10. Patahan Komposit Dengan Matrik <i>Epoxy</i>	73
Gambar 5.11. Fase Patahan Komposit Dengan Matrik <i>Polyester</i>	74
Gambar 5.12. Fase Patahan Komposit Dengan Matrik <i>Ripoxy</i>	75
Gambar 5.13. Fase Patahan Komposit Dengan Matrik <i>Bisphenol</i>	76
Gambar 5.14. Fase Patahan Komposit Dengan Matrik <i>Epoxy</i>	77
Gambar 5.15. Grafik Tegangan-Regangan Komposit Serat Kulit Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>) Dengan Variasi Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i> Menggunakan Metode <i>Vacuum Infusion</i>	78
Gambar 5.16. Grafik Kekuatan Tarik Maksimum Komposit Serat Kulit Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>) Dengan Variasi Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i> Menggunakan Metode <i>Vacuum Infusion</i>	79
Gambar 5.17. Grafik Regangan Maksimum Komposit Serat Kulit Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>) Dengan Variasi Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i> Menggunakan Metode <i>Vacuum Infusion</i>	80
Gambar 5.18. Permukaan Serat Kulit waru (a) Tanpa Perlakuan Alkali (b) Dengan Perlakuan Alkali NaOH (c) Dengan Perlakuan Alkali dan Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i>	82
Gambar 5.19. Patahan Komposit Variasi <i>Silane Coupling Agent</i> 0.25%.....	83
Gambar 5.20. Patahan Komposit Variasi <i>Silane Coupling Agent</i> 0.50%.....	83
Gambar 5.21. Patahan Komposit Variasi <i>Silane Coupling Agent</i> 0.75%.....	84
Gambar 5.22. Patahan Komposit Variasi <i>Silane Coupling Agent</i> 1.0%.....	84
Gambar 5.23. Fase Patahan Komposit Variasi <i>Silane Coupling Agent</i> 0.25%	85

Gambar 5.24. Fase Patahan Komposit Variasi <i>Silane Coupling Agent</i> 0.50%	86
Gambar 5.25. Fase Patahan Komposit Variasi <i>Silane Coupling Agent</i> 0.75%	87
Gambar 5.26. Fase Patahan Komposit Variasi <i>Silane Coupling Agent</i> 1.0%	88
Gambar 5.27. Grafik Tegangan-Regangan Komposit Serat Kulit Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>) Dengan Variasi Orientasi Sudut 45°/45° Menggunakan Metode <i>Vacuum Infusion</i> (a) dengan penambahan <i>silane coupling agent</i> (b) tanpa penambahan <i>silane coupling agent</i>	90
Gambar 5.28. Grafik Tegangan-Regangan Komposit Serat Kulit Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>) Dengan Variasi Orientasi Sudut 0°/90° Menggunakan Metode <i>Vacuum Infusion</i> (a) dengan penambahan <i>silane coupling agent</i> (b) tanpa penambahan <i>silane coupling agent</i>	91
Gambar 5.29. Grafik Kekuatan Komposit Serat Kulit Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>) Dengan Variasi Orientasi Sudut.....	91
Gambar 5.30. Grafik Regangan Komposit Serat Kulit Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>) Dengan Variasi Orientasi Sudut.....	93
Gambar 5.31. Patahan Komposit Orientasi 45°/45° Tanpa Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i>	94
Gambar 5.32. Patahan Komposit Orientasi 45°/45° Dengan Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i>	94
Gambar 5.33. Patahan Komposit Orientasi 0°/90° Tanpa Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i>	94
Gambar 5.34. Patahan Komposit Orientasi 0°/90° Dengan Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i>	95
Gambar 5.35. Fase Patahan Komposit Orientasi 45°/45° Tanpa Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i>	96
Gambar 5.36. Fase Patahan Komposit Orientasi 45°/45° Dengan Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i>	97
Gambar 5.37. Fase Patahan Komposit Orientasi 0°/90° Tanpa Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i>	98
Gambar 5.38. Fase Patahan Komposit Orientasi 0°/90° Dengan Penambahan <i>Silane Coupling Agent</i>	99
Gambar 5.39. Perbandingan Penurunan <i>Fracture Area</i> Komposit	101

RINGKASAN

Willy Artha Wirawan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Januari 2018, Analisis Penambahan *Coupling Agent* Terhadap Kekuatan Tarik Pada *Natural Fiber Composite*, Dosen Pembimbing : Sofyan Arief Setyabudi dan Teguh Dwi Widodo.

Komposit *natural fiber* merupakan salah satu inovasi dalam pengembangan material terbaru yang dinilai lebih ramah lingkungan. Komposit berbasis *natural fiber* dikembangkan menggunakan serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*) yang dipadukan dengan berbagai jenis matrik *polymer* sehingga mempunyai kekuatan yang baik. Sebelum dipadukan dengan matrik *polymer* serat kulit waru diberikan perlakuan secara kimiawi dan ditambahkan *silane coupling agent* guna memperbaiki kualitas ikatan antara serat alam dan matrik *polymer* sehingga mendapatkan kekuatan mekanik komposit yang tinggi dari pada komposit sebelumnya.

Pada penelitian ini komposit berbahan serat kulit waru dilakukan dengan berbagai variasi jenis matrik, variasi penambahan *silane coupling agent* dan variasi sudut orientasi serat. Komposit dibuat menggunakan metode *vacuum infusion* dengan tekanan sampai dengan -27 atm. Spesimen uji tarik dibuat berdasarkan ASTM D638-03 type I. Komposit berbahan serat kulit waru dilakukan beberapa pengujian antara lain uji serat tunggal, uji matrik tanpa serat, uji komposisi kimia kandungan serat, uji tarik komposit dan uji mikrostruktur *interface* serat menggunakan foto SEM (*Scanning electron microscopy*). Pada penelitian ini dilakukan beberapa analisis antara lain analisis kekuatan tarik komposit, analisis fase patahan komposit berdasarkan diagram tegangan regangan dan analisis *fracture area* komposit menggunakan *software imageJ*.

Dari hasil penelitian dapat diketahui 1) Penambahan *silane coupling agent* dapat meningkatkan kekuatan mekanik komposit menjadi lebih baik. Penambahan yang efektif untuk komposit serat kulit waru dapat digunakan 0.75% konsentrasi *silane coupling agent* pada matrik *polyester*. 3) sudut orientasi serat mempengaruhi *fracture area* pada komposit. Untuk memperoleh *fracture area* yang baik dapat diperoleh dengan penambahan *silane coupling agent* dan orientasi anyaman serat 0°/90°.

Kata kunci: *Natural fiber composite*, *silane coupling agent*, kekuatan tarik.

SUMMARY

Willy Artha Wirawan, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, January 2018, Analysis of Coupling Agent Addition to Natural Fiber Composite Tensile Strength. Sofyan Arief Setyabudi and Teguh Dwi Widodo.

Natural Fiber Composite is one of the innovations in the development of renewable material that is considered more environmentally friendly. Fiber-based natural composite was developed using bast fibers hibiscus (*Hibiscus tiliaceus*) combined with berbagai type of matrix polymer that has a good strength. Before integrated with matrix polymer hibiscus bark, this fiberis was given a chemical treatment and was added silane coupling agent in order to improve the quality of the bond between the natural fiber and matrix polymer composites to obtain high mechanical strength.

In this study, hibiscus bark fiber composite was made with a variety of types of matrices, the addition of variations silane coupling agent and variations in fiber orientation angle. Composites were made using vacuum infusion method with a pressure up to -27 atm. Tensile test specimens were made based on ASTM D638-03 type I. Hibiscus bark fiber composites was given some testing include single fiber test, test matrix without fibers, fiber chemical composition test, tensile test and test composite microstructure interface fiber using SEM (Scanning electron microscopy). In this research, some of analysis was used include analysis of the tensile strength of the composite, fracture phase analysis based on stress-strain diagram and analysis of fracture area a composite using ImageJ software.

The results of this research were 1) Addition of silane coupling agent can improve the mechanical strength of the composite better. The most effective additions on hibiscus bark fiber composites was 0.75% concentration of silane coupling agent in the matrix polyester 3) the angle of fiber orientation affect fracture area of in the composites. To obtain a good fracture area can be obtained by the addition of silane coupling agent and a woven fiber orientation of 0°/90°.

Keywords: *Natural fibercomposites, silane couplingagent,the tensile strength.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan teknologi saat ini menuntut terobosan dalam pembuatan material terbarukan dengan kualitas yang tinggi dan ramah lingkungan. Penggunaan material komposit berbasis *natural fiber* merupakan salah satu inovasi yang efektif jika dibandingkan dengan material sintetis (Kumari, et al., 2014). Selain dinilai ramah lingkungan komposit berpenguat serat alam mempunyai beberapa kelebihan antara lain ringan, harga murah, jumlahnya melimpah, mudah didapatkan, *biodegradable* dan memiliki sifat mekanik yang tinggi (Li, et al., 2007).

Seiring dengan perkembangan jaman penelitian tentang komposit berpenguat serat alam sangat beragam mulai dari berbagai jenis serat dan matriknya untuk menghasilkan material yang memiliki sifat mekanik yang baik dan ramah lingkungan sesuai dengan kebutuhan. Berbagai serat alam yang digunakan antara lain serat sisal, kapas, rami, enceng gondok, sagu, tebu, knaf yang selama ini diaplikasikan di berbagai industri otomotif seperti bumper dan dashboard (Masruchin, 2012).

Pohon waru merupakan jenis tanaman yang banyak dikenal di Indonesia. Penggunaan serat kulit waru dalam kehidupan masyarakat sangatlah beragam mulai dari jaring, tas, tali dan berbagai kerajinan, hal ini dikarenakan kulit kayu dari pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*) memiliki serat yang liat dan kuat (Suwandi, et al., 2014).

Dalam penelitian Fadhillah, R. A., et al., menyatakan serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) merupakan serat berbasis *natural* dengan kemampuan sifat mekanik yang tinggi. Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian tarik statis serat tunggal dapat diketahui bahwa serat kulit waru mempunyai kekuatan tarik sebesar 207.30 MPa. Sehingga penggunaan serat ini berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan *reinforcement* pada material komposit (Fadhillah., et al., 2017).

Nurudin, et al., juga menyebutkan bahwa berdasarkan data hasil pengujian komposit kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*) yang diberikan perlakuan alkali 5% NaOH selama waktu 120 menit dapat memberikan dampak pengaruh terhadap peningkatan kekuatan tarik komposit maksimum sebesar 66.14 MPa dan kekuatan bending komposit maksimum sebesar 189.78 MPa (Nurudin, et al., 2011).

Fadhillah., et al., juga meneliti tentang desain pola fiber berbahan serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*) bermatrik resin sintetis terhadap kekuatan tarik komposit. Komposit dibuat dengan berbagai variasi antara lain variasi perlakuan NaOH, jenis matrik sintetis, jenis anyaman dan orientasi sudut anyaman pada komposit. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode *vacuum bagging*. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit dengan perlakuan alkali NaOH 6% selama 120 menit mempunyai kekuatan tarik tertinggi sebesar 337.47 MPa. Ditinjau dari segi kekuatan tarik, komposit dengan resin bisphenol mempunyai kekuatan tarik tertinggi akan tetapi mempunyai *fracture area* yang besar sedangkan ditinjau dari *fracture area* yang kecil dapat direkomendasikan menggunakan resin *epoxy*. Penggunaan jenis anyaman dapat direkomendasikan menggunakan model anyaman basket menggunakan sudut orientasi 0°/90° (Fadhillah., et al., 2017).

Dari penelitian di atas dapat memberikan gambaran bahwa kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*) mempunyai kekuatan yang tinggi dan banyak digunakan sebagai bahan kerajinan dan pembuatan tali oleh masyarakat Indonesia. Sehingga mempunyai potensi besar yang dapat digunakan sebagai penguat dalam pembuatan komposit berbasis *natural fiber*. Pada penelitian komposit dengan berbagai variasi matrik dan serat kulit pohon waru telah banyak dikembangkan seperti pada penelitian (Fadhillah., et al., 2017). Namun masih mempunyai kekurangan antara lain komposit mempunyai kekuatan yang tinggi akan tetapi *fracture area* sangat besar sehingga tidak dapat diprediksi, sebaliknya dimana komposit mempunyai *fracture area* yang sempit dan mempunyai kekuatan yang rendah sehingga tidak dapat digunakan.

Penggunaan komposit berbahan serat alami masih memiliki banyak kekurangan antara lain adalah kualitas ikatan antara serat dan matrik yang masih kurang baik (Akil, et al., 2011). Menurut berbagai literatur dan kajian yang telah ada untuk peningkatan kekuatan komposit dapat dilakukan dengan dua metode yaitu dengan melakukan perlakuan serat secara kimiawi dan penambahan *coupling agent* (Diharjo., 2006).

Untuk memperbaiki kualitas ikatan dapat menggunakan *silane coupling agent* sebagai material penghubung serat *natural* dengan matrik *polymer*. *Silane coupling agent* merupakan sebuah molekul multifungsi yang dapat bereaksi dengan selulosa dan dapat mengurangi gugus hidroksil yang bersifat hidrofilik pada serat alam (Raharjo, et al., 2017). *Silane coupling agent* mampu memperbaiki *interface* pada permukaan serat sehingga kompatibilitas serat dan matrik dapat meningkat (Ifuku, et al., 2015). Kekuatan

mekanik komposit serat bambu yang ditambahkan silane dapat meningkat akibat adanya gaya adesi antarmuka *polymer* dengan serat bambu (Lee, et al., 2006).

Astabi, et al., melakukan penelitian tentang konsentrasi menggunakan variasi penambahan *silane coupling agent* pada kekuatan tarik komposit menggunakan serat knaf-*polypropylene* yang dilakukan dengan metode *hot press*. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi larutan *silane coupling agent* 0%, 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1% dengan waktu perendaman selama 4 jam dan dipanaskan pada suhu 100 °C selama 45 menit. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik komposit semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi *silane*. Kandungan *silane* 0.5% dapat meningkatkan kualitas ikatan serat dan matrik yang baik dan tertinggi sebesar 26.30 MPa (Astabi., et al., 2012).

Lee, et al., melakukan penelitian tentang *polymer biodegradable* biokomposit serat bambu dengan berbasis *silane coupling agen*. Pembuatan komposit dilakukan menggunakan metode *compression molding* pada tekanan 150 kgf/cm dan suhu 180 °C dengan memvariasikan *coupling agent* 0%, 0.5%, 1%, dan 1.5%. Dari grafik hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan *coupling agent* kekuatan mekanik pada biokomposit serat bambu dapat meningkat pesat sebesar 30 % atau sebesar 45 MPa dibandingkan dengan komposit tanpa penambahan *silane coupling agent* (Lee, et al., 2006).

Proses manufaktur dalam pembuatan komposit mempengaruhi kekuatan pada komposit. Metode yang sangat baik digunakan dalam proses pembuatan komposit pada matrik polymer adalah metode *vacuum infusion*. Metode *vacuum infusion* mempunyai tingkat porositas yang sangat kecil dibandingkan dengan metode *hand lay-up* dikarenakan gelembung udara atau *void* yang terdapat di dalam komposit dapat hilang akibat tekanan yang lebih rendah dari atmosfer. (Rizal., et al., 2016).

Dari beberapa uraian dan penelitian di atas dapat diketahui bahwa komposit berbasis *natural fiber* mempunyai kekurangan yaitu lemahnya kualitas ikatan antara serat dan matrik. Sehingga pada penelitian ini dititik beratkan pada perbaikan kualitas ikatan dengan menambahkan *silane coupling agent* pada komposit serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*) sehingga dihasilkan komposit dengan kekuatan yang maksimal dan *fracture area* yang dapat diprediksi . Keunggulan dari penelitian ini adalah memanfaatkan serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) yang jarang dimanfaatkan akan menghasilkan bahan komposit dengan harga ekonomis, ramah lingkungan dan memiliki kekuatan mekanik yang tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan adanya latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, rumusan masalah yang dapat diambil pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan *silane coupling agent* terhadap kekuatan tarik pada komposit kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*)
2. Bagaimanakah pengaruh penambahan *silane coupling agent* terhadap *fracture area* pada komposit kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*)

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, maka diberikan batasan masalah pada penelitian sebagai berikut ini :

1. *Reinforcement* yang digunakan dalam pembuatan komposit adalah serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*)
2. *Silane coupling agen* menggunakan *Methacryloxypropyltrimethoxysilane*
3. Pembuatan spesimen uji tarik menggunakan standar ASTM *type I D638-03* dengan metode *vacuum resin infusion*
4. Perlakuan alkali dilakukan dengan konsentrasi 6% NaOH selama 120 menit
5. Jenis pola anyaman serat menggunakan bentuk anyaman basket (2-2)

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan dari penelitian ini yang ingin dicapai antara lain sebagai berikut ini :

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *silane coupling agent* terhadap kekuatan tarik pada komposit kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*)
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *silane coupling agen* terhadap *fracture area* yang baik pada komposit kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*)

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini dapat diharapkan dan digunakan sebagai referensi dalam bidang pemanfaatan serat berbasis *natural fiber* untuk material baru yang meliputi :

1. Memberikan informasi untuk mengetahui potensi pemanfaatan serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) untuk menghasilkan bahan material baru yang berkualitas dan ramah lingkungan

2. Dapat digunakan sebagai teori pendukung untuk mengetahui sifat mekanik material baru dan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi industri pembuatan komposit laminat
3. Memperoleh komposisi yang optimum untuk meningkatkan kekuatan mekanik pada komposit serat kulit pohon waru dan *fracture area* yang baik
4. Memberikan informasi sebagai bahan referensi baru yang dapat dikembangkan dalam penelitian selanjutnya tentang rekayasa komposit serat alam khususnya serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*)





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Prasetyo, et al., melakukan penelitian dengan judul pengaruh waktu perendaman kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*) pada air laut terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik. Serat kulit waru direndam dengan variasi waktu selama 0 jam, 2 jam, 4 jam dan 6 jam dengan pH 6. Hasil dari penelitian dapat diketahui bahwa waktu yang terlalu lama perendaman mengakibatkan adanya celah antara sub serat semakin besar dan kekuatan tarik mengalami penurunan. Kekuatan tarik tertinggi terjadi pada saat perendaman serat selama 2 jam sebesar 48.35578 kg/mm^2 (Prasetyo, et al., 2016).

Nurudin, et al., melakukan penelitian tentang karakterisasi kekuatan mekanik pada komposit menggunakan serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) kontinyu laminat dengan perlakuan alkalisasi bermatrik *polyester* diketahui bahwa serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan perlakuan alkalisasi menggunakan larutan 5% NaOH pada waktu 2 jam dapat mempengaruhi peningkatan kekuatan tarik sebesar 66.78 MPa dan hasil kekuatan bending tertinggi didapatkan nilai sebesar 179.78 MPa (Nurudin, et al., 2011).

Diharjo., dari hasil penelitian untuk mengetahui pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat tarik bahan komposit berpenguat serat rami-*polyester* menyatakan dalam penelitiannya bahwa perlakuan NaOH dapat memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik pada komposit. Seiring dengan meningkatnya penambahan waktu perlakuan alkali serat rami, modulus elastisitas pada serat akan mengalami peningkatan. Nilai kekuatan tarik tertinggi serat sebesar 190.27 MPa terjadi pada perlakuan alkali 5% NaOH selama 2 jam (Diharjo., 2006).

Fadhillah., et al., melakukan penelitian desain pola fiber berbahan serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*) menggunakan resin sintesis terhadap kekuatan tarik komposit. Pembuatan komposit dilakukan menggunakan metode *vacuum bagging* dengan fraksi volume serat dan matrik sebesar 60:40. Untuk mengetahui karakteristik pada komposit penelitian mencakup perlakuan perendaman alkalisasi NaOH, berbagai jenis resin, variasi anyaman dan orientasi sudut anyaman. Dalam penelitian menyatakan bahwa proses konsentrasi alkali NaOH yang direkomendasikan untuk komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) sebesar 6% dapat menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar

339.94 MPa. Ditinjau dari segi kekuatan tarik komposit kulit waru direkomendasikan menggunakan resin *bisphenol* yaitu mempunyai kekuatan tarik sebesar 329.09 MPa. Sedangkan ditinjau dari *fracture area* yang kecil direkomendasikan menggunakan resin epoxy. Untuk jenis anyaman serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*) dapat direkomendasikan menggunakan model anyam basket dengan sudut 0/90 derajat (Fadhillah., et al., 2017).

Prasetyo, et al., meneliti mengenai pengaruh penambahan *silane coupling agent* terhadap kekuatan mekanik komposit *polyester-cantula* dengan anyaman serat 3D *angle interlock*. Penambahan *silane coupling agent* menggunakan *methacryloxyroyl trimethoxysilane* dilakukan dengan variasi 0%, 0.50%, 1%, 1.5% dan pembuatan komposit *polyester-cantula* dicetak menggunakan metode *vacuum bagging* menunjukkan bahwa komposit yang dilakukan penambahan *silane coupling agent* mengalami peningkatan kekuatan tarik sebesar 55%, kekuatan bending mengalami peningkatan sebesar 9.6%, dan kekuatan impak mengalami peningkatan sebesar 92.4% dibandingkan dengan komposit tanpa penambahan *silane coupling agent* (Prasetyo, et al., 2013).

Matheus, et al., dalam penelitiannya tentang pengaruh perlakuan kimiawi *silane* dan NaOH pada permukaan serat kontinyu limbah empulur sagu (*metroxylon sp*). Variasi pada penelitian menggunakan lama waktu perendaman larutan *silane* 30 menit, 60 menit dan 90 menit dengan konsentrasi 2% larutan *silane coupling agent* yang kemudian dilakukan proses pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay up*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan *silane* 30 menit dapat mempengaruhi kekuatan tarik komposit tertinggi sebesar 47.37 MPa dan kekuatan bending pada komposit sebesar 72.27 MPa. Sedangkan nilai serap air dapat semakin berkurang dengan waktu perendaman serat 90 menit (Matheus, et al., 2013).

Astabi, et al., melakukan penelitian terhadap konsentrasi *silane coupling agent* pada komposit serat knaf-*polypropylene*. Pembuatan komposit dilakukan menggunakan metode *hot press* pada suhu 180 menit dan tekanan pengepresan sebesar 5 bar dalam waktu 5 menit. Penelitian dilakukan menggunakan variasi konsentrasi larutan *silane coupling agent* 0%, 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1% dengan waktu perendaman selama 4 jam dan dipanaskan pada suhu 100 °C selama 45 menit. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik komposit semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi *silane*. Kandungan *silane* 0.5% dapat meningkatkan kualitas ikatan serat dan matrik yang baik dan tertinggi sebesar 26.30 MPa (Astabi, et al., 2012).

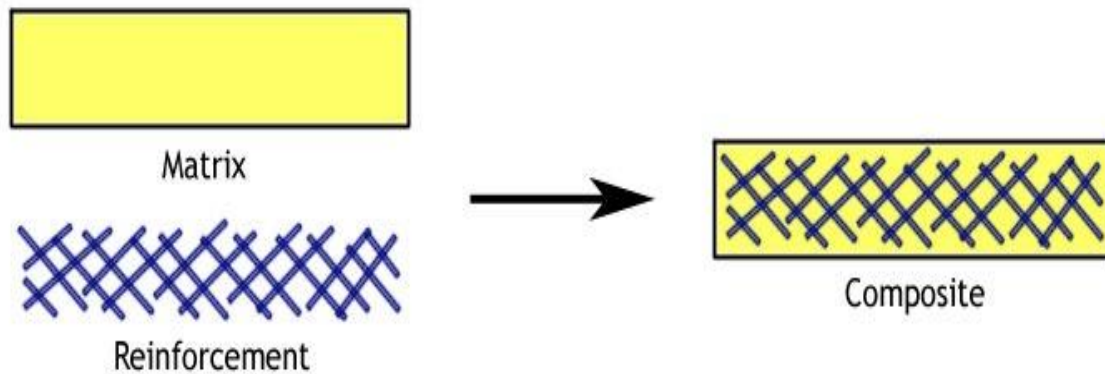
Lee, et al., melakukan penelitian tentang *polymer biodegradable* biokomposit serat bambu dengan berbasis *silane coupling agen*. Pembuatan komposit dilakukan menggunakan metode *compression molding* pada tekanan 150 kgf/cm dan suhu 180 °C dengan memvariasikan *coupling agent* 0%, 0.5%, 1%, dan 1.5%. Dari grafik hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan *coupling agent* kekuatan mekanik pada biokomposit serat bambu dapat meningkat 30 % yaitu sebesar 45 MPa dibandingkan dengan komposit tanpa penambahan *silane coupling agent* (Lee, et al., 2006).

Proses manufaktur dalam pembuatan komposit mempengaruhi kekuatan pada komposit. Rizal., et al., melakukan penelitian biokomposit menggunakan serat purun tikus (*Eleocharis dulcis*) untuk mengetahui kekuatan lentur dan tarik dengan tekanan *vacuum* yang berbeda. Biokomposit dibuat dengan matrik *polyester* menggunakan serat purun tikus yang diberikan perlakuan alkali 5% NaOH selama 120 menit. Pembuatan biokomposit dilakukan dengan metode *vacuum infusion* dengan memvariasikan tekanan *vacuum* sebesar 6 cmHg, 26 cmHg, 46 cmHg dan 76 cmHg. Dari hasil penelitian tekanan *vacuum* 26 cmHg menunjukkan kekuatan tarik dan kekuatan bending biokomposit tertinggi sebesar 54.7 MPa dan 243.45 MPa (Rizal., et al., 2016).

Dengan adanya tinjauan penelitian sebelumnya maka dilakukan penelitian tentang analisa penambahan *silane coupling agent* pada serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*) untuk meningkatkan kekuatan tarik pada komposit serat kulit waru secara maksimal. Perbedaan dari beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan adalah proses penambahan *silane coupling agent* dilakukan pada serat alam kulit pohon waru menggunakan *methacryloxypropyltrimethoxysilane* dan komposit dibuat menggunakan metode *vacuum infussion*.

2.2 Material Komposit

Komposit berasal dari kata “*to compose*” yang mempunyai arti menggabungkan atau menyusun. Secara sederhana material penyusun komposit terdiri dari kombinasi dua unsur bahan atau lebih. Komposit adalah material gabungan yang tercampur secara makro dan mikro, dari bahan penyusun material tersebut mempunyai sifat beda komposisi kimia zat asalnya dan bentuk yang berbeda yang menyatu dan tidak dapat dipisahkan satu dengan yang lainnya (Smith, 1996).



Gambar 2.1 Penyusun Pada Material Komposit

Sumber: Mazumdar (2002)

Komposit merupakan material dengan penyusun terdiri dari dua kombinasi material pembentuk yang tidak homogen dengan karakteristik sifat mekanik masing-masing material berbeda. Secara umum material komposit terdiri dari matrik sebagai pengikat dan *reinforcement* sebagai penguat. Material komposit bersifat anisotropik hal ini dikarenakan pencampuran berbeda material sehingga tidak sama di segala arah. Kekuatan komposit dapat direncanakan sesuai dengan keinginan dengan mengatur berbagai komposisi material pembentuk yang diinginkan agar memperoleh material sesuai kebutuhan (Matthews, 1993). Dengan adanya material penyusun pada komposit termasuk interaksi yang ada didalamnya maka dapat membantu dalam menciptakan berbagai produk komposit yang memiliki kekuatan maksimal dan berbagai keuntungan diantaranya adalah bahan baku mudah diperoleh, harga lebih murah, memiliki sifat mekanik yang baik, dan tidak mudah korosi.

2.2.1. Klasifikasi Material Komposit

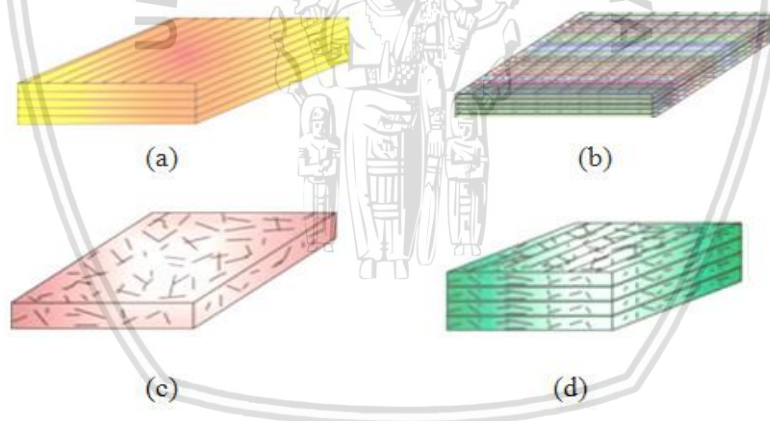
Material pada komposit secara umum dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam (Imra, 2009) (Jacob, 1994). Perbedaan pada masing-masing material tersebut adalah matrik yang digunakan sesuai dengan namanya yaitu logam, polimer, dan keramik. Penggunaan *Metal matrix composites (MMCs)* pada umumnya digunakan paduan aluminium dengan *fiber boron* atau *silicon carbide*, sedangkan pada *polymer matrix composite (PMCs)* biasanya menggunakan polimer dari jenis termosetting. Untuk *Ceramics matrix composites (CMCs)* pada umumnya menggunakan Si_3N_4 dan Al_2O_3 .

2.2.2. Klasifikasi Komposit Berdasarkan Bentuk Komponen Strukturnya

Secara garis besar berdasarkan bentuk dan komponen strukturnya komposit dapat dibagi menjadi 3 yaitu (Jones, 1999)

1. Komposit Serat (*Fibrous composites materials*)

Komposit serat adalah material komposit yang terdiri dari serat dan matrik. Komposit dengan serat memanjang mempunyai kekuatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan berbentuk *bulk*. Material komposit terdiri dari satu susunan serat sebagai penguat dan matrik sebagai pengikat. *Reinforcement* atau penguat yang banyak digunakan antara lain *fibers glass*, *aramid fibers (polyaramide)*, dan *carbon fibers*. Untuk memperoleh karakteristik tertentu dapat menyusun serat dalam bentuk acak, orientasi sudut maupun membentuk anyaman yang lebih kompleks. Untuk memenuhi berbagai spesifikasi kebutuhan material komposit, penempatan dan arah serat dapat mempengaruhi kekuatan dalam membuat material komposit. Perbedaan penempatan dan arah serat pada komposit yang diperkuat dengan serat dibedakan menjadi beberapa bagian antara lain adalah (Jacobs, 1994)



Gambar 2.2 tipe Komposit Serat (a) *Continous Fiber Composite* (b) *Woven Fiber Composite* (c) *Discontinuous Fiber Composite* (d) *Hybrid Composite*

Sumber: (Imra, 2009) (Budinski, 1995)

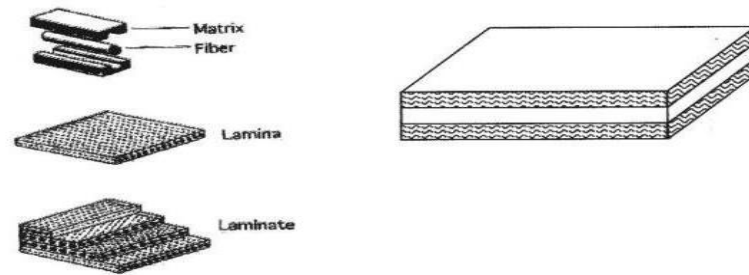
- a. *Continous fiber composite* adalah komposit yang mempunyai arah serat kontinyu atau *uni-directional*. Arah serat dibentuk dengan memanjang dan lurus sehingga tersusun bentuk laminat antar matriknya. Komposit pada tipe ini mempunyai kelemahan adanya delaminasi lapisan dikarenakan ikatan setiap lapisan dipengaruhi oleh matrik.

- b. *Woven fiber composite* merupakan komposit yang menggunakan *reinforcement* serat yang dianyam. Susunan serat dapat mengikat dan membentuk *interlocking* sehingga tidak mudah terpisah. Komposit mempunyai kekuatan sesuai dengan arah anyaman serat, arah yang membentuk sudut cenderung mempunyai kekuatan yang lemah. Komposit terdiri dari lapisan matrik diikuti lapisan susunan serat anyaman.
- c. *Discontinuous fiber composite* merupakan komposit yang menggunakan *reinforcement* serat pendek. Serat pendek yang digunakan memiliki beberapa tipe antara lain *off-axis aligned discontinuous fiber*, *randomly oriented discontinuous fiber* dan *aligned discontinuous fiber*. Komposit dengan serat acak mempunyai kekuatan mekanik yang rendah dibawah penguatnya pada jenis serat yang sama, akan tetapi memiliki biaya produksi yang lebih murah dalam jumlah volume besar.
- d. *Hybrid fiber composite* adalah penggabungan antara serat acak dengan serat *unidirectional*. Penggabungan tipe serat digunakan sebagai pengganti kekurangan pada masing-masing tipe yang digunakan sehingga diperoleh komposit dengan kekuatan yang lebih sempurna.

2. Komposit Lapis atau Struktural (*Laminated composites materials*)

Komposit lapis atau struktural merupakan komposit yang tersusun atas lapisan material yang digabungkan menjadi satu. *Reinforcement* yang digunakan pada komposit disusun dengan membentuk laminate dan mempunyai karakteristik sesuai dengan material yang digunakan. Tujuan dibentuknya lamina adalah agar struktur komposit dapat menahan beban multiaksial apabila tidak dapat dicapai dengan lapisan tunggal. Lapisan tunggal hanya kuat pada arah seratnya, tetapi sangat lemah pada tegak lurus arah seratnya. Pada komposit *laminate (Continuous fiber laminate)* merupakan komposit dengan susunan serat yang tidak berputus hingga pada ujung lamina. Terdapat beberapa macam jenis penyusun serat yaitu

1. *Unidirectional laminate* (serat satu arah), yaitu *laminate* yang tersusun menggunakan arah yang sama pada setiap susunan laminatnya. Kekuatan pada komposit lamina satu arah ini searah dengan seratnya.
2. *Crossplied quasi-isotropic* (serat silang), yaitu *laminate* yang mempunyai susunan serat menyilang dan tegak lurus antara serat satu dengan serat lainnya.
3. *Random/woven fiber composite* merupakan lamina dengan susunan serat anyam yang berlapis.



Gambar 2.3 Laminated Composites

Sumber: (Jacobs, 1994)

3. Komposit Partikel (*Particulate composite materials*)

Komposit partikel adalah komposit dengan menggunakan penguat serbuk partikel yang menyebar dengan rata didalam matriknya. Partikel yang digunakan dalam pembuatan komposit pada umumnya memiliki ukuran sumbu partikel yang sama antara lain berbentuk balok, segitiga, bulat serpih maupun bentuk lainnya dengan bahan logam maupun non logam. Selain digunakan sebagai *reinforcement* dalam komposit *polymer*, serbuk partikel digunakan sebagai pengisi (*filler*) yang digunakan untuk meningkatkan fraksi volume pada material komposit (Jacobs, 1994).



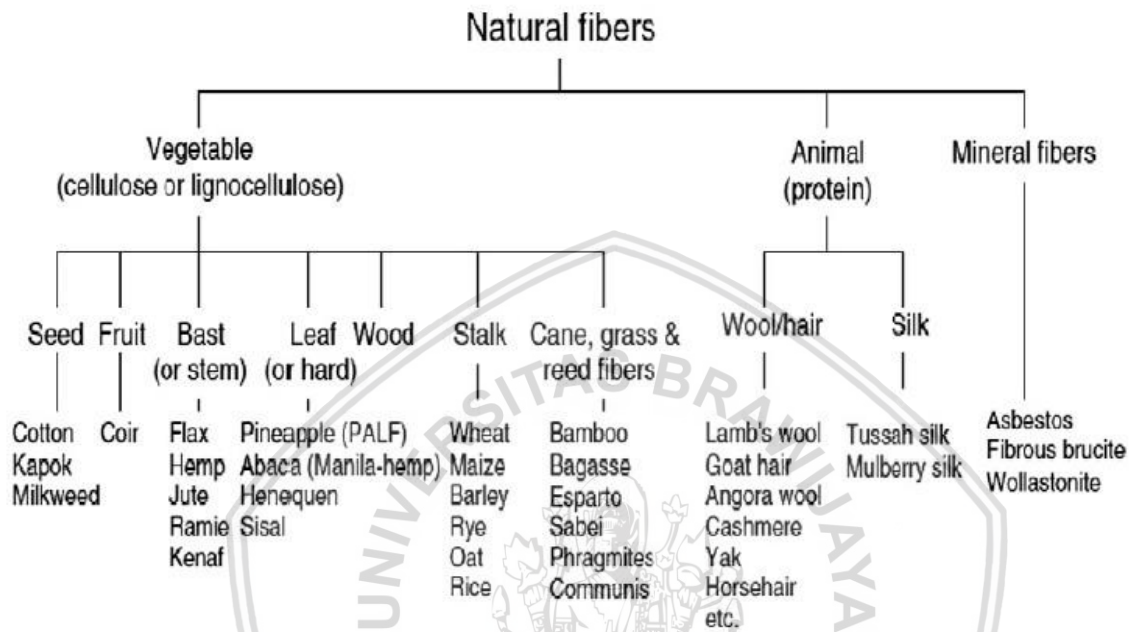
Gambar 2.4 Particulate Composite

Sumber: (Jacobs, 1994)

2.3 Komposit Serat Alam

Nurdin, memaparkan secara umum serat berfungsi sebagai *reinforceent* atau penguat harus mempunyai sifat kekakuan dan ketangguhan. Kekakuan merupakan sifat dimana material mampu menahan perubahan bentuk apabila diberikan suatu gaya masih berada dalam batas elastisitas. Sedangkan ketangguhan merupakan kemampuan suatu bahan dapat menahan gaya sampai terjadinya kegagalan atau patah (*fracture*). Sedangkan kokoh merupakan kondisi yang diperoleh akibat kerja yang mengubah struktur komposit menjadi lebih keras (Nurdin, 1988)

Pada umumnya jenis penguat/*reinforcement* pada komposit menggunakan material berbahan sintetis dan alami. Serat alam adalah serat yang secara langsung diperoleh dari alam dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu serat alam berbasis lignoselulosa (terdiri dari selulosa, lignin, dan hemiselulosa), serat alam berasal dari hewan (terdiri dari senyawa protein), dan serat dari mineral.



Gambar 2.5 Klasifikasi Serat Alam

Sumber: (Akil, et al., 2011)

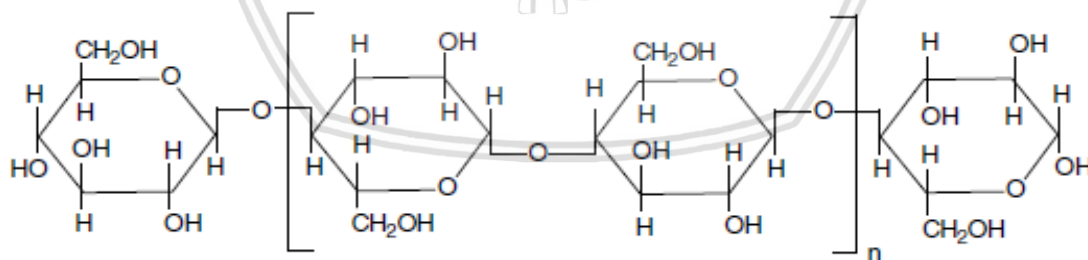
Penggunaan serat alam dalam pembuatan material komposit telah banyak dikembangkan karena serat alam mempunyai beberapa kelebihan dan keunggulan. Kelebihan dan keunggulan dari penggunaan serat alam apabila digunakan sebagai *reinforcement* pada matrik polimer adalah mempunyai berat jenis yang lebih rendah dibandingkan dengan serat gelas (2.5 g/cm^3) sedangkan serat alam ($\pm 1.5 \text{ g/cm}^3$) sehingga komposit yang dihasilkan lebih ringan dan kompetitif pada sifat mekanisnya (*specific properties*), memiliki jumlah yang melimpah, murah dan mudah didapatkan dan proses produksi yang lebih ramah lingkungan, tidak abrasif, *biodegradable*, dapat didaur ulang, sebagai bahan isolasi yang baik terhadap panas, *non food grade* dan apabila dibakar dapat membentuk sempurna gas CO_2 dan H_2O (Masruchin, 2012). Berikut ini merupakan beberapa serat alam yang banyak digunakan pada *reinforcement* dalam pembuatan komposit.

Tabel 2.1 Sifat Mekanik Beberapa Serat Alam dan Sintetis

Type of fiber	Density (g/cm ³)	Tensile Strength (Mpa)	Young's Modulus (Gps)	Elongation at Break (%)
Cotton	1.5-1.6	287-800	5.5-12.6	7.0-8.0
Jute	1.3-1.45	393-773	13-26.5	1.16-1.5
Flax	1.50	345-1100	27.6	2.7-3.2
Hemp		690		1.6
Sisal	1.45	468-640	9.4-22.0	3-7
Kenaf	1.4	930	53	1.6
Pieanapple		431-1627	34.5-82.5	1.6
Coir	1.15	1131-175	4-6	15-40
E-glass	2.5	2000-3500	70	2.5
Carbon	1.7	4000	230-240	1.4-1.8

Sumber: (Ekhlis, 2013)

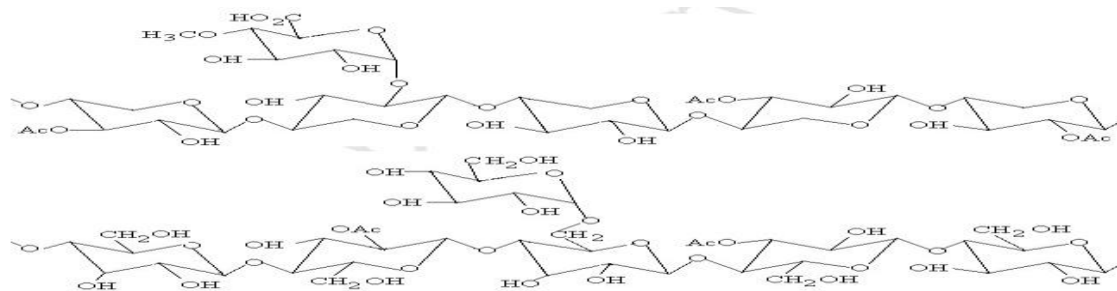
Komposisi serat alam secara struktural tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang mempunyai sifat hidrofilik. Selulosa merupakan rantai lurus monomer glukosa (C₆H₁₂O₆) yang terhubung dengan ikatan glikosida β 1-4. Pada serat kayu selulosa mempunyai derajat polimerisasi kurang lebih 10.000 dan terdiri dari tiga gugus hidroksil yang membentuk interaksi intra atau inter molekul yang dapat menjadi fasa kristalin. Sedangkan selulosa yang tidak berikatan akan membentuk fasa *amorf*. Sifat inilah yang sangat penting untuk mempengaruhi sifat mekanik serat selulosa (Li, et al., 2007). Struktur selulosa pada serat ditunjukkan pada gambar 2.6 dibawah ini



Gambar 2.6 Struktur Kimia Selulosa

Sumber: (Akil, et al., 2011)

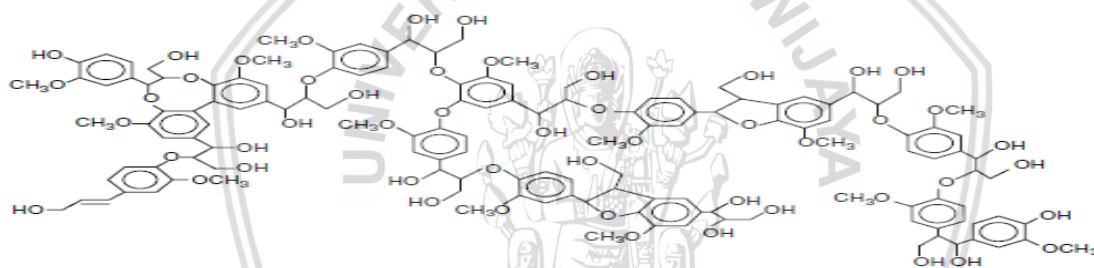
Hemiselulosa adalah rantai bercabang monomer glukosa yang mempunyai derajat polimerisasi berkisar 50-300 dan bersifat amorf sehingga hemiselulosa bersifat hidrofilik larut dalam asam basa. Molekul hemiselulosa adalah hidrogen yang terikat pada selulosa sebagai matrik yang menjadi struktur utama pada sel serat. (Li, et al., 2007)



Gambar 2.7 Struktur kimia Hemiselulosa

Sumber: (Kumari, et al., 2014)

Lignin terdiri dari senyawa aliphatic dan aromatic yang merupakan polimer hidrokarbon kompleks yang mempunyai sifat amorf dan hidrofobik. Kekuatan serat alam tergantung pada kandungan selulosa, derajat *microfibril angle* (MFA) dan *degree of polymerization* (DP). Serat dengan selulosa dan derajat polimerisasi yang tinggi akan memberikan kekuatan tarik dan modulus yang tinggi (Jacob M., 2005).



Gambar 2.8 Struktur kimia Lignin

Sumber : (Kumari, et al., 2014)

Berikut merupakan komposisi unsur kimia dari beberapa serat alam yang banyak dilakukan penelitian sebagai *reinforcement* pada material komposit berbasis serat alam

Tabel 2.2 Unsur Kimia Beberapa Serat Alam

Serat	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Kadar air (%)
Pisang	60-65	6-8	5-10	10-15
Sabut	43	<1	45	10-12
Flax	70-72	14	4-5	7
Jute	61-63	13	5-13	12,5
Rami	80-85	3-4	0,5	5-6
Sisal	60-67	10-15	8-12	10-12
Cotton	90	6	-	7

Sumber: (Monteiro, et al., 2008)

2.4 Serat Kulit Pohon Waru (*Hibiscus tiliaceus*)

Pohon Waru (*Hibiscus tiliaceus*) termasuk jenis tumbuhan pada kapas atau *malvaceae*. Pohon waru mempunyai ketahanan hidup yang cukup tinggi terhadap segala kondisi, tumbuhan berasal dari daerah tropis di pasifik bagian barat namun sudah tersebar secara menyeluruh di wilayah pasifik (Sutrisno, 2011)



Gambar 2.9 Pohon Waru

Sumber: (Balai Penelitian Bioteknologi IPB, 2014)

Di Indonesia pohon waru telah banyak dikenal dengan berbagai nama (Jawa: waru laut, waru lot, waru rangkang, waru lengit, wande, dadap laut. Sulawesi: balebirang, bahu, lamogu, molowagu. Papua: iwal, wakati, kasyanaf. Maluku: haaro, fanu, halu, war, papatale, haru, palu, faru, balo, kalo. Nusa Tenggara: kabaru, bau, baru, wau, fau.) sedangkan wilayah pasifik pohon waru dikenal menggunakan nama purau (bahasa Tahiti), hau (bahasa Hawaii), *Tewalpin*, *Beach hibiscus*, *Sea hibiscus*, atau *Coastal cottonwood* dalam bahasa Inggris (Joyoboyo, 2011).

Pohon waru dikenal sebagai pohon peneduh yang biasanya banyak ditemukan di tepi jalan, pantai, maupun di tepi sungai. Pohon waru dapat tumbuh dalam berbagai kondisi tanah hingga ketinggian 1700 meter di atas permukaan laut dan mempunyai panjang batang 5-15 meter dengan diameter batang tengah 40-50 cm. Kayu berwarna coklat agak ringan, padat, halus, dan tidak begitu keras. Dalam kehidupan sehari-hari kayu waru dapat dimanfaatkan sebagai material bangunan, sampan/perahu, roda, peti, gagang perkakas maupun kerajinan ukir. Kulit dari batang waru dapat dijadikan lulup sering dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan tas, jaring, dan tali (Alampedia, 2012).

Tabel 2.3 Komposisi Unsur Kimia Serat Kulit Waru

Nama	Komposisi berat (%)
Protein mentah	17,08
Ekstrak eter	3.45
Serat mentah	22,77
NDF	97.09
ADF	82.17
Lignin	33.31
Selulosa	47.93
Hemiselulosa	14.92

Sumber: (Fadhillah., et al., 2017)

Berdasarkan literatur di atas maka dapat diketahui bahwa serat kulit waru mempunyai kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa yang cukup tinggi dan didukung dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa dari hasil pengujian tarik serat tunggal pada kulit waru mempunyai kekuatan tarik sebesar 207.30 MPa maka serat ini berpotensi sebagai bahan penguat/*reinforcement* pada pembuatan komposit.

2.5 Matrik Pada Komposit

Matrik merupakan struktur komposit yang berfungsi sebagai pengikat pada umumnya digunakan dari bahan *polymer*, logam dan keramik. Matrik yang digunakan untuk membuat komposit pada umumnya mempunyai karakteristik yang tahan terhadap panas yang tinggi. Syarat matrik dalam komposit adalah mampu meneruskan beban terhadap serat, melindungi serat, dan yang terpenting adalah kompatibel, dimana mempunyai daya ikat yang baik serta tidak ada atau menimbulkan reaksi yang dapat mengganggu (Triyono & Diharjo, 2000). Pada material komposit matrik mempunyai fungsi antara lain mampu mencengkeram dan mempertahankan agar serat tidak dapat berubah pada posisinya, melindungi dari kerusakan mekanik atau kimiawi, mendistribusikan beban utama ke dalam serat, mampu mengikat serat dengan baik dan memberikan sifat seperti *ductility*, *toughness*, dan *electrical insulation*.

2.6 Karakteristik *Polymer*

Polymer terbentuk dengan sifat struktur yang rumit dikarenakan adanya jumlah atom pembentuk yang lebih besar jika dibanding dengan senyawa atomnya yang mempunyai berat rendah. *Polymer* membentuk ikatan kovalen tersusun secara berulang-ulang dengan gaya tarik menarik yang kuat, setiap atom pasangan terikat memberikan satu elektron untuk membentuk satu pasang elektron.

Berdasarkan sifat ketahanan terhadap temperatur *polymer* dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu *polymer thermoplastics* dan *polymer thermosetting* (Callister, 1991). *Polymer thermoplastics* merupakan *polymer* yang mempunyai sifat yang mudah mencair dan lunak apabila dipanaskan dan akan mengeras apabila material didinginkan kembali dikarenakan struktur ikatan *polymer* linier. Kelebihan dari bahan *polymer thermoplastics* adalah proses tersebut dapat terjadi secara berulang (*reversible*) sehingga dapat diproses menggunakan pemanasan dan penekanan contoh *polymer thermoplastics* adalah *poli vinil klorida*, *polietilena*, *polipropilen*, *poliamida*, *poliasetal* dan lainnya. *Polymer thermosetting* merupakan polimer yang tahan terhadap panas dan tidak mudah lunak dan mempunyai ikatan silang (*cross linking*). Pada *polymer thermosetting* bersifat keras, kuat, dan bersifat lebih getas dibandingkan dengan *polymer thermoplastic* dan tidak dapat didaur ulang kembali (contoh *polymer thermosetting* adalah resin epoksi, *polyester*, *urea formaldehyde*, *reaksi* dan lainnya). Adapun beberapa sifat-sifat umum pada polimer (Imra, 2009) (Surdia, 1992) adalah sebagai berikut ini

1. Sifat mampu cetaknya baik dan biaya pembuatan yang lebih murah. Hal ini dikarenakan pada bahan *polymer* mempunyai temperatur yang rendah.
2. Berat jenis yang ringan pada *polymer* 1.0-1.7 jika dibandingkan dengan logam dan keramik dapat dibuat produk yang ringan dan kuat.
3. *Polymer* sebagai *isolator* listrik yang paling baik. *Polymer* dapat dibuat konduktor dengan memberikan campuran serbuk logam, karbon dan sebagainya.
4. Mempunyai sifat ketahanan air yang tinggi, tahan korosi. Dengan material yang baik akan dihasilkan produk yang memiliki sifat maupun kualitas yang tinggi, sebagai contoh *politetrafluoroetilen*
5. Produk yang mempunyai sifat berbeda dapat dibuat sesuai dengan keinginan seperti mencampur material pengisi, zat plastis maupun lainnya. Contoh produk antara lain *polivinil klorida* menggunakan zat plastis karet, karbon yang diperkuat serat glass (*Glass fiber reinforced plastics*)
6. Bahan *polymer* relatif lebih murah
7. Tidak tahan suhu tinggi seperti logam atau keramik
8. Kekerasan permukaan masih berada dibawah material logam dan keramik
9. Pada umumnya tidak tahan terhadap pelarut tertentu seperti zat atau bahan kusus *politetrafluoroetilen*
10. Dapat memuat listrik secara elektrostatik
11. Koefisien gesek yang rendah atau tahan abrasi

2.6.1. Resin Polyester

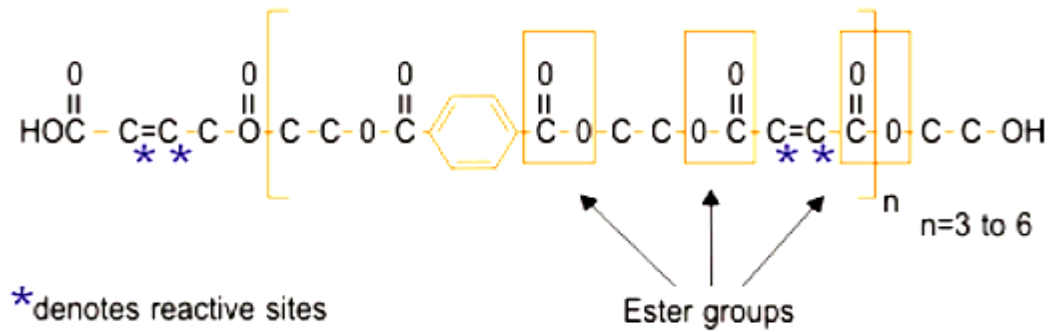
Resin *polyester* merupakan jenis pengikat yang sering digunakan sebagai matrik terutama pada aplikasi pembuatan komposit. Resin ini mudah didapatkan oleh masyarakat umum maupun industri yang termasuk jenis resin *termosetting*. Kelebihan dari jenis resin *polyester* adalah dapat berikatan dengan baik tanpa memberikan efek reaksi gas apabila digunakan pada serat alam (Diharjo, 2006). Penggunaan resin *polyester* ditambahkan menggunakan katalis kadar 1% MEKPO (*metil etil keton peroksida*) sehingga akan menghasilkan reaksi curing ikatan silang (Hatmi P. W., 1998)

Resin *polyester* mempunyai ciri yang khas yaitu berupa cairan dengan viskositas yang relatif rendah, dapat diwarnai, transparan, dan fleksibel sehingga bahan ini dikembangkan secara luas sebagai plastik yang diperkuat dengan serat gelas (GFRP). Aplikasi penggunaan *polyester* pada serat gelas dapat dijumpai dalam pembuatan kapal, *body auto* mobil, bangunan panel, pipa, tangki, konstruksi seperti produk kisi, peralatan olah raga dan masih banyak lagi. Penggunaan resin *polyester* dapat mencapai suhu kerja 79 °C maupun lebih sesuai dengan partikel resin dan keperluannya serta dapat dengan mudah dikombinasikan dengan berbagai macam serat alam (Schward, 1984). Struktur kimia pada resin *polyester* dapat dilihat pada gambar 2.10

Tabel 2.4 Spesifikasi Resin Polyester

Sifat Mekanik	Besaran	Satuan
Berat jenis	1,4	gr/cm ³
Kekerasan	40	-
Suhu distorsi panas	70	°C
Penyerapan air (suhu ruang)	0,188	% (24 jam)
	0,446	% (7 hari)
Kekuatan Fleksural	9,4	Kg/mm ²
Modulus Fleksural	300	Kg/mm ²
Kekuatan tarik	5,8	Kg/mm ²
Modulus elastisitas	300	Kg/mm ²
Elongasi	2,4	%

Sumber: (PT. Jusstus Kimia Raya, 2015)



Gambar 2.10 Struktur Kimia Resin Polyester

Sumber : (Bramantyo, 2008)

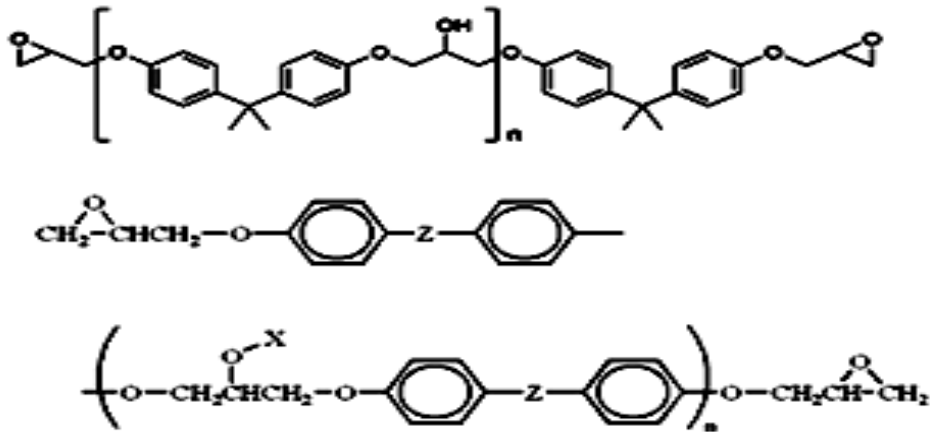
2.6.2. Resin Epoxy

Resin *epoxy* merupakan salah satu resin polimer yang tersusun dari gugus *epoxy* yang berisi atom oksigen yang terikat dua atom karbon berdampingan. Penggunaan resin *epoxy* terdiri dari dua bahan yaitu *epoxy* dan *hardener* sehingga menghasilkan reaksi dengan membentuk ikatan polimer *crosslink* dan pemanjangan rantai. Resin *epoxy* dibuat dengan mengkopolimerisasi *bisphenol A* dan *epiclorohidrin* sehingga didapatkan rantai *epoxy* dengan berat molekul rendah. *Curing* resin tergantung pada jumlah *hardener* (Shabiri A.N., 2014). Struktur kimia resin *epoxy* dapat dilihat pada gambar 2.11

Tabel 2.5 Spesifikasi Resin Epoxy

Sifat Mekanik	Besaran	Satuan
<i>Epoxy</i>		
Viskositas	16000 - 20000	25 °C
Epoksi <i>equivalent</i>	184 - 204	g/equiv
<i>Hydrolyzable chlorine content</i>	< 0,05	%
<i>Colour according to the Gardner scale</i>	12-15	
<i>Hardener</i>		
Kekuatan tarik	410	kgf/cm ²
Kekuatan fleksural	810	kgf/cm ²
Kekuatan tekan	740	kgf/cm ²
Kekuatan geser adesif	160	kgf/cm ²

Sumber: (PT. Jusstus Kimia Raya, 2003)



Gambar 2.11 Struktur Kimia Resin Epoxy

Sumber: (Clayton, 1987)

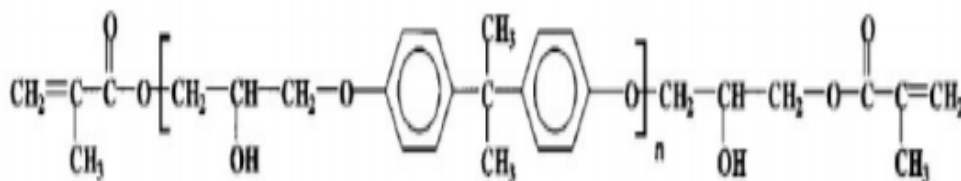
2.6.3. Resin Ripoxy

Resin *ripoxy* atau disebut dengan *vinyl ester* adalah modifikasi dari resin *epoxy*. Merupakan jenis resin yang mempunyai kandungan *manomer styrene class 3-3* sehingga bersifat *flammable* (mudah terbakar). Resin *ripoxy* mempunyai ketahanan kimia tingkat tinggi sehingga tahan terhadap korosi. Penggunaan *ripoxy* dapat ditambahkan MEKPO/*cumene hyroperoxide* dan promotor/*cobalt naphthenate* (Karno I.P., 2014)

Tabel 2.6 Spesifikasi Resin Ripoxy

Sifat Mekanik	Besaran	Satuan	Sifat Mekanik	Besaran	Satuan
<i>Specific gravity</i>	1,134	g/cm ³	<i>Compress strength</i>	108-118	MPa
<i>Heat distorcion temperature</i>	100	⁰ C	<i>Charpy impact</i>	4900-7900	J/m ²
<i>Tensile Strength</i>	69-89	MPa	<i>Barcol Hardness</i>	35	
<i>Flexural Strength</i>	120-150	MPa	<i>Elongation</i>	6	%
<i>Flexural Modulus</i>	2,7-3,1	GPa	<i>Curing shrinkage</i>	7,5-8,5	%

Sumber: (Showa, *Data sheet Ripoxy R-802*, 2005)



Gambar 2.12 Struktur Kimia Resin Ripoxy

Sumber: (Jang, et al., 2012)

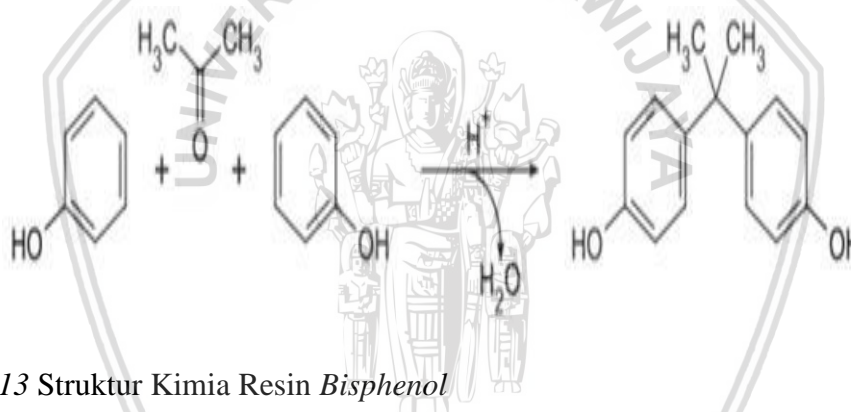
2.6.4. Resin *Bisphenol*

Resin *bisphenol* merupakan resin hasil rekayasa manusia yang merupakan senyawa sintesis organik kelompok turunan *diphenylmethane* dan *bisphenol*, dengan dua kelompok *hidroksifenil*, yaitu padatan tak berwarna yang larut dalam pelarut organik tetapi kurang larut dalam air. Resin *bisphenol* sering diaplikasikan sebagai bahan dental resin dan mempunyai struktur kimia seperti pada gambar 2.13 (Chen, et al., 2013).

Tabel 2.7 Spesifikasi Resin *Bisphenol* LP-1Q-EX

Sifat Mekanik	Besaran	Satuan
<i>Tensile Strength</i>	88	Mpa
<i>Tensile Modulus</i>	3,2	Gpa
<i>Tensile Elongation</i>	6,2	%
<i>Flexural Strength</i>	153	Mpa
<i>Flexural Modulus</i>	3,5	Gpa

Sumber: (PT. Jusstus Kimia Raya, 2003)

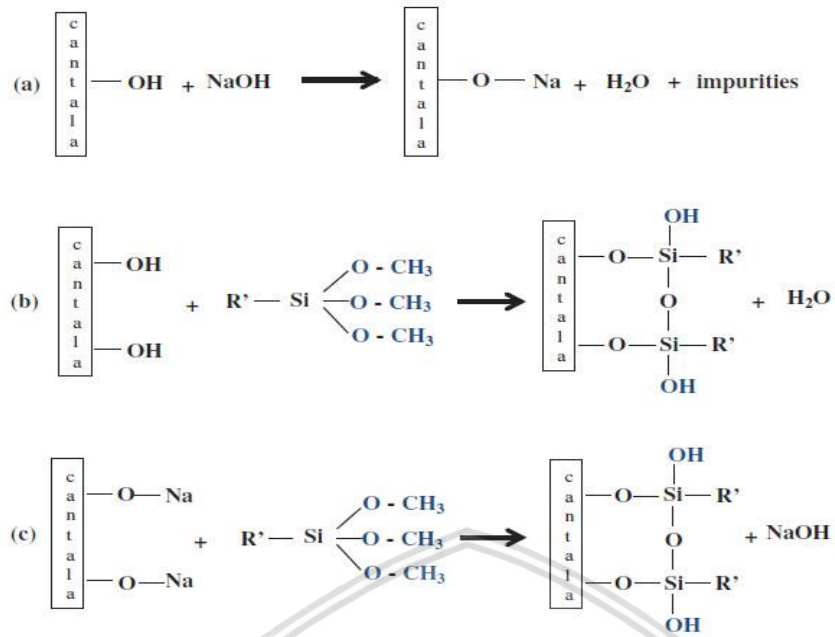


Gambar 2.13 Struktur Kimia Resin *Bisphenol*

Sumber: (Chen, et al., 2013)

2.7 Modifikasi Serat Alam

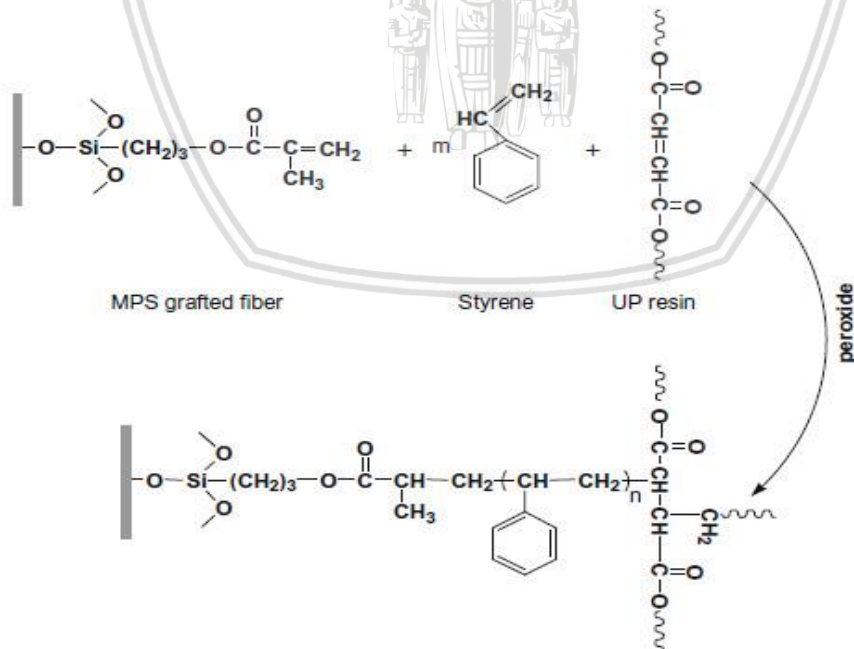
Untuk memperoleh material sesuai dengan kebutuhan berbagai macam material memodifikasi serat merupakan suatu keharusan untuk meningkatkan sifat mekanik maupun sifat fisis pada komposit serat alam, agar kompatibel terhadap matrik dengan penguat. Modifikasi serat alam dapat dilakukan secara kimiawi dengan perlakuan alkali dan penambahan *silane coupling agent* (Raharjo, et al., 2017).



Gambar 2.14 (a) Reaksi Alkali Treatment (b) Reaksi Silane Treatment (c) Reaksi Alkali-Silane Treatment

Sumber: (Raharjo, et al., 2017)

Ikatan secara kimiawi yang terjadi pada serat yang telah dilakukan proses alkali dan silane treatment dengan matrik polymer ditunjukkan pada gambar 2.15 berikut ini



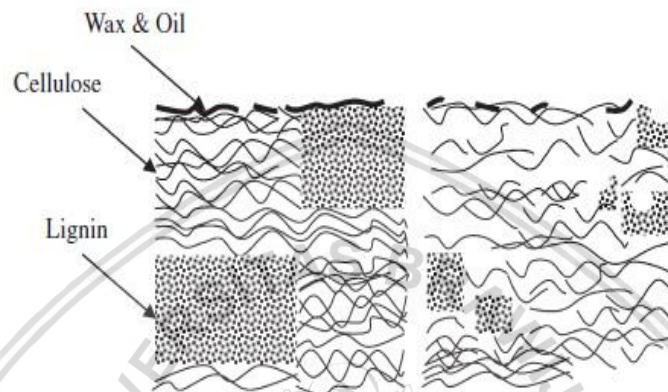
Gambar 2.15 reaksi Silane Coupling Agent Dengan Resin Polyester

Sumber: (Xie, 2010)



2.7.1. Perlakuan Alkalisasi

Perlakuan alkalisasi pada serat alam adalah salah satu metode perlakuan kimia yang secara umum sering dilakukan untuk memodifikasi dan membersihkan serat dengan menggunakan larutan NaOH. Senyawa alkali dapat menghilangkan kandungan senyawa *amorp* pada serat seperti hemiselulosa, lignin, dan *wax*, sehingga adanya serat yang lebih kasar dan menyebabkan terbentuknya mekanisme perekatan *mechanical interlocking* pada material komposit (Bisanda, 2001).



Gambar 2.16 Ilustrasi Perlakuan Kimia Pada Serat Alam

Sumber: (Kabir M., et al., 2012)

Mechanical bonding pada komposit tanpa perlakuan mempunyai ikatan antara serat dengan UPRs menjadi tidak sempurna, hal ini dikarenakan permukaan serat yang masih mengandung lapisan seperti lilin. Dengan diberikan alkali NaOH lapisan seperti lilin tersebut dapat larut dan serat menjadi bersih. Kekuatan komposit mengalami peningkatan dengan hilangnya lapisan yang menyerupai lilin akibat dari ikatan serat dan matrik yang lebih baik. Tetapi perlakuan alkalisasi NaOH yang berlebihan akan berdampak pada kerusakan pada selulosa. Sedangkan selulosa merupakan salah satu unsur utama dalam serat alami. Waktu yang berlebihan dalam proses alkalisasi akan mengakibatkan serat terdegradasi sehingga memberikan berdampak pada pengikisan dan rendahnya kekuatan komposit (Diharjo., 2006).

2.7.2. Silane Coupling Agent

Dittenber, et al., 2012 menyatakan selain perlakuan alkalisasi menggunakan NaOH, salah satu langkah untuk memperbaiki sifat mekanik adalah dengan adanya unsur lain yang ditambahkan pada komposit sehingga adhesi pada serat meningkat. *Silane coupling agent* adalah suatu zat yang digunakan sebagai bahan pengikat antara serat alam

dan bahan polimer sehingga terbentuknya *interface* diantara serat dan matrik yang lebih baik (Zhou, et al., 2014). *Silane coupling agent* merupakan senyawa kimia yang terdiri dari reaktif organik dan anorganik dalam resin *polymer*. Struktur umum dari *silane coupling agent* adalah $(RO)_3SiCH_2CH_2CH_2-X$ dimana RO merupakan golongan yang terhidrolisis antara lain *methoxy*, *ethoxy*, dan *acethoxy* dan X merupakan organofungsional yang terdiri dari *metacryloxy*, *epoxy*, *amino*, *diamine* dan lainnya akan bereaksi dengan selulosa pada permukaan serat yang akan membentuk konsep ikatan kimia (*chemical bonding*). Jenis *silane coupling agent* yang sering digunakan dalam *polyester* resin antara lain adalah *vinyl silane*, *hydroxy*, *thiocarboxy*, *amine*, *alkyl* dan *ester substitutions*, γ -*methacryloxypropyl trimethoxysilane* γ -MPS (Hull D., 1981)



Gambar 2.17 Struktur Kimia *Silane Coupling Agent*

Sumber: (Xiameter Dow Corning, 2015)

Prinsip dari mekanisme *coupling agent* adalah terdapat dua gugus aktif yang bersifat mampu berinteraksi pada serat serta kompatibel terhadap matrik. Kekuatan rekat dipengaruhi oleh jumlah dan jenis ikatan antara dua komponen tersebut. Mekanisme perekatan antar molekul pada komposit dapat membentuk ikatan yang saling bertautan (*entanglement*) dapat dilihat bahwa gugus silane pada rantai polimer yang terdapat pada permukaan serat berdifusi dalam matrik polimer. *Silane coupling agent* banyak digunakan dalam komposit dengan serat gelas dan *maleated anhydride graft polypropylane* (MAPP) maupun pada komposit PP dengan berbagai serat penguat (Masruchin, 2012).

Pada serat alam banyak mengandung gugus hidroksil (-OH) sehingga serat alam mempunyai sifat *hydrophilic*, penggunaan *coupling agent* dapat dapat mengubah permukaan menjadi *hydrophobic* yang berperan penting dalam kompatibilitas dan adhesi serat kayu terhadap matrik polimer dengan membentuk jembatan ikatan kimia antara serat dan matrik. (Islam., et al., 2010) menemukan bahwa kinerja *coupling agent* pada komposit serat yang diperkuat komposit *high-density polyethylene* meningkatkan kekuatan antarmuka, lentur modulus, kelompok fungsional, berat molekul, dan struktur

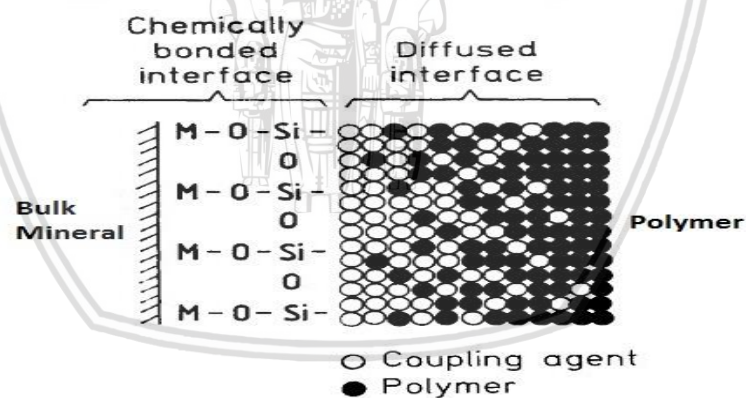
rantai. Nilai adhesi antarmuka dapat dicapai 3 wt%. Kekuatan maksimum ditemukan naik 40% dan modulus tarik maksimum sebesar 30%.

Tabel 2.8 Spesifikasi *Silane Coupling Agent* 6030

Sifat Mekanik	Satuan	Besaran
<i>Apperance</i>		<i>Clear, White to lightstraw</i>
<i>Purity</i>	%	98
<i>Specific Grafity at 25°C (77°F)</i>		1.04
<i>Flash Point, Open Cup</i>	°C (°F)	138 (280)
<i>Refractive index at 25°C (77°F)</i>		1.43
<i>Viscosity at 25°C (77°F)</i>	cst	2.5
<i>Boiling Point at 760mmHg</i>	°C (°F)	190(374)
<i>Molecular Weight</i>	g/mol	248.35
<i>CAS#</i>		2530-85-0

Sumber: (Xiameter Dow Corning, 2015)

Mekanisme *coupling agent* terjadi apabila komposisi molekul saling berdifusi satu dengan lainnya, kekuatan kompatibilitas matrik dan serat dipengaruhi oleh jumlah molekul yang berdifusi membentuk ikatan yang saling bertautan (*engtanglement*). Pada gambar 2.18 dapat dilihat bahwa gugus *silane* pada rantai polimer yang berada di permukaan serat saling berdifusi dengan baik.



Gambar 2.18 *Interdiffusion Silane Coupling Agent*

Sumber: (Hull D., 1981)

2.8 Teori Perekatan (*Adhesion Theory*)

Adhesi merupakan fenomena terjadinya penggabungan dua substansi yang menjadi satu dikarenakan adanya gaya tarik menarik di antaranya baik secara makro maupun mikro. Perekat dapat masuk dalam porus pada permukaan serat sehingga adanya *mechanical entanglement/interlocking* apabila perekat mulai mengeras dan membentuk ikatan yang kuat (Pizzi A., 1994). Interaksi perekatan berkaitan dengan kekasaran

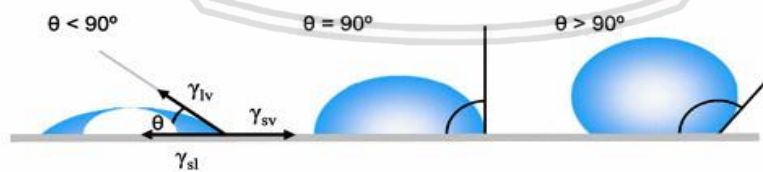
permukaan sehingga perlu adanya treatment permukaan pada serat yang bertujuan untuk memperluas bidang kontak dengan perekat. Adheren yang menyebabkan *fracture* dapat dihilangkan dengan membentuk kekasaran permukaan sehingga dapat mendistribusi tekanan akibat terbentuknya ikatan permukaan. Kualitas adhesi tergantung pada permukaan dan material adhesif. Material adhesif merupakan material untuk menghasilkan adhesi dan adheren merupakan tempat diletakkanya material adhesif (Packhman, 2003).



Gambar 2.19 Mechanical Entanglement/interlocking

Sumber : (Neagu, et al., 2007)

Beberapa faktor yang harus diperhatikan agar perlekatan baik diantaranya adalah permukaan harus bersih, adhesif dapat membasahi substrat dengan baik, mempunyai sudut kontak kecil, adhesif dapat mengalir ke seluruh permukaan, adaptasi dari substrat menghasilkan perlekatan material tanpa adanya udara yang terperangkap, dan *Interface* mempunyai sifat fisik, mekanik yang cukup atau kekuatan mekanik yang dapat menahan kekuatan *debonding* (pelepasan).



Gambar 2.20 Ilustrasi Sudut Kontak Serat dan Matrik

Sumber : (Bracco, et al., 2013)

Kemampuan matrik membasahi serat disebut dengan *wettability* dimana dapat mempengaruhi kekuatan geser pada *interface*. Pada gambar 2.19 menunjukkan bahwa sudut kontak antara permukaan serat dan matrik. Secara kuantitatif *wettability* ditunjukkan oleh sudut kontak (θ) serat dengan matrik yang membentuk droplet. Sudut kontak serat dan matrik kurang dari 90° dikelompokkan mampu basah, sudut kontak lebih

dari 90° dikelompokkan tidak mampu basah. Sudut kontak untuk menghasilkan kemampuan basah optimal adalah tidak lebih dari 30° dimana terdapat hubungan antara energi permukaan serat dengan matrik dijelaskan pada persamaan *young* seperti pada persamaan (2-1)

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{sv} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lv}} \quad (2-1)$$

Dengan :

$\cos \theta$ = Sudut kontak serat dan matrik

γ_{sv} = tegangan lapisan permukaan *solid-vapour* (mJ/m^2)

γ_{sl} = tegangan lapisan permukaan *solid-liquid* (mJ/m^2)

γ_{lv} = tegangan permukaan *liquid-vapour* (mJ/m^2)

2.8.1. *Mechanical adhesion*

Mekanisme perekatan yang saling mengunci (*Interlocking*) dapat terjadi pada dua permukaan yaitu serat dan matriks. Resin dan matrik dapat membasahi setiap area permukaan dengan sempurna. Pada ikatan ini permukaan yang kasar mampu menyebabkan *interlocking* semakin banyak dan *mechanical bonding* yang dihasilkan lebih sempurna. Ketidakteraturan permukaan serat menghasilkan kemampuan rekat serat dan matrik saling mengunci seperti gambar 2.21 berikut ini

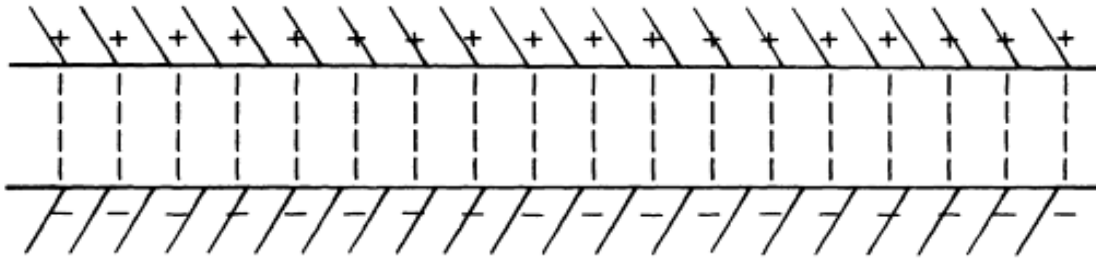


Gambar 2.21 Ikatan *Mechanical Bonding*

Sumber: (Mattews & Bawlings, 1993)

2.8.2. *Electrostatic Attraction*

Electrostatic attraction terjadi akibat adanya gaya tarik menarik antara permukaan akibat perbedaan dua buah muatan listrik yaitu adanya muatan positif (+) serta muatan negatif (-) dan hal ini akan terjadi dalam interaksi ikatan asam-basa (ikatan atomik). Kekuatan rekat tergantung pada kepadatan dan perbedaan muatan. Ikatan ini sering ditemukan pada material logam konduktor tetapi pada bahan polimer jarang terjadi karena bersifat isolator. Ikatan *electrostatic* dapat dilihat seperti gambar 2.22 berikut ini

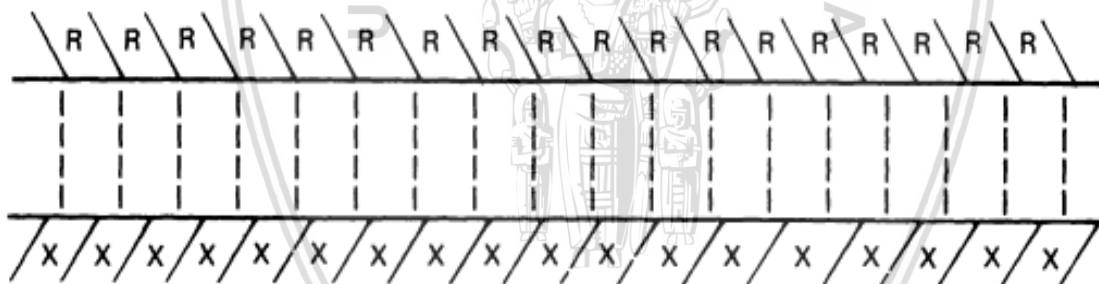


Gambar 2.22 Ikatan *Electrostatic Attraction*

Sumber: (Mattews & Bawlings, 1993)

2.8.3. *Chemical bonding*

Chemical bonding terjadi karena adanya dua gugus aktif yang bersifat kimia dipermukaan serat (x) dan matriks (R) yang kompatibel dan mampu berinteraksi. Sifat kimia bahan yang digunakan sangat menentukan kekuatan serta jumlah ikatan kimiawi pada luas penampang dan tipe ikatan ini terjadi akibat adanya *wetting agent*. Serat yang diberikan perlakuan permukaan dengan *coupling agent* akan mengalami interaksi pada matrik seperti gambar 2.23 dibawah ini



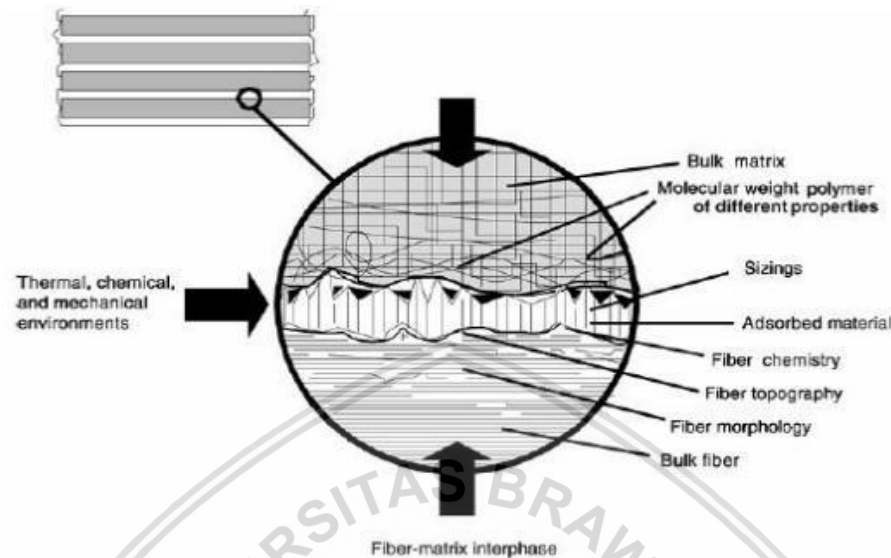
Gambar 2.23 Ikatan *Chemical Bonding*

Sumber: (Mattews Dan Bawlings, 1993)

2.9 *Interface dan Interphase Antara Matrik dan Fiber*

Jacobs M., 2005 *Interface* adalah daerah antarmuka yang berada antar serat dan matrik untuk mempertahankan ikatan dan mempunyai sifat propertis diantara keduanya. Dimana daerah yang memisahkan antara serat dan matrik merupakan daerah krusial terjadinya transfer beban. Molekul matrik dapat berdifusi pada permukaan serat dengan membentuk ikatan kimia atau absorpsi dimana hal ini dapat menentukan sifat mekanik pada komposit. Sedangkan *interphase* adalah daerah transisi yang memungkinkan adanya reaksi kimia bekerja pada permukaan dan dibentuk adanya mekanisme difusi antarmuka serat dan matrik. *Interphase* memiliki ketebalan tidak lebih dari $5\mu\text{m}$ yang memiliki sifat

propertis berbeda dengan matrik polimer. *Interphase* yang lunak akan menghasilkan komposit dengan kekakuan yang rendah namun lebih tangguh dan sebaliknya jika *interphase* lebih kaku maka komposit akan lebih kuat tetapi bersifat *brittle*.



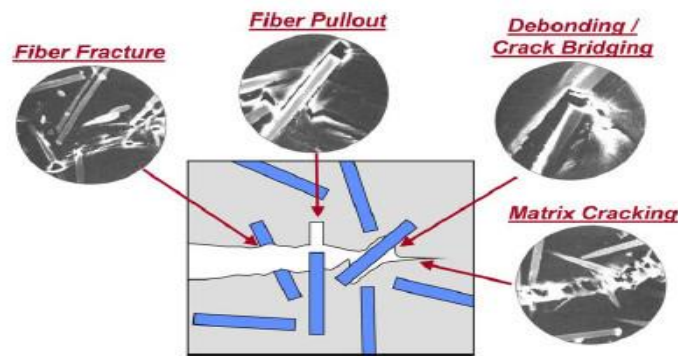
Gambar 2.24 Ilustrasi *Interface* Pada Matrik dan Fiber

Sumber: (Jacobs, 2005)

Interface akan mempengaruhi kekuatan dan ketangguhan pada komposit, dimana *interface* yang kuat akan membentuk material komposit lebih kuat dan kaku tetapi bersifat *brittle* dikarenakan pergerakan *crack* yang terjadi lebih mudah. Sebaliknya apabila *interface* lemah dapat mengurangi efisiensi transfer beban pada serat sehingga kekakuan dan kekuatan komposit menjadi rendah. (Maruschin, 2012) pada *interface* yang lemah *crack* yang terjadi antarmuka matrik dan serat akan bergerak secara transversal akan menghasilkan *pull out fiber* atau *debonding* dari pada mekanisme patahan serat (*fiber breakage*) yang disebabkan *interface* yang lebih kuat.

2.10 *Debonding* dan *Pull Out* Pada Komposit

Debonding adalah pelepasan serat dari matrik karena matrik tidak dapat mengikat serat dengan baik, sedangkan *pull out* adalah pemunculan ujung serat yang patah pada permukaan patahan. Mekanisme terjadinya *pull out* apabila ikatan antara serat dan matrik menjadi lemah bila beban yang diberikan semakin tinggi. Patahan antara matrik dan serat tidak terjadi secara langsung bersama dimana matrik lebih dahulu mengalami gagal sedangkan serat masih dapat menerima beban. Berikut ini merupakan ilustrasi pada saat terjadinya *fracture* pada komposit

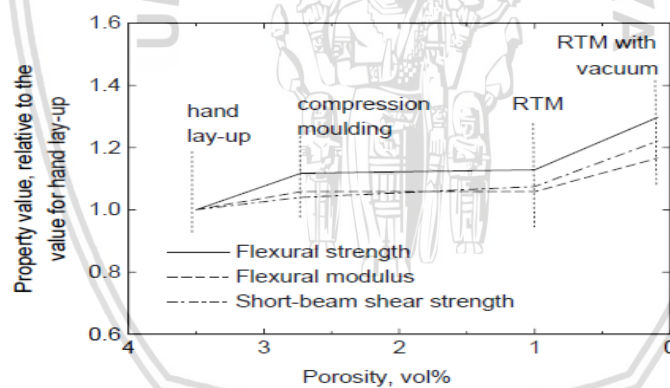


Gambar 2.25 Mekanisme *Fiber Fracture*, *Pull out*, *Debonding*, dan *Cracking*

Sumber: (Thostenson E. T., 2005)

2.11 Metode Manufaktur Komposit

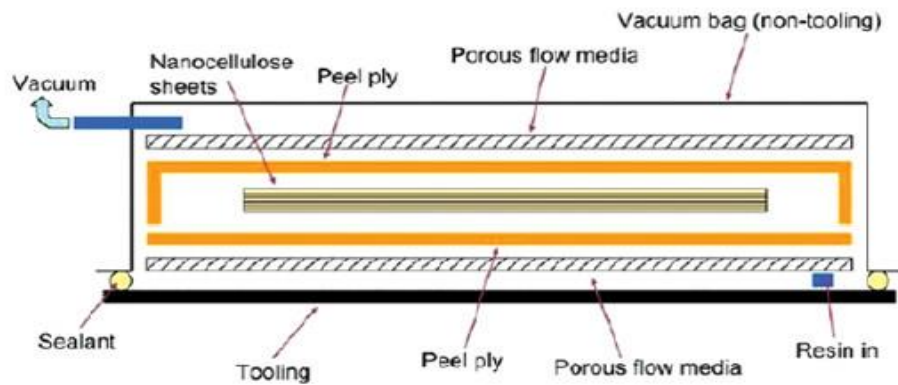
Proses manufaktur dalam pembuatan komposit sangat mempengaruhi kekuatan pada komposit. Berikut ini merupakan perbandingan beberapa proses metode untuk pabrikasi dalam pembuatan komposit menggunakan matrik polimer. Pada metode RTMV mempunyai tingkat porositas yang sangat kecil dibandingkan dengan metode *hand lay-up* (Harris B., 1999)



Gambar 2.26 Variasi metode manufaktur komposit terhadap *porosity*

Sumber : (Harris B., 1999)

Vacuum assisted resin infusion merupakan salah satu proses manufaktur pada pembuatan komposit dengan menggunakan pompa *vacuum*. Pada proses ini digunakan tekanan rendah untuk menarik dan memasukkan jalanya resin kedalam cetakan. Pada metode *vacuum assisted resin infusion* digunakan pompa *vacuum* dengan tekanan konstan dapat menghasilkan komposit dengan rasio yang lebih tinggi dibandingkan metode yang lainnya (*hand lay-up*) sehingga material lebih kuat dan ringan dan dapat mengurangi terjadinya *void* (Rizal, et al., 2016)



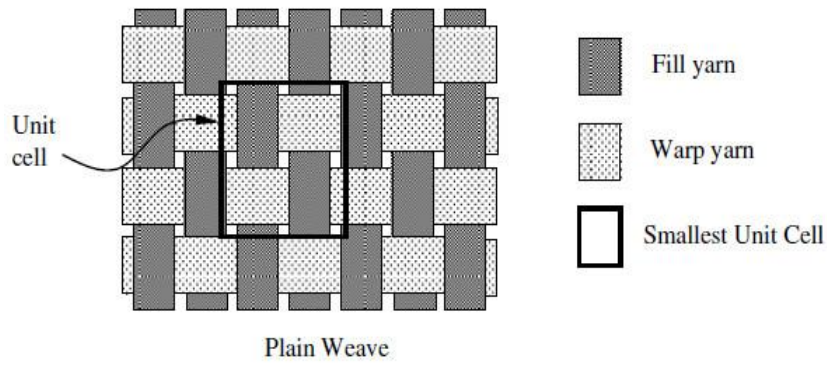
Gambar 2.27 Diagram Sistematis metode VARI

Sumber: (Thakur et al., 2014)

Gelembung udara atau *void* yang terdapat dalam komposit dapat menyebabkan inisiasi *crack* sehingga dapat mengakibatkan penurunan kekuatan pada komposit. Proses manufaktur komposit perlu diperhatikan untuk menghindari adanya *void* antara lain menggunakan metode *vacuum* bertujuan menghilangkan gas pada resin cair, menurunkan tekanan disekitar media dan membuat saluran udara agar resin dapat mengalir secara bebas. Menurunkan tekanan pada cetakan yang lebih rendah dari pada atmosfer dapat mengangkat gelembung udara pada cetakan naik, sehingga dapat meningkatkan kekuatan material komposit. Semakin rendah tekanan yang ada didalam media maka dapat mempengaruhi terbentuknya porositas, semakin menurunnya porositas pada material komposit maka kekuatan dari komposit semakin meningkat (Rizal, et al., 2016)

2.12 Anyaman Basket

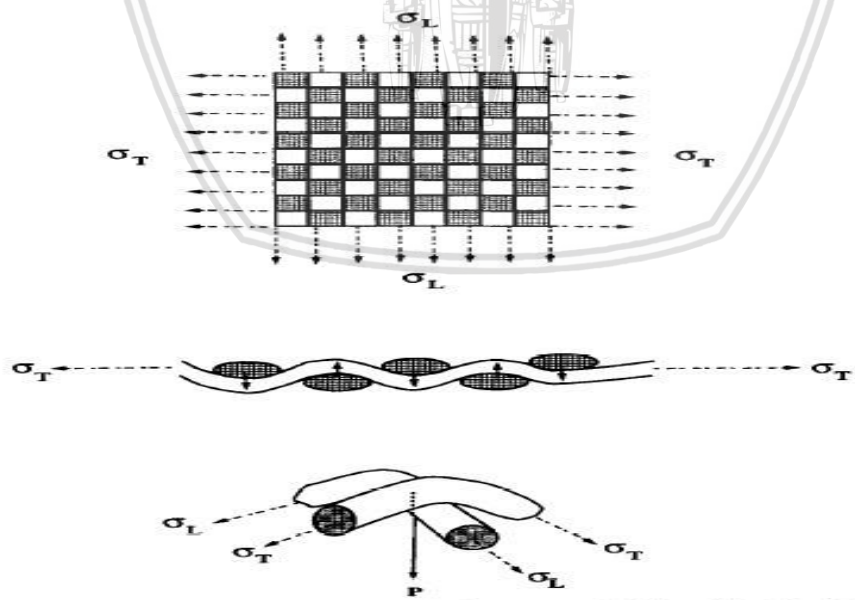
Anyaman serat yang digunakan dalam pembuatan komposit berbasis *natural fiber* mempunyai pengaruh terhadap kekuatan. Kekuatan pada anyaman dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain ukuran anyaman, jarak anyaman, laminasi dan sifat material serat. Pada penelitian (Fadhillah., et al., 2017) menyebutkan bahwa model anyaman basket (2-2) dapat direkomendasikan pada serat kulit pohon waru. Model anyaman basket merupakan anyaman yang berbentuk mengelompok. Anyaman basket mempunyai kekuatan yang lebih baik dibandingkan anyaman polos akan tetapi mempunyai stabilitas yang kurang. Struktur anyaman dapat dilihat pada gambar 2.28



Gambar 2.28 Anyaman pada serat

Sumber : (Faizal, et al., 2006)

Pada gambar di atas menunjukkan bahwa anyaman pada serat terdiri dari beberapa bagian antara lain *fill yarn* merupakan serat dengan arah vertikal berfungsi sebagai pengikat antar anyaman, *warp yarn* merupakan serat dengan arah horizontal berfungsi sebagai pengikat antar anyaman dan *smallest unit cell* merupakan bagian celah dari pola anyaman. Pola anyaman dapat terbentuk jika serat arah vertikal dan horizontal membentuk dalam satu bagian *unit cell*. Interaksi benang atau serat yang digunakan dapat membentuk *self-lock* dan menghasilkan sistem *bundle*. Beban tarik yang diberikan pada anyaman dapat menghasilkan tekanan sebagai *interlocking* antar benang anyaman seperti terlihat pada gambar 2.29

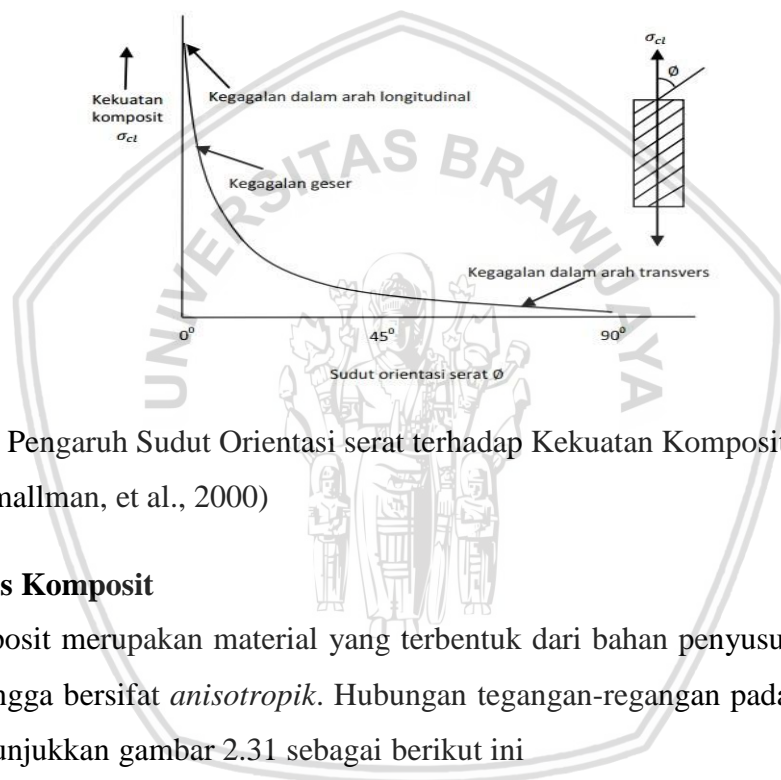


Gambar 2.29 Interaksi Interlocking Antar Serat/benang Anyaman

Sumber: (Pan, 1996)

2.13 Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Komposit

Orientasi serat pada komposit mempunyai peran penting terhadap kekuatan material komposit. Arah tegangan kerja yang searah dengan serat kontinu/*unidirectional* mempunyai kekuatan maksimum pada komposit. Komposit mempunyai sifat *anisotropic* sehingga kekuatan bervariasi secara linier dengan fraksi serat. Dengan adanya sudut orientasi serat terhadap tegangan tarik maka terjadi penurunan gradien kurva kekuatan pada nilai fraksi volume serat. Pengurangan ini akibat adanya faktor orientasi yang lebih besar dibandingkan fraksi matrik. Apabila sudut orientasi bertambah maka faktor orientasi turun menjadi kurang dari satu.

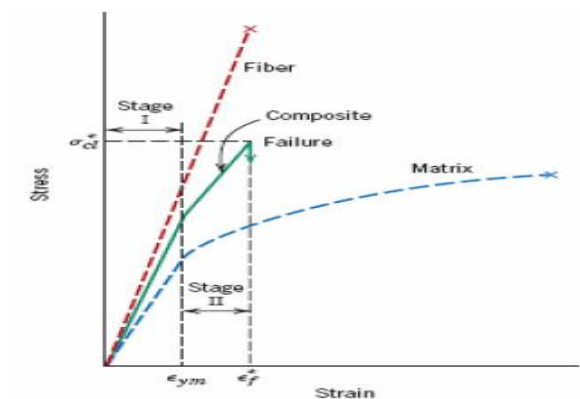


Gambar 2.30 Pengaruh Sudut Orientasi serat terhadap Kekuatan Komposit

Sumber: (Samallman, et al., 2000)

2.14 Analisis Komposit

Komposit merupakan material yang terbentuk dari bahan penyusun yang berbeda sifatnya sehingga bersifat *anisotropik*. Hubungan tegangan-regangan pada kekuatan tarik komposit ditunjukkan gambar 2.31 sebagai berikut ini



Gambar 2.31 Deformasi Pada Komposit

Sumber: (Jones, 1999)

Pada gambar 2.31 menunjukkan kurva tegangan-regangan pada komposit dimana *stage 1* serat dan matrik mengalami deformasi elastis, pada *stage 2* material serat mengalami deformasi lanjutan dan matrik mengalami deformasi plastis pada *stage* selanjutnya material mengalami retak (*crack*) kemudian merambat dan patah. Tegangan maksimum diperoleh pada saat spesimen sebelum patah yang menunjukkan gaya yang mampu ditahan oleh material komposit.

Tegangan tarik adalah distribusi gaya tarik persatuan luas pada suatu material dapat dirumuskan seperti pada persamaan berikut (Surdia, 1995)

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

Dengan :

σ = Tegangan tarik (MPa)

F = Gaya tarik (N)

A = Luas penampang (mm²)

Regangan adalah perbandingan antara penambahan panjang dengan panjang awal ($\Delta l = l_1 - l$) dapat dirumuskan seperti persamaan berikut ini :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \quad (2-3)$$

Dengan :

ε = Regangan (%)

l = Panjang awal (mm)

Δl = Pertambahan panjang (mm)

Pada uji tarik hasil perhitungan tegangan dan regangan terhadap perpanjangan daerah elastis dapat diketahui menggunakan persamaan berikut ini :

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

Dengan :

E = Modulus elastisitas (MPa)

σ = Tegangan tarik maksimum (MPa)

ε = Regangan (%)

BAB III

KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Deskripsi Penelitian

Konsep pada penelitian ini adalah bahwa penggunaan bahan komposit saat ini telah bergeser dari komposit dengan *rainforcement* menggunakan bahan sintetis menjadi bahan serat alam, hal ini dikarenakan penggunaan komposit berpenguat serat alam memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan serat sintesis antara lain adalah lebih ringan, ramah lingkungan dan jumlahnya yang melimpah.

Serat kulit pohon Waru (*Hibiscus tiliaceus*) sebagai *rainforcement* merupakan salah satu inovasi terbaru dalam pembuatan biokomposit, hal ini dikarenakan serat kulit pohon Waru (*Hibiscus tiliaceus*) mempunyai beberapa kelebihan antara lain ringan dan kuat sehingga dapat dimanfaatkan sebagai penguat yang dipadukan dengan berbagai matrik polymer. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan (Fadhillah., et al., 2017) tentang desain pola fiber berbahan serat kulit waru bermatrik resin sintetis terhadap kekuatan tarik komposit menyebutkan bahwa ditinjau dari segi kekuatan tarik komposit dengan matrik *bisphenol* mempunyai kekuatan tertinggi akan tetapi mempunyai *fracture area* yang menyebar di segala arah sehingga material tidak dapat diprediksi. Untuk mengatasi *fracture area* yang baik pada penelitian tersebut dilakukan dengan menyusun pola anyaman pada *reinforcement* basket (2-2) dengan sudut 0° - 90° akan tetapi kekuatan komposit masih tergolong rendah.

Susunan orientasi serat yang digunakan sebagai *reinforcement* sangat mempengaruhi kekuatan pada komposit. (Setyabudi, et al., 2011) meneliti tentang *static* dan *fracture* pada komposit serat karbon dengan menggunakan konfigurasi dan arah orientasi serat karbon $0^{\circ}/90^{\circ}$ dan $45^{\circ}/45^{\circ}$. Dari hasil penelitian diketahui kurva tegangan-regangan yang menunjukkan bahwa arah orientasi serat $0^{\circ}/90^{\circ}$ mempunyai tegangan yang lebih baik dibandingkan dengan arah orientasi $45^{\circ}/45^{\circ}$.

Selain desain pola dan orientasi serat kekuatan komposit pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas ikatan antara serat dan matrik. Dalam penelitian sebelumnya telah dilakukan bahwa salah satu metode yang dilakukan untuk memperbaiki kualitas ikatan serat alam dan matrik adalah dengan melakukan perlakuan secara kimiawi.

Kabir., et al., meneliti tentang pengaruh perlakuan kimia menggunakan larutan NaOH kemudian diberikan perlakuan *silane coupling agent* pada permukaan serat *natural*

komposit polimer diketahui bahwa perlakuan kimia mampu mengurangi sifat hidrofilik pada serat alam sehingga meningkatkan kompatibilitas serat terhadap matrik. Selain itu perlakuan kimia pada serat alam mampu memperbaiki *interface* pada permukaan serat yang memberikan efek terhadap adhesi pada matrik (Kabir., et al., 2017).

Dari beberapa literatur di atas maka dilakukan penelitian yang berkaitan dengan pembuatan komposit berbasis *natural fiber* menggunakan serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*). Komposit dibuat dengan berbagai variasi matrik, orientasi sudut, dan perlakuan kimiawi. Serat kulit pohon waru diberikan perlakuan alkali menggunakan 6% larutan NaOH kemudian dibuat dengan berbagai variasi matrik sehingga mendapatkan kekuatan matrik yang baik. Matrik yang baik akan digunakan sebagai acuan untuk membuat komposit dengan variasi orientasi sudut 45°/45° dan 0°/90°. Untuk meningkatkan sifat mekanik komposit ditambahkan *silane coupling agen*. Pada penelitian ini penambahan *silane coupling agent* diharapkan agar mendapatkan kekuatan maksimal dan *fracture area* yang lebih baik dari pada komposit kulit waru sebelumnya

Tabel 3.1 Variasi Pada Spesimen Komposit

Treatment	Sampel	Deskripsi
-	SW	Serat Tanpa Perlakuan
NaOH	SWN	Serat dengan Perlakuan 6% NaOH
NaOH	SWNP	Komposit dengan matrik <i>Polyester</i> dengan perlakuan NaOH
NaOH	SWNE	Komposit dengan matrik <i>Epoxy</i> dengan perlakuan NaOH
NaOH	SWNR	Komposit dengan matrik <i>Ripoxy</i> dengan perlakuan NaOH
NaOH	SWNB	Komposit dengan matrik <i>Bisphenol</i> dengan perlakuan NaOH
NaOH	SWN 0-90	Komposit Orientasi 0-90 dengan perlakuan NaOH
NaOH	SWN 45-45	Komposit Orientasi 45-45 dengan perlakuan NaOH
NaOH, <i>Silane</i> 0.25%	SWNS	Komposit Perlakuan NaOH, <i>Silane</i> 0.25%
NaOH, <i>Silane</i> 0.5%	SWNS	Komposit Perlakuan NaOH, <i>Silane</i> 0.5%
NaOH, <i>Silane</i> 0.75%	SWNS	Komposit Perlakuan NaOH, <i>Silane</i> 0.75%
NaOH, <i>Silane</i> 1.0%	SWNS	Komposit Perlakuan NaOH, <i>Silane</i> 1.0%
NaOH, <i>Silane</i>	SWNS 0-90	Komposit Orientasi 0-90 dengan perlakuan NaOH, <i>Silane</i>
NaOH, <i>Silane</i>	SWNS 45-45	Komposit Orientasi 45-45 dengan perlakuan NaOH, <i>Silane</i>

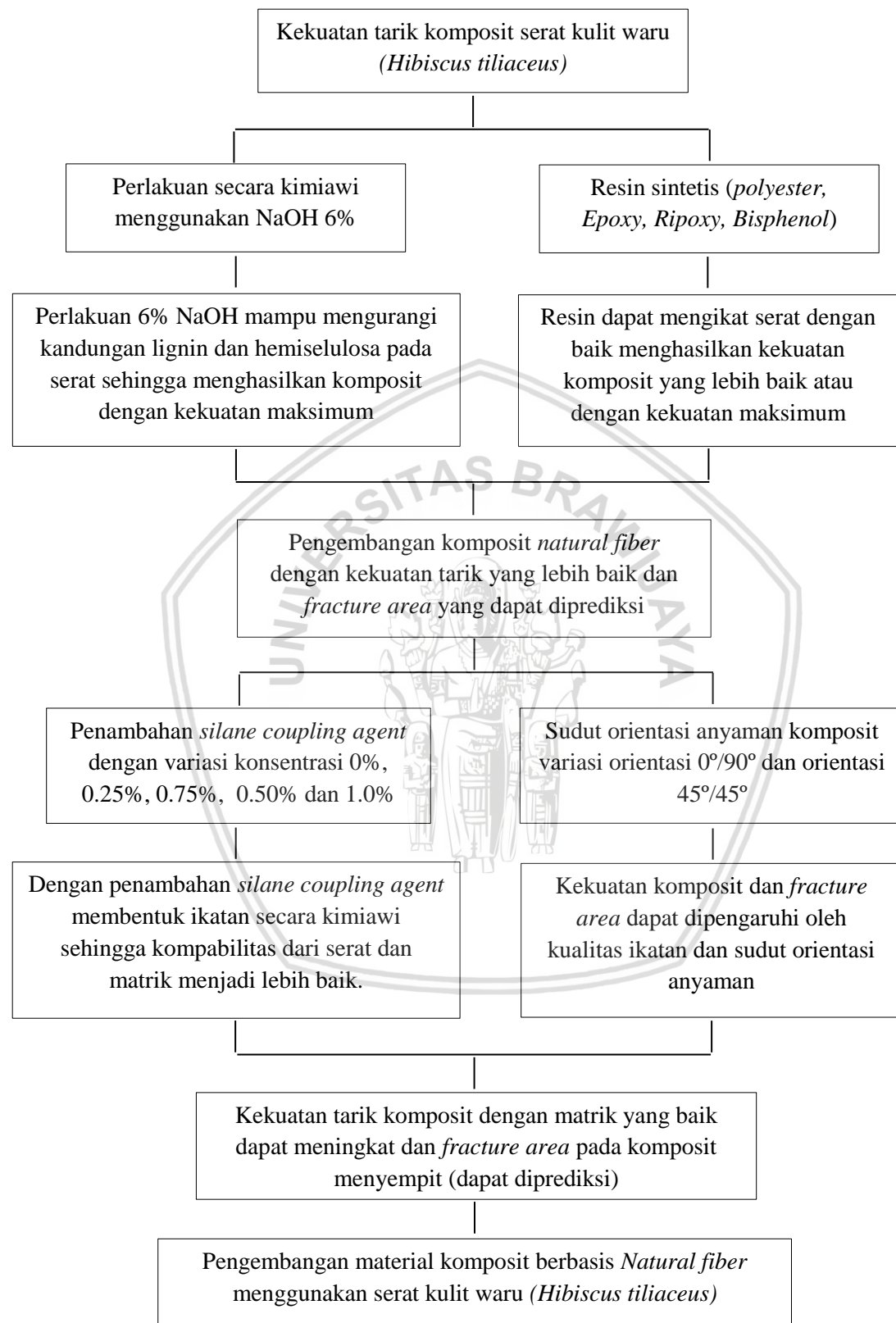
SW : Serat waru tanpa Perlakuan

SWN : Serat waru dengan perlakuan NaOH

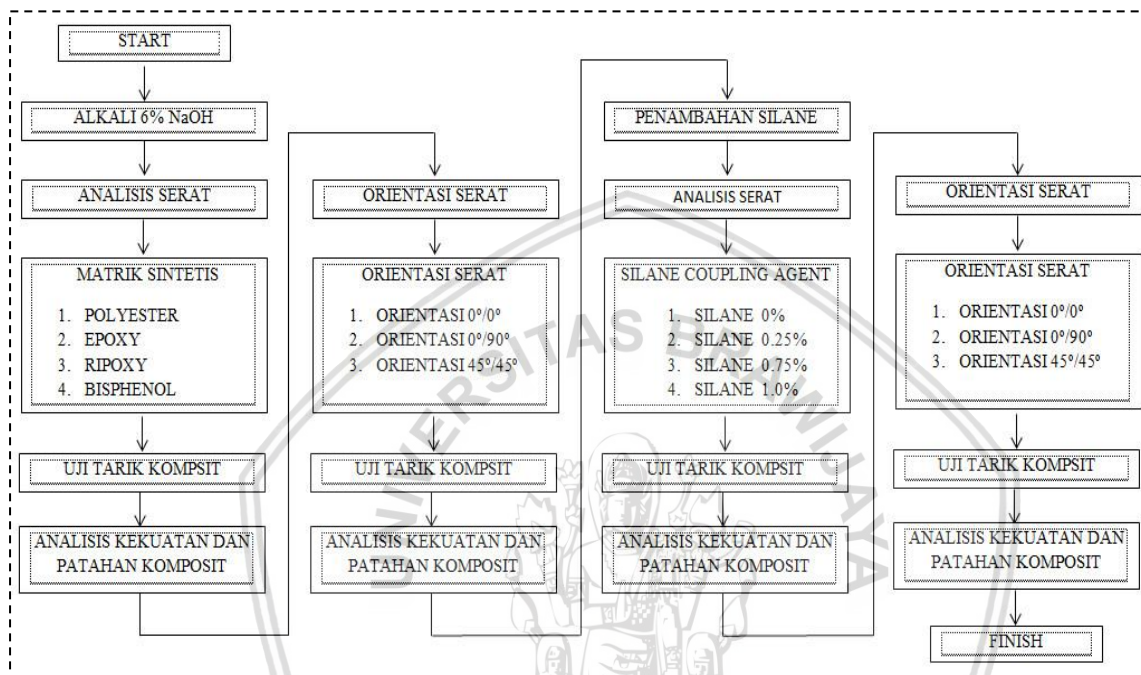
SWNS : Serat waru dengan perlakuan NaOH dan *Silane*

SWN (P,E,R,B) : Komposit dengan matrik *Polyester, Epoxy, Ripoxy, Bisphenol*

3.2 Kerangka Konsep Penelitian



Dari kerangka konsep penelitian dapat diketahui bahwa kekuatan tarik komposit kulit pohon waru dipengaruhi oleh jenis matrik sintesis dan sudut orientasi pada serat serta kualitas ikatan. Kekuatan komposit ditingkatkan dengan memperbaiki *interface* pada permukaan serat menggunakan *silane coupling agent*. Analisis penambahan *silane coupling agent* terhadap kekuatan tarik pada *natural fiber* komposit dapat diketahui pada gambar berikut ini



Gambar 3.1 Prosedur Penelitian

3.3 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kerangka konsep penelitian dan kajian literatur yang telah ada maka hipotesa penelitian dengan judul “Analisis penambahan *coupling agent* terhadap kekuatan tarik pada *natural fiber* komposit” adalah dengan perlakuan NaOH dan penambahan *silane coupling agent* pada serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dapat mempengaruhi kekuatan tarik dan penyempitan *fracture area* komposit dikarenakan adanya ikatan kimia *silane treatment* sehingga mengakibatkan kompatibilitas antara serat kulit waru dan matrik meningkat.

3.4 Operasional, Variabel dan Pengukuran

Operasional penelitian dengan membuat komposit menggunakan serat kulit waru dengan metode *vacuum infusion* dengan variasi matrik sintesis, orientasi serat dan penambahan *silane coupling agent* yang bervariasi sehingga dari beberapa parameter

tersebut akan didapatkan hasil kekuatan komposit yang maksimum. Pengujian mekanik berupa pengujian tarik, pengamatan patahan foto makro, dan pengamatan kualitas ikatan dengan uji SEM.







BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

- a. Tempat Penelitian : Laboratorium Komposit Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang, Laboratorium MIPA Universitas Brawijaya Malang dan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Universitas Sebelas Maret Surakarta
- b. Waktu Penelitian : pelaksanaan penelitian dilakukan selama 6 bulan, yaitu mulai Juni 2017 sampai dengan Januari 2018.

4.2 Variabel Penelitian

- a. Variabel bebas : variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian yaitu
 - Variasi komposisi penambahan *silane coupling agent* pada komposit sebesar 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% dan 1.0%.
 - Variasi matrik sintetis yang digunakan adalah *polyester*, *epoxy*, *ripoxy* dan *bisphenol*
 - Variasi orientasi sudut anyaman 0°/90° dan 45°/45° dengan perlakuan *treatment alkali*
 - Variasi orientasi sudut anyaman 0°/90° dan 45°/45° dengan perlakuan *treatment alkali* dan tambahan *silane coupling agent*
- b. Variabel terikat : variabel yang terikat pada penelitian ini adalah
 - Uji tarik komposit
 - Pengamatan Foto makro
 - Pengamatan ikatan menggunakan uji SEM
 - Analisa *fracture area*
- c. Variabel Terkontrol : variabel yang besarnya konstan yaitu
 - Perendaman NaOH dengan konsentrasi 6% selama 120 menit
 - Waktu perendaman *silane* selama 4 jam dengan pH larutan 3-4
 - Uji tarik komposit menggunakan standar ASTM D 638-03 dengan kecepatan 0.02 mm/s
 - Komposit dibuat menggunakan metode *vacuum infusion*

4.3 Bahan dan Alat Penelitian

4.3.1 Bahan

a. Serat kulit pohon Waru (*Hibiscus tiliaceus*)

Serat didapatkan dari petani pohon waru yang berasal dari Kabupaten Tulungagung yang telah direndam selama 40 hari



Gambar 4.1 Serat kulit pohon Waru (*Hibiscus Tiliaceus*)

b. Resin Sintetis

Resin yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PT. Justus kimia raya Surabaya. Matrik/resin berfungsi sebagai pengikat pada komposit. Resin yang digunakan antara lain *Polyester*, *Epoxy*, *Ripoxy* dan *Bisphenol*



Tabel 4.2 Resin sintetis (1) *Polyester* (2) *Epoxy* (3) *Ripoxy* (4) *Bisphenol*

c. Katalis *MEXPO* dan Promotor

Katalis yang digunakan berasal dari PT. Justus kimia raya Surabaya yang berfungsi untuk mempercepat dan membentuk reaksi resin menjadi keras.

Sedangkan promotor berfungsi sebagai pembantu atau pendukung reaksi pada matrik *Ripoxy* dan *Bisphenol*.



Gambar 4.3 Katalis dan Promotor

d. NaOH dan Aquades

NaOH (*Natrium Hidroxida*) dan aquades (*Hydrobatik*) digunakan untuk membuat larutan alkali sebagai pembersih kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa pada serat.



Gambar 4.4 NaOH (*Natrium Hidroxida*) dan Aquades (*Hydrobatik*)

e. Silane Coupling Agent

Silane coupling agent Methacryloxypropyltrimethoxysilane yang digunakan berasal dari PT. Biopolytech Innovation Jakarta. Merupakan larutan yang digunakan untuk memodifikasi dan memperbaiki *interface* pada serat sehingga kompatibilitas serat alam dan matrik meningkat



Gambar 4.5 *Silane Coupling Agent*

f. Asam Asetat

Asam asetat digunakan sebagai campuran untuk mengatur pH larutan pada saat pembuatan larutan *silane coupling agent*



Gambar 4.6 Asam Asetat

g. Mirror Glaze

Mirrore glaze digunakan sebagai pelapis cetakan untuk mempermudah proses pembongkaran dan pengambilan spesimen setelah kering



Gambar 4.7 *Mirror Glaze*



h. Lem Loctite

Lem loctite digunakan sebagai perekat ujung spesimen komposit dengan plat aluminium sebelum dilakukan uji tarik



Gambar 4.8 Lem Loctite

i. Plat Aluminium

Plat Aluminium digunakan untuk melapisi ujung spesimen komposit sebagai pencekam sebelum dilakukan uji tarik



Gambar 4.9 Plat Aluminium Tebal 3 mm

j. Bahan Penunjang *Vacuum Infusion*

Bahan penunjang metode *vacuum infusion* antara lain *pipa tube* berfungsi untuk mengalirkan resin in dan out, *sealant tape* berfungsi sebagai perekat agar tidak terjadi kebocoran, *mesh* berfungsi untuk mengalirkan resin di dalam cetakan dan pemecah gelembung udara, *plastic bag* berfungsi untuk melapisi dan menutup cetakan agar terjadi *vacuum*, lak ban dan *double tape* berfungsi sebagai pembatas cetakan.



Gambar 4.10 (a) *Pipa Tube* (b) *Sealant tape* (c) *Plastic bag* (d) *Mesh* (e) *Lakban dan double tape*

4.3.2 Alat Penelitian

a. Pompa Vacuum

Pompa *vacuum* digunakan untuk mengalitkan resin masuk dalam cetakan dan mengkondisikan udara dalam keadaan *vacuum*. Spesifikasi pompa *vacuum* yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 4.1 Spesifikasi pompa *vacuum*

<i>Model</i>	V-I220SV
<i>Voltage</i>	230 V/50-60 Hz
<i>Free air displacement</i>	2 CFM
<i>Ultimate vaccum</i>	3 x 10 ⁻¹ Pa, 0.003 mbar, 15 micron
<i>Number of stage</i>	2
<i>Motor</i>	1/3 HP
<i>Intake ports</i>	1/4 Flare
<i>Oil capacity</i>	200 ml
<i>dimensions</i>	318 x 124 x 234 mm
<i>Net weight</i>	8.8 Kg





Gambar 4.11 Pompa *Vacuum*

b. Kaca

Kaca digunakan sebagai alas pada saat proses pencetakan *vacuum infusion* agar tidak mudah lengket dengan ketebalan 2 cm



Gambar 4.12 Kaca

c. *Vacuum Trap*

Vacuum trap berfungsi untuk menampung resin setelah melalui dan membasahi cetakan agar tidak masuk kedalam *vacuum pump*



Gambar 4.13 *Vacuum Trap*

d. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk menentukan berat resin, serat, NaOH, aquades, katalis serta menimbang berat komposit



Gambar 4.14 Timbangan Digital

e. Kertas pH Meter

Kertas pH meter digunakan untuk mengukur pH pada saat membuat larutan *silane* dan NaOH



Gambar 4.15 Kertas pH Meter

f. Alat Penunjang *Vacuum Infusion*

Alat penunjang *vacuum infusion* antara lain penjepit kertas berfungsi untuk menjepit aliran resin, gunting, penggaris, *cutter*, obeng, tang, pipet, pH meter, gelas ukur, dan tempat perendam serat

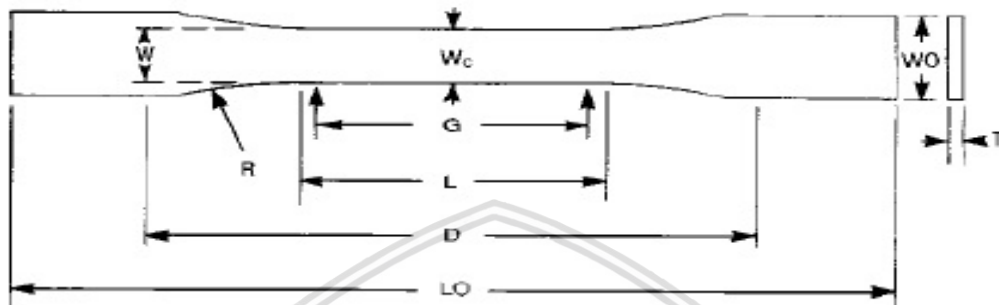


Gambar 4.16 Alat penunjang *vacuum infusion*

4.4 Prosedur Penelitian

4.4.1 Spesimen Uji tarik Komposit

Pada penelitian ini untuk uji tarik pada komposit kulit pohon waru dimensi spesimen berdasarkan pada *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic* ASTM D 638-03 sebagai berikut ini



Gambar 4.17 spesimen ASTM D 638-03

Tabel 4.2 Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D 638-03

<i>Dimension</i>	<i>Value, mm (in)</i>
<i>Thickness <7mm (0.28in), T</i>	$32 \pm 0.4 (0.12 \pm 0.02)$
<i>Width of narrow section, W</i>	13 (0.5)
<i>Length of narrow section, L</i>	57 (2.25)
<i>Width overall, W</i>	19 (0.75)
<i>Length overall, LO</i>	165 (6.5)
<i>Gauge length, G</i>	165 (6.5)
<i>Distance between grips, D</i>	115 (4.5)
<i>Radius of fillet, R</i>	76 (3.00)

4.4.2 Penyiapan Bahan Serat

Serat kulit pohon Waru (*Hibiscus tiliaceus*) yang digunakan pada penelitian ini berasal dari petani Tulungagung, persiapan serat dilakukan dengan beberapa langkah antara lain :

- Serat kulit pohon Waru (*Hibiscus tiliaceus*) yang berasal dari petani dibersihkan menggunakan air dan diangin-anginkan hingga kering selama ± 6 hari
- Pemilihan serat yang berkualitas baik dan bersih dengan ketebalan serat yang sama rata
- Memotong serat dengan panjang 50 mm dan lebar 3 mm digunakan sebagai uji tarik serat tunggal sesuai ASTM D3379-75

- d. Memotong serat sesuai dengan ASTM D638-03
- e. Memotong serat dengan ukuran panjang 30 cm dan lebar 3 mm yang akan digunakan untuk membuat anyaman basket dengan sudut 0° - 90° dan 45° - 45° . Serat dianyam dengan jenis anyaman basket (2-2) kemudian di jahit sesuai dengan ASTM D638-03 dengan tujuan agar tidak lepas dan saling berikatan.



Gambar 4.18 Persiapan serat kulit waru (a) Pemotongan dan pemilihan serat (b) Serat 0-0 *unidirectional* ASTM D638-03 (c) Anyaman serat orientasi 0-90 (d) anyaman serat orientasi 45-45

4.4.3 Perlakuan Alkali

Perlakuan alkali pada serat kulit waru menggunakan NaOH dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut ini :

- a. Mempersiapkan peralatan (gelas ukur, timbangan digital, dan pengaduk)
- b. Mempersiapkan bahan (aquades/hydrobatik, NaOH dan Serat kulit waru)
- c. Menghitung presentase NaOH 6% per liter aquades menggunakan fraksi berat yaitu jumlah NaOH sebanyak 60 gram dan aquades sebanyak 940 gram
- d. Mempersiapkan aquades dalam gelas ukur sebanyak 940 gram
- e. Menimbang NaOH dengan jumlah 60 gram
- f. Memasukkan NaOH dalam gelas ukur yang berisi aquades

- g. Mengaduk NaOH dan aquades hingga larutan
- h. Merendam potongan serat kulit waru kedalam larutan NaOH yang telah dibuat dengan waktu selama 120 menit
- i. Apabila waktu perendaman sudah selesai, serat kulit waru dicuci menggunakan air yang mengalir hingga pH Netral yaitu 7
- j. Serat kulit waru dikeringkan selama \pm 6 hari dengan suhu 25°C



Gambar 4.19 Alkali serat kulit waru

4.4.4 Penambahan *Silane Coupling Agent*

Penambahan *silane coupling agent* pada serat kulit waru dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut ini :

- a. Mempersiapkan peralatan (gelas ukur, timbangan digital, kertas pH dan pengaduk)
- b. Mempersiapkan bahan (*silane coupling agent*, aquades/hydrobatik, asam asetat dan potongan serat kulit waru yang telah dilakukan perlakuan alkali)
- c. Menghitung presentase *silane coupling agent* menggunakan variasi konsentrasi 0.00%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, dan 1.00% per liter aquades

- d. Mempersiapkan aquades dalam gelas ukur sesuai dengan perhitungan yang telah ditetapkan pada masing-masing variasi
- e. Memasukkan *silane coupling agent* ke dalam gelas ukur yang berisi aquades sesuai dengan variasi masing-masing
- f. Mengaduk *silane coupling agent* dan aquades hingga larutan dan tercampur rata
- g. Mengukur pH larutan menggunakan kertas pH meter pada masing-masing larutan
- h. Mengatur pH larutan dengan memasukkan larutan asam asetat ke dalam larutan *silane coupling agent* sampai dengan pH larutan menjadi 3-4
- i. Mengaduk kembali larutan hingga tercampur rata dan menunggu larutan selama 10 menit
- j. Merendam potongan serat kulit waru yang telah di berikan perlakuan alkali kedalam larutan *silane coupling agent* yang telah dibuat pada masing-masing konsentrasi selama 4 jam
- k. Apabila waktu perendaman sudah selesai, serat kulit waru dicuci menggunakan air yang mengalir hingga pH Netral kembali yaitu 7
- l. Serat kulit waru dikeringkan selama \pm 6 hari dengan suhu 25°C

Tabel 4.3 Komposisi larutan *silane coupling agent*

Variasi Konsentrasi	Aquades (ml)	<i>Silane coupling agent</i> (ml)
0%	1000	0
0.25%	997.5	2.5
0.5%	995	5
0.75%	992.5	7.5
1%	990	10



Gambar 4.20 Proses penambahan *silane coupling agent*

4.4.5 Pembuatan Komposit Metode *vacuum Infusion*

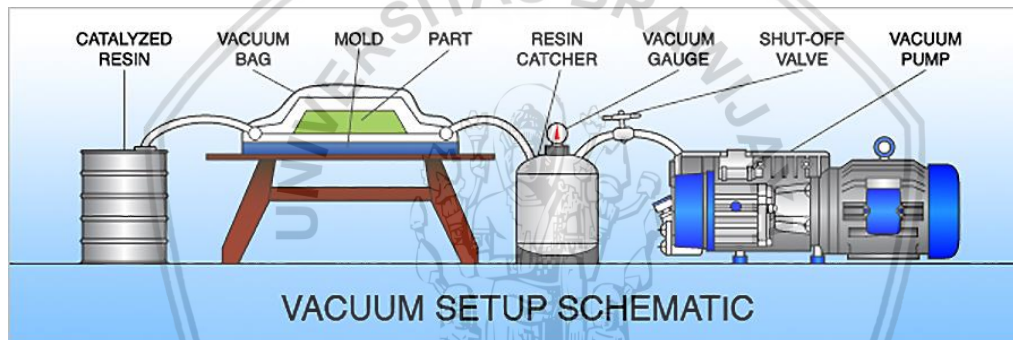
Proses pembuatan komposit serat kulit waru dengan metode *vacuum infusion* dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut ini :

- a. Menyiapkan peralatan pendukung *vacuum infusion*
- b. Menyiapkan bahan (resin sintetis, katalis dan promotor, *mirror glaze*, *sealen tape*, serat kulit waru, dan bahan penunjang *vacuum infusion*)
- c. Membersihkan alas cetakan (kaca) dengan menggunakan tisu agar spesimen yang akan dibuat terhindar dari debu atau kotoran yang menempel
- d. Menyiapkan pola cetakan akrilik sesuai dengan ASTM D638-03
- e. Meletakkan pola yang telah dibuat pada atas alas kaca dan memberikan batasan menggunakan lakban
- f. Memberikan *release agent* pada alas dan cetakan agar spesimen mudah diambil apabila sudah kering
- g. Meletakkan dan menyusun serat kulit waru ke dalam cetakan akrilik dan menutup dengan *plexer* sisa dari potongan akrilik
- h. Memasang *mesh* pada saluran *input* dan *output* pada cetakan
- i. Membuat saluran *T connector* untuk menghubungkan *mesh* dengan *flow tube*
- j. Memasang *flow tube* pada saluran *input* dan *output*
- k. Memasang *sealant tape* pada alas kaca sesuai dengan tanda yang telah dibuat yang bertujuan untuk menggabungkan antara *plastic bag* dengan alas cetakan agar tidak terjadi kebocoran
- l. Memasang *plastic bag* pada *sealant tape*
- m. Memasang dan menghubungkan *flow tube* dengan *resin trap*
- n. Menutup saluran *input* menggunakan penjepit kertas
- o. Menyalakan pompa *vacuum*
- p. Mematikan pompa *vacuum* dan memeriksa kebocoran seluruh bagian *vacuum infusion* selama 15 menit
- q. Apabila tidak terjadi kebocoran maka proses *vacuum infusion* siap dilakukan
- r. Mempersiapkan dan menimbang resin dengan katalis
- s. Mengaduk resin dengan katalis hingga rata
- t. Memasukkan saluran *input* resin ke dalam gelas yang berisi campuran resin dan katalis yang telah dibuat

- u. Menyalakan pompa *vacuum* dan membuka penjepit selang sehingga resin dapat mengalir dan membasahi serat kulit waru
- v. Mematikan pompa dan menutup saluran *input* dan *output* dengan penjepit kertas
- w. Membuka dan membongkar cetakan setelah komposit kering
- x. Membersihkan dan *finishing* komposit menggunakan mesin gerinda dan amplas
- y. Memasang plat aluminium pada ujung spesimen menggunakan lem loctite

Tabel 4.4 Komposisi Resin Sintetis

Resin Sintetis (100 gr)	Katalis MEXPO (gr)	Promotor (gr)	Hardener (gr)
<i>Polyester</i>	1		
<i>Epoxy</i>			100
<i>Ripoxy</i>	3	0.6	
<i>Bisphenol</i>	0.4	0.8	

Gambar 4.21 Proses *vacuum infusion*

4.5 Proses pengujian

Pada penelitian ini untuk menganalisis komposit dilakukan beberapa pengujian antara lain uji tarik, foto SEM dan foto makro patahan

4.5.1. Uji tarik Komposit

Pengujian tarik pada komposit kulit pohon Waru (*Hibiscus tiliaceus*) dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik pada komposit yang telah dibuat dengan spesimen uji standar yang telah ditetapkan ASTM D638-03 sehingga diperoleh kurva tegangan-regangan. Pengujian komposit menggunakan mesin uji tarik *Hydraulic Servo Pulser* dilakukan dengan beberapa tahap yaitu menyiapkan komposit kulit pohon waru yang telah dibuat, memasang komposit pada *charg* mesin uji tarik, mengatur kecepatan uji tarik 0.02 mm/s, menekan tombol sampai komposit patah dan melepas spesimen untuk melakukan pengulangan

Tabel 4.5 Spesifikasi Mesin Uji Tarik Komposit *Hydraulic Servo Pulser*

<i>Item</i>	<i>Description</i>
<i>Max Static test load</i>	$\pm 50 \text{ KN}$ (Range 1 – 50 KN)
<i>Max dynamic test load</i>	$\pm 50 \text{ KN}$ (Range 1 – 50 KN)
<i>Max static test load</i>	Display accuracy $\pm 0.5\%$
<i>Amplitude of actuators</i>	$\pm 100 \text{ mm}$, indicating accuracy $\pm 1\%$, starting from 10 % FS
<i>Extensometer</i>	50 mm gage length; 5 mm measuring range
<i>Deformation accuracy</i>	Indicating accuracy $\pm 1\%$ FS, starting from 10
<i>Frequency range</i>	0.1 to 25 Hz
<i>Space between two columns</i>	600 mm
<i>Max test space</i>	No less than 750 mm
<i>Hydraulic clamps</i>	Flat Specimen : 0-18 mm; Round specimen D = 5-15 mm
<i>Compression fixtures</i>	Platen diameters: 150 mm
<i>Controller</i>	full digital PCI servo controller
<i>Main waveform</i>	sine, square, triangle, ramp
<i>PC controlled function</i>	Controlled various frequency testing
<i>Oil Source</i>	36L/min, 21 MPa

Gambar 4.22 *Hydraulic Servo Pulser*

4.5.2. Uji Tarik Serat Tunggal

Uji tarik serat tunggal berfungsi untuk mengetahui kekuatan serat tunggal pada serat kulit waru antara serat yang diberikan perlakuan alkali maupun serat yang tidak diberikan perlakuan alkali. Dengan spesifikasi merek IMADA dan Kapasitas : 50-60 N



Gambar 4.23 Mesin Uji Serat Tunggal

4.5.3. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) digunakan untuk mengetahui *interface* struktur mikro serat kulit waru yang telah dilakukan alkali *treatment* maupun yang ditambahkan *silane coupling agent*

Tabel 4.6 Spesifikasi SEM

<i>Item</i>	<i>Description</i>
<i>System</i>	<i>Imaging Module 19 Touch Screen Monitor (Pro-X/Pro), Diaphragm Vacuum Pump, Power Supply, 128 Mb Usb 2.0 Flash Drive</i>
<i>Imaging Modes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Light Optical Magnification Fixed :</i> 20 – 120 X (Pro-X /Pro) 20 X, Fixed (Pure) • <i>Electron Optical : Magnification Range :</i> 80 – 45.000 X, Digital Zoom :12 X (Pro-X / Pro) 70 – 15.000 X, Digital Zoom : 12 X (Pure)
<i>Illumination</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Light Optical : Selectabel Axial And Off Axis Leds</i> • <i>Electron Optical : Long Lifetime Thermionic Sorce (Ceb6)</i>
<i>Image Format</i>	<i>Jpeg, Tiff, Bmp</i>
<i>Image Resolution</i>	<i>456 X 456, 684 X 684, 1024 X 1024 And 2084 X 2084</i>
<i>Option</i>	<i>Piixel</i>
<i>Data Storage</i>	<i>Usb 2.0 Flash Drive</i>
<i>Sample Stage</i>	<i>Computer Controlled, Motirized X And Y</i>
<i>Sample Size</i>	<i>25 Mm / 1 (Dia) X 30 Mm / 1.18 (H)</i>

<i>Sample Loading Time</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Light Optical</i> : <5s • <i>Electron Optical</i> : <30s
<i>Dimensions & Weight</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Imaging Module</i> : 286 Mm /11 (W) X 566 Mm / 22 (D) X 495 Mm /19 (H) , 50 Kg / 110 Lbs • <i>Diaphragma Vaccum Pump</i> : 145 Mm / 5.5 (W) X 220 / 8.5 (D) X 213 Mm /8 (H), 4.5 Kg / 9.9 Lbs • <i>Power Supplay</i> : 156 Mm / 6 (W) X 300 Mm /12 (H) X 74 Mm / 3 (D), 3 Kg / 6.6 Lbs • <i>Monitor</i> :429 Mm /17 (W) X 379 Mm /15 (H) X 207 Mm /8 (D), 7.9 Kg /17.4 Lbs (Pro X / Pro) 355 Mm / 14 (W) X 340 Mm / 13 (H) X 203 Mm /8 (D), 3.2 Kg / 7 Lbs (Pure)
<i>Room Temperature</i>	15°C - 30°C (59°F - 86°F)
<i>Humidity</i>	<80% Rh
<i>Power</i>	Single Phase Ac 110-230 Volt, 50/60 Hz, 300 W (Max)
<i>Recomended Table Size</i>	120 Xm / 47 X 75/95, Loading Rating Of 100 Kg / 220 Lbs
<i>Maximum Operation</i>	2000 M
<i>Altitude</i>	



Gambar 4.24 SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

4.5.4. Foto Makro

Foto makro digunakan untuk menganalisis patahan spesimen uji tarik pada masing-masing komposit. Foto makro komposit menggunakan kamera digital canon EOS D1200 untuk mengambil gambar patahan komposit yang telah dilakukan pengujian tarik *hydraulic servo* dan dilakukan analisa patahan. spesifikasi dapat dilihat pada grafik berikut ini

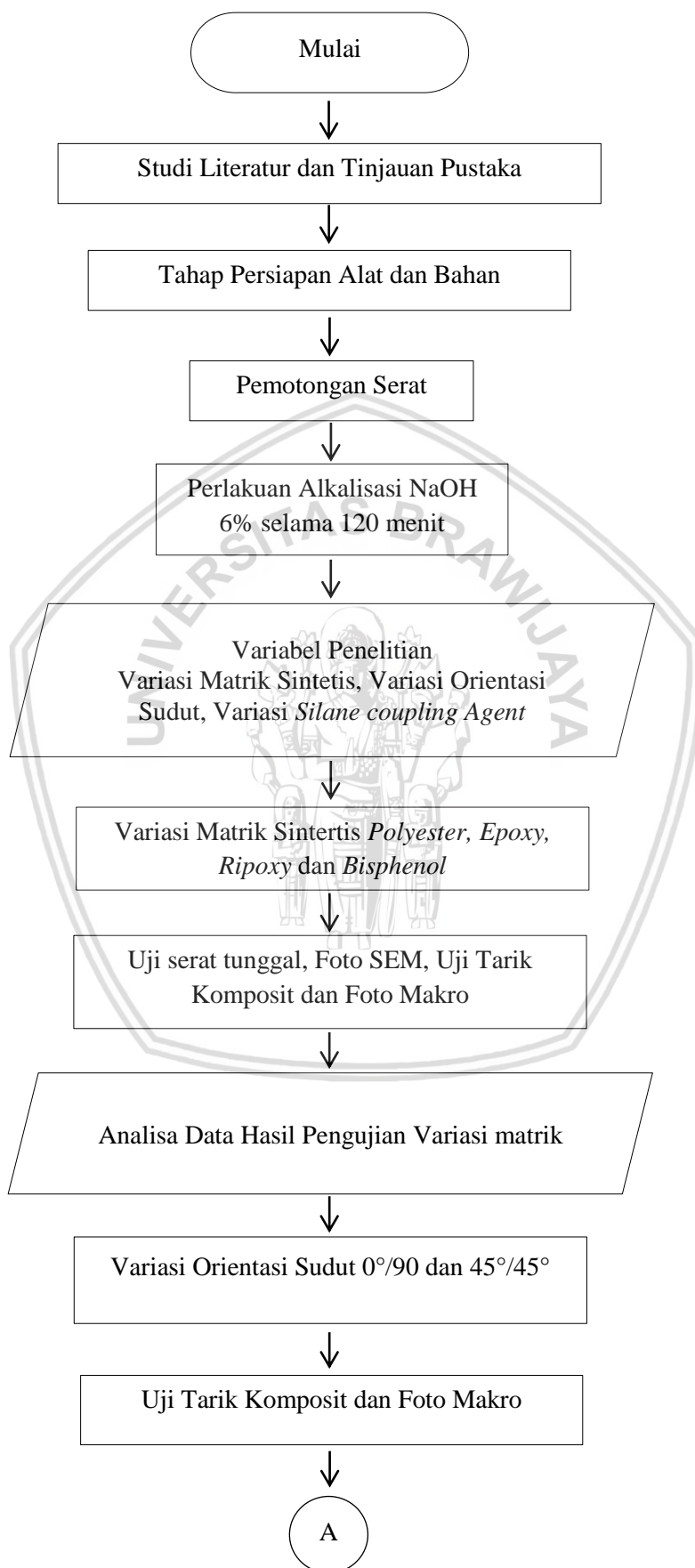
Tabel 4.7 Spesifikasi Foto Makro

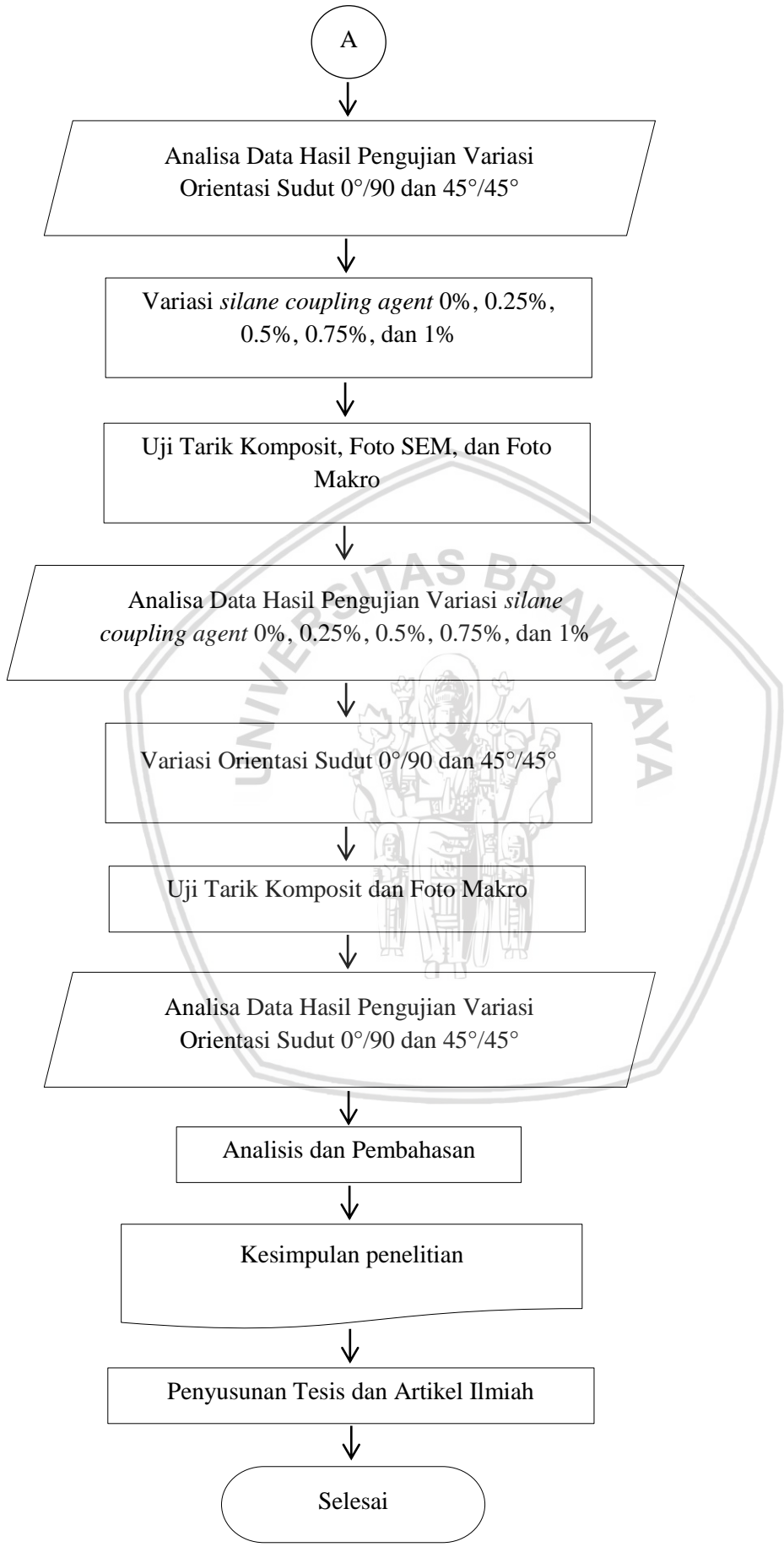
<i>Item</i>	<i>Description</i>
Tipe	Digital, kamera AF/AE dengan blitz internal, refleksi lensa tunggal
Media perekam	Kartu memori SD, SDHC, SDXC
Ukuran sensor gambar	22.3 x 14.9 mm
Sensor gambar	<i>Sensor CMOS</i>
Piksel efektif	<i>18.0 Megapiksel</i>
Rasio efektif	3:2
Tipe gambar	<i>JPEG, RAW 14 bit</i>
Jendela bidik	<i>Eye-level Pentamirror</i>
Cakupan	<i>Vertikal-horizontal 95%, Eye point 21 mm</i>
Pembesaran	<i>0.8 x -1m-1 lensa 50 mm</i>
Kecerahan	EV 1-20 ISO 100
Dimensi	129.6 x 99.7 x 77.9 mm / 5.10 x 3.93 x 3.07 inc
Berat	45 g / 1.6 oz



Gambar 4.25 Foto Makro Komposit

4.6 Diagram alir penelitian







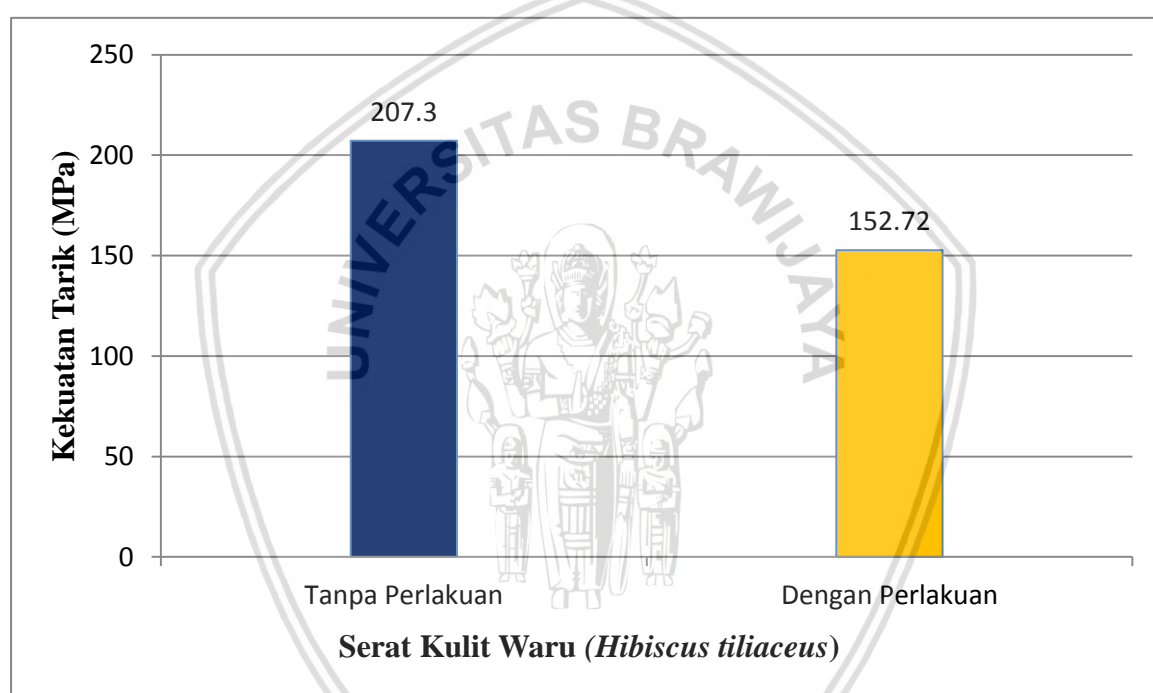
BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Komposit Dengan Variasi Resin

5.1.1 Analisis Kekuatan Tarik Komposit Dengan Variasi Resin

Kekuatan komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dipengaruhi oleh kekuatan tarik serat tunggal dan kekuatan matrik tanpa serat. Kekuatan serat tunggal kulit waru dapat dilihat pada gambar 5.1 di bawah ini

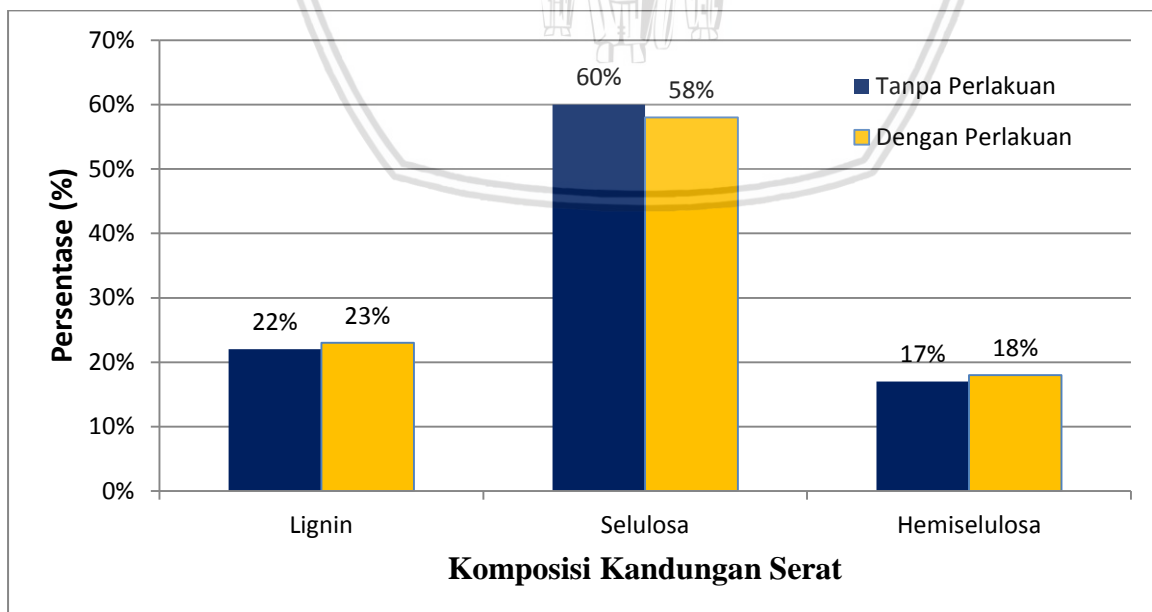


Gambar 5.1 Grafik Kekuatan Tarik Serat Tunggal Pada Serat Kulit Pohon Waru (Fadhillah., et al., 2017)

Kekuatan tarik serat tunggal pada serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dapat mempengaruhi kekuatan pada komposit. Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Fadhillah., et al., meneliti tentang pengaruh perlakuan NaOH dengan memvariasikan konsentrasi perendaman NaOH 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% menyebutkan bahwa perlakuan 6% NaOH memberikan pengaruh terhadap komposit dengan kekuatan tertinggi (Fadhillah., et al., 2017).

Pada gambar 5.1 di atas menunjukkan grafik kekuatan tarik serat tunggal kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*). Serat tunggal kulit waru tanpa perlakuan NaOH mempunyai kekuatan tarik sebesar 207.30 MPa. Setelah diberikan perlakuan menggunakan larutan NaOH 6% kekuatan tarik serat tunggal tersebut mengalami penurunan menjadi 152,72 MPa. Penurunan tegangan dari serat tunggal tersebut diakibatkan oleh berkurangnya kandungan lignin dan selulosa yang terdapat pada serat kulit waru. Hal ini dikarenakan NaOH dapat merusak unsur selulosa, sedangkan unsur pendukung utama kekuatan serat alam adalah selulosa itu sendiri sehingga serat kulit waru yang mendapatkan perlakuan NaOH 6% mengalami degradasi yang mengakibatkan penurunan kekuatan tarik serat. Semakin lama perendaman dan tingginya konsentrasi NaOH pada perlakuan alkali dapat menyebabkan kekuatan serat kulit waru menjadi menurun (Diharjo., 2006). Berkurangnya kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa menyebabkan permukaan serat menjadi lebih kasar dan membentuk mekanisme interlocking antara serat dan matrik pada material komposit (Bisanda, 2001)

Perlakuan alkali dapat mempengaruhi kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa pada serat kulit waru sehingga kekuatan serat tunggal kulit waru tanpa perlakuan NaOH mempunyai kekuatan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kekuatan tarik serat tunggal kulit waru dengan perlakuan alkali 6% NaOH. Kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa pada serat kulit waru dapat ditunjukkan pada gambar 5.2 di bawah ini

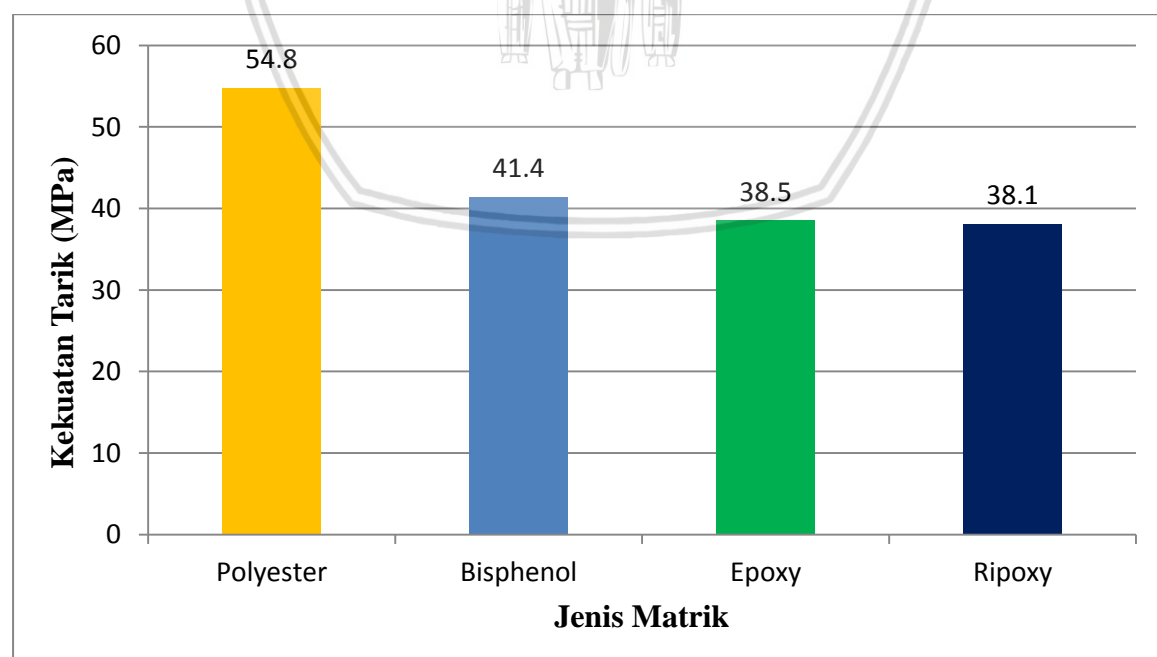


Gambar 5.2 Grafik Kandungan Lignin, Selulosa dan Hemiselulosa Pada Serat Kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*) Tanpa Perlakuan Alkali

Berdasarkan gambar 5.2 di atas menunjukkan grafik kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa yang terdapat pada serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*). Serat kulit waru tanpa perlakuan alkali NaOH mempunyai kandungan lignin sebesar 22%, selulosa 60% dan hemiselulosa sebesar 17%. Sedangkan serat kulit waru dengan perlakuan alkali 6% NaOH mempunyai kandungan lignin sebesar 25%, selulosa 58% dan hemiselulosa sebesar 18%.

Berdasarkan hasil uji kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa di atas diketahui bahwa perlakuan NaOH dapat mempengaruhi kandungan komposisi pada serat kulit waru. Perlakuan NaOH dapat mengurangi atau mendegradasi kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa pada serat kulit waru sehingga kekuatan tarik serat tunggal kulit waru mengalami penurunan jika dibandingkan dengan kekuatan serat tunggal kulit waru tanpa perlakuan NaOH (Diharjo., 2006). Akan tetapi pada hasil uji kandungan serat menunjukkan bahwa lignin dan hemiselulosa pada serat kulit waru yang diberikan perlakuan NaOH mempunyai komposisi yang lebih tinggi hal tersebut dapat dimungkinkan tidak homogenya serat kulit waru dan serat yang diambil dari kondisi yang berbeda-beda.

Kekuatan komposit juga dapat dipengaruhi oleh jenis matrik yang digunakan dalam pembuatan komposit. Kekuatan tarik berbagai jenis matrik dalam pembuatan komposit dapat dilihat pada gambar 5.3



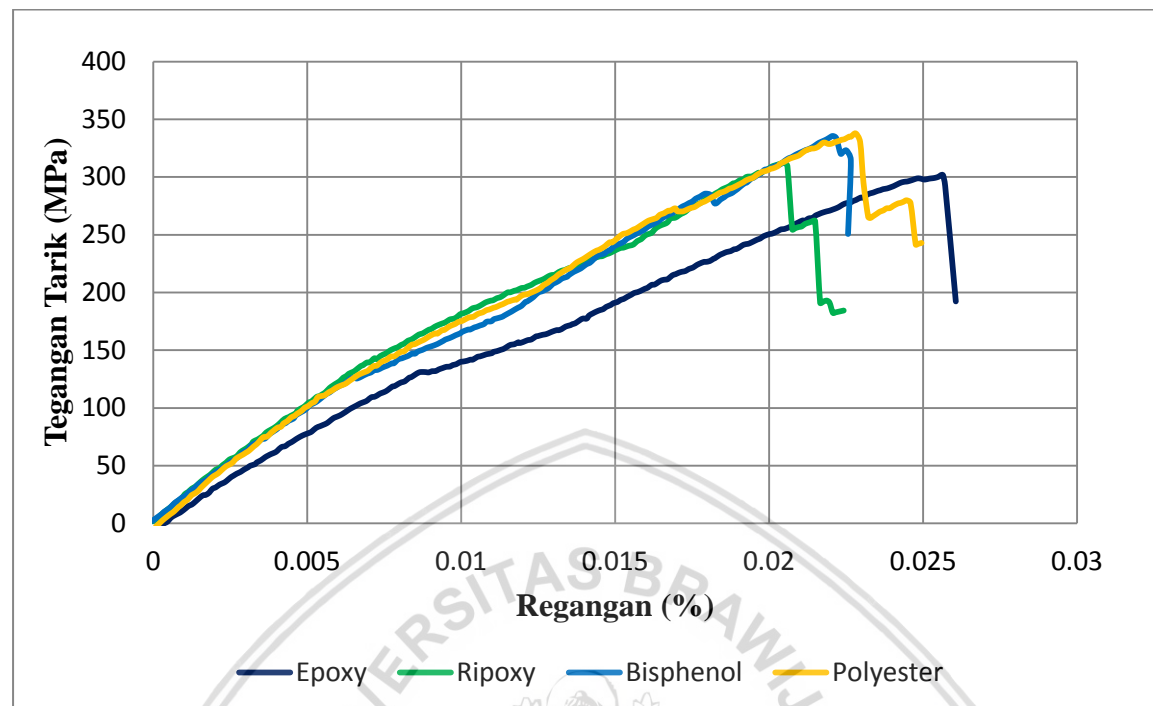
Gambar 5.3 Grafik Kekuatan Tarik Berbagai Variasi Jenis Matrik Sintetis Tanpa Serat

Pada gambar di atas 5.3 menunjukkan grafik kekuatan tarik berbagai variasi matrik sintesis tanpa serat yang digunakan dalam pembuatan komposit yaitu matrik *epoxy*, matrik *ripoxy*, matrik *bisphenol* dan matrik *polyester*. Berdasarkan hasil uji tarik kekuatan komposit, matrik sangat berperan dalam pengikat serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*). Komposit dengan matrik yang baik akan menghasilkan kekuatan yang tinggi dikarenakan mampu membasahi serat yang disebut dengan *wettability* (Bracco, et al., 2013).

Pada gambar di atas dapat diketahui bahwa matrik *polyester* mempunyai kekuatan sebesar 54.8 MPa. Matrik *bisphenol* mempunyai kekuatan sebesar 41.4 Mpa. Komposit serat kulit waru dengan matrik *epoxy* mempunyai kekuatan terendah sebesar 38.5 MPa. Matrik *ripoxy* mempunyai kekuatan sebesar 38.1 MPa. Secara umum dapat diketahui bahwa dengan jenis matrik yang mempunyai kekuatan yang tinggi maka akan menghasilkan komposit serat kulit waru dengan kekuatan yang maksimum. Hal ini dapat dibuktikan bahwa dari hasil uji tarik matrik tanpa serat jenis matrik *polyester* mempunyai kekuatan tertinggi dan menghasilkan komposit dengan kekuatan yang paling baik. Secara teoritis matrik *bisphenol* tanpa serat mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dari pada matrik *polyester* hal ini dikarenakan adanya perbedaan kondisi seperti suhu dalam proses manufaktur komposit sehingga berbeda dengan kondisi hasil pengujian.

Pada jenis matrik *polyester* tanpa serat mempunyai kekuatan yang paling tinggi sedangkan matrik *epoxy* mempunyai kekuatan terendah, hal ini dikarenakan pada matrik *polyester* mempunyai kekentalan yang relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan matrik *epoxy*. Matrik *polyester* memiliki campuran komposisi 1 gram katalis per 100 gram resin dan merupakan matrik yang paling cepat bereaksi dengan *gelling time* yang lebih cepat jika dibandingkan matrik lainnya. Dengan kekentalan yang lebih rendah dan *gelling time* yang cepat dapat dimungkinkan matrik *polyester* membentuk ikatan silang yang lebih banyak dan lebih padat jika dibandingkan dengan matrik lainnya (Bramantyo, 2008). Pada matrik *epoxy* mempunyai kekentalan yang paling besar terhadap matrik lainnya, komposisi matrik *epoxy* terdiri dari dua bahan yaitu *epoxy* dan *hardener*. Penggunaan matrik *epoxy* memiliki komposisi 50 gram resin dan 50 gram *hardener*, hal ini dapat dimungkinkan adanya pencampuran antara resin dan *hardener* yang tidak homogen sehingga matrik tidak dapat membentuk ikatan *polymer crosslink* yang lebih panjang. Waktu *curing* pada resin *epoxy* tergantung dengan penggunaan jumlah *hardener*. Penggunaan *hardener* dengan perbandingan yang lebih kecil atau sama 1:1 dimungkinkan ikatan *polymer crosslink* pada resin menjadi lambat dan mempunyai kekuatan yang rendah pada matrik *epoxy* tanpa serat (Shabiri., 2014).

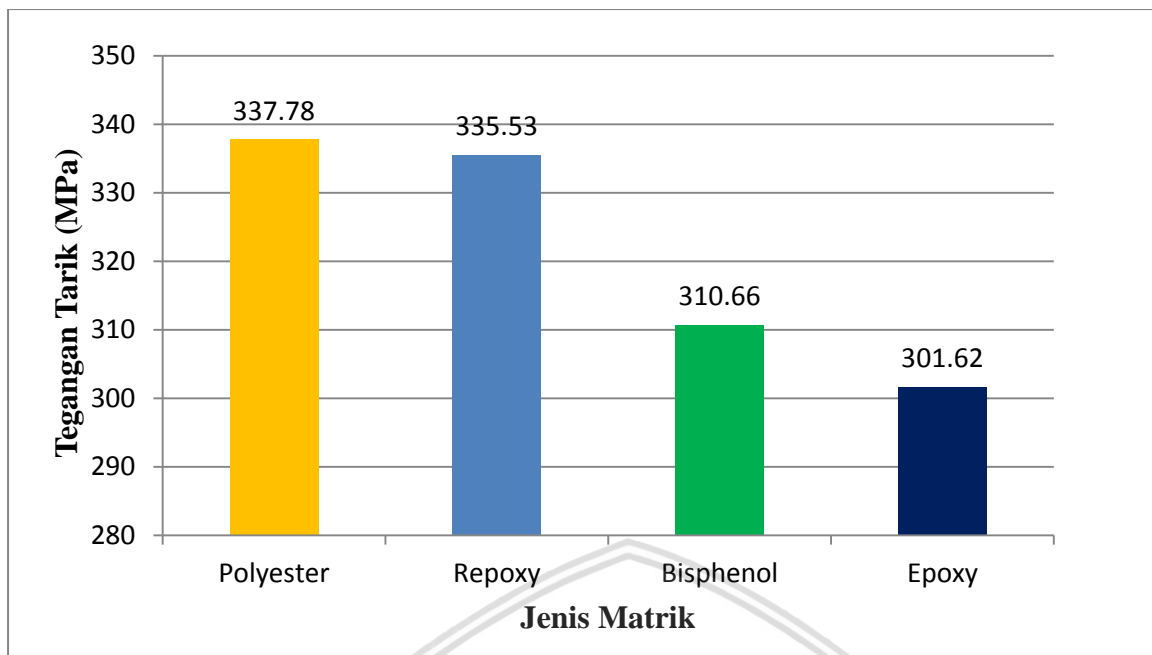
Hasil uji tarik komposit serat kulit pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*) menggunakan berbagai resin sintetis dengan metode *vacuum infusion* dapat dilihat pada gambar 5.4



Gambar 5.4 Grafik Tegangan-Regangan Komposit Serat Kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*) Dengan Berbagai Jenis Resin Sintetis Dengan Metode *Vacuum Infusion*

Pada gambar di atas 5.4 menunjukkan grafik kurva tegangan-regangan komposit kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan berbagai variasi resin sintetis diantaranya menggunakan jenis resin *epoxy*, resin *riproxy*, resin *bisphenol* dan resin *polyester*. Pada gambar tersebut dapat diketahui adanya pengaruh terhadap penggunaan jenis resin terhadap komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) sehingga dihasilkan kekuatan komposit yang berbeda-beda. Komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan menggunakan matrik *polyester* mempunyai kekuatan tarik tertinggi sedangkan komposit dengan menggunakan matrik *epoxy* mempunyai kekuatan terendah. Hal ini dimungkinkan adanya ikatan yang lebih baik diantara matrik *polyester* dan serat kulit waru sehingga menghasilkan kekuatan yang paling tinggi diantara komposit dengan matrik lainnya.

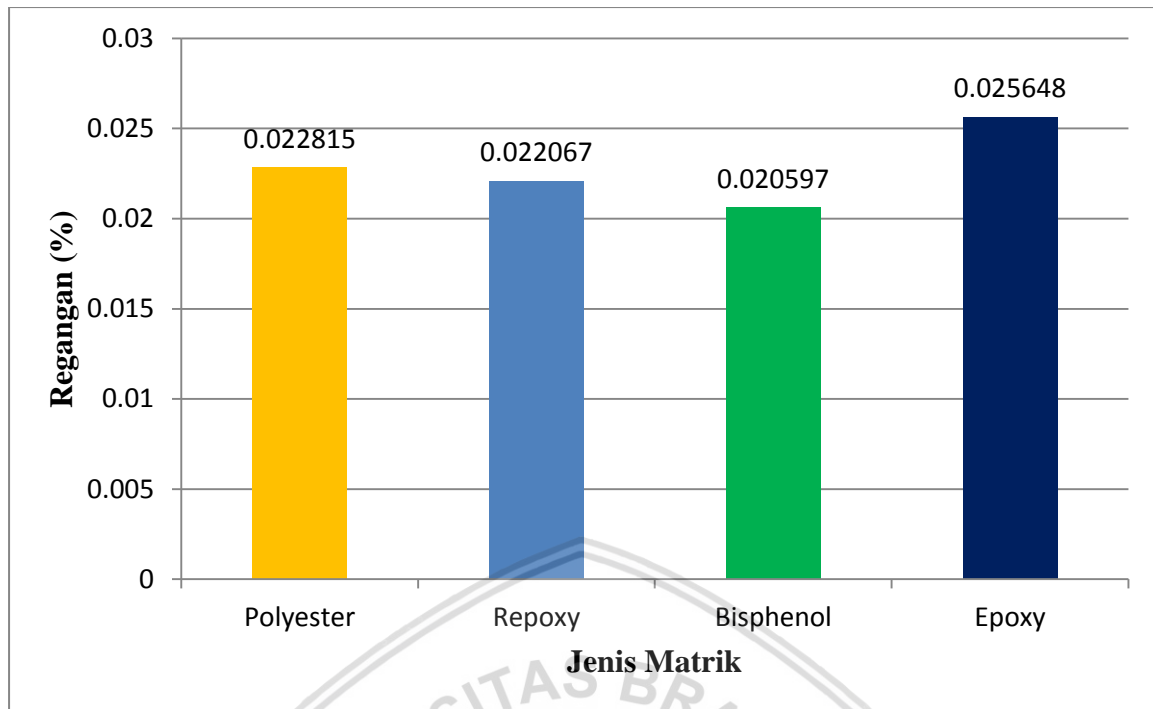
Berdasarkan grafik hubungan tegangan-regangan komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan variasi matrik dari tinggi ke rendah adalah *polyester*, *riproxy*, *bisphenol* dan *epoxy*. Kekuatan tarik komposit dapat dilihat pada gambar 5.5



Gambar 5.5 Grafik Kekuatan Tarik Maksimum Komposit Serat Kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*) Dengan Berbagai Jenis Resin Sintetis Dengan Metode *Vacuum Infusion*

Pada gambar di atas 5.5 menunjukkan grafik kekuatan komposit kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan berbagai variasi resin sintetis diantaranya menggunakan jenis resin *epoxy*, resin *ripoxy*, resin *bisphenol* dan resin *polyester*. Komposit serat kulit waru dengan matrik *polyester* mempunyai kekuatan tertinggi sebesar 337.78 MPa. Komposit serat kulit waru dengan matrik *ripoxy* mempunyai kekuatan sebesar 335.53 MPa. Komposit serat kulit waru dengan matrik *bisphenol* mempunyai kekuatan sebesar 310.66 Mpa. Komposit serat kulit waru dengan matrik *epoxy* mempunyai kekuatan terendah sebesar 301.62 MPa.

Regangan maksimum komposit kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan berbagai variasi resin sintetis dengan metode *vacuum infusion* dapat dilihat pada gambar 5.6. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa komposit dengan matrik *epoxy* mempunyai regangan tertinggi sebesar 0.0256 mm. Komposit dengan matrik *polyester* mempunyai regangan sebesar 0.0228 mm. Komposit dengan matrik *ripoxy* mempunyai regangan sebesar 0.0220 mm. Komposit dengan matrik *epoxy* mempunyai regangan tertinggi sebesar 0.0205 mm.

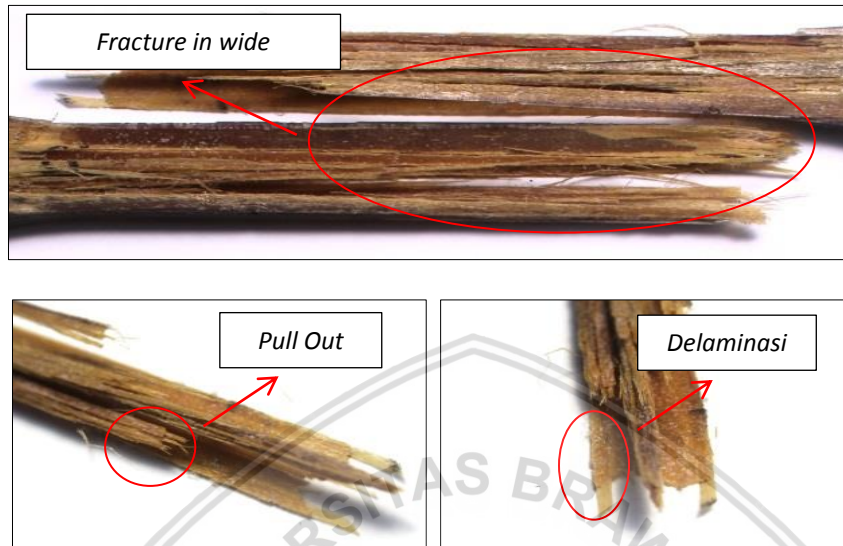


Gambar 5.6 Grafik Regangan Tarik Maksimum Komposit Serat Kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*) Dengan Berbagai Jenis Resin Sintetis Dengan Metode *Vacuum Infusion*

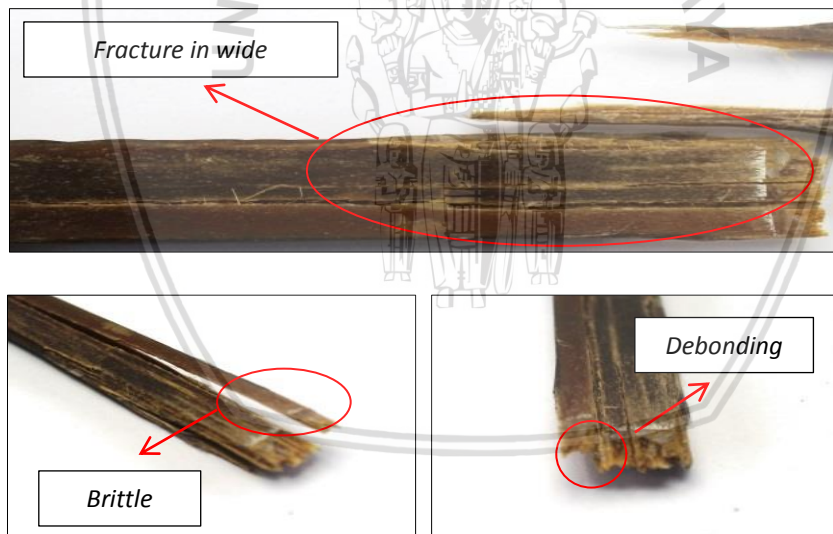
Berdasarkan grafik tegangan-regangan komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan matrik sintetis diketahui bahwa jenis matrik dapat memberikan pengaruh terhadap kekuatan komposit. Dari grafik diatas diketahui komposit dengan matrik *polyester* mempunyai kekuatan tertinggi sedangkan komposit dengan matrik *epoxy* mempunyai kekuatan paling rendah. Komposit serat kulit waru dengan resin *polyester* mempunyai kekuatan tarik tertinggi jika dibandingkan dengan komposit jenis matrik *epoxy* dimungkinkan adanya ikatan yang lebih baik antara matrik *polyester* dan serat kulit waru. Matrik *polyester* mempunyai kekentalan yang lebih rendah dari pada matrik *epoxy* yang memungkinkan matrik *polyester* dapat masuk kedalam rongga atau porus dan membasahi serat kulit waru dengan sudut kontak yang lebih kecil. Dengan sudut kontak yang lebih kecil dapat meningkatkan *wettability* dan mempengaruhi kekuatan geser *interface* (Bracco, et al., 2013). Selain itu adanya matrik yang masuk dalam rongga atau porus pada permukaan serat kulit waru mengakibatkan adanya mekanisme perekatan yaitu gaya tarik menarik secara mikro dan makro antara matrik *polyester* dan serat kulit waru semakin baik. Matrik yang masuk dan terserap di dalam rongga atau porus serat kulit waru dapat membentuk adanya mekanisme *interlocking* antara matrik *polyester* dan serat kulit waru sehingga kekuatan komposit menjadi lebih baik (Packhman, 2003).

5.1.2 Analisis Patahan Komposit Variasi Resin

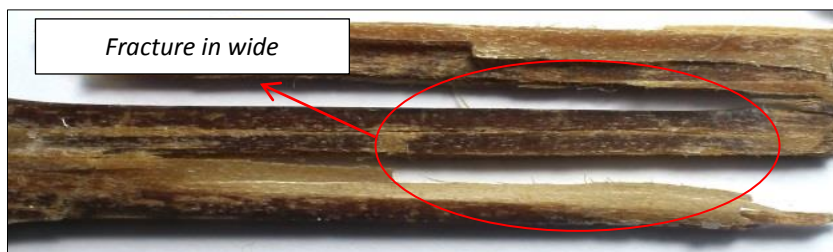
Berdasarkan hasil uji tarik komposit dengan berbagai jenis matrik sintetis patahan komposit dapat dilihat pada gambar di bawah ini

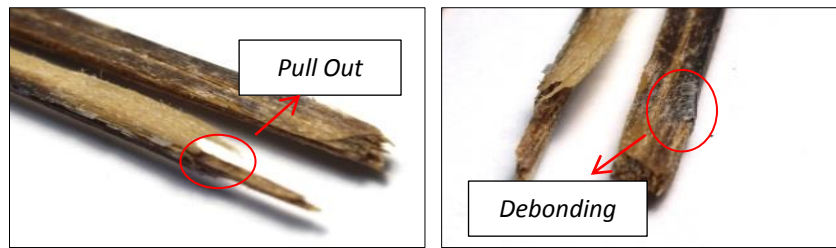


Gambar 5.7 Patahan Komposit Dengan Matrik *Polyester*

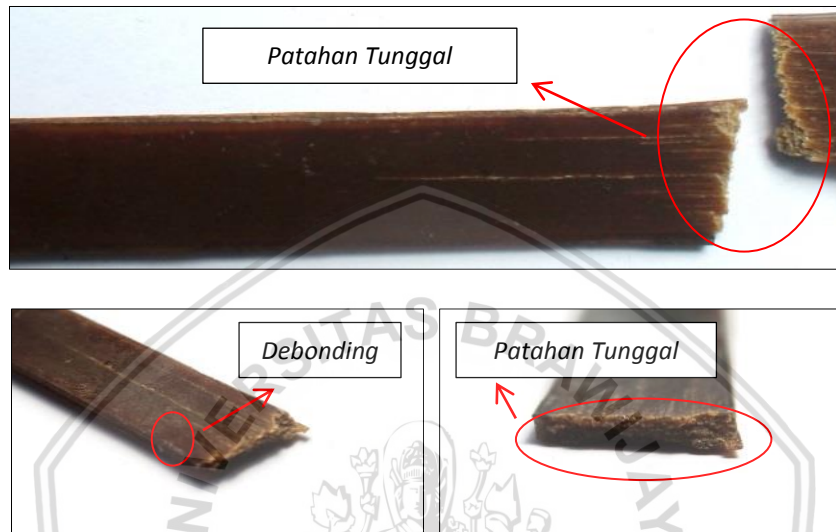


Gambar 5.8 Patahan Komposit Dengan Matrik *Ripoxy*





Gambar 5.9 Patahan Komposit Dengan Matrik *Bisphenol*

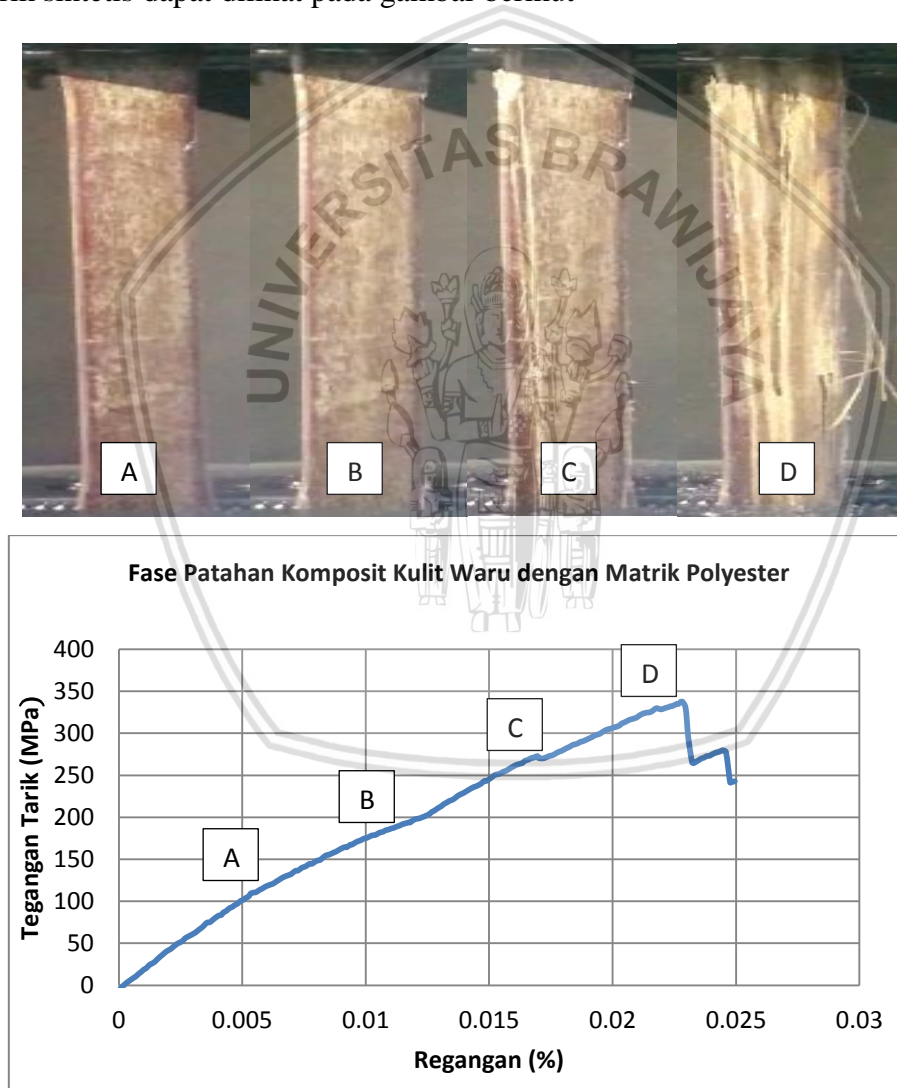


Gambar 5.10 Patahan Komposit Dengan Matrik *Epoxy*

Pada gambar 5.7 sampai dengan gambar 5.10 di atas menunjukkan berbagai patahan komposit dengan berbagai jenis matrik sintetis setelah dilakukan uji tarik. Komposit dengan menggunakan matrik *polyester* secara umum dapat diklasifikasikan sebagai *fracture in wide* dimana kegagalan terjadi di berbagai luas area, akan tetapi komposit mempunyai kekuatan yang sangat tinggi. Penampang patahan menunjukkan adanya *debonding* dan *fiber pull out* sebelum terjadi patahan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Diharjo., 2006) yang menyatakan bahwa komposit dengan patahan diberbagai area pada umumnya mempunyai kekuatan yang sangat tinggi. Kegagalan komposit dengan matrik *repoxy* dan *bhisphenol* masih juga didominasi sebagai *fracture in wide* tetapi apabila dibandingkan dengan patahan pada komposit *polyester*, luas area pada komposit dengan matrik *repoxy* dan *bisphenol* sedikit lebih baik. Penampang patahan masih menunjukkan adanya *fiber pull out* dan *debonding*. Komposit dengan matrik *ripoxy* memiliki patahan yang sedikit keras atau *brittle* dikarenakan matrik *ripoxy* mengalami penyusutan menjadi lebih padat. Pada patahan komposit menggunakan matrik *epoxy* perilaku kegagalan *fiber pull out* sudah tidak terlihat. Patahan terlihat lebih

rapi, luas area patahan tidak menyebar dan hampir dapat dikatakan sebagai patahan tunggal. Pada patahan komposit dengan resin *epoxy* mempunyai *fracture area* yang kecil, hal ini dimungkinkan resin *epoxy* dapat mendistribusikan beban terhadap serat dengan merata dan mempunyai nilai toleransi terhadap serat lebih tinggi. resin *epoxy* mempunyai kekentalan yang tinggi sehingga pada proses *vacuum infusion* memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan resin lainnya. Untuk memperoleh *fracture* yang baik dapat digunakan matrik *epoxy* pada komposit serat kulit waru, akan tetapi dengan kekuatan yang rendah.

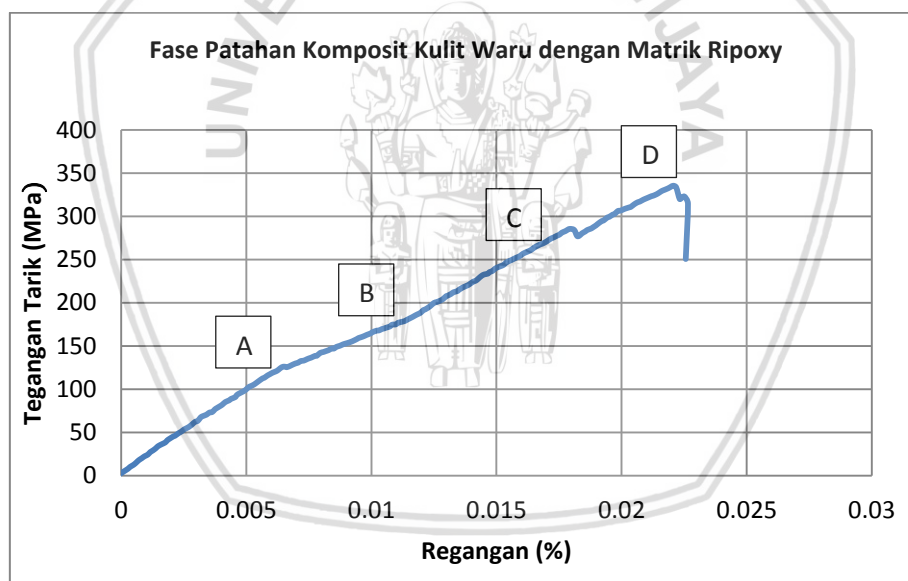
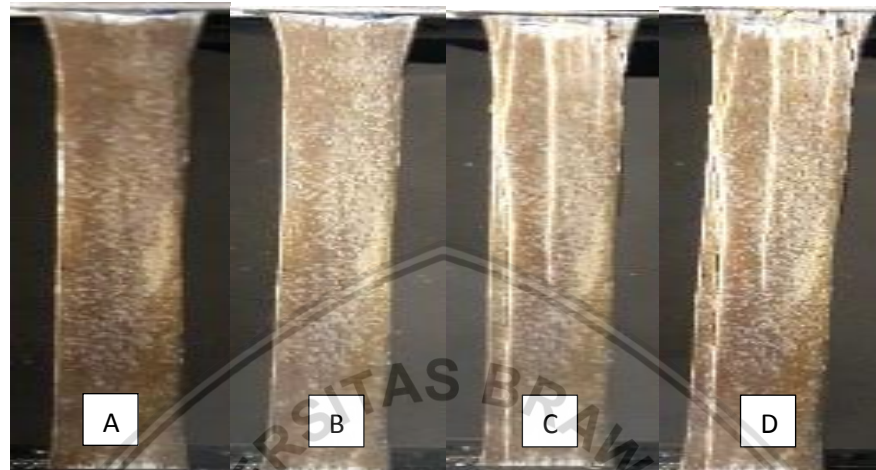
Fase kegagalan komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan berbagai jenis matrik sintetis dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 5.11 Fase Patahan Komposit Dengan Matrik *Polyester*

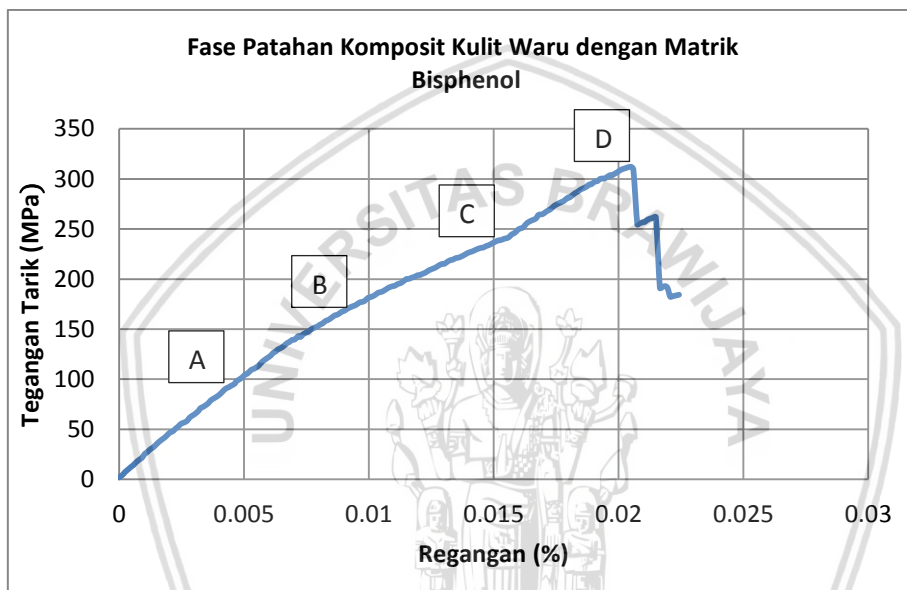
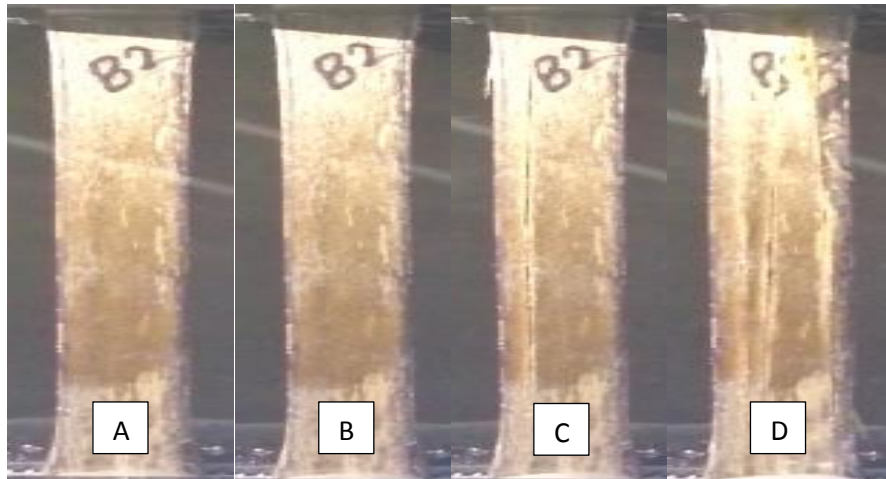
Pada gambar 5.11 menunjukkan fase proses terjadinya patahan pada komposit serat kulit waru menggunakan jenis matrik *polyester*. Pada saat komposit menerima beban

sebesar 157.52 MPa komposit tidak menunjukkan adanya retak. Kemudian komposit mengalami inisiasi *crack* dibagian ujung kiri komposit pada saat menerima beban sebesar 192.97 MPa. Perambatan retak terjadi pada saat komposit menerima beban sebesar 270.19 MPa dan komposit mengalami *fracture* secara keseluruhan pada saat tegangan ultimate mencapai 337.78 MPa



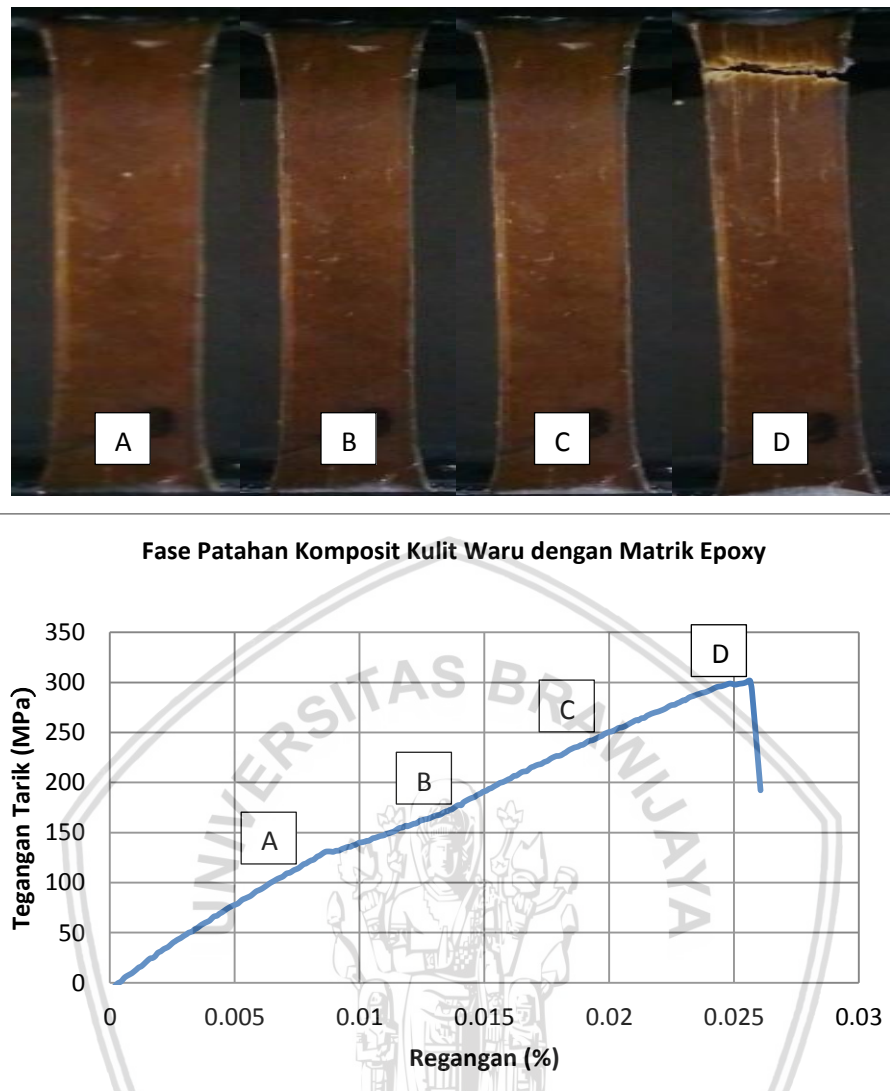
Gambar 5.12 Fase Patahan Komposit Dengan Matrik *Ripoxy*

Pada gambar 5.12 menunjukkan fase proses terjadinya patahan pada komposit serat kulit waru menggunakan jenis matrik *riproxy*. Pada saat komposit menerima beban sebesar 127.31 MPa komposit tidak menunjukkan adanya retak. Kemudian ketika komposit menerima beban sebesar 188.47 MPa komposit membentuk inisiasi *crack* yang terjadi pada bagian ujung kiri komposit. Perambatan retak terjadi pada saat komposit menerima beban sebesar 270.74 MPa selanjutnya komposit mengalami *fracture* secara keseluruhan pada saat tegangan ultimate mencapai 335.53 MPa.



Gambar 5.13 Fase Patahan Komposit Dengan Matrik Bisphenol

Pada gambar 5.13 menunjukkan fase proses terjadinya patahan pada komposit serat kulit waru menggunakan jenis matrik *bisphenol*. Pada saat komposit menerima beban sebesar 136.17 MPa komposit tidak menunjukkan adanya retak. Kemudian komposit mengalami inisiasi *crack* dibagian ujung kiri komposit pada saat menerima beban sebesar 197.68 MPa. Perambatan retak terjadi pada saat komposit menerima beban sebesar 264.77 MPa dan komposit mengalami *fracture* secara keseluruhan pada saat tegangan ultimate mencapai 310.66 MPa



Gambar 5.14 Fase Patahan Komposit Dengan Matrik Epoxy

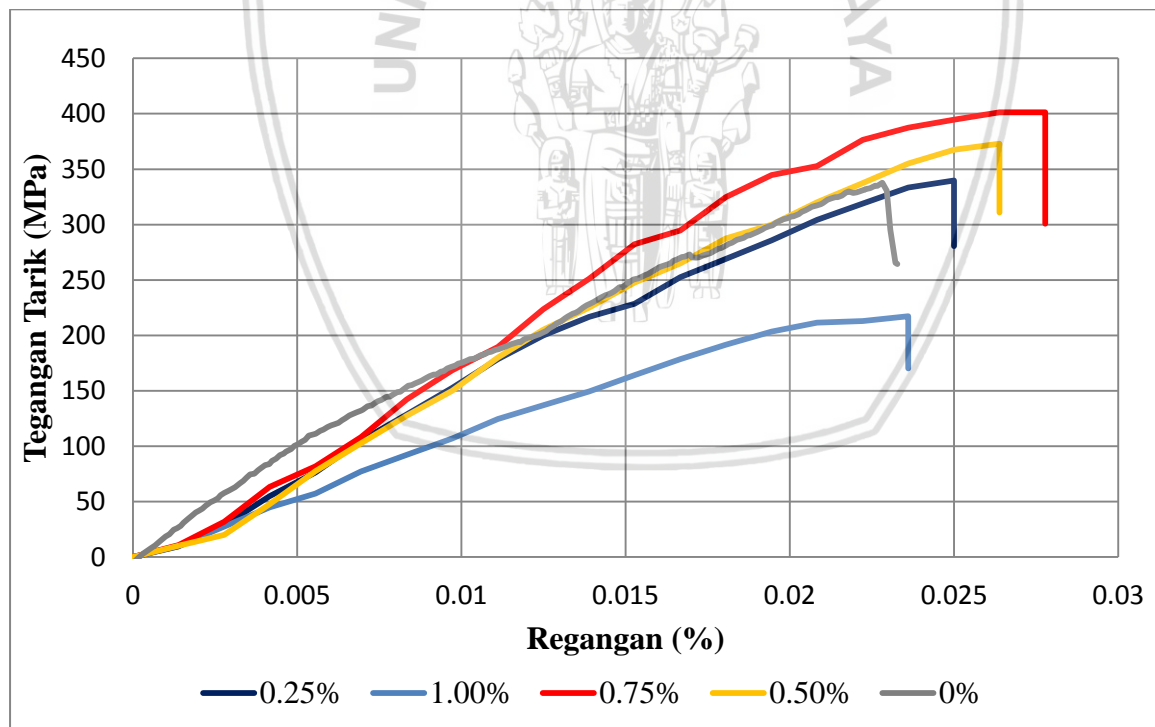
Pada gambar 5.14 menunjukkan fase proses terjadinya patahan pada komposit serat kulit waru menggunakan jenis matrik *epoxy*. Komposit menggunakan matrik *epoxy* mempunyai jenis patahan yang paling baik. Pada saat komposit menerima beban sebesar 103.96 MPa, 158.11 MPa sampai dengan 218.62 MPa pada komposit menggunakan matrik *epoxy* tidak menunjukkan adanya retak awal akan tetapi komposit terjadi penambahan panjang atau mulur. Komposit mengalami *fracture* secara langsung dan menyeluruh ketika komposit menerima beban ultimate sebesar 301.62 MPa

Dari hasil analisis fase terjadinya patahan komposit dapat diketahui bahwa berbagai jenis resin sintesis dapat memberikan pengaruh terhadap fase terjadinya patahan pada komposit. Berbagai fase patahan dapat menghasilkan kekuatan pada komposit yang berbeda-beda dikarenakan komabilitas ikatan antara serat kulit waru dan berbagai jenis matrik sintesis. Komposit serat kulit waru dengan matrik *polyester*, *riproxy* dan *bisphenol*

mempunyai fase terjadinya patahan yang hampir sama. Fase patahan secara umum terjadi pada saat komposit membentuk inisiasi *crack* kemudian mengalami *crack* yang merambat dan terjadi *fracture* secara keseluruhan. Pada komposit kulit waru dengan matrik *epoxy* mempunyai fase patahan yang berbeda dengan komposit yang lainnya. Fase terjadinya patahan komposit tidak menunjukkan adanya inisiasi *crack* dan perambatan. Komposit secara langsung mengalami *fracture* ketika menerima beban maksimum, hal ini dimungkinkan matrik *epoxy* dapat mendistribusikan beban terhadap serat kulit waru dengan baik akan tetapi mempunyai ikatan yang lemah. Penggunaan serat kulit waru dengan variasi berbagai jenis matrik mempunyai pengaruh terhadap fase patahan pada komposit, dikarenakan fase patahan pada berbagai jenis matrik menghasilkan kekuatan yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan ikatan yang terjadi antara serat kulit waru dan matrik yang berbeda, sehingga menyebabkan kekuatan tarik akan dipengaruhi oleh jenis matrik yang digunakan dalam pembuatan komposit.

5.2 Komposit Variasi *Silane Coupling Agent*

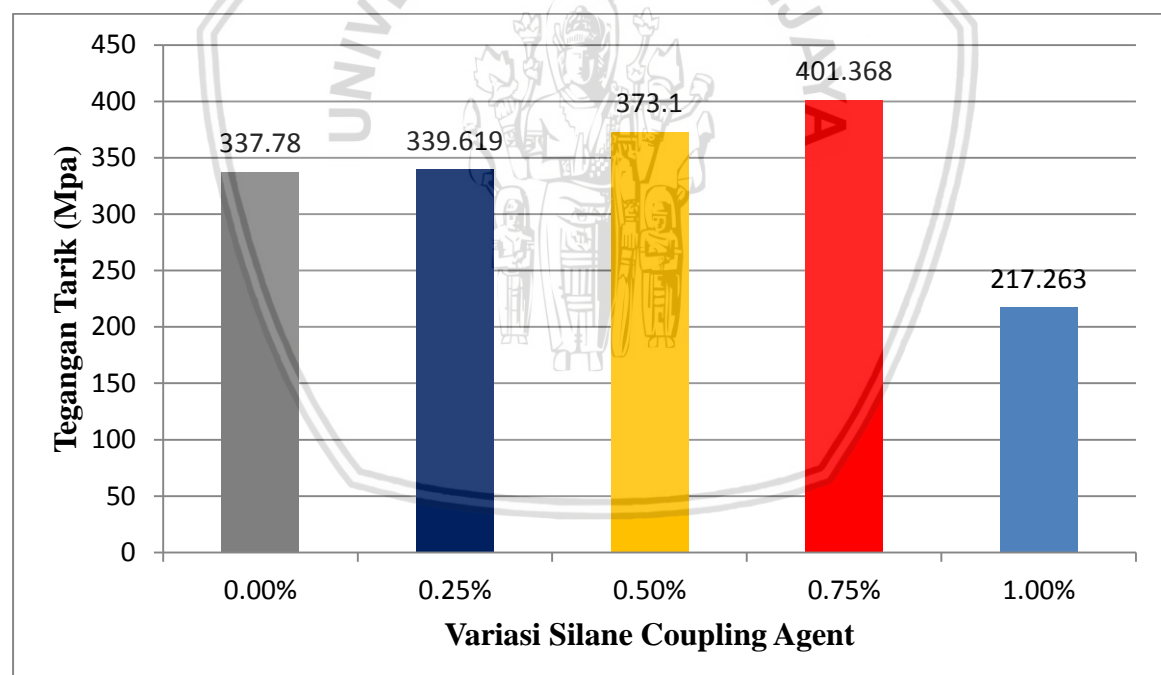
5.2.1 Analisis Kekuatan Tarik Komposit Penambahan *Silane Coupling Agent*



Gambar 5.15 Grafik Tegangan-Regangan Komposit Serat Kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*) Dengan Variasi Penambahan *Silane Coupling Agent* Menggunakan Metode *Vacuum Infusion* Matrik Polyester

Pada gambar 5.15 di atas menunjukkan grafik kurva tegangan-regangan komposit kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan berbagai variasi penambahan *silane coupling agent* 0%, 0.25%, 0.5%, 0.75% dan 1%. Pada gambar tersebut dapat diketahui adanya pengaruh terhadap penambahan *silane coupling agent* pada komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) sehingga menghasilkan kekuatan tarik komposit yang lebih tinggi. Komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan penambahan *silane coupling agent* sebesar 0.75% mempunyai kekuatan tarik tertinggi jika dibandingkan dengan komposit yang tidak diberikan penambahan *silane coupling agent*. Hal ini dimungkinkan dengan penambahan *silane coupling agent* dapat menjadikan ikatan yang lebih baik sehingga kompatibilitas antara serat dan matrik semakin meningkat. Dengan kompatibilitas yang baik maka kekuatan tarik komposit dapat meningkat (zohou., et al., 2014).

Berdasarkan grafik hubungan tegangan-regangan komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan variasi penambahan *silane coupling agent* kekuatan tarik komposit dapat dilihat pada gambar 5.16

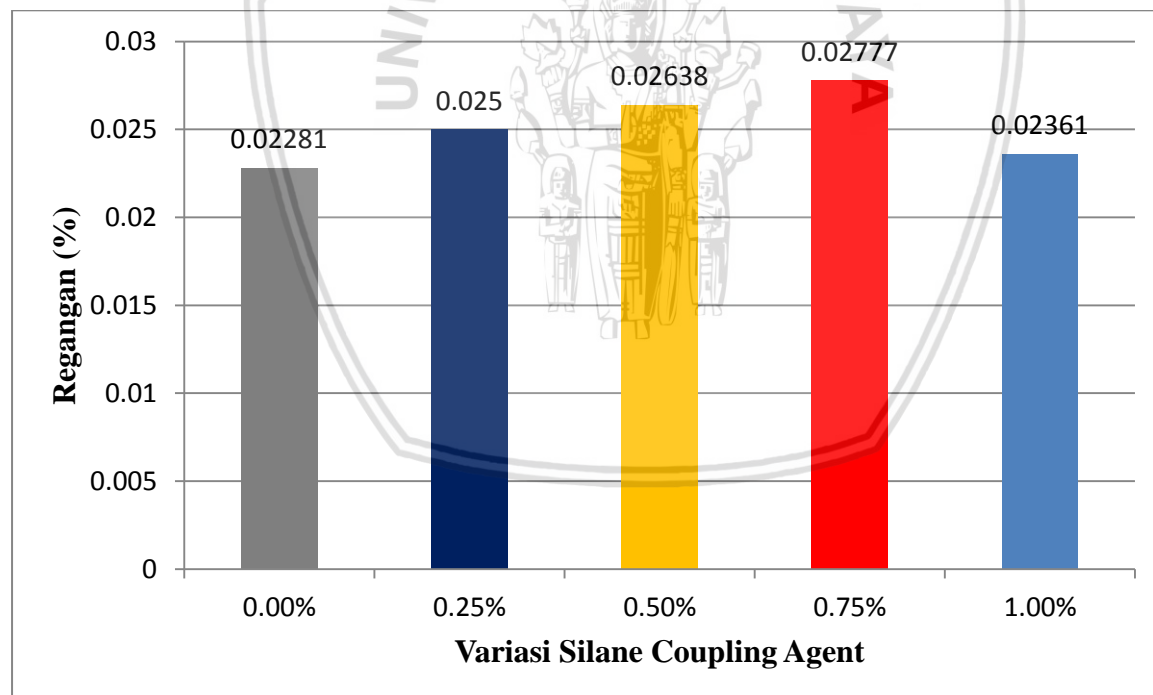


Gambar 5.16 Grafik Kekuatan Tarik Maksimum Komposit Serat Kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*) Dengan Variasi Penambahan *Silane Coupling Agent* Menggunakan Metode *Vacuum Infusion* Matrik *Polyester*

Pada gambar 5.16 di atas menunjukkan grafik kekuatan komposit kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan berbagai variasi penambahan *silane coupling agent*. Komposit serat kulit waru dengan penambahan *silane coupling agent* 0.75% mempunyai

kekuatan tertinggi sebesar 401.368 MPa. Komposit serat kulit waru dengan penambahan *silane coupling agent* 0.50% mempunyai kekuatan sebesar 373.10 MPa. Komposit serat kulit waru dengan penambahan *silane coupling agent* 0.25% mempunyai kekuatan sebesar 339.61 MPa. Komposit serat kulit waru dengan penambahan *silane coupling agent* 0% mempunyai kekuatan sebesar 337.78 MPa. Komposit serat kulit waru dengan penambahan *silane coupling agent* 1.0% mempunyai kekuatan terendah sebesar 217.263 MPa.

Regangan maksimum komposit kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan berbagai variasi penambahan *silane coupling agent* dapat dilihat pada gambar 5.17. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa regangan komposit dengan penambahan *silane coupling agent* 0.75% mempunyai regangan tertinggi sebesar 0.0277 mm jika dibandingkan dengan komposit tanpa penambahan *silane coupling agent* mempunyai regangan sebesar 0.0228. Komposit dengan penambahan *silane coupling agent* 0.5% mempunyai regangan sebesar 0.0263 mm. Komposit dengan penambahan *silane coupling agent* 0.25% mempunyai regangan sebesar 0.0250 mm. Komposit dengan penambahan *silane coupling agent* 1% mempunyai regangan terendah sebesar 0.0236 mm



Gambar 5.17 Grafik Regangan Maksimum Komposit Serat Kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*) Dengan Variasi Penambahan *Silane Coupling Agent* Menggunakan Metode *Vacuum Infusion Matrik Polyester*

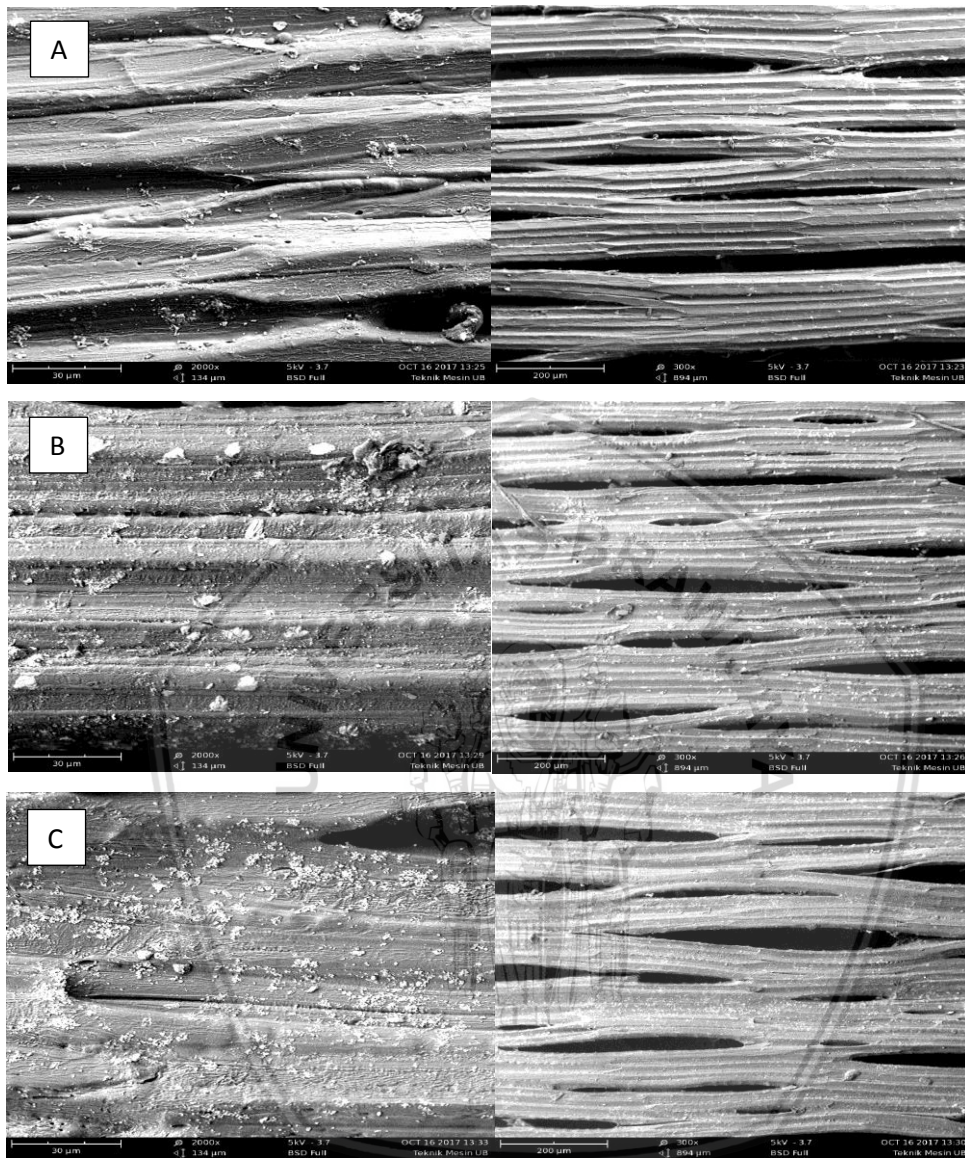
Kekuatan komposit dengan variasi penambahan *silane coupling agent* juga dapat dipengaruhi oleh kekuatan matrik tanpa serat yang digunakan dalam pembuatan komposit

menggunakan matrik *polyester*. Matrik *polyester* tanpa serat mempunyai kekuatan tarik sebesar 54.80 MPa dan regangan sebesar 0.016 mm dimana pada matrik *polyester* mempunyai ikatan lebih baik dan mempunyai kekuatan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan jenis matrik lainnya

Berdasarkan grafik tegangan-regangan komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan variasi penambahan *silane coupling agent* diketahui bahwa penambahan *silane coupling agent* dapat memberikan pengaruh terhadap kekuatan komposit. Dari grafik diatas diketahui komposit dengan variasi penambahan *silane coupling agent* mempunyai kekuatan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan komposit tanpa penambahan *silane coupling agent*. Kekuatan tarik komposit mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya konsentrasi *silane coupling agent* sampai dengan 0.75%, di atas konsentrasi tersebut kekuatan tarik komposit mengalami penurunan (Raharjo, et al., 2017). Penurunan kekuatan tarik tersebut dikarenakan adanya penambahan *silane coupling agent* yang berlebihan mengakibatkan penyebaran matrik pada serat tidak merata sehingga matrik tidak dapat menyelimuti serat secara menyeluruh. Matrik cenderung menggumpal dan lebih bereaksi dengan *silane coupling agent* (Astabi, A., et al., 2012). Dengan penyebaran matrik yang tidak merata pada komposit maka beban yang di diberikan dari matrik ke dalam serat kulit waru tidak dapat terdistribusi dengan baik dan mengakibatkan kekuatan komposit menjadi rendah. Hal tersebut juga didukung dengan prosedur penggunaan *silane coupling agent* dari Xiameter Dow Corning yang menjelaskan cara penggunaan *silane* untuk perlakuan permukaan dapat menggunakan konsentrasi 0.1% sampai dengan 0.5%. Penambahan *silane* pada serat kulit waru dengan konsentrasi 0.75 merupakan titik maksimum dari kekuatan tarik komposit. Penambahan *silane coupling agent* mampu mengurangi sifat hidrofilik pada serat kulit waru sehingga kompabilitas matrik dan serat menjadi lebih baik (Islam, M. R., et al., 2010). Dengan kompabilitas yang baik maka kekuatan komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dapat meningkat. Selain itu dengan penambahan *silane coupling agen* juga mampu memperbaiki *interface* pada permukaan serat kulit waru (Zhou, F., et al., 2014). *Interface* pada permukaan serat kulit waru dapat dilihat menggunakan uji SEM.

Hasil pengamatan uji SEM pada gambar 5.18 menunjukkan adanya perbaikan permukaan pada serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*). Serat kulit waru tanpa perlakuan mempunyai permukaan serat yang tidak rata dan bergelombang. Pada gambar 5.18 B dapat diketahui bahwa *interface* serat dengan perlakuan alkali menggunakan NaOH 6% terbukti lebih bersih dan mempunyai tekstur serat yang lebih rata dan halus. Perlakuan

alkali sangat efektif mampu membersihkan serat kulit waru menjadi lebih baik (Zhou, Cheng and Jiang 2014).



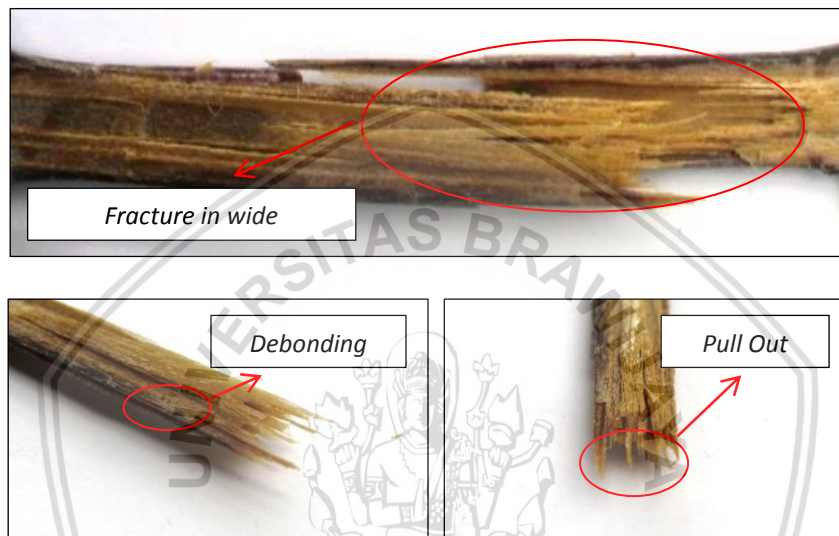
Gambar 5.18 Permukaan Serat Kulit waru (a) Tanpa Perlakuan Alkali (b) Dengan Perlakuan Alkali NaOH (c) Dengan Perlakuan Alkali dan Penambahan *Silane Coupling Agent*

Serat dengan perlakuan alkali dan tambahan *silane coupling agent* menunjukkan adanya morfologi permukaan yang lebih baik (Raharjo, et al., 2017). Permukaan serat kulit waru menjadi sangat bersih, rata, rapat dan sangat halus dibandingkan dengan permukaan serat tanpa perlakuan dan perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH. Dengan *interface* yang lebih baik dimungkinkan adanya kompatibilitas antara serat kulit waru dan matrik *polymer* yang lebih baik (Zhou, F. et al., 2014). Matrik dan serat kulit

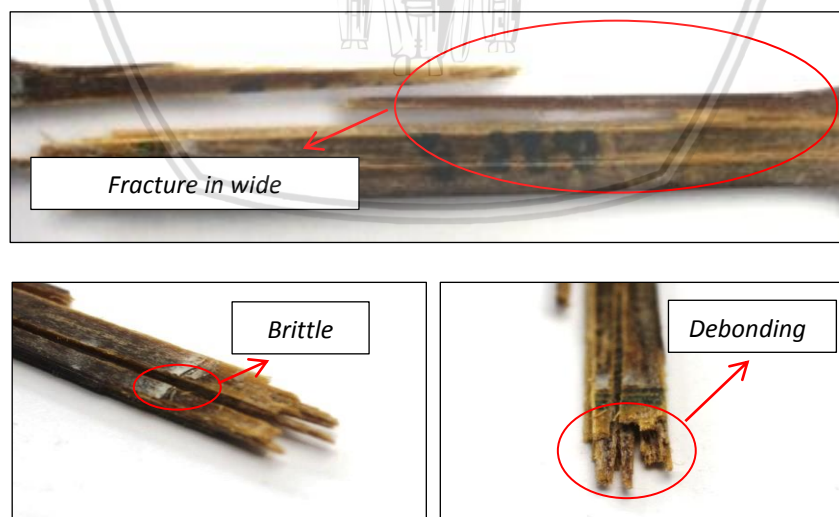
waru mampu berikatan dengan baik sehingga komposit dapat menerima beban secara merata dan memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap meningkatkan kekuatan tarik komposit serat kulit waru. Sesuai dengan penelitian (Gan, et al., 2014)

5.2.2 Analisis Patahan Komposit dengan Penambahan *Silane Coupling Agent*

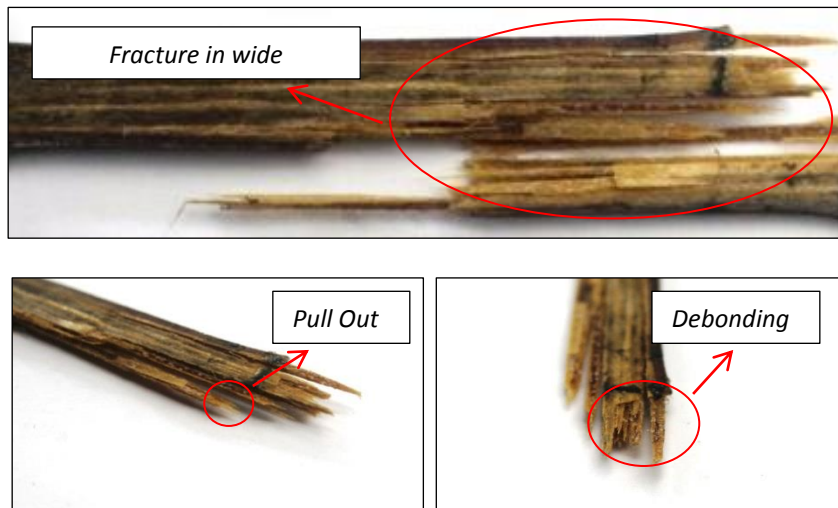
Berdasarkan hasil uji tarik komposit serat kulit waru dengan variasi tambahan *silane coupling agent*, patahan komposit dapat diketahui pada gambar 5.19 sampai dengan 5.22 dibawah ini



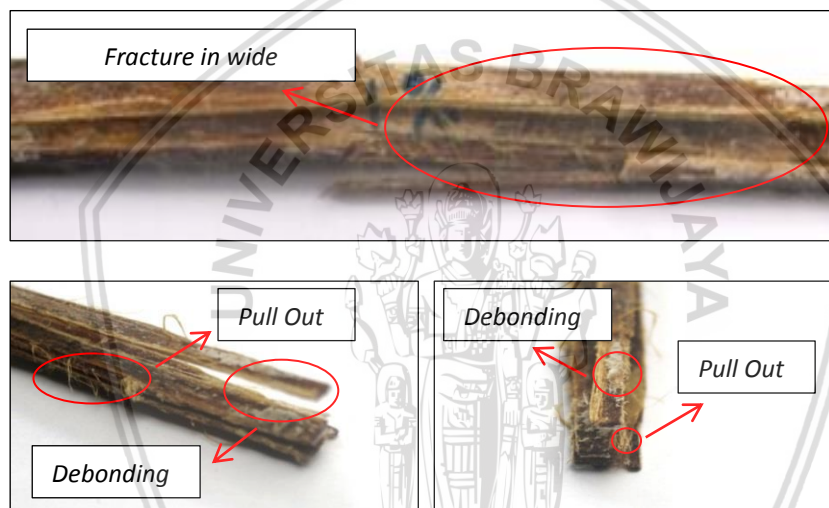
Gambar 5.19 Patahan Komposit Variasi *Silane Coupling Agent* 0.25%



Gambar 5.20 Patahan Komposit Variasi *Silane Coupling Agent* 0.5%



Gambar 5.21 Patahan Komposit Variasi *Silane Coupling Agent* 0.75%

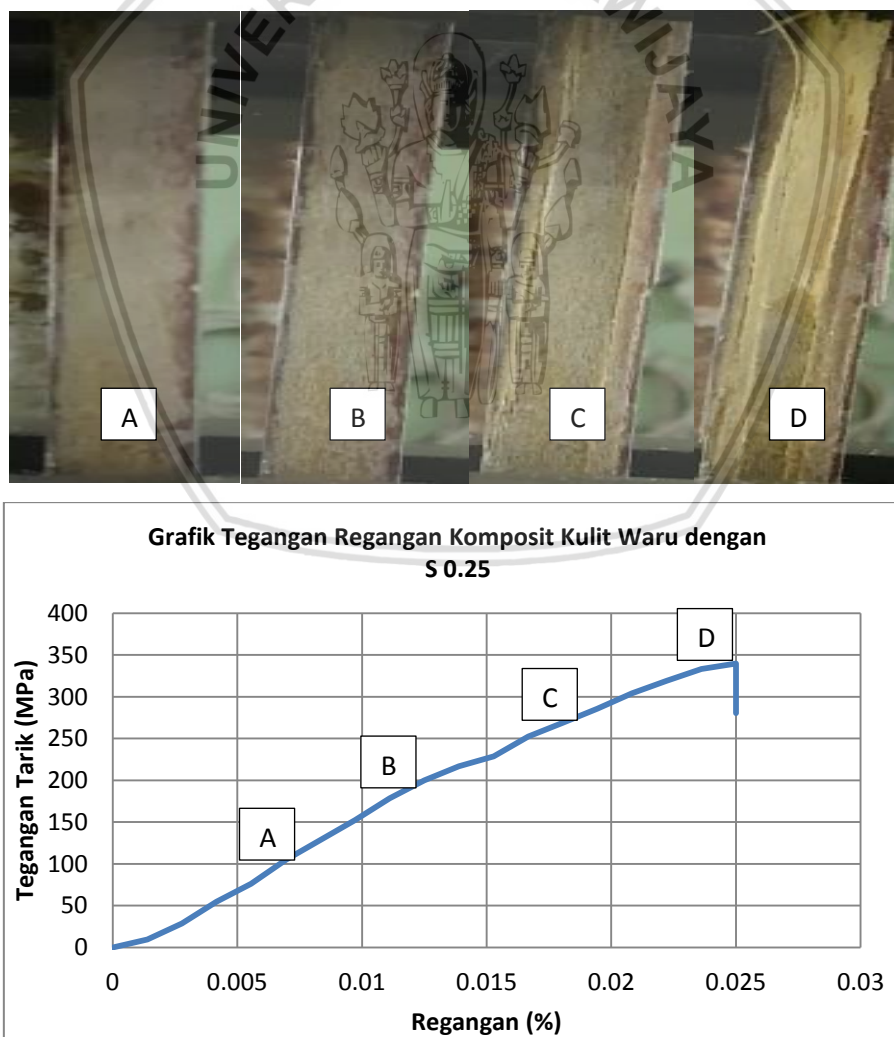


Gambar 5.22 Patahan Komposit Variasi *Silane Coupling Agent* 1.0%

Pada gambar 5.19 sampai dengan gambar 5.22 di atas menunjukkan berbagai patahan komposit dengan variasi penambahan *silane coupling agent* setelah dilakukan uji tarik. Penambahan *silane coupling agent* dapat memberikan pengaruh terhadap patahan pada komposit serat kulit waru. Komposit dengan variasi penambahan *silane coupling agent* secara umum dapat diklasifikasikan sebagai *fracture in wide* dimana kegagalan terjadi di berbagai luas area, akan tetapi komposit mempunyai kekuatan yang sangat tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Diharjo., 2006) yang menyatakan bahwa komposit dengan patahan diberbagai area pada umumnya mempunyai kekuatan yang sangat tinggi. Komposit yang diberikan penambahan *silane coupling agent* mempunyai jenis patahan yang lebih baik jika dibandingkan komposit tanpa penambahan *silane coupling agent*. Hal tersebut dapat diketahui bahwa *fiber pull out* dan *debonding*

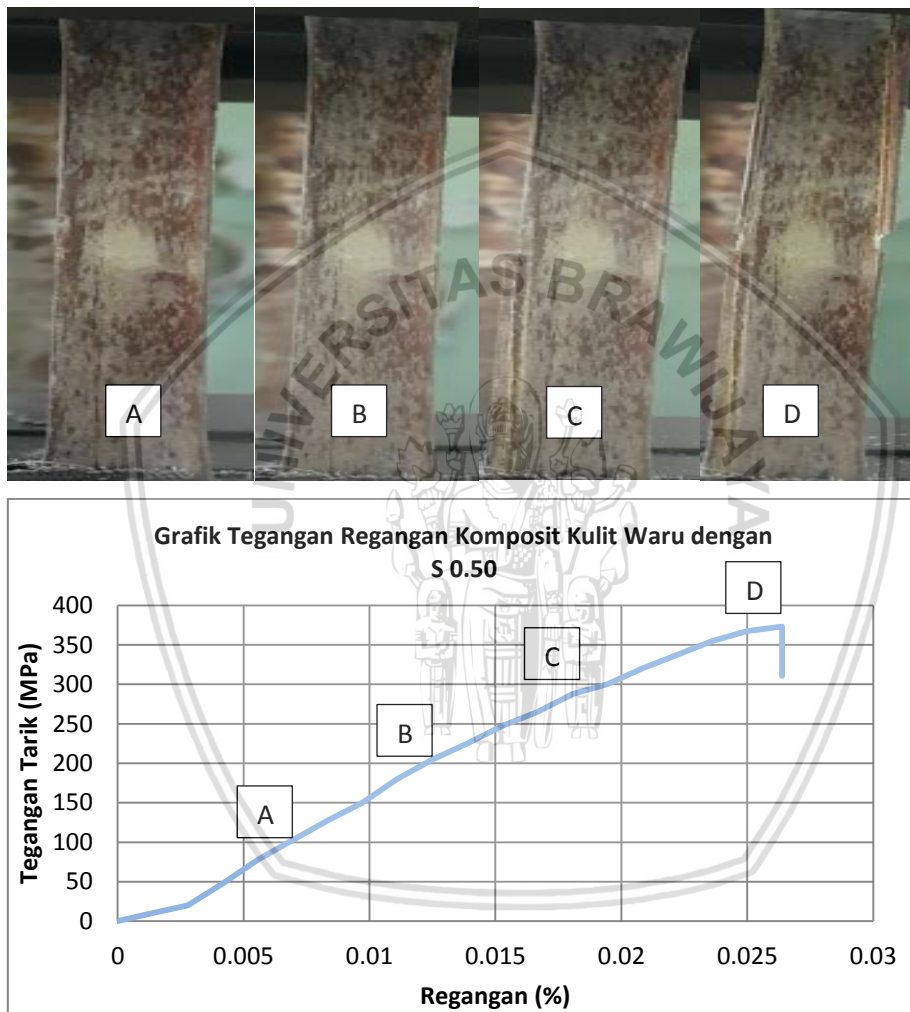
komposit dengan tambahan *silane coupling agent* lebih sedikit. Komposit tanpa penambahan *silane coupling agent* mempunyai patahan yang sangat luas dan menyebar seperti ditunjukkan pada gambar 5.7 hampir seluruh permukaan komposit terjadi *fiber pull out, debonding* dan terjadi delaminasi. Secara umum patahan dengan variasi *silane coupling agent* masih tidak dapat terpusat atau tidak dapat diprediksi, hal ini dikarenakan serat disusun secara *unidirectional* dan serat tidak mempunyai kekuatan yang sama sehingga patahan komposit cenderung masih mengikuti arah orientasi serat. Akan tetapi patahan dengan penambahan *silane coupling agent* menunjukkan delaminasi lebih sedikit, hal ini membuktikan bahwa adanya ikatan yang lebih baik antara matrik dengan serat yang lebih baik.

Fase kegagalan komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan berbagai variasi penambahan *silane coupling agent* dapat dilihat pada gambar 5.23 sampai dengan 5.26 sebagai berikut ini



Gambar 5.23 Fase Patahan Komposit Variasi *Silane Coupling Agent* 0.25%

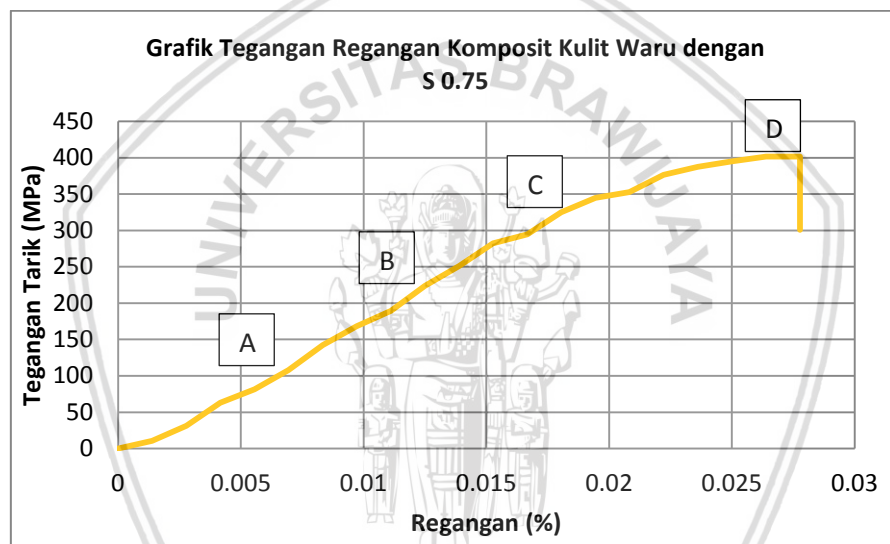
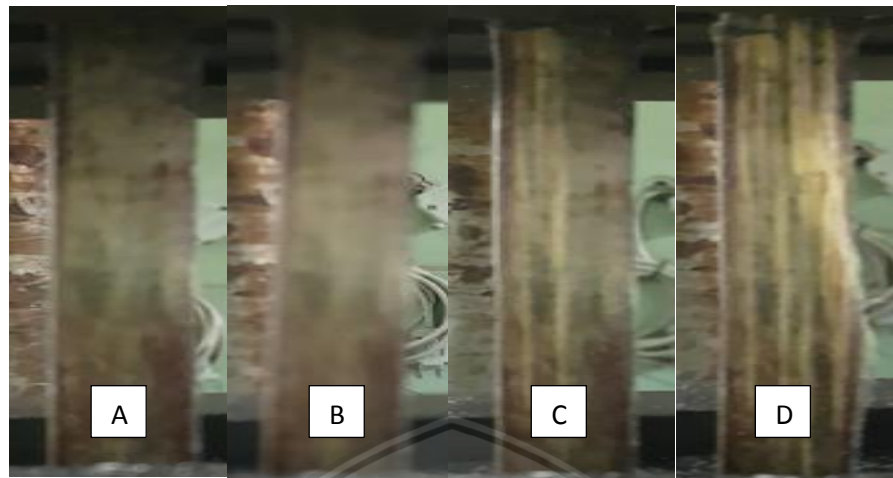
Pada gambar 5.23 menunjukkan fase proses terjadinya patahan pada komposit serat kulit waru dengan variasi penambahan *silane coupling agent* 0.25%. Pada saat komposit menerima beban sebesar 128.57 MPa komposit tidak menunjukkan adanya retak. Kemudian komposit mengalami inisiasi *crack* dibagian ujung kiri komposit pada saat menerima beban sebesar 200.00 MPa. Perambatan retak terjadi pada saat komposit menerima beban sebesar 269.04 MPa dan komposit mengalami *fracture* secara keseluruhan pada saat tegangan ultimate mencapai 339.61 MPa



Gambar 5.24 Fase Patahan Komposit Variasi *Silane Coupling Agent* 0.5%

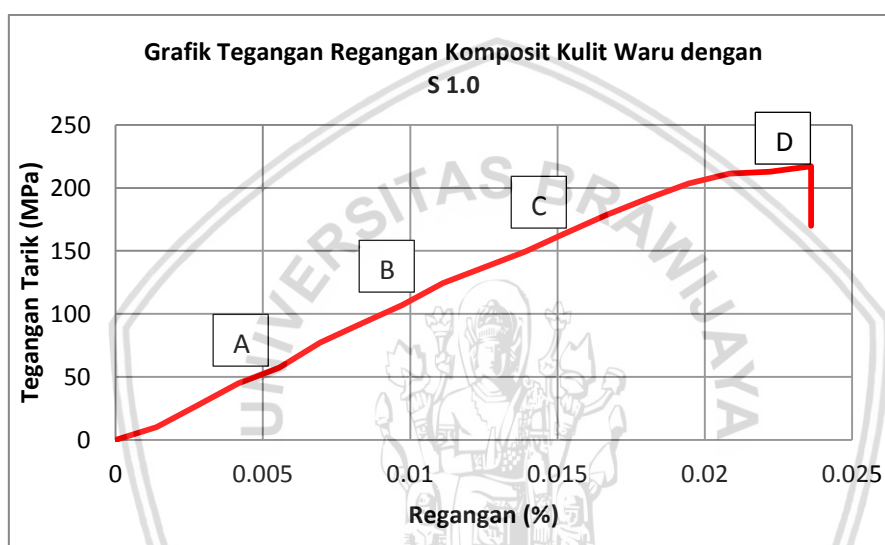
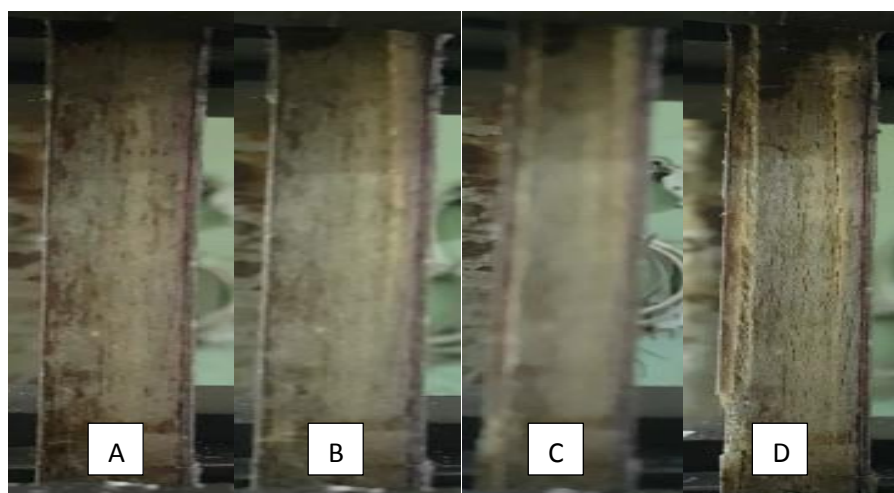
Pada gambar 5.24 menunjukkan fase proses terjadinya patahan pada komposit serat kulit waru dengan variasi penambahan *silane coupling agent* 0.5%. Pada saat komposit menerima beban sebesar 102.50 MPa komposit tidak menunjukkan adanya retak. Kemudian ketika komposit menerima beban sebesar 205.00 MPa komposit membentuk inisiasi *crack* yang terjadi pada bagian ujung kiri komposit. Perambatan retak terjadi pada saat komposit menerima beban sebesar 287.50 MPa selanjutnya komposit

mengalami *fracture* secara keseluruhan pada saat tegangan ultimate mencapai 373.10 MPa.



Gambar 5.25 Fase Patahan Komposit Variasi *Silane Coupling Agent* 0.75%

Pada gambar 5.25 menunjukkan fase proses terjadinya patahan pada komposit serat kulit waru dengan variasi penambahan *silane coupling agent* 0.75%. Pada saat komposit menerima beban sebesar 168.42 MPa komposit tidak menunjukkan adanya retak. Kemudian komposit mengalami inisiasi *crack* dibagian ujung kiri komposit pada saat menerima beban sebesar 282.10 MPa. Perambatan retak terjadi pada saat komposit menerima beban sebesar 387.76 MPa dan komposit mengalami *fracture* secara keseluruhan pada saat tegangan ultimate mencapai 401.36 MPa



Gambar 5.26 Fase Patahan Komposit Variasi *Silane Coupling Agent* 1.0%

Pada gambar 5.26 fase proses terjadinya patahan pada komposit serat kulit waru dengan variasi penambahan *silane coupling agent* 1.0%. Komposit dengan penambahan *silane coupling agent* 1.0% mempunyai fase patahan yang berbeda. Pada saat komposit menerima beban sebesar 92.03 MPa tidak menunjukkan adanya inisiasi *crack*. Kemudian pada saat menerima beban sebesar 136.81 komposit sudah mengalami *crack* kemudian *crack* tersebut merambat hingga komposit mengalami *fracture*. *Crack* merambat semakin besar pada ujung kanan dan kiri komposit saat beban sebesar 191.54 MPa. Kemudian komposit mengalami *fracture* secara menyeluruh ketika komposit menerima beban ultimate sebesar 217.26 MPa.

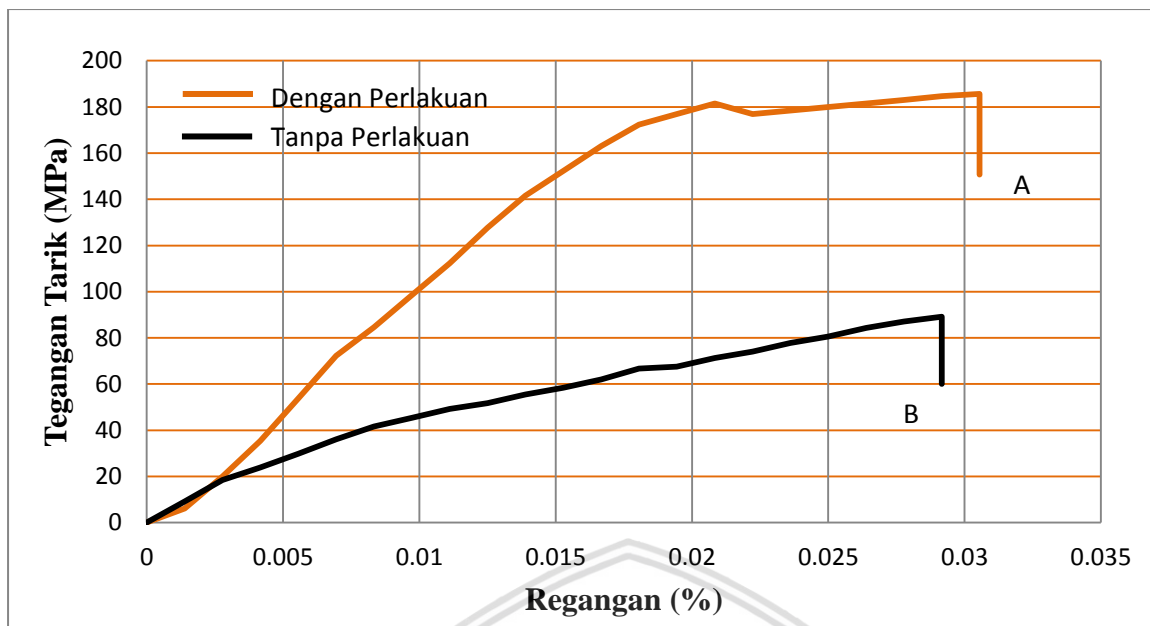
Dari hasil analisis fase terjadinya patahan komposit dapat diketahui bahwa penambahan *silane coupling agent* dapat memberikan pengaruh terhadap fase terjadinya patahan pada komposit. Berbagai fase patahan dapat menghasilkan kekuatan pada komposit yang berbeda-beda dikarenakan adanya ikatan antara serat kulit waru dan matrik sintesis. Secara umum komposit dengan penambahan *silane coupling agent* 0.25% sampai dengan 0.75% mempunyai fase patahan yang sama. Fase patahan secara umum terjadi pada saat komposit membentuk inisiasi *crack* kemudian mengalami *crack* yang merambat dan terjadi *fracture* secara keseluruhan. Komposit dengan penambahan *silane coupling agent* 0.75 mempunyai patahan yang lebih baik, hal ini dikarenakan adanya ikatan yang baik (*engtleent*) dapat dibuktikan dengan penyempitan *fracture area* dan adanya *debonding* maupun *pull out* yang lebih sedikit pada patahan komposit. Selain itu dari fase terjadinya patahan pada komposit dapat dilihat bahwa fase patahan komposit secara merata. (Maruschin., 2012).

Pada komposit kulit waru dengan penambahan *silane coupling agent* 1.0% mempunyai fase patahan yang berbeda dengan komposit yang lainnya. Fase terjadinya patahan komposit dengan penambahan *silane coupling agent* 1.0% dimulai dengan adanya *crack* pada saat beban awal kemudian *crack* tersebut merambat secara bertahap membesar dan terjadi *fracture*. Hal ini dimungkinkan bahwa komposit dengan penambahan silane 1.0% tidak dapat menerima beban secara merata. Semakin tinggi konsentrasi *silane coupling agent* dapat mengakibatkan penyebaran matrik yang tidak merata. Matrik tidak dapat menyelimuti serat secara menyeluruh, cenderung menggumpal karena bereaksi dengan *silane coupling agent* yang berlebihan. Dengan adanya pengumpulan dimungkinkan beban yang diberikan banyak terjadi di dalam matrik yang seharusnya dapat di distribusikan secara penuh ke dalam serat sehingga mengakibatkan kekuatan komposit yang rendah (Astabi, et al., 2012).

5.3 Komposit Variasi Sudut Orientasi

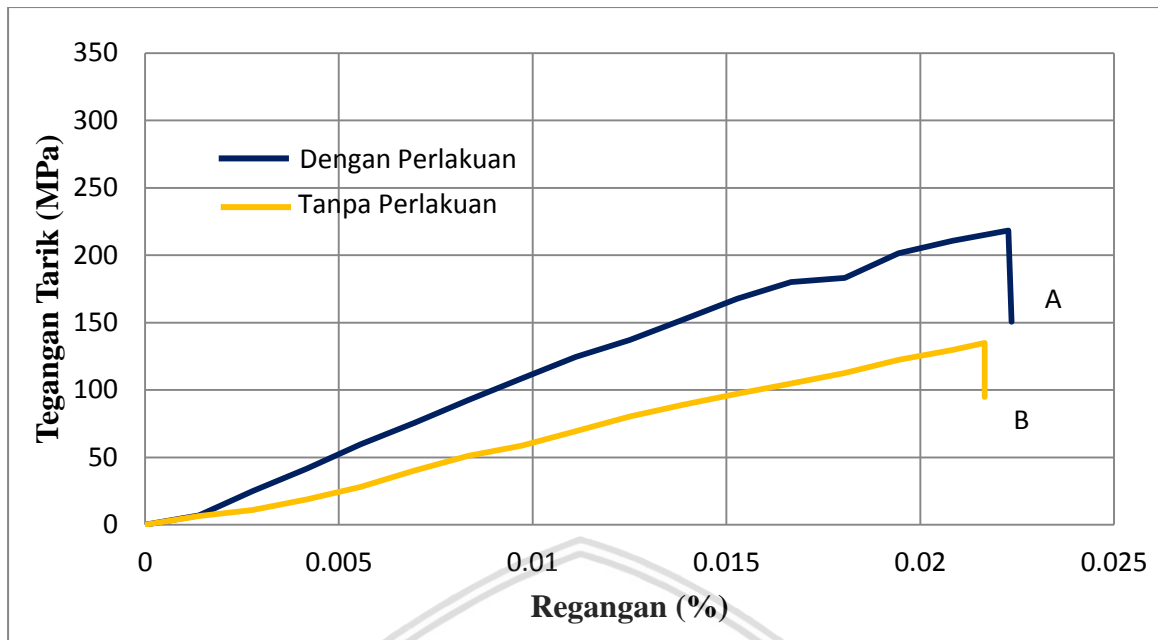
5.3.1 Analisis Kekuatan Tarik Komposit Variasi Sudut Orientasi

Berdasarkan hasil pengujian tarik komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan variasi sudut orientasi dapat dilihat pada gambar di bawah ini



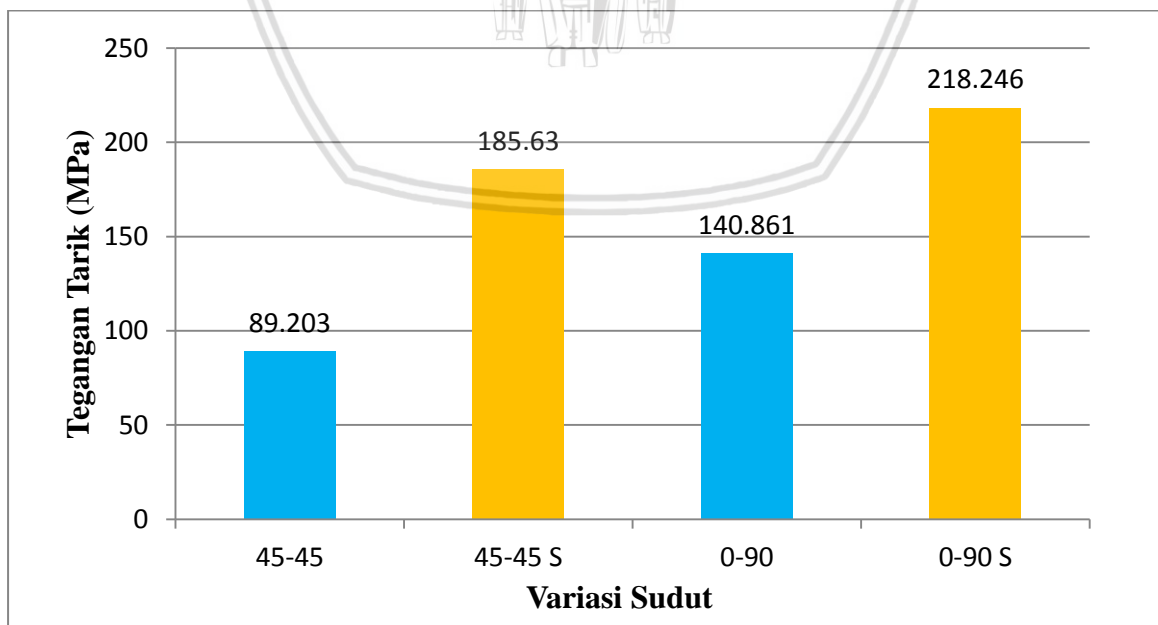
Gambar 5.27 Grafik Tegangan-Regangan Komposit Serat Kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*) Dengan Variasi Orientasi Sudut $45^{\circ}/45^{\circ}$ Menggunakan Metode *Vacuum Infusion* (a) Dengan Penambahan *Silane Coupling Agent* (b) Tanpa Penambahan *Silane Coupling Agent*

Pada gambar 5.27 di atas menunjukkan grafik kurva perbandingan tegangan-regangan komposit kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) orientasi sudut $45^{\circ}/45^{\circ}$ dengan penambahan *silane coupling agent* dan komposit orientasi $45^{\circ}/45^{\circ}$ tanpa penambahan *silane coupling agent*. Pada gambar tersebut dapat diketahui adanya pengaruh terhadap penambahan *silane coupling agent* pada komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) orientasi $45^{\circ}/45^{\circ}$ sehingga menghasilkan kekuatan tarik komposit yang lebih tinggi. Komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan penambahan *silane coupling agent* sebesar 0.75% mempunyai kekuatan tarik tertinggi jika dibandingkan dengan komposit orientasi $45^{\circ}/45^{\circ}$ yang tidak diberikan penambahan *silane coupling agent*. Hal tersebut juga terjadi pada komposit serat kulit waru dengan sudut orientasi $0^{\circ}/90^{\circ}$ yang diberikan penambahan *silane coupling agent* sebesar 0.75% mempunyai kekuatan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan komposit serat kulit waru dengan sudut orientasi $0^{\circ}/90^{\circ}$ tanpa penambahan *silane coupling agent*. Hal ini sesuai dengan pembahasan pada serat dengan variasi penambahan *silane coupling agent* dimana adanya perbaikan kualitas ikatan yang lebih baik antara serat kulit waru dan matrik *polymer*. Dengan perbaikan ikatan maka kompatibilitas antara serat dan matrik menjadi meningkat dan kekuatan tarik komposit tinggi. (Islam., et al., 2010). Kurva tegangan-regangan komposit orientasi sudut $0^{\circ}/90^{\circ}$ dapat ditunjukkan pada gambar 5.28



Gambar 5.28 Grafik Tegangan-Regangan Komposit Serat Kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*) Dengan Variasi Orientasi Sudut $0^{\circ}/90^{\circ}$ Menggunakan Metode *Vacuum Infusion* (a) Dengan Penambahan *Silane Coupling Agent* (b) Tanpa Penambahan *Silane Coupling Agent*

Berdasarkan grafik tegangan-regangan komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan variasi sudut orientasi serat $45^{\circ}/45^{\circ}$ dan $0^{\circ}/90^{\circ}$ dapat diketahui perbandingan kekuatan tarik pada masing masing komposit seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.29 sebagai berikut ini



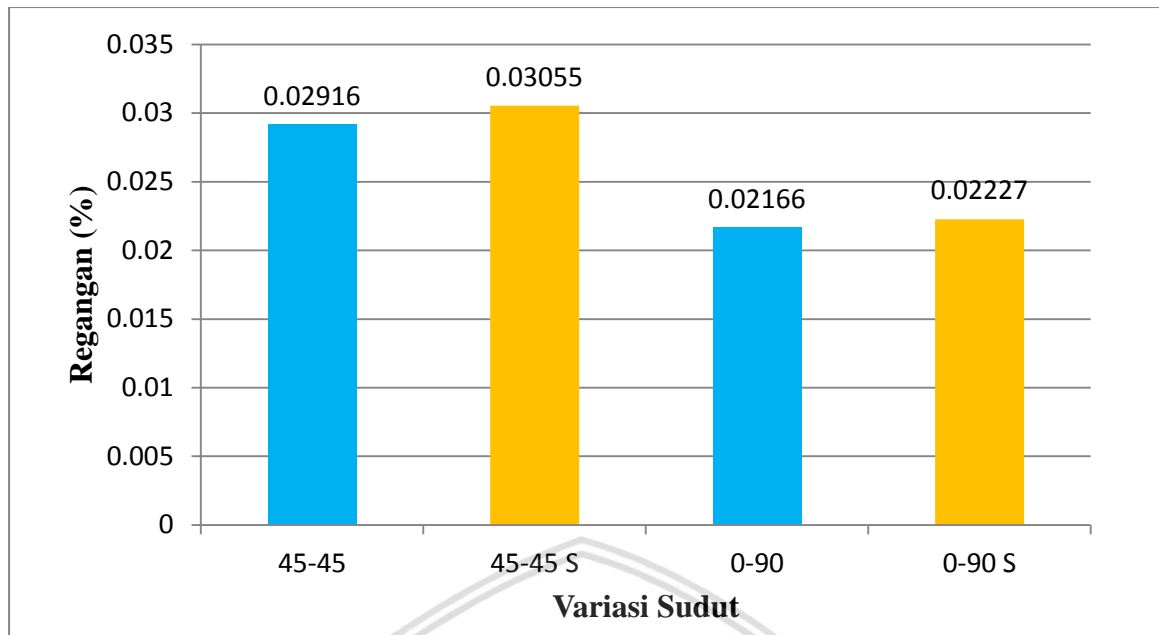
Gambar 5.29 Grafik Kekuatan Komposit Serat Kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*) Dengan Variasi Orientasi Sudut



Pada gambar 5.29 di atas menunjukkan grafik kekuatan komposit kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan variasi sudut orientasi serat $45^\circ/45^\circ$ dan $0^\circ/90^\circ$. Komposit serat kulit waru dengan orientasi sudut $45^\circ/45^\circ$ dengan penambahan *silane coupling agent* mempunyai kekuatan sebesar 185.63 MPa. Komposit serat kulit waru dengan orientasi sudut $45^\circ/45^\circ$ tanpa penambahan *silane coupling agent* mempunyai kekuatan sebesar 89.20 MPa. Komposit serat kulit waru dengan orientasi sudut $0^\circ/90^\circ$ dengan penambahan *silane coupling agent* mempunyai kekuatan sebesar 217.28 MPa. Komposit serat kulit waru dengan orientasi sudut $0^\circ/90^\circ$ tanpa penambahan *silane coupling agent* mempunyai kekuatan sebesar 140.86 MPa

Berdasarkan kekuatan tarik komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan orientasi sudut dapat diketahui bahwa orientasi sudut anyaman dapat mempengaruhi kekuatan tarik komposit. Komposit yang diberikan tambahan *silane coupling agen* dengan sudut orientasi $0^\circ/90^\circ$ mempunyai kekuatan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kekuatan komposit yang diberikan tambahan *silane coupling agen* dengan sudut orientasi $45^\circ/45^\circ$. Dikarenakan pada komposit sudut orientasi $0^\circ/90^\circ$ mempunyai arah tegak lurus terhadap gaya kerja sehingga dapat mendistribusikan beban terhadap serat anyaman. Komposit serat kontinyu dengan arah yang sama dengan tegangan kerja mempunyai kekuatan maksimum (Samallman, et al., 2000). Sedangkan beban yang diberikan pada komposit sudut orientasi $45^\circ/45^\circ$ tidak tidak lurus dengan beban yang diberikan sehingga distribusi beban sesuai dengan orientasi arah serat. Dengan sudut orientasi $0^\circ/90^\circ$ terjadi interaksi membentuk *self-lock* pada serat, ketika komposit menerima beban maka orientasi pada serat $0^\circ/90^\circ$ dapat menghasilkan tekanan sebagai *interlocking*. Hal tersebut dapat memberikan kekuatan yang lebih baik pada komposit serat kulit waru. Dengan penambahan *silane coupling agent* dan membentuk *interlocking* pada serat orientasi $0^\circ/90^\circ$ maka kekuatan komposit menjadi lebih baik (Pan, 1996).

Berdasarkan grafik tegangan-regangan komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan variasi sudut orientasi serat $45^\circ/45^\circ$ dan $0^\circ/90^\circ$ dapat diketahui perbandingan regangan pada masing masing komposit seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.30 sebagai berikut ini



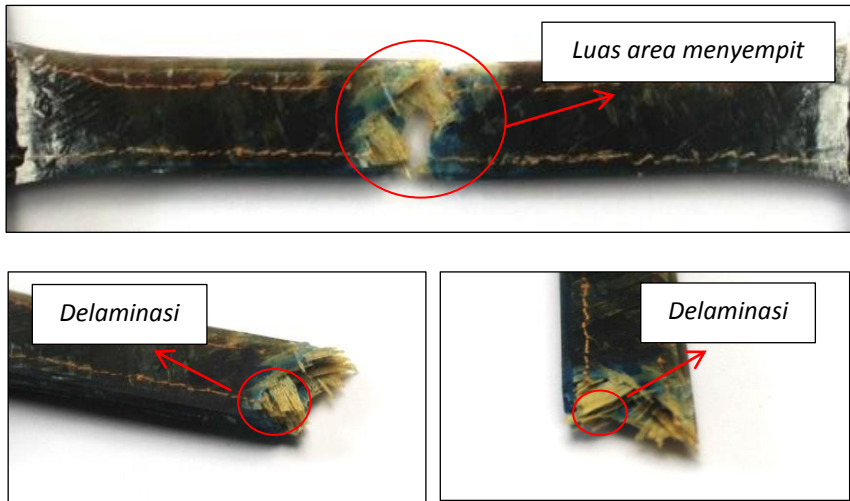
Gambar 5.30 Grafik Regangan Komposit Serat Kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*) Dengan Variasi Orientasi Sudut

Regangan maksimum komposit kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan variasi sudut orientasi serat $45^\circ/45^\circ$ dan $0^\circ/90^\circ$ dapat dilihat pada gambar 5.30. Komposit serat kulit waru orientasi sudut $45^\circ/45^\circ$ dengan penambahan *silane coupling agent* mempunyai regangan sebesar 0.0305 mm. Komposit serat kulit waru dengan orientasi sudut $45^\circ/45^\circ$ tanpa penambahan *silane coupling agent* mempunyai regangan sebesar 0.0291 mm. Komposit serat kulit waru dengan orientasi sudut $0^\circ/90^\circ$ dengan penambahan *silane coupling agent* mempunyai regangan sebesar 0.0222 mm. Komposit serat kulit waru dengan orientasi sudut $0^\circ/90^\circ$ tanpa penambahan *silane coupling agent* mempunyai regangan sebesar 0.0216 mm.

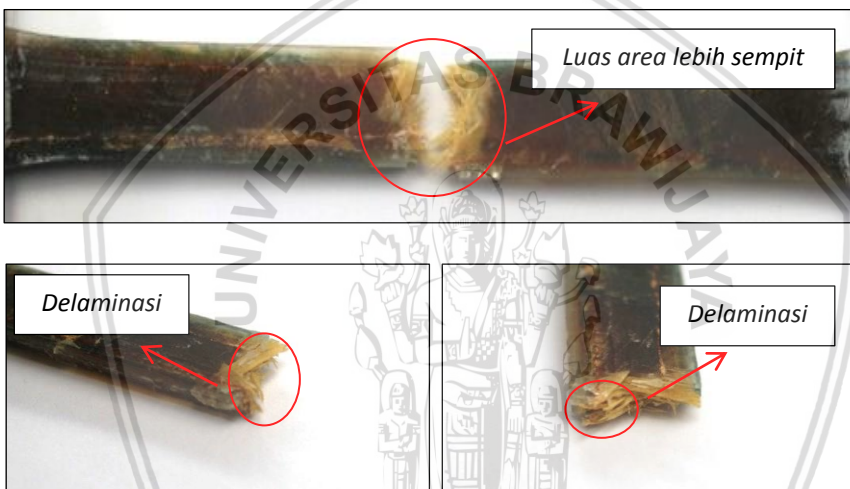
Berdasarkan regangan maksimum komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan orientasi serat $45^\circ/45^\circ$ mempunyai regangan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan komposit orientasi sudut $0^\circ/90^\circ$. Dikarenakan pada orientasi serat $45^\circ/45^\circ$ terjadi patahan secara bertahap setelah kekuatan tarik komposit tercapai, sehingga regangan komposit dengan orientasi $45^\circ/45^\circ$ lebih tinggi jika dibandingkan dengan orientasi sudut $0^\circ/90^\circ$ dengan patahan secara langsung (Setyabudi, et al., 2011).

5.3.2 Analisis Patahan Komposit dengan Variasi Sudut Orientasi

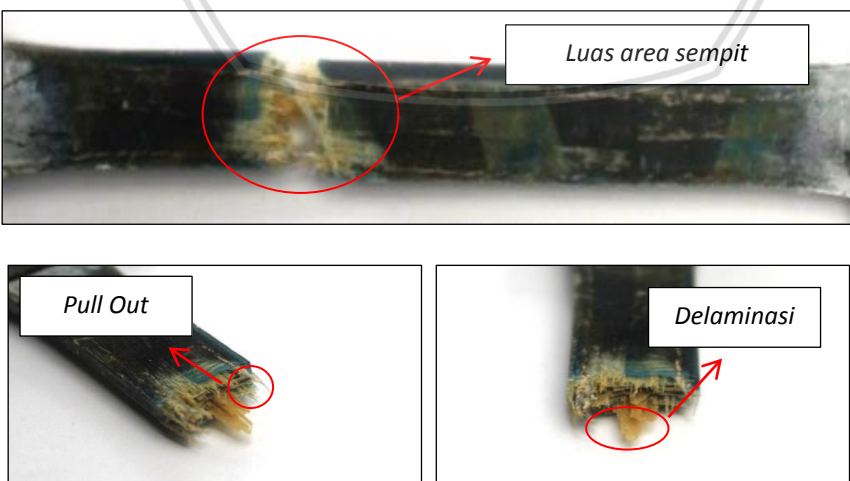
Berdasarkan hasil uji tarik komposit serat kulit waru dengan variasi sudut orientasi, patahan pada komposit dapat dilihat pada gambar 5.31 sampai dengan 5.34 dibawah ini



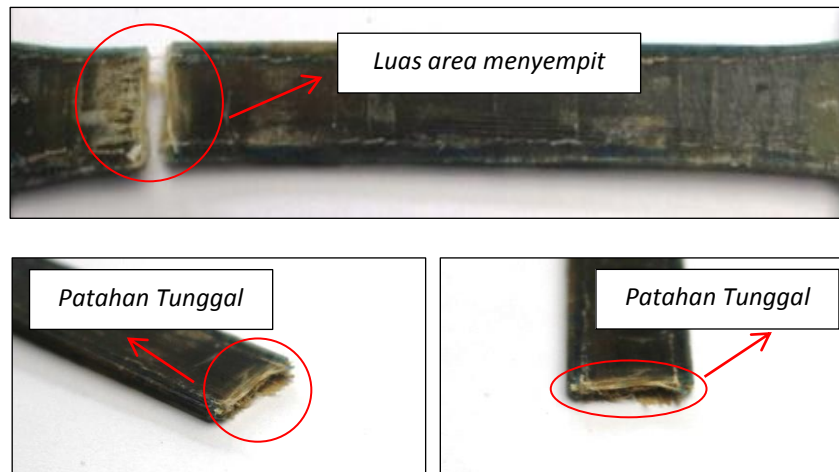
Gambar 5.31 Patahan Komposit Orientasi 45°/45° Tanpa *Silane Coupling Agent*



Gambar 5.32 Patahan Komposit Orientasi 45°/45° Dengan *Silane Coupling Agent*



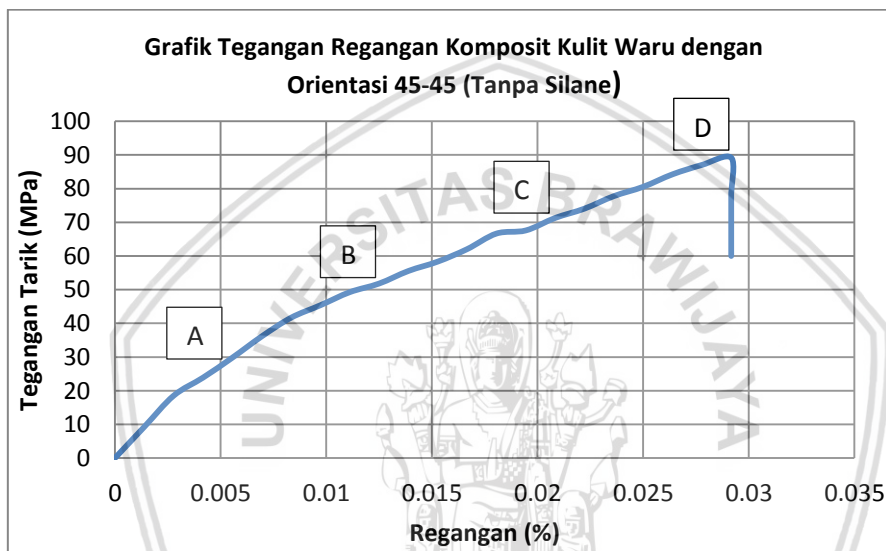
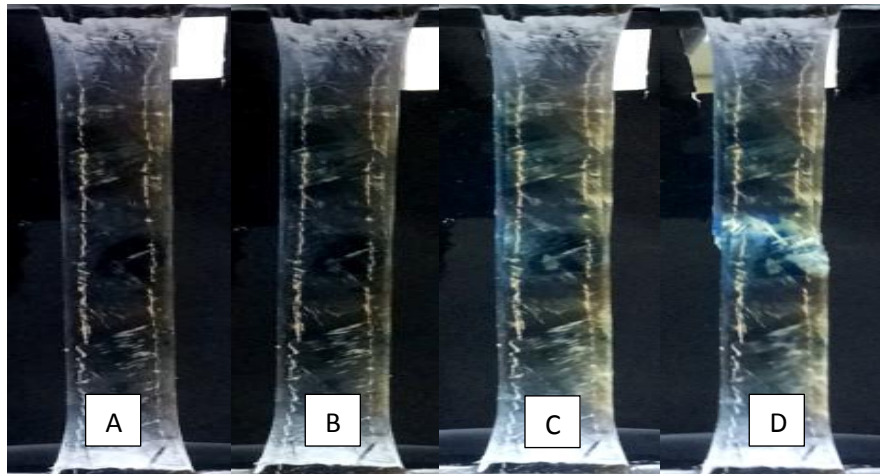
Gambar 5.33 Patahan Komposit Orientasi 0°/90° Tanpa *Silane Coupling Agent*



Gambar 5.34 Patahan Komposit Orientasi $0^{\circ}/90^{\circ}$ Dengan *Silane Coupling Agent*

Pada gambar 5.31 sampai dengan gambar 5.34 di atas menunjukkan berbagai patahan komposit dengan variasi orientasi sudut setelah dilakukan uji tarik. Orientasi serat dapat memberikan pengaruh terhadap patahan pada komposit serat kulit waru. Komposit orientasi sudut yang diberikan penambahan *silane coupling agent* secara umum dapat diklasifikasikan sebagai jenis patahan tunggal. Perilaku kegagalan *fiber pull out* komposit menggunakan *silane coupling agent* pada orientasi $45^{\circ}/45^{\circ}$ dan $0^{\circ}/90^{\circ}$ sudah tidak tampak. Patahan terlihat lebih rapi dan luas area patahan komposit menyempit sehingga memungkinkan komposit dapat diprediksi. Pada komposit orientasi $45^{\circ}/45^{\circ}$ dan $0^{\circ}/90^{\circ}$ tanpa penambahan *silane coupling agent* secara umum juga dapat dikatakan sebagai patah tunggal akan tetapi masih tampak adanya *fiber pull out* dan *debonding*. Komposit dengan variasi sudut anyam dapat mendistribusikan beban sesuai dengan arah orientasi anyaman serat. Pada orientasi $45^{\circ}/45^{\circ}$ kegagalan komposit didominasi adanya gaya geser sesuai dengan arah serat berbeda dengan komposit orientasi $0^{\circ}/90^{\circ}$ yang mempunyai kegagalan geser yang lebih kecil sehingga kekuatan komposit lebih tinggi.

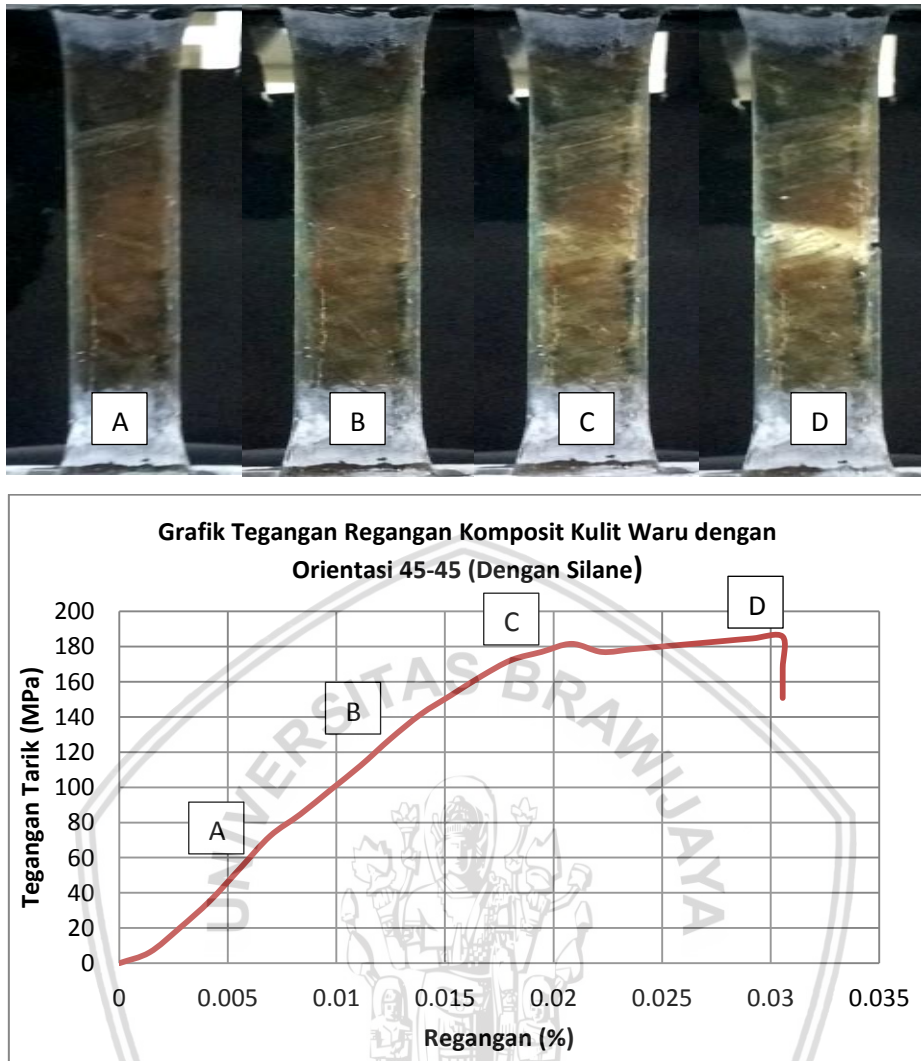
Fase kegagalan komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan variasi sudut orientasi dapat dilihat pada gambar berikut ini



Gambar 5.35 Fase Patahan Komposit Orientasi 45°/45° Tanpa *Silane Coupling Agent*

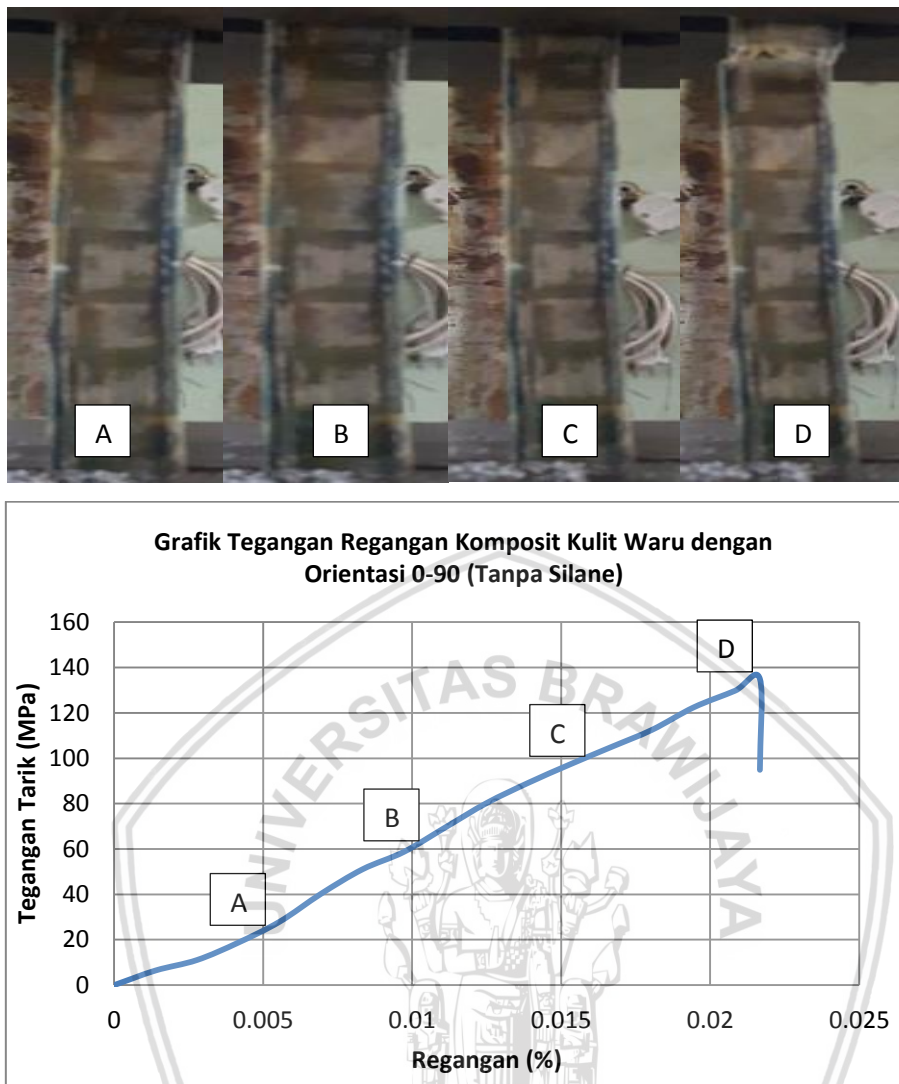
Pada gambar 5.35 menunjukkan fase proses terjadinya patahan pada komposit serat kulit waru dengan orientasi 45°/45° tanpa penambahan *silane coupling agent*. Pada saat komposit menerima beban sebesar 36.11 MPa komposit tidak menunjukkan adanya retak. Kemudian komposit mengalami inisiasi *crack* dibagian ujung kiri dan kanan komposit pada saat menerima beban sebesar 51.81 MPa. Perambatan retak terjadi pada saat komposit menerima beban sebesar 77.77 MPa dan komposit mengalami *fracture* secara keseluruhan pada saat tegangan ultimate mencapai 89.20 MPa





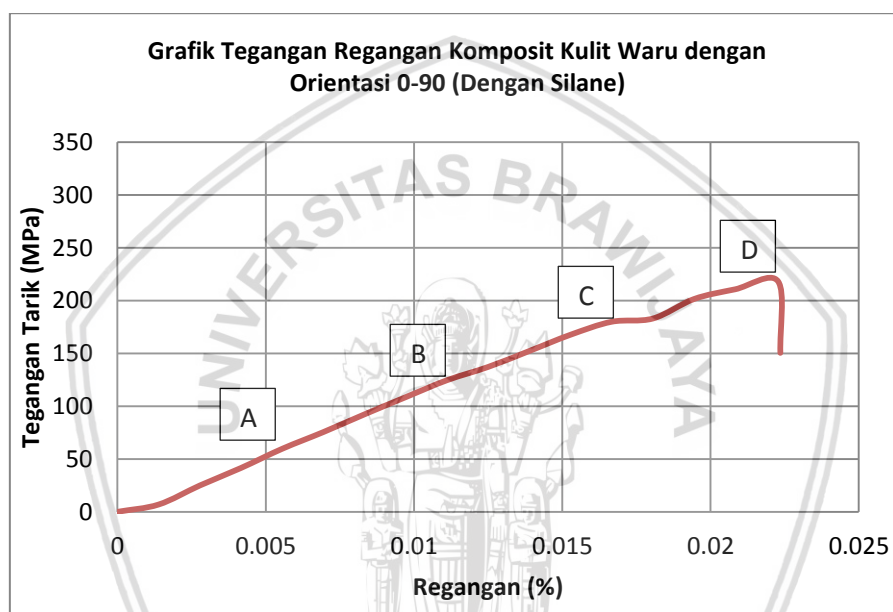
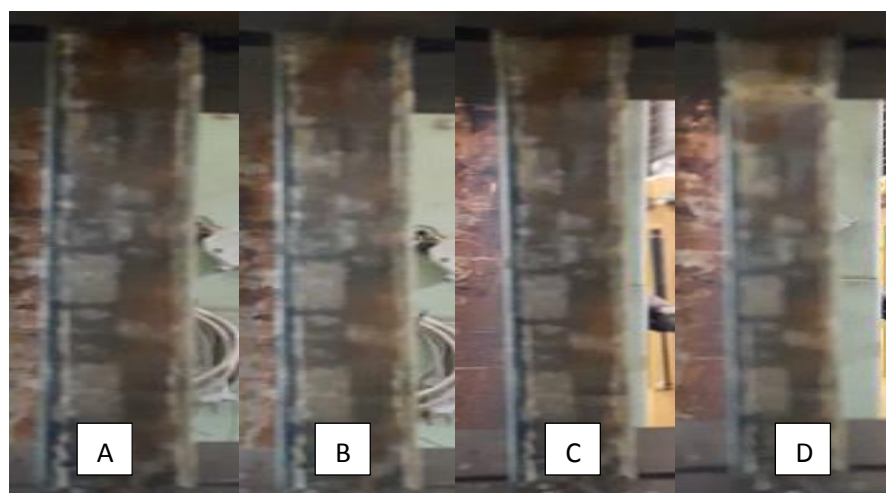
Gambar 5.36 Fase Patahan Komposit Orientasi 45°/45° Dengan *Silane Coupling Agent*

Pada gambar 5.36 menunjukkan fase proses terjadinya patahan pada komposit serat kulit waru dengan orientasi 45°/45° dengan penambahan *silane coupling agent*. Pada saat komposit menerima beban sebesar 84.61 MPa komposit tidak menunjukkan adanya retak. Kemudian ketika komposit menerima beban sebesar 127.69 MPa komposit membentuk inisiasi *crack* yang terjadi pada bagian tengah komposit. Perambatan retak terjadi pada saat komposit menerima beban sebesar 181.53 MPa selanjutnya komposit mengalami *fracture* secara keseluruhan pada saat tegangan ultimate mencapai 185.63 MPa.



Gambar 5.37 Fase Patahan Komposit Orientasi 0°/90° Tanpa *Silane Coupling Agent*

Pada gambar 5.37 menunjukkan fase proses terjadinya patahan pada komposit serat kulit waru dengan orientasi 0°/90° tanpa penambahan *silane coupling agent*. Pada saat komposit menerima beban sebesar 51.05 MPa komposit tidak menunjukkan adanya retak. Pada saat komposit menerima beban sebesar 80.28 MPa sampai dengan beban 112.59 MPa komposit juga tidak menunjukkan adanya inisiasi maupun perambatan retak. Komposit mengalami *fracture* secara langsung keseluruhan pada saat tegangan ultimate mencapai 134.99 MPa



Gambar 5.38 Fase Patahan Komposit Orientasi 0°/90° Dengan *Silane Coupling Agent*

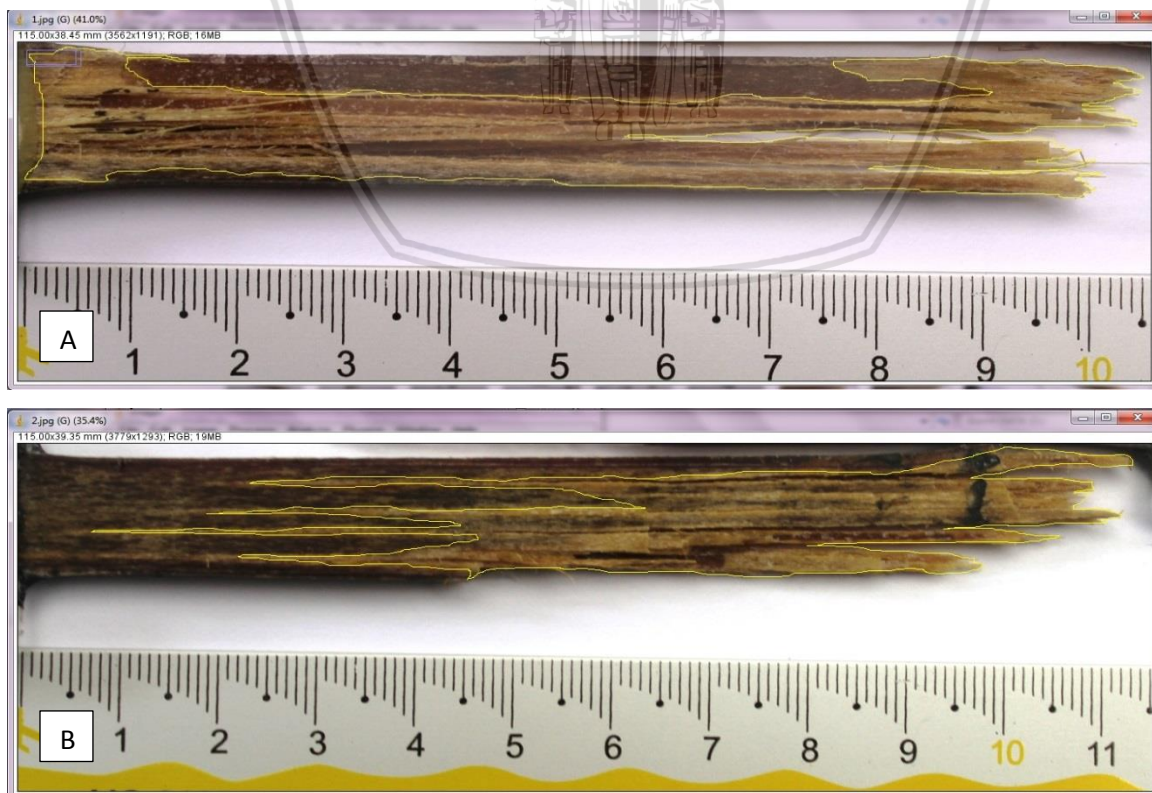
Pada gambar 5.38 menunjukkan fase proses terjadinya patahan pada komposit serat kulit waru dengan orientasi 0°/90° dengan penambahan *silane coupling agent*. Pada saat komposit menerima beban sebesar 75.53 MPa komposit tidak menunjukkan adanya retak. Pada saat komposit menerima beban sebesar 137.2 MPa sampai dengan beban 183.07 MPa komposit juga tidak menunjukkan adanya inisiasi maupun perambatan retak. Komposit mengalami *fracture* secara langsung keseluruhan pada saat tegangan ultimate mencapai 218.24 MPa

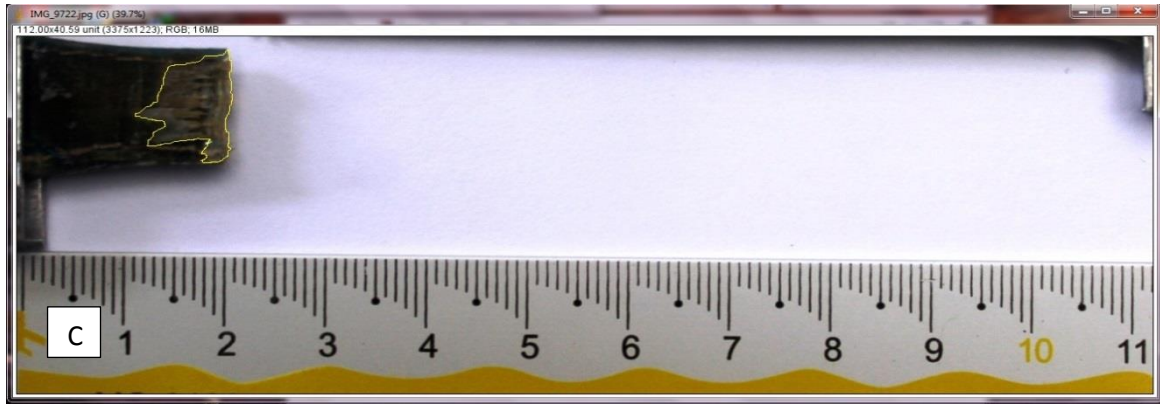
Dari hasil analisis fase terjadinya patahan komposit dapat diketahui bahwa sudut orientasi pada serat dapat memberikan pengaruh terhadap fase terjadinya patahan pada komposit. Berbagai fase patahan dapat menghasilkan kekuatan pada komposit yang berbeda-beda dikarenakan memiliki distribusi beban sesuai dengan sudut orientasi serat.

Hal tersebut telah dibuktikan dengan fase terjadinya patahan komposit dengan orientasi $45^\circ/45^\circ$ berbeda dengan fase terjadinya patahan pada komposit orientasi $0^\circ/90^\circ$. Secara umum proses terjadinya patahan komposit dengan orientasi $45^\circ/45^\circ$ terjadi ketika komposit mengalami inisiasi *crack* pada saat beban awal kemudian *crack* tersebut mengalami perambatan dan kemudian terjadi *fracture*. Sedangkan pada komposit dengan orientasi $0^\circ/90^\circ$ proses terjadinya patahan pada komposit tidak ditunjukkan adanya inisiasi maupun *crack*, komposit secara langsung mengalami *fracture* pada saat beban maksimum. Penambahan silane juga memberikan pengaruh terhadap patahan komposit dengan orientasi serat. Secara umum komposit yang diberikan penambahan dengan *silane coupling agent* pada masing-masing orientasi serat mempunyai jenis patahan yang lebih baik dan dapat diprediksi dari pada komposit yang tidak diberikan penambahan *silane coupling agent*. Komposit dengan penambahan *silane coupling agent* dapat dikatakan sebagai komposit dengan patahan tunggal.

5.4 Perbandingan Penurunan *Fracture Area* Pada Komposit Serat Kulit Waru

Dari hasil penelitian komposit menggunakan serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dengan penambahan *silane coupling agent*, selain meningkatkan kekuatan tarik dapat memberikan pengaruh terhadap luas area patahan pada komposit serat kulit waru. Perbaikan *fracture area* pada komposit dapat dilihat pada gambar 5.39 berikut ini





Gambar 5.39 Penurunan *Fracture Area* Pada Komposit Serat Kulit Waru (a) Komposit Tanpa Penambahan *Silane Coupling Agent* (b) Komposit Dengan *Silane Coupling Agent* (c) Komposit Dengan *Silane Coupling Agent* dan Dianyaman

Pada gambar 5.39 di atas menunjukkan penurunan *fracture area* pada komposit serat kulit waru menjadi lebih baik. *Fracture area* pada komposit dapat dihitung dengan menggunakan *software imageJ* sehingga dapat diketahui luas dari daerah yang terjadi *fracture* pada komposit. Komposit tanpa penambahan *silane coupling agent* mempunyai luasan *fracture area* yang sangat besar yaitu 961.093 mm^2 . Komposit yang ditambahkan *silane coupling agent* mempunyai luasan *fracture area* lebih kecil yaitu sebesar 710.316 mm^2 . Komposit dengan penambahan *silane coupling agent* dan dianyam mempunyai *fracture area* yang lebih baik dan kecil sebesar 64.149 mm^2 . Hal ini dikarenakan dengan penambahan *silane coupling agent* dapat meningkatkan ikatan antara serat dan matrik sedangkan orientasi serat dapat membentuk *interlocking* antar serat. dengan adanya ikatan yang baik dan *interlocking* maka beban dapat terdistribusi secara merata dan membentuk patahan yang lebih baik atau dapat diprediksi.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Hasil dari penelitian tentang analisis penambahan *coupling agent* terhadap kekuatan tarik pada *natural fiber composite* dapat disimpulkan :

1. Penambahan *silane coupling agent* dapat mempengaruhi kekuatan tarik pada komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*). Untuk memperoleh kekuatan tarik komposit serat kulit waru dapat digunakan perlakuan alkali 6% NaOH dan penambahan *silane coupling agent* sebesar 0.75% menggunakan matrik *polyester*.
2. Penambahan *silane coupling agent* dan orientasi sudut anyaman serat dapat mempengaruhi *fracture area* pada komposit serat kulit waru. Untuk memperoleh *fracture area* yang baik pada komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) dapat diatasi dengan menambahkan *silane coupling agent* dan membuat sudut orientasi anyaman serat $0^{\circ}/90^{\circ}$.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian tentang analisis penambahan *coupling agent* terhadap kekuatan tarik pada *natural fiber composite* maka penelitian perlu dikembangkan lebih lanjut berkaitan dengan karakteristik sifat mekanik dan fisik pada komposit serat kulit waru dengan melakukan pengujian yang lebih banyak pada komposit serat kulit waru (*Hibiscus tiliaceus*) sehingga diperoleh spesifikasi yang lebih lengkap, dapat diaplikasikan secara langsung sebagai bahan material yang baru dan ramah lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

- Akil, H. M., Omar, M. F., Mazuki, A. A. M., Safiee, S., Ishak, Z. A. M., & Bakar, A. A. (2011). *Kenaf fiber reinforced composites : A review. Materials and Design*, 32(8–9), 4107–4121. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.04.008>.
- Al-Bahadly, O. A. E. (2013). *The Mechanical Properties Of Natural Fiber Composites. Thesis Doctor of Philosophy. Faculty Of Engineering Swinburne University Of Technology*.
- Alampedia, 2014, Aneka Pemanfaatan dari Tanaman Pohon Waru Alam Pedia, <http://alampedia.blogspot.co.id/2014/09/pohon-waru-hibiscus-tiliaceus-tumbuhan.html>, diunduh pada tanggal 10 November 2016.
- Ariska, V. (2017). Pengaruh Variasi Matrik Terhadap Kekuatan Tarik Pada Komposit Berserat Kulit Waru (*Hibiscus Tiliaceus*). Skripsi. Tidak dipublikasi. Malang: universitas Brawijaya.
- Astabi, A., Raharjo. W. W., Sukanto. (2012). Pengaruh Konsentrasi Silane Coupling Agent terhadap Sifat Tarik Komposit Serat Kenaf- Polypropylene. *Prosiding SNST Universitas Wahid Hasyim Semarang*. ISBN : 978-602-99334-4-4.
- ASTM International. (n.d.). *Standard Test Method For Tensile Properties of Plastic D638-03. United State*.
- Bisanda, E. T. N. (2001). *The Effect Of Alkali Treatment On The Adhesion Characteristic Of Sisal Fibers. Applied Composites Materials*, 7: 331-339.
- Bramantyo. (2008). Pengaruh Konsentrasi Serat Rami Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Poliester Serat Alam. Depok: Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Budinski, K. G. (1995). *Engineering Material Properties and Selection. 4th*. Prentice Hall, Inc A Simon Schuster Company, USA.
- Calister, W. D. (1991). *Material Science and Engineering an Introducting*, John Willey and Sonc Inc. New York.
- Chen, L., & Byoung, I. S. (2013). *Bisphenol A In Dental. Materials Review. SciMedCentral. JSM Dent* 1:1004.

- Clayton, A. (1987). *Epoxy Resins: Chemistry and Technology (Second ed.)*. New York: Marcel Dekker Inc. p. 794. ISBN 0-8247-7690-9.
- Diharjo. K. (2006). Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami- Polyester. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra*, Vol. 8 No 1, 8-3.
- Dittenber, D. B., & Ganga, R. H. V. S. (2012). *Critical Review Of Recent Publication On Use Natural Fiber Composites In Infrastructure. Composites Part A: Application Of Science Manufacture*. 43: 1419-1429.
- Fadhillah, R. A., Setyabudi, A. S., & Purnowidodo, A. (2017). Karakteristik Komposit Serat Kulit Pohon Waru (Hibiscus Tiliaceus) Berdasarkan Jenis Resin Sintetis. *Jurnal Rekayasa Mesin Vol.8, No 2*, 101–108.
- Faizal, M. A., Beng, Y. K., Dalimin, M. N. (2006). *Tensile Property Of Hand Lay-Up Plain-Weave Woven E-Glass/Polyester Composite*. Borneo Science, 28-34.
- G. Bracco, B. Holst. (2003). *Surface Science Techniques, Springer Series In Surface Sciences*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 51
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-34243-1-1>.
- Harris, B. (1999). *Engineering Composite Materials*. London: The Institute of Materials.
- Hatmi, P. W., Sukartini, Dody, A. W. (1998). Pengaruh Komposisi Katalis Pada Glass Reinforced Polyester Terhadap Sifat Mekaniknya. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Serpong*, 290-293.
- Hull D. (1981). *An Introduction to Composite Materials In Fibre Matrix Interface*. Cambridge: Cambridge University Press. 36-42.
- Ifuku, S., & Yano, H. (2015). *International Journal of Biological Macromolecules Effect of a silane coupling agent on the mechanical properties of a microfibrillated cellulose composite*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 74, 428–432. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.12.029>.
- Imra, Iswandi. (2009). Pengaruh Proses Vaccum dan Variasi Tekananya Terhadap Sifat tarik Komposit Serat Alam (Coir Fibre Reinforced Resin Composite). *Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin*. Padang: Universitas Andalas. pp 89-94.

- Islam, M. R. & Beg, M. D. H. (2010). *Effect Of Coupling Agent On Mechanical Properties Of Composite From Kenaf and Rcyced Polypropylne*. National Conference In Mechanical Engineering Research and Postgraduate Studies. Malaysia: University Malaysia Pahang, pp 871-875.
- Jacob. M., Joseph, S., Pothan, L.A., Thomas, S. (2005). *A Study Of Advances In Characterization Of Interface and Fiber Surface in Lignocellulosic Fiber Reinforced. Composite Interface*. 12 (1-2), 95-124.
- Jacobs, J. A., Kilduft, T. K. (1994) *Engineering Material Technology Structure, Processing, Property and Selection 2*. Prentice Hall, Inc A Simon Schuster Company, USA. 18 (6): 825-840.
- Jang, C., Lacy, T. E. Gwaltney, S. R., Pitman, C. U. Toghiani, H. (2012). *Molecular Dynamics Simulation of Vynil ester resin Crosslinking*. AIAA/ASME/AHS/ASC Structures, Structural, Dynamics and Materials Confrence (pp. 1-8) America: America Institute of Aeronautics and Astronautics .
- Jones, M. R. (1975). *Mechanics Of Composite Material*. Mc Graw-Hill. Kogakusha. Ltd.
- Joyoboyo. (2011). Budidaya Waru. <http://sigitwijay.blogspot.com/2011/10budidaya-waru.html>, diakses pada tanggal 10 November 2016.
- Kabir, M. M., Wang, H., Lau, K. T., Cardona, F. (2012). *Chemical Treatents on Plan-Based Natural Fibre Reinfoorced Polymer Composites An Overview. Composites Part B*, 43: 2883-2892.
- Karno, I. P., Estriyanto, Y., Wijayanto, D. S. (2014). Pengaruh Jumlah lapisan Terhadap Ketahanan Bakar Komposit Serat Kaca Bermatrik Ripoxy R-802 EX. *Jurnal FKIP UNS*.
- Kumari, M., Kumar, R., & Kumar, V. (2014). *Surface modification of cellulose using silane coupling agent. Carbohydrate Polymers*, 111, 849–855. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.05.041>.
- Lee, S., & Wang, S. (2006). *Biodegradable polymers / bamboo fiber biocomposite withH bio-based coupling agent*, 37,80–91 .
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2005.04.015>.

- Masruchin, N. (2012). Pengembangan Komposit Polipropilena Berpenguat Serat Sisal Dan Serat Sabut Kelapa Untuk Material Komponen Otomotif. *Thesis*. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Matheus, J., Irawan, S. Y., Soenoko, R. (2013). Pengaruh Perlakuan Silane dan NaOH Pada Permukaan Serat Kontinyu Limbah Empulur Sagu (Metroxylon Sp) Terhadap daya Serap Air dan Kekuatan Bending. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol 4 No 2, 212–219.
- Matthews, L. F. & Bawlings, D. B. (1993). *Composite Materials Engineering and Science*. Chapman & Hall, London. Glasgow, New York. Tokyo Melbourne. Madras.
- Mazumdar, K. S. (2002). *Composites Manufacturing Materials, Product and Process Engineering*. By CRC Press., Boca Raton London, New York Washington, D.C.
- Monteiro, S. N., Terrones, L. A. H., and D'Almedia, J. R. M. (2008). *Mechanical Performance Of Coir Fiber Polyester Composites*. *Journal Fiber Polymer Testing* 27: 591-595.
- Neagu cristean, Kristofer Gamstedt, Fredrik Berthold And Mikael Lindstrom. (2007). *Stiffnes Contribution Of Wood Fibres To Composites Materials*. KTH Solid Mechanic.
- Nurdin, B. (1988). Beberapa Pengujian Sifat mekanik Dari Komposit Dengan Serat Gelas. *Skripsi*. Tidak dipublikasi. Medan: Fakultas MIPA Universitas Sumatra Utara.
- Nurudin, A., Sonief, A., & Atmodjo, W. Y. (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, 209–217.
- Packman, V. (2003). *Natural Fibers: Can They Replace Glass In Fibre Reinforced Plastic*. *Composites Science And Technology*. 63: 1259-1264.
- Pan, N. (1996). *Analysis Of Woven Fabric Strength: Prediction Of Fabric Strength Under Uniaxial And Biaxial Extensions*. *Composites Science and Technology*, 311-327.
- Pizzi, A. (1994). *Advanced Wood Adhesives Technology*. Marcel Dekker, inc. New York.

- Prasetyo. A., Purwanto. H., Respati. B. M. S. (2016). Pengaruh Waktu Perendaman Serat Kulit Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) Pada Air laut Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik. *Jurnal Momentum* Vol. 12 No 2, 42-47- ISSN 0216-7379.
- Prasetyo, D., A., Raharjo. W. W., Ubaidillah. (2013). Pengaruh Penambahan Coupling Agent Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Polyester-Cantula Dengan Anyaman Serat 3D Angle Interlock. *Jurnal Mekanika* Vol. 12 No 1, 44-52.
- PT. Justus Kimia Raya (2003). *Data Sheet Resin Sintetis*.
- Raharjo, W. W., Soenoko, R., Irawan, Y. S., & Suprpto, A. (2017). *The Influence of Chemical Treatments on Cantala Fiber Properties and Interfacial Bonding of Cantala Fiber / Recycled High Density Polyethylene (rHDPE)*. *Journal of Natural Fibers*, 0(0), 1–14. <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1321512>.
- Rizal, Y. F., Sonief, A. A., Suprpto W. (2016). Pengaruh Tekanan Vaccum Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Lentur Pada Biokomposit Serat Purun Tikus (*Eleocharis Dulcis*). *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol. 7 No. 3, 129-134.
- Schward, M. M. (1984). *Composite Materials Hanbook*. Mc Graw-Hill Book Co. New York.
- Setyabudi, S. A., Makabe, C., Fujikawa, M., Tohkubo, T. (2011). *Fatigue and Static Fracture of Machineable C/C Composites*. *Journal of Solid Mechanichs and Materials Engineering* Vol. 5, No. 11, 640-654.
- Shabiri, A. N., Ritonga, R. S., Ginting, M. H. (2014). Pengaruh Rasio Epoxy Ampas Tebu dan Perlakuan Alkali Pada Ampas Tebu Terhadap Kekuatan Bentur Komposit Partikel Epoxy Berpengisi Serat Ampas Tebu. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 28-31.
- Showa., H. (2005). *Technical Data Sheet Ripoxy Resin*. Japan: Showa High Polymer Co., LTD.
- Smallman, R. E., Bishop, R. J., Djaprie, S. (2000). *Metalurgi Fisik Modern & Rekasaya Bahan* (Terjemahan). Erlangga, Jakarta.
- Smith, W. F. (1996). *Priciples of Materials Science and Engineering 2nd ed*, Mc Graw-Hill. Singapore.
- Surdia, T., Shinroku, S. (1992). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Edisi Ketiga. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.

- Sutrisno, H. (2011). Upaya Meningkatkan Daya Awet Kayu Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) Dari Serangan Rayap Tanah Dengan Perendaman Larutan Boraks $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. *Tugas Akhir*. Semarang: Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Negeri Semarang.
- Suwandi, & Hendri, R. L. (2014). Perbanyakakan vegeatif dan penanaman waru (*Hibiscus Tiliaceus*) Untuk Kerajinan dan Obat. Jakarta: IPB Press.
- Thakur, K. V., Thakur, K. M., Gupta, K. R. (2014). *Review: Raw Natural Fiber-Based Polymer Composites. International Journal of Polymer*. 19: 256-271.
- Thostenson, E. T., Li, C., Chou, T. W. (2005). *Nanocomposites In Context. Composites Science and Technology*. 65: 491-516.
- Triyono, T. & Diharjo, K. (2000). Buku Pegangan Mata Kuliah Material Teknik. UNS Press. Surakarta.
- Xiameter. Dow Corning Corporation. (2010). Xiameter OFS 6030 Silane. Jakarta: PT. Biopolytech Innovation.
- Xue, Li., & Canada, A. (2007). *Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites : A Review Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites : A Review*, (May 2014). <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0042-3>.
- Xie, Yanjun., Hill, C., Xiao, Z., Militz, H., Mail, C. (2010). Silane Coupling Agents Used For Natural Fiber/Polymer Composites : A Review. *Journal Compsites Part A*, 41(806-819).
- Zhou, F., Cheng, G., Jiang, B. (2014). *Effect Of Silane Treatment On Microstructure Of Sisal Fibers. Applied Surface Science*, 12: 292-806.



LAMPIRAN 1
DATA UJI TARIK SERAT TUNGGAL



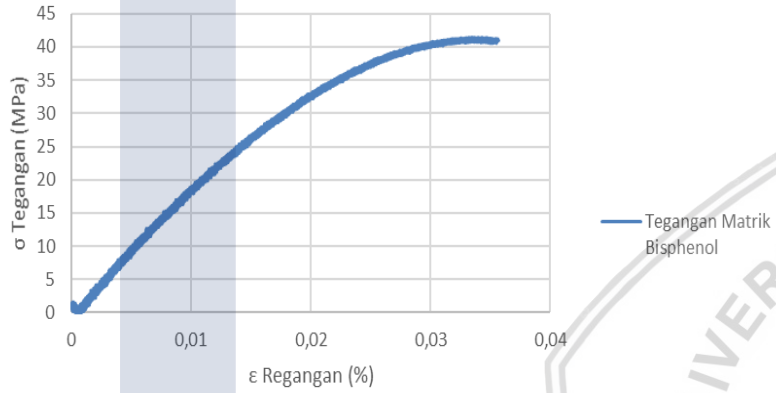
SERAT WARU TANPA PERLAKUAN ALKALI NaOH / 0%											
SAMPSEL	TEBAL (μm)			RATA2	WAKTU	LEBAR	PANJANG	PERTAMBAHAN	PANJANG	F.MAX	Kekuatan Tarik (MPa)
	1	2	3	(μm)	(s)	(m)	(cm)	PANJANG (cm)	AKHIR (cm)	(N)	
SW01	66.6	66.2	57.1	63.30	1.81	0.003	10	0.15	10.15	11.70	61.61137441
SW02	99.8	89.4	110	99.73	1.86	0.003	10	0.20	10.20	62.94	210.3609626
SW03	107	105	90.4	100.80	1.69	0.003	10	0.25	10.25	78.11	258.3002646
SW04	96.9	93.5	103	97.80	1.46	0.003	10	0.15	10.15	75.34	256.7825494
SW05	93	87.9	92.5	91.13	1.95	0.003	10	0.10	10.10	68.20	249.4513533
RATA-RATA				90.55	1.75	0.003	10.00	0.170	10.17	59.26	207.30

SERAT WARU DENGAN PERLAKUAN ALKALI NaOH 6%											
SAMPSEL	TEBAL (μm)			RATA2	WAKTU	LEBAR	PANJANG	PERTAMBAHAN	PANJANG	F.MAX	Kekuatan Tarik (MPa)
	1	2	3	(μm)	(s)	(m)	(cm)	PANJANG (cm)	AKHIR (cm)	(N)	
SW61	76.7	98.6	95.4	90.23	1.21	0.003	10	0.15	10.15	9.63	35.57443665
SW62	90.5	87.7	81.6	86.60	1.56	0.003	10	0.30	10.30	51.44	197.9984604
SW63	107.6	109.6	101.2	106.13	1.31	0.003	10	0.15	10.15	77.51	243.4359296
SW64	95	97.9	87.4	93.43	1.33	0.003	10	0.10	10.10	50.46	180.0214056
SW65	81.9	68.5	83.3	77.90	1.36	0.003	10	0.13	10.13	24.96	106.8035944
RATA-RATA				90.86	1.35	0.003	10.00	0.166	10.17	42.80	152.77

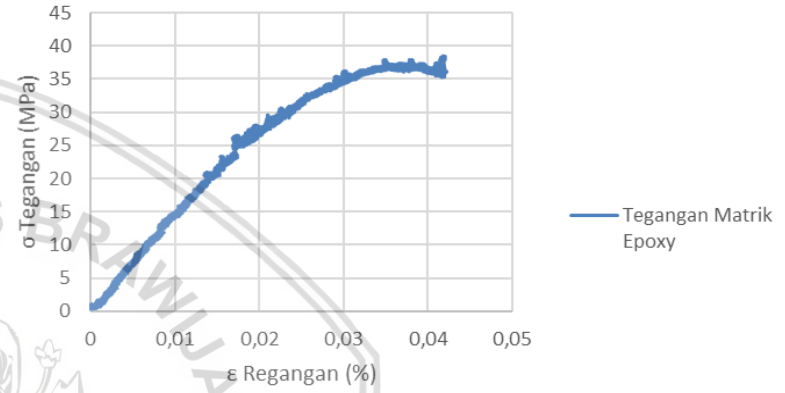


LAMPIRAN 2
DATA UJI MATRIK TANPA SERAT

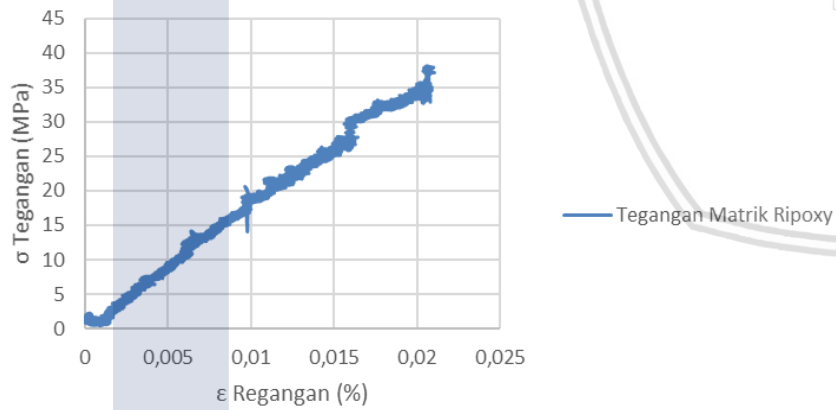
Grafik Tegangan-Regangan Matrik Bisphenol



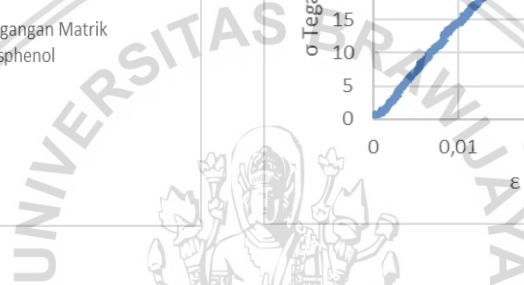
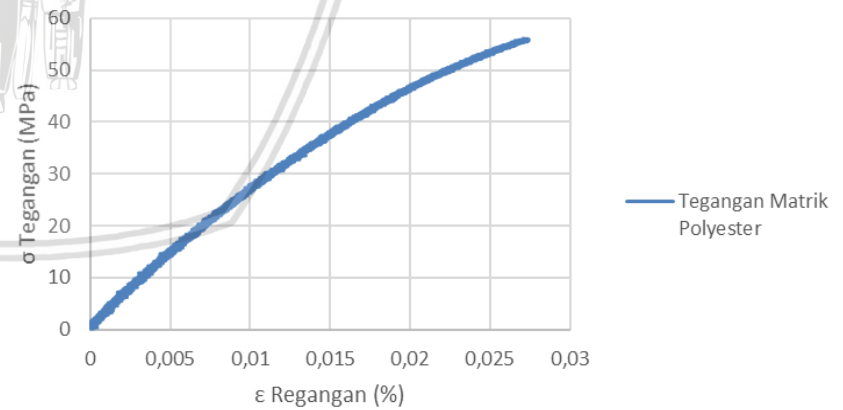
Grafik Tegangan-Regangan Matrik Epoxy



Grafik Tegangan-Regangan Matrik Ripoxy



Grafik Tegangan-Regangan Matrik Polyester





LAMPIRAN 3
DATA UJI KOMPOSISI KANDUNGAN SERAT



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PETERNAKAN
BAGIAN NUTRISI DAN MAKANAN TERNAK
Jalan Veteran Malang 65145 Telp (0341) 575853
E-mail : bagnmtfapet@ub.ac.id

Nomor : 403/UN.10.5.52./Lab.-1/2017
Perihal : Hasil Analisa

Yth. : Sdr. Willy Artawirawan
Mhs. S₂ Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik UB
Malang

Hasil analisis Laboratorium

Tanggal Terima Sampel	No	Kode Bahan	Kandungan Zat Makanan (as is)					
			NDF	ADF	Hemiselulosa	Selulosa	Silikat	Lignin
05-12-2017	1.	1 %	87,70	72,86	14,84	52,81	0,78	19,26
	2.	6 %	88,33	72,54	15,79	51,42	0,65	20,48

*) Berdasarkan 100 % bahan kering

Mengetahui
Ketua Bagian NMT



Dr. Ir. Mashudi, M.Agr.Sc
NIP 19510519 198802 1 001

Malang, 18 Desember 2017
Kepala Lab. NMT

Prof. Dr. Ir. Siti Chuzaemi, MS
NIP 19530514 198002 2 001

Hasil Pengujian

No	Variasi Perlakuan NaOH	Persen Kandungan			Jumlah
		Hemiselulosa	Selulosa	Lignin	
1	Serat Tanpa Perlakuan (0%)	14.84	52.81	19.26	86.91
2	Serat Dengan Perlakuan (6%)	15.79	51.42	20.48	87.69

Hasil Perhitungan

No	Variasi Perlakuan NaOH	Persen Kandungan			Jumlah
		Hemiselulosa	Selulosa	Lignin	
1	Serat Tanpa Perlakuan (0%)	17 %	60 %	22 %	100 %
2	Serat Dengan Perlakuan (6%)	18 %	58 %	23 %	100 %

Cara menghitung persen kandungan NaOH

- Hemiselulosa = $\frac{\text{Hasil uji hemiselulosa}}{\text{Jumlah}} \times 100\%$
- Selulosa = $\frac{\text{Hasil uji hemiselulosa}}{\text{Jumlah}} \times 100\%$
- Lignin = $\frac{\text{Hasil uji hemiselulosa}}{\text{Jumlah}} \times 100\%$



LAMPIRAN 4
DATA SILANE COUPLING AGENT



XIAMETER[®] OFS-6030 Silane

Methacrylate functional alkoxysilane

FEATURES

- Methacrylate organoreactive group
- Trimethoxy hydrolysable groups on silicon
- High purity

BENEFITS

- Coupling agent to improve adhesion of organic resins to inorganic surfaces
- Increased composite tensile and flexural strength – both dry and wet
- Improved chemical bonding
- Increased transparency of polyester fiberglass composites

COMPOSITION

- γ -Methacryloxypropyltrimethoxysilane

APPLICATIONS

- XIAMETER[®] OFS-6030 Silane is used as a coupling agent to improve adhesion of free radical cured resins, such as polyester, to inorganic surfaces, including fiberglass, clay, quartz, and other siliceous materials. The improved adhesion increases dry and wet flexural compressive strength of the composite. Wet strength improvements of approximately 100% are possible.
- XIAMETER OFS-6030 Silane can also be used as a resin additive in mineral-reinforced polyester resin. When used as an additive, this silane can provide improvements in composite properties similar to those obtained from a composite fabricated with a silane-treated mineral reinforcement.

TYPICAL PROPERTIES

Specification Writers: These values are not intended for use in preparing specifications. Please contact your local XIAMETER[®] sales representative prior to writing specifications on this product.

Test	Unit	Value
Appearance		Clear, white to light-straw
Purity	%	98
Specific Gravity at 25°C (77°F)		1.04
Flash Point, open cup	°C (°F)	138 (280)
Refractive index at 25°C (77°F)		1.43
Viscosity at 25°C (77°F)	cst	2.5
Boiling point at 760mm Hg	°C (°F)	190 (374)
Molecular Weight	g/mol	248.35
CAS #		2530-85-0

DESCRIPTION

XIAMETER OFS-6030 Silane is a bifunctional silane containing a methacrylate reactive organic group and a trimethoxysilyl inorganic group.

The product is designated γ -Methacryloxypropyltrimethoxysilane. XIAMETER OFS-6030 Silane possesses both organic and inorganic reactivity, reacting with organic thermoset resins as well as inorganic minerals such as glass and silica. The chemical bonding at the organic/inorganic interface that can occur with organofunctional silanes provides a variety of benefits listed above.

HOW TO USE

XIAMETER OFS-6030 Silane can be applied to inorganic surfaces as a dilute aqueous solution (0.1 to 0.5% silane concentrations). Aqueous solutions are prepared by adjusting the pH of the water from 3.5 to 4.5 with acetic acid and then adding the silane while stirring. After adding the silane to the acidified water, it is necessary to stir the mixture for a minimum of 30 minutes before it hydrolyses and forms a clear homogeneous solution. A hazy solution or droplets on the bottom of the mixing container are evidence

that the silane is not yet in solution clears. Solutions of XIAMETER OFS-6030 Silane in water are not stable indefinitely, and, after standing several days, may deposit an oily phase of condensed polysiloxane. Aqueous solutions of XIAMETER OFS-6030 Silane are notable in that a 0.89% solution in water lowers the surface tension from 72.0 to 38.3 dynes/cm. This suggests that the hydrophobic organic portion of this silane forms an oriented layer at the liquid-air interface.

In the case of mineral fillers, the mineral can be treated by mixing with the silane at very high shear without any additional solvent. Alternatively, the silane can be diluted in an alcohol or pre-hydrolyzed as described above and then mixed with the mineral. The mineral can be dry or in a slurry form.

After applying the silane, the glass or mineral surface should be dried briefly to 104°C to 121°C (220 – 250°F) to effect condensation of silanol groups at the surface and to remove traces of methanol from hydrolysis of the methoxysilane. Optimum application and drying conditions, such as time and temperature, should be determined for each application prior to use in a commercial process.

PRODUCT SAFETY INFORMATION

PRODUCT SAFETY INFORMATION REQUIRED FOR SAFE USE IS NOT INCLUDED IN THIS DOCUMENT. BEFORE HANDLING, READ PRODUCT AND MATERIAL SAFETY DATA SHEETS AND CONTAINER LABELS FOR SAFE USE, PHYSICAL, ENVIRONMENTAL, AND HEALTH HAZARD INFORMATION. THE MATERIAL SAFETY DATA SHEET IS AVAILABLE ON THE XIAMETER WEBSITE AT WWW.XIAMETER.COM.

USABLE LIFE AND STORAGE

Keep away from heat and open flame. The product should be stored at or below 25°C in the original unopened container. Current shelf life information can be found in the sales specifications for this product at www.xiameter.com.

LIMITATIONS

This product is neither tested nor represented as suitable for medical or Pharmaceutical uses.

LIMITED WARRANTY INFORMATION – PLEASE READ CAREFULLY

The information contained herein is offered in good faith and is believed to be accurate. However, because conditions and methods of use of our products are beyond our control, this information should not be used in substitution for customer's tests to ensure that our products are safe, effective, and fully satisfactory for the intended end use. Suggestions of use shall not be taken as inducements to infringe any patent.

Dow Corning's sole warranty is that our products will meet the sales specifications in effect at the time of shipment.

Your exclusive remedy for breach of such warranty is limited to refund of purchase price or replacement of any product shown to be other than as warranted.

DOW CORNING SPECIFICALLY DISCLAIMS ANY OTHER EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR MERCHANTABILITY.

DOW CORNING DISCLAIMS LIABILITY FOR ANY INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES.

