



**ANALISIS SIFAT MEKANIK KOMPOSIT LAMINA
BERPENGUAT SERAT KACA *WOVEN* DENGAN Matriks
*UNSATURATED POLYESTER 2504 APT***

SKRIPSI

Oleh:

Naafi'ul Amri

151910101018

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**ANALISIS SIFAT MEKANIK KOMPOSIT LAMINA
BERPENGUAT SERAT KACA *WOVEN* DENGAN Matriks
*UNSATURATED POLYESTER 2504 APT***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

Naafi'ul Amri

151910101018

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019

PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT, maka penulis persembahkan skripsi ini kepada:

1. Bapak dan Ibu tercinta, Bapak Samsul Malik dan Ibu Nunik Rofikoh.
2. Adik-adikku tersayang, Raafi'uts Tsaniy dan Ahmad Zaki Aufa
3. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya dan memimbing selama perkuliahan berlangsung, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Bapak Dr. Ir. Gaguk Jatisukamto S.T., M.T. selaku dosen pembimbing umum dan Bapak Ir. Sumarji, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Ibu Intan Hardiatama S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak memberi saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Almamater yang saya banggakan Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

MOTTO

Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya.

(terjemahan Surat Al-Baqarah ayat 286)

atau

Keberhasilan bukanlah milik orang yang pintar, tapi milik mereka yang senantiasa berusaha

(B. J. Habibie)

atau

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan

(Terjemahan Surat Alam Nasyrah Ayat 6)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Naafi'ul Amri**

NIM : **151910101018**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Analisis Sifat Mekanik Komposit Lamina berpenguat Serat Kaca *Woven* dengan Matriks *Unsaturated Polyester 2504 APT*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 Desember 2019

Yang menyatakan,

Naafi'ul Amri

NIM 151910101018

SKRIPSI

**ANALISIS SIFAT MEKANIK KOMPOSIT LAMINA
BERPENGUAT SERAT KACA *WOVEN* DENGAN Matriks
*UNSATURATED POLYESTER 2504 APT***

Oleh:

Naafi'ul Amri

151910101018

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Gaguk Jatisukanto S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Sumarji, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Sifat Mekanik Komposit Lamina berpenguat Serat Kaca *Woven* dengan Matriks *Unsaturated Polyester* 2504 APT ” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Senin, 16 Desember 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Dr. Ir. Gaguk Jatisukanto S.T., M.T.
NIP. 196902091998021001

Ir. Sumarji, S.T., M.T.
NIP. 196802021997021001

Tim Penguji

Penguji I,

Penguji II,

Intan Hardiatama, S.T., M.T.
NIP. 198904282019032021

Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T.
NIP. 197510062002121002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP. 196612151995032001

RINGKASAN

ANALISIS SIFAT MEKANIK KOMPOSIT LAMINA BERPENGUAT SERAT KACA *WOVEN* DENGAN Matriks *UNSATURATED POLYESTER 2504 APT*

Naafi'ul Amri, 151910101018; 2019; 86 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Komposit adalah suatu jenis bahan yang tersusun dari dua material penyusun yang mempunyai sifat yang berbeda, baik sifat fisika maupun sifat kimia tersebut. Material penyusun komposit yang terdiri dua penyusun salah satunya berfungsi sebagai pengikat maupun penguat, melalui pencampuran dua material maka akan menghasilkan suatu material baru yang sifat mekanik dan karakteristiknya berbeda dari material pembentuknya. Untuk aplikasinya komposit ini digunakan sebagai bahan lambung kapal yang mempunyai kekuatan yang tinggi namun ringan dan sesuai standard BKI.

Dalam penelitian ini dilakukan variasi pembebanan tarik dan bending pada komposit lamina serat kaca *woven*. Didapatkan kekuatan tarik paling rendah pada sumbu X, begitu pula dengan nilai modulus elastisitas diperoleh hasil terendah pada sumbu X. Kemudian untuk kekuatan bending hasil paling tinggi diperoleh pada pembebanan bending sumbu X, hal ini pada sumbu X beban bending di tahan oleh serat yang melintang sehingga memperoleh kekuatan bending yang tertinggi.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan dan Laboratorium Uji Bahan Fakultas Teknik Universitas Jember. Dari hasil penelitian yang dilakukan bahwa peletakkan serat terhadap beban yang diberikan akan berpengaruh terhadap sifat mekanis komposit. Hasil pengujian tarik dan modulus elastisitas tertinggi pada komposit lamina serat kaca *woven* dengan variasi pembebanan tarik pada sumbu Y sebesar 119,07 MPa dan nilai modulus elastisitas 9352,2 MPa, sedangkan pengujian bending tertinggi dengan variasi pembebanan bending sumbu sebesar X 233,54 MPa.

SUMMARY

ANAYLYSIS of MECHANICAL PROPERTIES LAMINA COMPOSITE USING WOVEN FIBERGLASS WITH MATRIX UNSATURATED POLYESTER 2504 APT

Naafi'ul Amri, 151910101018; 2019; 86 pages; Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Jember University.

Composite is a type of material that is composed of two constituent materials that have different properties, both physical and chemical properties. Composite material consisting of two compilers, one of which functions as a binder or amplifier, through mixing two materials will produce a new material whose mechanical properties and characteristics are different from the forming material. For its application, this composite is used as a hull material that has high strength but is light and according to BKI standards.

In this research, variations in tensile and bending loading were carried out on woven glass fiber composite lamina. The lowest tensile strength is obtained on the X-axis, as well as the modulus of elasticity, the lowest yield is obtained on the X-axis. Then for the highest yielding bending force is obtained on the X-axis bending loading, this on the X axis bending load is held by transverse fibers so obtain the highest bending strength.

This research was conducted at the Laboratory of Applied Technology and Material Testing Laboratory of the Faculty of Engineering, University of Jember. From the results of research conducted that the laying of the fiber on the load given will affect the mechanical properties of the composite. The highest tensile and modulus of elasticity testing results on woven glass fiber lamina composites with variations in tensile loading on the Y axis is 119,07 MPa and the modulus of elasticity is 9352,2 MPa, while the highest bending testing with variations on axial bending loading is X 233,54 MPa.

PRAKATA

Puji syukur Alhamdulillah karena atas rahmat dan hidayah-Nya yang telah memberikan kesehatan sehingga dapat memenuhi tanggung jawab menyelesaikan tugas akhir kuliah atau skripsi yang berjudul “ Analisis Sifat Mekanik Komposit Lamina berpenguat Serat Kaca *Woven* dengan Matriks *Unsaturated Polyester 2504 APT* “. Banyak sekali pihak yang telah ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik secara fisik maupun mental, untuk itu saya ucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Samsul Malik dan Ibu Nunik Rofikoh yang senantiasa memberikan do'a, dukungan serta mendidik dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Adik-adikku tersayang Raafi'uts Tsaniy dan Ahmad Zaki Aufa yang menjadi motivasi untuk lebih semangat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Gaguk Jatisukanto S.T., M.T. selaku dosen pembimbing umum dan Bapak Ir. Sumarji, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota yang telah memberikan pengarahan berupa penulisan dan bimbingan secara teori sehingga skripsi ini dapat bermanfaat serta mudah dipahami oleh masyarakat.
4. Ibu Intan Hardiatama S.T., M.T. selaku dosen penguji 1 dan dosen penguji 2, Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T. yang telah memberikan koreksi, saran serta pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Seluruh saudara-saudara “Teknik Mesin M-17” yang selalu memberikan semangat dan dukungan mulai awal masuk kuliah hingga saat ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga segala kritik dan saran yang membangun dapat diterima oleh penulis. Harapan penulis supaya skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Jember, 16 Desember 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN.....	v
PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY.....	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Komposit.....	5
2.1.1 Klasifikasi Komposit	6
2.1.2 Klasifikasi Jenis Penguat Komposit	7
2.2 Metode Pembuatan Komposit.....	9

2.2.1 <i>Hand Lay Up</i>	9
2.2.2 <i>Vacuum Molding</i>	10
2.2.3 <i>Vacuum Bag</i>	10
2.2.4 <i>Spray Up</i>	10
2.2.5 <i>Filament Winding</i>	11
2.3 Polyester	11
2.4 Fiber Glass	12
2.5 Penelitian Terdahulu	13
2.6 Pengujian Tarik	17
2.7 Pengujian Bending	18
2.8 Hubungan Tegangan dan Regangan <i>Anisotropic Material</i>	19
2.8.1 Penentuan Pembebanan Arah 1.....	20
2.8.2 Penentuan Pembebanan Arah 2.....	20
2.9 Karakterisasi Komposit	21
2.9.1 Pengamatan Morfologi Makro.....	21
2.9.2 Pengamatan Morfologi Mikro.....	22
2.9.3 Karakteristik Patahan.....	22
2.10 Hipotesis	23
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Tempat Penelitian	25
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	25
3.2.1 Bahan.....	25
3.3.2 Alat.....	26
3.3 Variabel Penelitian	32
3.3.1 Variabel Bebas.....	32

3.3.2 Variabel Kontrol	32
3.3.3 Variabel Terikat	32
3.4 Prosedur Penelitian	33
3.4.1 Langkah – Langkah Pembuatan Sampel.....	33
3.4.2 Susunan Penguat Serat Kaca dan Pematangan Komposit	33
3.5 Langkah Pengujian Sampel	34
3.5.1 Langkah – Langkah Pengujian Tarik.....	34
3.5.2 Langkah – Langkah Pengujian Bending.....	34
3.6 Analisis Data	35
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	37
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Hasil Pengujian	38
4.1.1 Hasil Kekuatan Tarik	38
4.1.2 Hasil Kekuatan Bending	43
4.2 Pengamatan Morfologi Makro.....	45
4.3 Pengamatan Morfologi Mikro Komposit.....	49
BAB 5. PENUTUP.....	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN-LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komposit partikel (Dante dan Aprianto, 2017).....	7
Gambar 2. 2 Orientasi serat (Dante dan Aprianto, 2017)	8
Gambar 2. 3 Laminat komposit (Jones dan Devens, 1999).....	8
Gambar 2. 4 Lamina komposit (FC Champbell, 2010).....	9
Gambar 2. 5 Pembuatan komposit dengan <i>Hand Lay Up</i> (Anonim, 2002)	9
Gambar 2. 6 Pembuatan komposit <i>Vacuum Bag</i> (Anonim, 2002).....	10
Gambar 2. 7 Pembuatan komposit <i>Spray Up</i> (David, 2010).....	11
Gambar 2. 8 Pembuatan komposit metode <i>Filament Winding</i> (Mallick, 2008) .	11
Gambar 2. 9 Matriks <i>unsaturated polyester</i> eterset 2504 (Pradana, 2017).....	12
Gambar 2. 10 Susunan serat gelas <i>woven roving</i> (Carli dkk., 2012)	13
Gambar 2. 11 Penampang patahan orientasi komposit (Yudiono, 2017)	14
Gambar 2. 12 Pengamatan makro uji tarik (Carli dkk., 2012).....	15
Gambar 2. 13 Penampang patah dengan perlakuan alkali (Rahman, 2008)	16
Gambar 2. 14 Jenis patahan komposit (Nasiruddin, 2014)	16
Gambar 2. 15 Pengujian bending (ASTM D 790)	18
Gambar 2. 16 Tegangan pada element (Jones dan Devens, 1999).....	19
Gambar 2. 17 Pembebanan arah 1 (Jones dan Devens, 1999)	20
Gambar 2. 18 Pembebana arah 2 (Jones dan Devens, 1999)	20
Gambar 2. 19 Bentuk patahan (ASTM D 3039)	21
Gambar 2. 20 <i>Debonding</i> (Pupurs, 2016)	23
Gambar 2. 21 Skematik <i>Fiber Pull out</i> komposit (Mallick, 2008)	23
Gambar 3. 1 Resin eterset 2504 APT.....	25
Gambar 3. 2 Katalis.....	25
Gambar 3. 3 Serat kaca <i>woven WR 200</i>	26
Gambar 3. 4 Timbangan digital	26
Gambar 3. 5 Gunting.....	27

Gambar 3. 6 Wadah bahan	27
Gambar 3. 7 Suntikan.....	28
Gambar 3. 8 Kaca.....	28
Gambar 3. 9 Mesin uji tarik	29
Gambar 3. 10 Double tipe	29
Gambar 3. 11 Plastisin	30
Gambar 3. 12 Lem kaca	30
Gambar 3. 13 Mikroskop digital	31
Gambar 3. 14 Kamera	32
Gambar 3. 15 Susunan serat kaca	33
Gambar 3. 16 Dimensi uji tarik.....	34
Gambar 3. 17 Dimensi pengujian bending.....	34
Gambar 3. 18 Mekanisme pengujian bending.....	35
Gambar 3. 19 Diagram alir penelitian.....	37
Gambar 4. 1 Korelasi antar arah beban X dengan kekuatan tarik.....	38
Gambar 4. 2 Korelasi antar arah beban Y dengan kekuatan tarik.....	39
Gambar 4. 3 Kekuatan tarik dengan arah beban (Rios Soebaranis dkk., 2012)....	40
Gambar 4. 4 Korelasi arah beban X dengan modulus elastisitas	40
Gambar 4. 5 Korelasi arah beban Y dengan Modulus Elastisitas	41
Gambar 4. 6 Pengaruh fraksi volume pada sifat mekanis (Aramide dkk., 2009) .	42
Gambar 4. 7 Korelasi arah beban X dengan kekuatan bending	43
Gambar 4. 8 Korelasi arah beban Y dengan kekuatan bending	43
Gambar 4. 9 Arah beban terhadap kekuatan bending (Takeuchi dkk., 2012).....	44
Gambar 4. 10 Pengamatan bentuk patahan morfologi makro uji tarik	45
Gambar 4. 11 Patahan terhadap arah beban tarik (Rios Soebaranis dkk., 2012) ..	46
Gambar 4. 12 Patahan uji bending komposit serat <i>woven</i>	47
Gambar 4. 13 Permukaan makro bending (Elbadry dkk., 2018)	48
Gambar 4. 14 Pengamatan mikro komposit serat kaca <i>woven</i>	49
Gambar 4. 15 Patahan permukaan spesimen (Badawy, 2012).....	51
Gambar 4. 16 Mikro komposit tanpa partikel SCG (Hermiansyah dkk., 2018) .	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi matriks eterset 2504 APT	12
Tabel 2. 2 <i>Properties E-glass</i>	13
Tabel 2. 3 Tegangan dan regangan	19
Tabel 2. 4 Kode kegagalan uji tarik	21
Tabel 3. 1 Data pengamatan nilai tegangan tarik dan nilai modulus	36
Tabel 3. 2 Data pengamatan kekuatan bending	36
Tabel 3. 3 Pengamatan morfologi makro dan mikro.....	36

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rekayasa material bidang komposit banyak diterapkan berbagai aplikasi seperti: kapal laut, industri otomotif, industri pesawat terbang, elektronika, peralatan rumah tangga dan peralatan olah raga (Anam dkk., 2018). Indonesia merupakan negara maritim dan mayoritas negara yang mempunyai kepulauan kecil membuat armada laut membutuhkan konstruksi kapal yang ringan untuk digunakan dalam penyebrangan, kapal berbahan komposit dengan penguat serat glass menjadi bahan alternatif pembuatan kapal, Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) berdiskusi bahwa kecelakaan pada kapal berbahan komposit disebabkan faktor kritis konstruksi lambungnya (Ma'aruf, 2011). Komposit serat kaca sebagai lambung kapal memiliki nilai minimum untuk kekuatan tarik 121,23 MPa dan untuk kuat tekuk 116,15 MPa (BKI, 2006).

Komposit harus memiliki persyaratan tertentu agar memiliki keunggulan yang lebih baik dari material lain seperti massa ringan, sifat mekanik yang baik, pembuatan murah dan mudah diperoleh. Komposit polimer relatif mudah dibentuk dan memiliki karakteristik yang lebih dari material lain sehingga digunakan sebagai alternatif pengganti material logam konvensional (Gundara, 2017; Yudiono dkk., 2017). Bahan penyusun komposit terdiri atas matriks dan penguat (*reinforce*). Jenis penguat yang di gunakan dalam pembuatan komposit seperti penguat serat alam dan serat kaca (*fiberglass*). Serat kaca mempunyai nilai yang tinggi saat diuji tarik, nilai density dan nilai kekakuan rendah, mempunyai dimensi yang baik, mempunyai resisten terhadap keadaan dingin dan panas serta tahan terhadap korosi. Sifat mekanik dan fisik dari komposit ditentukan dari kandungannya seperti perbandingan fraksi volume serat, arah serat dalam matriks, penampang lintang serat, sifat mekanis serat maupun matriks, dan kuat ikat serat matriks

(Sari dkk., 2011). Kekuatan mekanik bergantung pada orientasi serat komposit, beban tarik yang diberikan searah serat menghasilkan kekuatan tarik yang maksimal (Yudiono dkk., 2017).

Takeuchi dkk. (2016) meneliti komposit serat bambu lamina terhadap nilai modulus elastisitas dan *poisson* rasio. Hasil penelitian menunjukkan bahwa didapatkan nilai modulus elastisitas 30044 MPa pada pembebanan tekan arah horisontal (sumbu X) dan 265 MPa pada pembebanan tekan arah vertikal (sumbu Y) sedangkan angka *poisson* rasio berdasarkan penekanan memiliki *range* 0,013 sampai 0,278 dan 0,621 sampai 1,506. Carli dkk. (2012) meneliti pengaruh orientasi serat kaca *woven* terhadap kekuatan tarik maksimum dan modulus elastisitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa orientasi serat 90° memiliki kekuatan tarik maksimum dan modulus elastisitas lebih tinggi dibanding orientasi serat 45° . Banakar dan Shivanda, (2012) meneliti pengaruh orientasi serat dan pengaruh ketebalan lamina komposit terhadap sifat tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa menggunakan orientasi serat 90° menghasilkan nilai Modulus Young tertinggi 25760 N/mm^2 dengan ketebalan 2 mm dibanding orientasi serat 30° , 45° . Punyamurthy dkk. (2014) meneliti *composite hybrid* dengan penguat serat abaca terhadap sifat mekanik komposit, dengan menggunakan komposisi 30% (10% serat abaca dan 20% serat gelas) dengan orientasi 0° menghasilkan kekuatan tarik maksimal yaitu 140 MPa, sedangkan dengan komposisi 40% (20% serat abaca dan 20% serat gelas) terhadap orientasi 30° menghasilkan kekuatan bending dengan nilai sebesar 300 MPa.

Sifat anisotropik lamina komposit memiliki keunggulan pada karakteristik orientasi sumbu seratnya terhadap beban tarik dan beban bending yang diberikan sehingga perlu dikaji mendalam untuk dijadikan topik dalam penelitian yang akan dilakukan. Berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa pengaruh arah beban lamina komposit perlu dikaji lebih lanjut untuk hasil yang optimal dengan perbedaan arah beban.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka ditentukan suatu perumusan masalah untuk mengetahui hasil eksperimen pengujian. Rumusan masalah yang dapat ditentukan adalah :

1. Bagaimanakah pengaruh sumbu orientasi pembebanan terhadap nilai modulus elastisitas (E) dan kekuatan tarik pada serat kaca *woven* ?
2. Bagaimanakah pengaruh sumbu orientasi pembebanan terhadap nilai bending komposit lamina *unsaturated polyester* ?
3. Bagaimanakah pengamatan makro dan mikro sesudah dilakukan pengujian ?

1.3 Batasan Penelitian

1. Fokus penelitian yaitu sifat mekanik pada pembebanan F_1, F_2 dan $-F_1, -F_2$. ($\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{13}, \sigma_{23}$)
2. Menggunakan fraksi volume serat dan matriks tetap.
3. Jenis serat menggunakan serat kaca *woven* WR 200 dan matriks *unsaturated polyester* 2504 APT.
4. Menggunakan suhu ruang
5. Tidak membahas tegangan geser
6. Lamina komposit = 0

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Untuk mengetahui nilai modulus elastisitas E_{11}, E_{22} dan kekuatan tarik σ_{11}, σ_{22} , pada arah pembebanan tarik berpenguat serat kaca *woven* orientasi sumbu X, Y.
2. Untuk mengetahui nilai bending σ_{13}, σ_{23} pada orientasi pembebanan tekan sumbu X, Y.
3. Untuk mengetahui patahan makro dan mikro setelah dilakukan pengujian tarik pada arah beban sumbu X dan Y.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memiliki manfaat sebagai berikut :

1. Pengembangan teknologi material dibidang komposit
2. Pemanfaatan material lokal sebagai bahan komposit



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit adalah suatu jenis bahan yang tersusun dari dua material penyusun yang mempunyai sifat yang berbeda, baik sifat fisika maupun sifat kimia tersebut. Material penyusun komposit yang terdiri dua penyusun salah satunya berfungsi sebagai pengikat maupun penguat, melalui pencampuran dua material maka akan menghasilkan suatu material baru yang sifat mekanik dan karakteristiknya berbeda dari material pembentuknya.

Komposit adalah suatu material yang terbentuk secara kompleks dari kombinasi dua atau lebih material pembentukannya melalui campuran yang tidak homogen pada skala makroskopik, dimana akan menghasilkan suatu produk baru dengan mempunyai sifat mekanik yang berbeda dengan penyusunnya (Dante dan Aprianto, 2017).

Tujuan dibuatnya material komposit adalah untuk memperbaiki sifat dari material komposit berupa sifat mekanik, dalam pengaplikasian pembuatan benda material komposit mudah dibentuk, menjadikan material komposit bahan yang ringan namun mempunyai kekuatan yang lebih, dengan pembuatan material komposit yang mudah dibentuk maka bisa juga menghemat biaya dalam pembuatan.

Komposit terdiri dari dua material yang terdiri atas *reinforce* dan matriks. Reinforce adalah penguat dalam komposit yang berupa serat, yang digunakan sebagai penguat matriks, sedangkan untuk matriks sendiri adalah suatu fasa yang mempunyai fraksi volume terbesar yang berguna untuk melindungi *reinforce* dari gangguan eksternal. Fungsi matriks sendiri terdiri atas :

- a. Mentransfer tegangan ke serat.
- b. Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat.
- c. Melindungi serat.
- d. Memisahkan serat.
- e. Melepas ikatan.
- f. Tetap stabil setelah proses manufaktur

Sedangkan untuk sifat-sifat matriks adalah :

- a. Sifat mekanis yang baik.
- b. Kekuatan ikatan yang baik.
- c. Ketangguhan yang baik.
- d. Tahan terhadap temperatur.

2.1.1 Klasifikasi Komposit

Dalam pembuatan komposit matrix komposit diklasifikasikan menjadi beberapa jenis matrix yaitu

1. *Ceramic Matrix Composite* (CMC)

Komposit matrik keramik adalah jenis komposit yang terbuat dari dua fasa material yang berbeda yang mana yang satu berupa matrik keramik dan yang satu berupa penguat berupa serat. Untuk arah serat sebagai penguat terdiri atas arah serat kontinyu, diskontinyu.

2. *Metal Matrix Composite* (MMC)

Komposit matrik logam adalah gabungan dari dua material yang tersusun oleh matrik berupa logam dan penguat berupa serat, dengan jenis serat yang bermacam-macam. Menurut (Dante dan Aprianto, 2017) terdapat beberapa kelebihan matrik logam dibanding matrik polimer diantaranya :

- a. Transfer tegangan dan regangan yang baik
- b. Ketahanan terhadap temperatur tinggi
- c. Tidak menyerap kelembapan
- d. Tidak mudah terbakar
- e. Kekuatan tekan dan geser yang baik
- f. Ketahanan aus dan muai termal yang lebih baik.

Selain itu untuk kelemahannya sendiri adalah :

- a. Biaya mahal
- b. Standardisasi material dan proses yang sedikit

3. *Polimer Matrix Composite* (PMC)

Polimer matriks komposit adalah suatu komposit yang bermatrik polimer dengan penguat berupa serat, dengan adanya serat ini maka matrik polimer

kekuatannya bisa bertambah dikarenakan di topang dengan penguat berupa serat. Pada dasarnya, polimer memiliki sifat mekanik yang terbatas, tetapi dengan adanya penguat maka material ini memiliki kekuatan tarik, kekakuan, ketangguhan, ketahanan abrasi, dan ketahanan korosi yang relatif tinggi (Sofyan, 2011). Selain kelebihan di atas komposit matrik polimer mempunyai kelemahan terhadap panas yang tinggi dan lemah terhadap koefisien ekspansi panas yang besar. Pada komposit polimer ini penguatnya terdiri atas tiga jenis yaitu :

- a. Komposit polimer berpenguat serat gelas
- b. Komposit polimer berpenguat serat karbon
- c. Komposit polimer berpenguat serat aramid

2.1.2 Klasifikasi Jenis Penguat Komposit

Dalam pembuatan komposit selain jenis matriks yang digunakan berbeda-beda jenis penguatnya juga terdiri berbagai jenis penguat, di antaranya :

1. Penguat berbentuk partikel

Komposit dengan penguat berbentuk partikel adalah komposit yang susunanya terdapat partikel, penguat tersebut tersebar merata pada matriksnya sehingga penguat tersebut terdistribusi secara, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



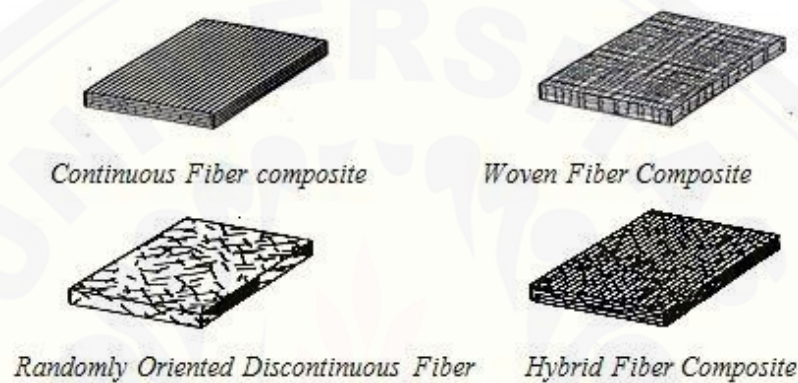
Gambar 2. 1 Komposit partikel (Dante dan Aprianto, 2017)

Dante dan Aprianto, (2017) terdapat beberapa keuntungan menggunakan penguat berupa partikel, diantaranya :

- a. Kekuatannya menyebar merata
- b. Menambah kekuatan dan kekerasannya
- c. Pada penguat partikel ini cara untuk pengerasan dan penguatan di lakukan dengan menghalangi pergerakan dislokasi.

2. Penguat berbentuk serat

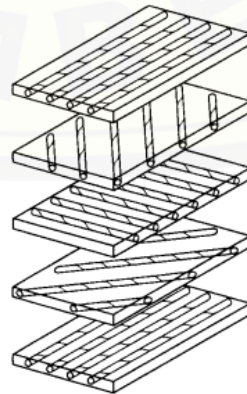
Gambar 2.2 merupakan komposit dengan penguat berbentuk serat merupakan suatu komposit dengan bentuk komposit hanya terdiri satu lapis dengan penguat berupa serat, pada penggunaannya penguat serat terdiri atas serat *glass*, serat karbon, aramid dan lain-lain. Arah serat dalam komposit terdiri berbagai macam arah seperti *continuous fiber composite*, *woven fiber composite*, *discontinuous fiber composite*, *hybrid fiber composite*.



Gambar 2. 2 Orientasi serat (Dante dan Aprianto, 2017)

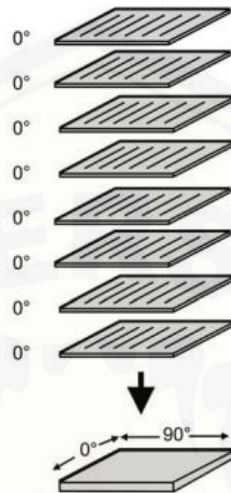
3. Penguat berbentuk struktural

Penguat berbentuk struktural adalah penguat dalam komposit yang seratnya di susun berlapis-lapis. Penguat ini dibedakan menjadi dua tipe yaitu tipe *laminata* dan tipe *sandwich*, untuk tipe *laminata* disusun sebanyak beberapa lapis kemudian dijadikan bentuk komposit seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. Setiap lapis dari tipe *laminata* mempunyai karakteristik yang berbeda-beda.



Gambar 2. 3 Laminata komposit (Jones dan Devens, 1999)

FC Champbell, Pembuatan komposit menggunakan penguat lebih dari satu yang digabung menjadi satu dengan orientasi yang sama pada setiap lapisan komposit disebut lamina, seperti ditunjukkan Gambar 2.4.



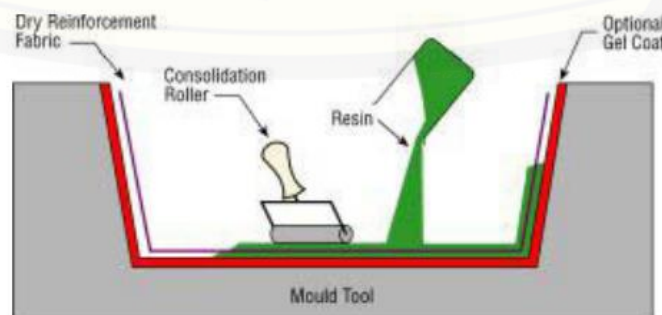
Gambar 2. 4 Lamina komposit (FC Champbell, 2010)

2.2 Metode Pembuatan Komposit

Proses pembuatan komposit dilakukan dengan menggunakan proses cetakan terbuka (*open-mold process*) dan proses cetakan tertutup (*closed mold process*), dengan beberapa metode sebagai berikut :

2.2.1 *Hand Lay Up*

Metode *Hand lay up* merupakan proses mencampurkan resin dan katalis ke dalam cetakan sampai membentuk material komposit, setelah itu dilakukan perataan dengan menggunakan roller seperti Gambar 2.5. Metode *Hand-Lay Up* ini merupakan metode yang paling sederhana untuk pembuatan komposit.



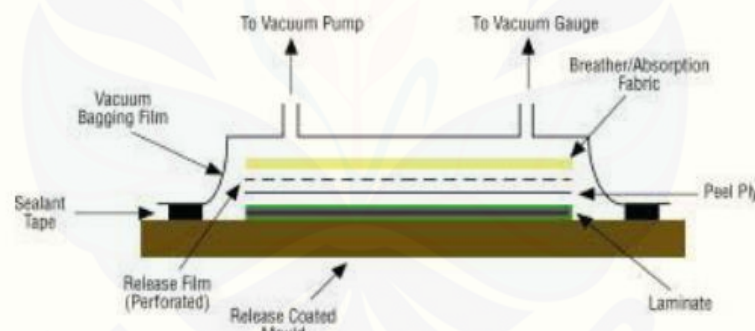
Gambar 2. 5 Pembuatan komposit dengan *Hand Lay Up* (Anonim, 2002)

2.2.2 Vacuum Molding

Metode *Vacuum Molding* merupakan metode yang dapat meminimalisir terjadinya void, proses metode ini yaitu dengan mengalirkan resin menggunakan pompa vacuum kemudian masuk kedalam cetakan yang sudah di buat. Metode ini hampir sama dengan metode vacuum bag namun perbedaannya pada penutupnya, kalau vacuum bag memakai plastik namun vacuum molding tergantung dari bahan cetakan seperti kaca atau plastik.

2.2.3 Vacuum Bag

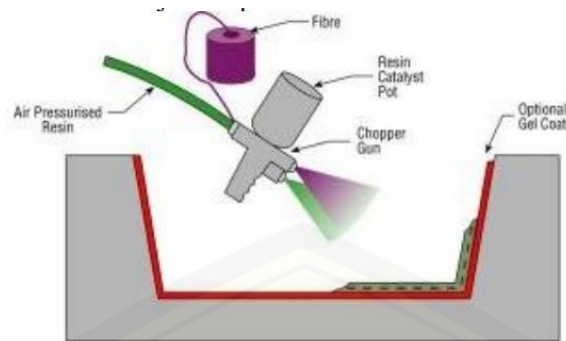
Gambar 2.6 metode *Vacuum Bag* yang dilakukan dengan proses menghisap udara dalam cetakan yang akan dibuat spesimen komposit, setelah itu udara yang dari luar penutup plastik akan mendorong campuran resin dan katalis untuk masuk kedalam cetakan, dengan begitu maka udara dalam cetakan akan terdorong keluar. Proses ini memiliki sifat adhesi yang baik pada lapisannya, sehingga udara dalam cetakan dapat di minimalisir.



Gambar 2. 6 Pembuatan komposit *Vacuum Bag* (Anonim, 2002)

2.2.4 Spray Up

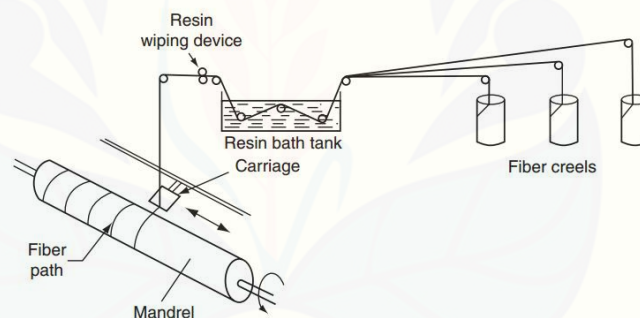
Gambar 2.7 proses *spray-up* dilakukan pada sebuah tempat pemotongan dengan adanya serat yang lewat kemudian dilakukan penyemprotan pada serat. Resin dan katalis yang sudah tercampur juga di semprotkan pada wadah spray yang sudah disiapkan, setelah itu komposit dibiarkan mengeras pada kondisi atmosfer standar. Setelah proses tersebut material komposit akan mengalami pengerasan dan material bisa digunakan untuk pengujian atau bisa digunakan sebagai aplikasi yang sudah direncanakan.



Gambar 2. 7 Pembuatan komposit *Spray Up* (David, 2010)

2.2.5 *Filament Winding*

Gambar 2.8 merupakan metode *Filament Winding* dengan cara penggulungan benang pada mandrel, prosesnya yaitu benang dilewatkan pada wadah yang berisi campuran resin dengan katalis kemudian serat akan di putar oleh mandrel dengan gerakan dua arah yaitu arah radial dan tangensial. Proses tersebut di lakukan berulang-ulang sampai ketebalan yang di inginkan.



Gambar 2. 8 Pembuatan komposit metode *Filament Winding* (Mallick, 2008)

2.3 *Polyester*

Polyester adalah resin yang digunakan dalam pembuatan komposit yang mempunyai nilai viskositas paling rendah, dalam pembuatan komposit resin tersebut harus di tambah katalis untuk membuat material komposit mengeras. Jenis resin *polyester* terdiri atas resin tidak jenuh (*unsaturated polyester*) dan resin jenuh (*saturated polyester*). Jenis *polyester* tidak jenuh dapat mengeras (*curing*) dari fasa cair menjadi fasa padat, sedangkan untuk jenis resin jenuh tidak bisa mengeras seperti jenis resin tidak jenuh dan proses *hand lay up*, jenis resin tidak jenuh cocok sebagai pembentukan GFRP (*Glass Fiber Reinforce Plastic*) seperti ditunjukkan Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Matriks *unsaturated polyester* eterset 2504 (Pradana, 2017)

Matriks *unsaturated polyester* eterset 2504 memiliki spesifikasi karakteristik kekuatan yang dikeluarkan oleh industri yang membuat jenis resin tersebut, karakterteristik resin pada Gambar 2.9 diuraikan pada Tabel 2.1 yang dapat dilihat karakteristiknya beserta nilainya.

Tabel 2. 1 Spesifikasi matriks eterset 2504 APT

Sifat	Nilai Satuan dalam Matrik	Nilai dalam Satuan US
Densitas	$1,12 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$	70 lb/ft ³
Modulus Elastisitas	3,4 GPa	493 Ksi
Kekuatan Tarik	60 GPa	870 Psi
Penguluran	2 %	2 %
Kekuatan Lendut	113 MPa	16400 Psi
Ekspansi Termal	$31 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}$	$17 \times 10^{-6} \text{ in/(in.hr)}$
Konduktivitas Termal	0,17 W/(m.K)	1,18 BTU.in/(hr.ft ² .°F)
Temperatur Kerja Maksimum	170°C	325°F

(Sumber: Pradana, 2017)

2.4 Fiber Glass

Fiber glass merupakan penguat yang terbuat dari serat kaca yang bagus dan tidak mudah terbakar jika digunakan dalam pembuatan komposit. Komposit dengan penguat *fiber glass* dapat digunakan pengganti besi dalam kapal, pagar, bumper mobil karena mempunyai massa yang ringan dan sifat tarik maupun penekanan yang lebih besar dari besi (Munasir, 2011). *Fiber glass* mempunyai kandungan silika yang memiliki sifat mampu menambah sifat mekanik dari komposit. Berdasarkan jenisnya serat gelas terdiri atas *E-glass*, *C-glass*, dan *S-glass*, namun

pada penelitian ini menggunakan serat *glass woven* seperti tunjukkan Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Susunan serat gelas *woven roving* (Carli dkk., 2012)

Jenis serat gelas ada bermacam-macam jenisnya dan memiliki sifat mekanis sendiri-sendiri, berdasarkan Gambar 2.10 sifat mekanis di jelaskan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 *Properties E-glass*

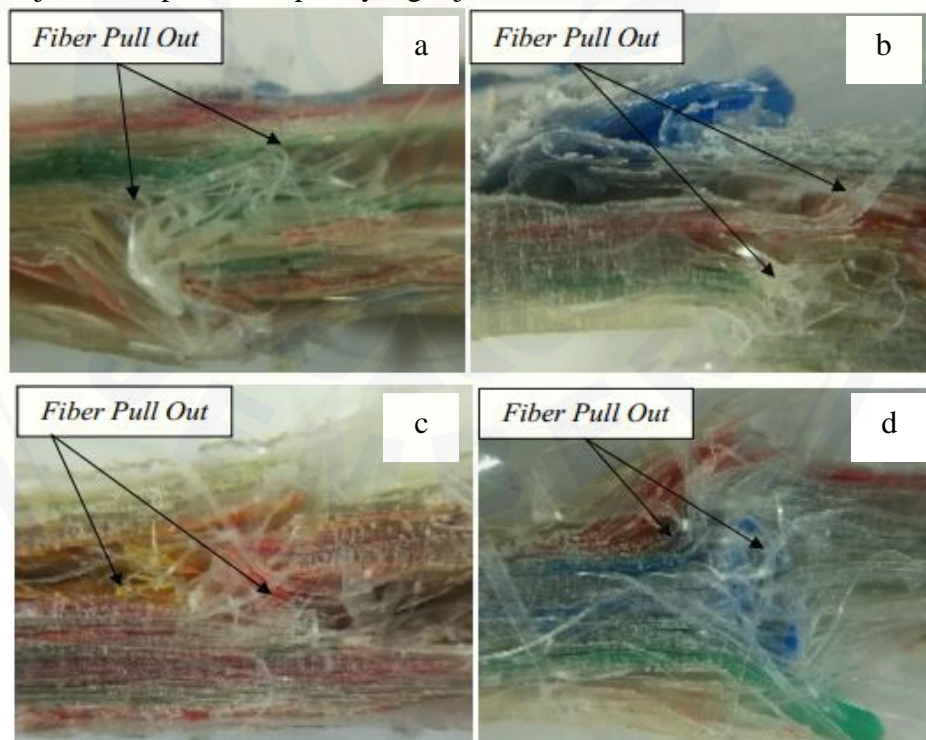
Sifat Mekanis	Satuan	Nilai
Densitas	Kg/m ³	2530 s.d 2600
Modulus Elastisitas	GPa	7,3
Kekutan Tarik	MPa	350
Elongation	%	4,8

(Sumber: Carli., 2012)

2.5 Penelitian Terdahulu

Ma'aruf, (2013) melakukan penelitian tentang analisis kekuatan laminasi lambung kapal *fiberglass* yang menggunakan serat *multiaxial*, hasil menunjukkan bahwa dengan menggunakan serat *multiaxial* hasil lebih tinggi dibanding komposit laminate serat *woven* dan serat acak, kekuatan tarik maksimal yaitu 202 MPa dan bending 315 MPa. Banakar dan Shivanda, (2012) meneliti pengaruh orientasi serat dan pengaruh ketebalan lamina komposit terhadap sifat tarik. Hasil menunjukkan bahwa menggunakan orientasi serat 90° menghasilkan nilai modulus young's tertinggi 25760 N/mm² dengan ketebalan 2 mm dibanding orientasi serat 30°, 45°. Carli dkk., (2012) meneliti pengaruh orientasi serat kaca *woven* terhadap kekuatan tarik maksimum dan modulus elastisitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa orientasi serat 90° memiliki kekuatan tarik maksimum dan modulus elastisitas lebih tinggi dibanding orientasi serat 45°. Punyamurthy dkk., (2014) meneliti hybrid

komposit dengan penguat serat abaca terhadap sifat mekanik komposit, dengan menggunakan komposisi 30% (10% serat abaca dan 20% serat gelas) dengan orientasi 0^0 menghasilkan kekuatan tarik maksimal yaitu 140 MPa, sedangkan dengan komposisi 40% (20% serat abaca dan 20% serat gelas) terhadap orientasi 30^0 menghasilkan kekuatan bending paling maksimal yaitu 300 MPa. Takeuchi, dkk (2016) meneliti komposit serat bambu lamina terhadap nilai modulus elastisitas dan poisson rasio. Hasil penelitian menunjukkan bahwa didapatkan nilai modulus elastisitas 30044 MPa pada pembebanan tekan arah horisontal (sumbu X) dan 265 MPa pada pembebanan tekan arah vertikal (sumbu Y) sedangkan angka poisson rasio berdasarkan penekanan memiliki range 0,013 sampai 0,278 dan 0,621 sampai 1,506. Yudiono dkk. (2017) meneliti pengaruh orientasi lamina serat pada kekuatan tarik komposit anyaman serat karung plastik bekas (*woven bag*), hasil menunjukkan bahwa tegangan tarik tertinggi terdapat pada spesimen dengan orientasi serat $0^0/0^0/0^0/0^0$ sebesar 30 N/mm². Patahan yang terjadi setelah dilakukan pengamatan makro terjadi fiber pull out seperti yang dijelaskan Gambar 2.11.



(a) Orientasi serat $0^0/0^0/0^0/0^0$; (b) Orientasi serat $0^0/+30^0/0^0/+30^0$;
 (b) Orientasi serat $0^0/+45^0/0^0/+45^0$; (d) Orientasi serat $0^0/+60^0/0^0/+60^0$
 Gambar 2. 11 Penampang patahan orientasi komposit (Yudiono, 2017)

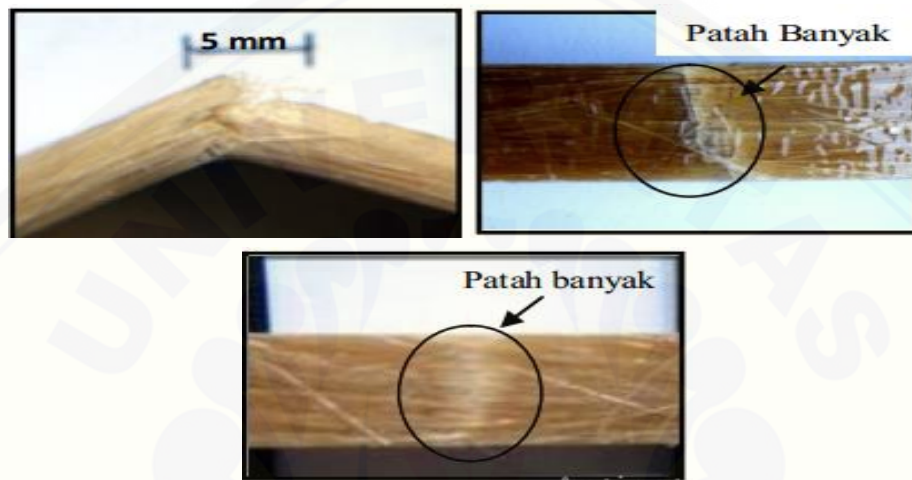
Carli dkk., (2012) juga meneliti pengaruh orientasi serat kaca *woven* terhadap kekuatan bending maksimum dan modulus elastisitas. Hasil menunjukkan bahwa dengan penekanan 60 N dan lama penekanan 30 s serat dengan orientasi serat 90° memiliki kekuatan tarik maksimum dan modulus elastisitas lebih tinggi dibanding orientasi serat 45° , selain itu pengamatan makro dari komposit ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.12.



(a) Orientasi serat $0^\circ/90^\circ$; (b) Orientasi serat $45^\circ/-45^\circ$
Gambar 2. 12 Pengamatan makro uji tarik (Carli dkk., 2012)

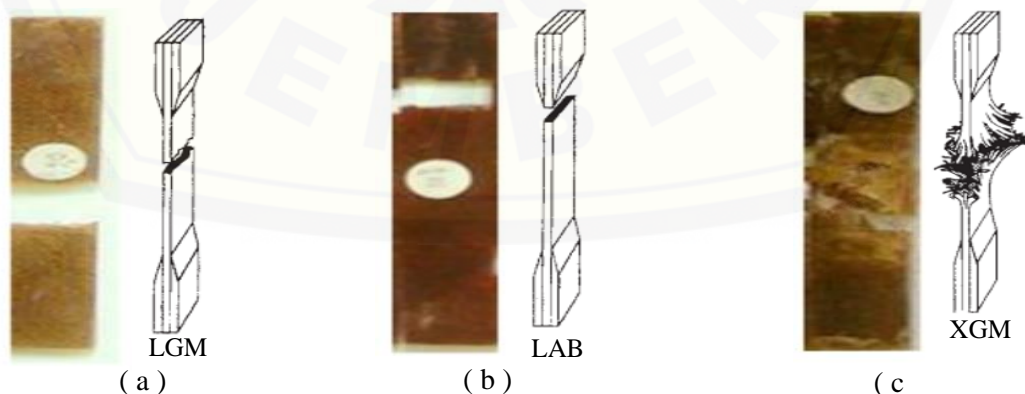
Ma'aruf dan Jamaluddin, (2010) melakukan kajian mengenai teknologi pembangunan skala komersil kapal *SEP-Hull* berbahan *fiberglass*, pada kajian materialnya bahan yang digunakan adalah resin yukalac 157 BQTN dengan susunan lapisan Gelcoat, Mat 300 (1 lapis), Mat 450 (2 lapis), dan WR 600 (2 lapis), kemudian bahan pembandingnya menggunakan jenis bahan dan susunan lapisan yang sama, namun pada lapisan terakhir memakai WR 800 (2 lapis). Hasil menunjukkan bahwa pada spesimen yang dibuat rata-rata kuat tekuknya sebesar 143 MPa dengan syarat minimum kuat tekuk 149 MPa, hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekuk tidak memenuhi syarat yang sudah ditentukan, sedangkan untuk bahan hasil pembanding nilai kekuatan tarik dan kuat tekuknya memenuhi syarat yang minimum yang sudah di tentukan. Syahril dan Huda, (2018) melakukan kajian mengenai perhitungan struktur kapal dan kajian mengenai variasi penyusunan serat berdasarkan orientasi arah untuk mendapatkan susunan laminasi yang optimum, berdasarkan penelitiannya yaitu menggunakan serat gelas CSM 450 dan WR 800 sebagai penguat yang orientasi arah yang divariasikan yaitu 0° , 15° , 30° dan 45° didapatkan hasil yang memiliki defleksi paling kecil yaitu susunan laminasi serat arah 45° . Rahman, (2008) melakukan penelitian tentang Studi

Optimasi Peningkatan Kekuatan Bending Komposit Berpenguat Serat Nanas Nanasan (Bromeliaceae) Kontinu Searah. Hasil menunjukkan bahwa dengan perendaman alkali selama 6 jam dan fraksi volume serat paling banyak 34,96 % dengan hasil 218,06 MPa dan modulus paling maksimum dengan perendaman alkali selama 4 jam dengan hasil 5,92 GPa, bentuk patahan komposit serat nanas dapat diamati seperti pada gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Penampang patah dengan perlakuan alkali (Rahman, 2008)

Nasiruddin, (2014) terdapat tiga kode huruf yang harus dipahami untuk mengetahui tipe dan posisi patahan yang terjadi, kode huruf yang pertama menjelaskan mengenai tipe kegagalan komposit polymer, yang kedua menunjukkan letak area kegagalan komposit polymer dan kode huruf yang ketiga menjelaskan mengenai posisi patahan spesimen tersebut terjadi seperti yang ditunjukkan Gambar 2.14.



(a) *Lateral Gage Middle*; (b) *Lateral At Grib/Tab Bottom*; (c) *Explosive Gage Middle*
Gambar 2. 14 Jenis patahan komposit (Nasiruddin, 2014)

2.6 Pengujian Tarik

Pengujian tarik digunakan untuk mengetahui suatu material seberapa nilai uji tarik paling maksimal, dengan cara menarik sebuah spesimen dengan suatu beban sampai spesimen putus. Dari uji tarik tersebut maka suatu regangan dan tegangan pada spesimen dapat di lihat, dengan begitu maka sifat mekanik dari material dapat dilihat dan mudah dalam merencanakan material. Rumus yang di pakai untuk menghitung tegangan dapat di tulis seperti berikut (Gere dan Timoshenko, 2002) :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan :

σ = Tegangan tarik (MPa)

F = Gaya uji tarik (N)

A = Luas penampang spesimen (mm²)

Regangan adalah perubahan panjang suatu material apabila dibebani secara aksial, material menjadi panjang jika mengalami beban tarik dan menjadi pendek jika mengalami beban tekan (Gere dan Timoshenko, 2002) :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.2)$$

Keterangan :

ε = Regangan tarik (MPa)

ΔL = Perubahan panjang (mm)

L = Panjang Awal

Modulus Elastisitas adalah konstanta proporsionalitas yang didapatkan dari kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastis linear (Gere dan Timoshenko, 2002) :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.3)$$

Keterangan :

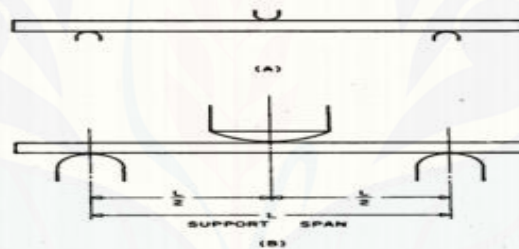
E = Modulus Elastisitas (GPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan (MPa)

2.7 Pengujian Bending

Gambar 2.15 adalah skema proses pengujian bending, ASTM D790 adalah standard yang digunakan dalam proses penentuan dimensi sampel maupun tahapan dalam proses bending yang dilakukan. Skema pengujian ini adalah dengan meletakkan spesimen yang berbentuk kotak memanjang diatas 2 buah span kemudian tegangan diberikan pada titik tengah spesimen



Gambar 2. 15 Pengujian bending (ASTM D 790)

Radius yang digunakan pada gambar (a) minimal 3,2 mm, (b) span untuk penyangga sampel radius yang dipakai maksimal menggunakan radius 1,6 x dari tebal spesimen, radius pada pembebanan maksimal menggunakan radius dengan ukuran 4 x dari tebal sampe komposit. Penggunaan sampel dengan ukuran tebal 1,6 mm atau ketebalannya lebih besar menggunakan jarak span 16 dengan toleransi kurang lebih 1 x dari ketebalan sampel. Proses perhitungan kekuatan kekuatan bending (ASTM D 790) :

$$\sigma = \frac{3 P L}{2 b d^2} \quad (2.4)$$

Keterangan :

σ = Tegangan bending (MPa)

P = Beban (N)

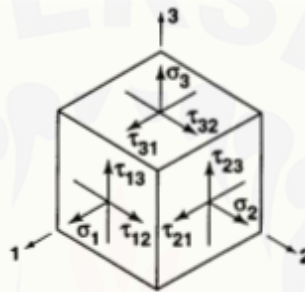
L = Jarak span (mm)

b = Lebar sampel (mm)

d = Tebal sampel (mm)

2.8 Hubungan Tegangan dan Regangan *Anisotropic* Material

Gambar 2.16 menunjukkan sifat *Anisotropic* material, yang merupakan komposit yang mempunyai nilai kekuatan yang berbeda pada setiap arah penguatnya berdasarkan beban yang diberikan searah dengan serat, sehingga tegangan regangan akan mempunyai nilai yang berbeda.



Gambar 2. 16 Tegangan pada element (Jones dan Devens, 1999)

Sifat yang dimiliki komposit pada bab 2.8 yaitu hubungan tegangan dan regangan pada *anisotropic* material terhadap arah beban yang diberikan pada komposit dapat diuraikan beberapa tegangan tarik, tegangan tersebut dapat diuraikan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Tegangan dan regangan

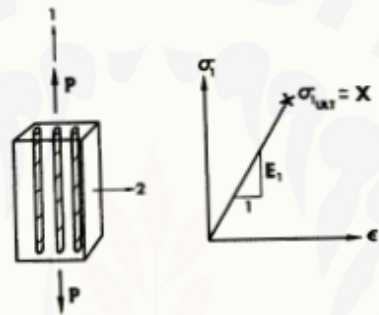
Stresses		Strains	
Tensor Notation	Contracted Notation	Tensor Notation	Contracted Notation
σ_{11}	σ_1	ϵ_{11} (ϵ_1)	ϵ_1
σ_{22}	σ_2	ϵ_{22} (ϵ_2)	ϵ_2
σ_{33}	σ_3	ϵ_{33} (ϵ_3)	ϵ_3
$\tau_{23} = \sigma_{32}$	σ_4	$\gamma_{23} = 2\epsilon_{23}$	ϵ_4
$\tau_{31} = \sigma_{31}$	σ_5	$\gamma_{31} = 2\epsilon_{23}$	ϵ_5
$\tau_{12} = \sigma_{12}$	σ_6	$\gamma_{12} = 2\epsilon_{23}$	ϵ_6

(Sumber: Jones dan Devens, 1999)

2.8.1 Penentuan Pembebanan Arah 1

Penentuan beban tarik pada arah 1 yaitu pada spesimen penguat serat lurus lamina, bahwa ketebalan spesimen tidak hanya satu lamina tetapi beberapa lamina dengan dengan orientasi serat yang sama, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.17. Dengan persamaan yang dapat di munculkan sebagai berikut (Jones dan Devens, 1999) :

$$\sigma_1 = \frac{p_1}{A_1} \quad E_1 = \frac{\sigma_1}{\epsilon_1} \quad \nu_{12} = -\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \quad (2.5)$$

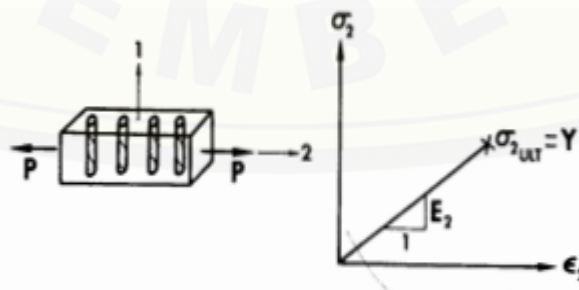


Gambar 2. 17 Pembebanan arah 1 (Jones dan Devens, 1999)

2.8.2 Penentuan Pembebanan Arah 2

Penentuan pada pembebanan arah 2 yaitu pembebanan tarik dilakukan pada arah 2 dengan lamina penguat serat lurus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.18. Persamaan yang dapat dimunculkan sebagai berikut (Jones dan Devens, 1999)

$$\sigma_2 = \frac{p_2}{A_2} \quad E_2 = \frac{\sigma_2}{\epsilon_2} \quad \nu_{21} = -\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \quad (2.6)$$

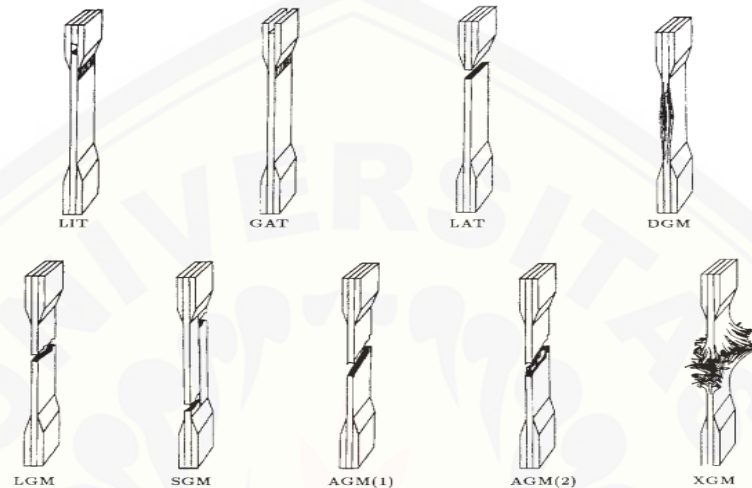


Gambar 2. 18 Pembebana arah 2 (Jones dan Devens, 1999)

2.9 Karakterisasi Komposit

2.9.1 Pengamatan Morfologi Makro

Pengamatan morfologi makro komposit dilakukan untuk melihat posisi patahan spesimen setelah diberikan beban tarik, Gambar 2.19 menunjukkan patahan menurut ASTM D 3039.



Gambar 2. 19 Bentuk patahan (ASTM D 3039)

Pada Gambar 2.19, karakter bentuk patahan setelah dilakukan pengujian tarik dapat diamati patahan yang terjadi dan beberapa penyebabnya atau tipe kegagalan.

Tabel 2. 4 Kode kegagalan uji tarik

Karakter Pertama		Karakter Kedua		Karakter Ketiga	
Tipe Kegagalan	Kode	Tipe Kegagalan	Kode	Tipe Kegagalan	Kode
Sudut	A	Didalam Grip/cekam	I	<i>Bottom</i>	B
Delaminasi	D	Pada Grip/cekam	A	<i>Top</i>	T
Grip/cekam	G	< 1 W dari grip/cekam	W	<i>Left</i>	L
<i>Lateral</i>	L	Gage	G	<i>Right</i>	R
<i>Multi-mode</i>	M(xy)	<i>Multiple Areas</i>	M	<i>Middle</i>	M
<i>Long Splitting</i>	S	<i>Varius</i>	V	<i>Varius</i>	V
<i>Explosive</i>	X	<i>Unknown</i>	U	<i>Unknown</i>	U
<i>Other</i>	O				

(Sumber: ASTM D 3039)

2.9.2 Pengamatan Morfologi Mikro

Pengujian morfologi mikro adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari spesimen dengan skala 1–100 μm dengan menggunakan alat optical seperti ditunjukkan.

Pengamatan mikro digunakan sebagai pengamatan lanjut dari suatu material untuk melihat fenomena-fenomena yang terjadi. Pengamatan tersebut dapat menganalisis kegagalan-kegagalan spesimen yang dapat mempengaruhi sifat mekanik yang kurang optimal. Adanya pengamatan maka diharapkan dalam melakukan proses penelitian dengan sempurna dan dapat meminimalisir terjadinya kegagalan spesimen komposit.

2.9.3 Karakteristik Patahan

Klasifikasi patahan terdiri atas beberapa macam diantaranya adalah

1. Patah banyak

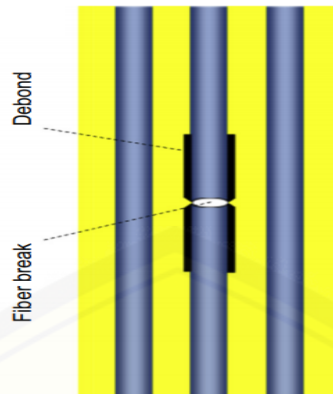
Pada umumnya saat keadaan retak serat dan matrik memiliki besar regangan yang berbeda. Ketika komponen dengan regangan patah yang lebih kecil retak, maka beban yang semula didistribusikan oleh komponen tersebut akan dialihkan ke komponen lainnya. Namun jika komponen dengan regangan retak yang lebih tinggi dapat memikul beban tambahan tersebut maka komposit akan menunjukkan retak banyak pada komponen yang rapuh. Wujud fenomena ini adalah terjadinya kegagalan akibat penampang lintang tertentu lemah sehingga tidak mampu menahan beban

2. Patah tunggal

Patah yang terjadi pada satu bidang akibat serat dan matrix tidak mampu menahan beban tambahan, semua serat akan patah pada bidang tersebut dengan potongan - potongan yang pendek. Begitu pula dengan spesimen komposit akan patah pada bidang tersebut.

3. *Debonding*

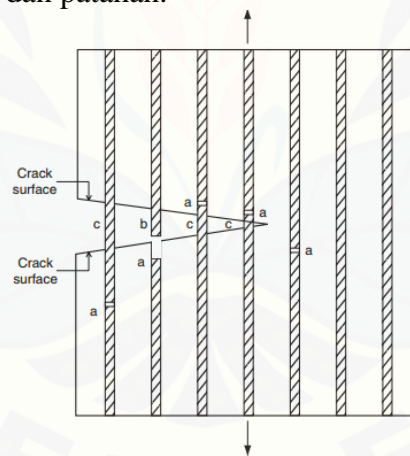
Debonding merupakan terlepasnya serat dari ikatan yang menyebabkan serat tidak terbungkus oleh matrix seperti ditunjukkan Gambar 2.20. Penyebabnya adalah gaya geser pada interface atau gaya tarik antara dua elemen yang saling kontak yang tidak mampu ditahan oleh resin.



Gambar 2. 20 *Debonding* (Pupurs, 2016)

4. *Fiber Pull out*

Fiber Pull out merupakan jenis patahan yang disebabkan karena beban tarik sehingga matrix mengalami keretakan dan serat tercabut dari *matrix* seperti ditunjukkan Gambar 2.21. Dalam keadaan tersebut beban tarik masih dapat di tahan oleh material komposit, namun seiring bertambahnya *deformasi* maka serat akan mengalami *debonding* dan patahan.



Gambar 2. 21 Skematik *Fiber Pull out* komposit (Mallick, 2008)

2.10 Hipotesis

Serat kaca *woven* memiliki arah X dan Y yang digunakan sebagai penguat komposit lamina. Komposit saat diberikan beban tarik F_1 pada arah X akan memiliki karakteristik modulus elastisitas E_{11} yang sama dengan karakteristik modulus elastisitas E_{22} pada pembebanan tarik F_2 arah Y tetapi tidak sama dengan karakteristik kekuatan bending pada $-F_2$. Hal ini disebabkan pembebanan tarik F_1

dan F_2 searah dengan orientasi serat yang sama X Y dan Y X. Nilai bending pada sumbu X dan sumbu Y menghasilkan nilai yang berbeda, perbedaan tersebut disebabkan karena pembebanan sumbu X berdasarkan ketebalan serat sehingga nilai kekuatan bending lebih tinggi dibanding pembebanan pada sumbu Y.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Pelaksanaan Penelitian di Laboratorium Teknologi Terapan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Bahan

1. Resin eterset 2504 APT

Penelitian ini menggunakan jenis resin *unsaturated polyester* dengan tipe eterset 2504 APT yang ditunjukkan Gambar 3.1, dengan spesifikasi seperti dalam Tabel 2.1.



Gambar 3. 1 Resin eterset 2504 APT

2. Katalis

Katalis digunakan untuk mempercepat proses *curing* pada komposit, katalis yang digunakan memiliki senyawa MEKPO (*Metyl Etyl Keton Peroksida*) seperti ditunjukkan Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Katalis

3. Serat kaca *woven*

Serat kaca adalah penguat yang digunakan dalam pembuatan komposit, jenis serat kaca yang dipakai menggunakan serat kaca *woven* dengan ukuran WR 200 seperti yang ditunjukkan Gambar 3.3 dengan spesifikasi seperti Tabel 2.2.



Gambar 3. 3 Serat kaca *woven* WR 200

3.3.2 Alat

1. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat resin dan serat sesuai fraksi volume yang ditentukan seperti ditunjukkan Gambar 3.4. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Kapasitas : Akurasi 500 g / 0,01g
- b. Satuan : gr, oz, ozt, ct, gn, dwt
- c. Layar LCD Biru : Fungsi memunculkan penghitungan Pcs
- d. Ukuran Pan Besar : 100 x 100 mm
- e. Ukuran produk : 125 x 74 x 20 mm
- f. Ukuran LCD : 36 x 17,5 mm
- g. Tombol Tare : Fungsi mengesolkan berat objek
- h. Indikator baterai rendah : AAA x 2 pc



Gambar 3. 4 Timbangan digital

2. Gunting

Gambar 3.5 adalah gunting yang digunakan untuk memotong serat sesuai dimensi cetakan



Gambar 3. 5 Gunting

3. Wadah campuran bahan

Wadah digunakan sebagai pencampuran resin dan katalis seperti yang ditunjukkan Gambar 3.6, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Bahan : Plastik
- Volume : 5 Liter
- Diameter : 21 cm
- Tinggi : 21 cm
- Varian warna : Biru, Hijau, Pink



Gambar 3. 6 Wadah bahan

4. Suntikan

Suntikan digunakan untuk mengukur katalis berdasarkan fraksi volume yang ditentukan seperti ditunjukkan Gambar 3.7. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Nama : Sduit 1 cc dan 3 cc Gidcare
- b. Jenis : Alat suntik dengan jarum
- c. Ukuran : 1 c
- d. Merk : Gidcare
- e. Isi : 100 Unit
- f. Kemenkes RI AKL : 20902412148



Gambar 3. 7 Suntikan

5. Kaca

Kaca digunakan sebagai cetakan komposit dengan dimensi sesuai ASTM yang ditentukan seperti ditunjukkan Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Kaca

6. Mesin Uji Tarik

Mesin uji tarik yang digunakan pada penelitian ini adalah *Computer Universal Machine Testing* HT-2402 seperti yang ditunjukkan Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Mesin uji tarik

7. *Double tip*

Double tip merk digunakan untuk tambahan merekatkan sambungan cetakan kaca seperti ditunjukkan Gambar 3.10, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Merk : Nachi
- b. Lebar : 6mm
- c. Isi : 40 satu slop
- d. Jenis perekat : perekat 2 sisi



Gambar 3. 10 Double tipe

8. Plastisin

Gambar 3.11 adalah plastisin (malam) yang digunakan sebagai penghambat kebocoran pada cetakan kaca, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Bahan : Terbuat dari plastisin
- b. Sifat : Tidak lengket
- c. Warna : Variatif (Merah, hijau, biru, orange, coklat, pink)
- d. Ukuran pack : 8.5 X 5



Gambar 3. 11 Plastisin

9. Lem kaca

Lem kaca digunakan untuk merekatkan cetakan kaca untuk menahan spesimen komposit saat mulai mengalami proses *curing* seperti ditunjukkan Gambar 3.12, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Merk : Best
- b. Berat : 85 Gram
- c. Warna : Clear/ Bening



Gambar 3. 12 Lem kaca

10. Mikroskop digital

Digital microscope pada penelitian ini digunakan untuk melihat struktur mikro hasil pengujian seperti ditunjukkan Gambar 3.13, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Image sensor : 2 Mega Pixel Cmos
- b. Controller : kecepatan tinggi dsp
- c. Lensa : Lensa Scope Micro

- d. Rentang fokus : Manual Fokus, dari 3mm sampai 40mm
- e. Snap shot : Dapat dilakukan pada software dan hardware.
- f. Resolusi video : 1600×1200 (2 m pixel), 1280×960 (1.3 m pixel),
800×600, 640 x 480
- g. Resolusi gambar : 1600×1200 (2 m pixel), 1280×960 (1.3 m
pixel),800×600, 640 x 480
- h. Frame rate : max. 30F/s dibawah tingkat kecerahanan 600 lux
- i. Flicker Control : 50 hz/60 hz option
- j. Video format : avi
- k. Snap shot Format : JPEG
- l. Pencahayaan : 8 LED (dengan controller pada kabel usb)
- m. Rasio pembesaran : 40x ~ 800x (manual)
- n. Power supply : port usb (5 v dc)
- o. Software : AMCAP (driver)
- p. Kebutuhan sistem : Komputer minimum pentium 700 MHz atas, 20 m
Harddisk, cd rom, Ram 128 mb, Direct X Vga
Card
- q. Support USB : USB2.0 & USB1.1
- r. Operasional System : windows 7 32 bit/vista/xp
- s. Dimensi : 11,2cm x 3,3cm
- t. Aksesoris : Bracket, dan cd rom (driver)



Gambar 3. 13 Mikroskop digital

11. Kamera

Kamera digunakan untuk mendokumentasikan setiap proses pembuatan komposit dan hasil pengujian seperti ditunjukkan Gambar 3.14.



Gambar 3. 14 Kamera

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam pengujian ini adalah variabel bebas, variabel kontrol dan variabel terikat.

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang menyebabkan perubahan pada variabel terikat. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah pembebanan F_1 , F_2 dan $-F_1$, $-F_2$ terhadap orientasi sumbu serat.

3.3.2 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah menggunakan matriks *unsaturated polyester* 2504 APT dan serat kaca *woven* WR 200 dengan fraksi volume matrix 68,39 % dan fraksi volume serat 30, 38 %

3.3.3 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai modulus elastisitas E_{11} , E_{22} nilai kekuatan tarik σ_{11} , σ_{22} dan nilai bending σ_{13} , σ_{23} .

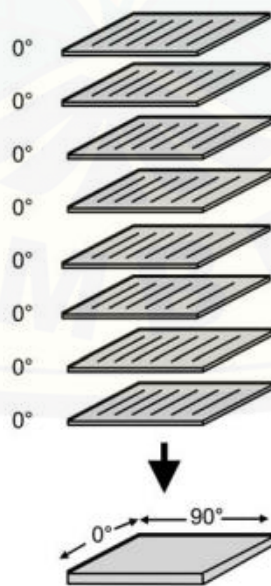
3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Langkah – Langkah Pembuatan Sampel

1. Menyiapkan alat dan bahan.
2. Memotong serat gelas sesuai dimensi cetakan
3. Membuat cetakan dari kaca sesuai dimensi ASTM D 3039 pada arah pembebanan tarik F_1, F_2 .
4. Meletakkan serat gelas pada rongga cetakan dan menggabungkan cetakan menggunakan isolasi, lem kaca dan malam (plastisin)
5. Melakukan proses pencampuran bahan dengan fraksi volume matrix 68,39 % dan fraksi volume serat 30,38 %.
6. Melakukan penuangan matriks pada cetakan yang sudah berisi serat.
7. Melepas spesimen yang sudah kering dari cetakan
8. Memotong spesimen dengan gergaji tangan pada arah X dan Y
9. Mengukur spesimen dengan jangka sorong

3.4.2 Susunan Penguat Serat Kaca dan Pemotongan Komposit

Serat kaca woven sebagai penguat disusun dengan orientasi yang tetap pada setiap lapisan, penguat yang digunakan lebih dari satu dan digabung menjadi satu. Susunan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.15.

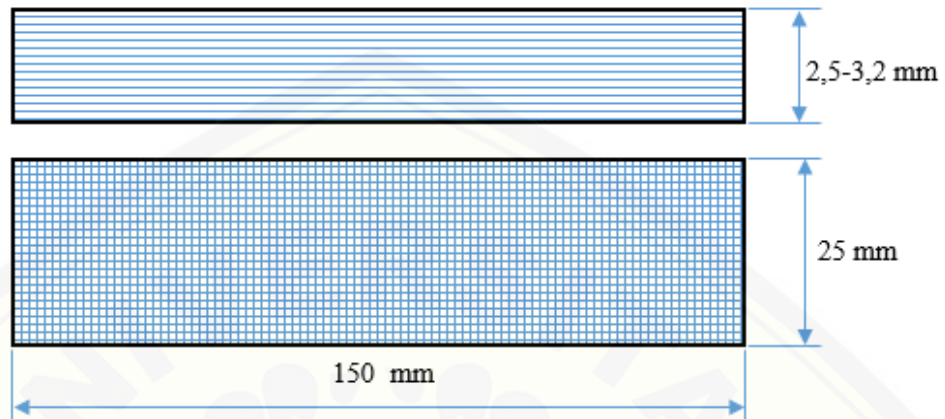


Gambar 3. 15 Susunan serat kaca

3.5 Langkah Pengujian Sampel

3.5.1 Langkah – Langkah Pengujian Tarik

1. Menyiapkan alat dan spesimen komposit sesuai ASTM D 3039

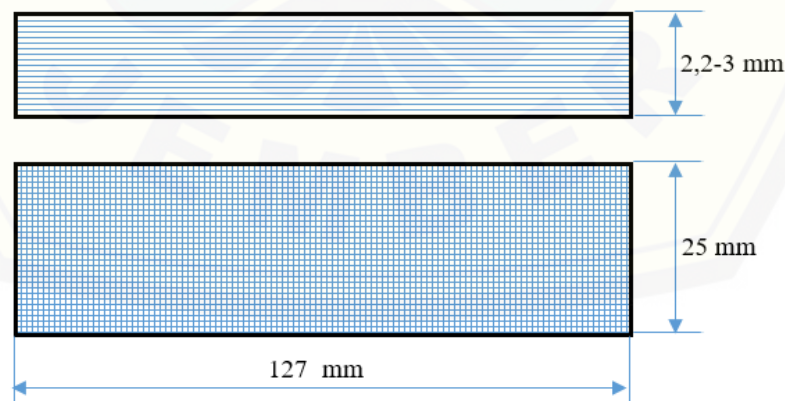


Gambar 3. 16 Dimensi uji tarik

2. Menjepit spesimen pada alat uji tarik
3. Mengatur alat *displacement* sampai benar-benar 0
4. Mernjalankan arduino pada laptop yang terhubung dengan alat displacement
5. Melakukan dongkrak pada alat uji tarik
6. Mencatat hasil yang tertera pada arduino

3.5.2 Langkah – Langkah Pengujian Bending

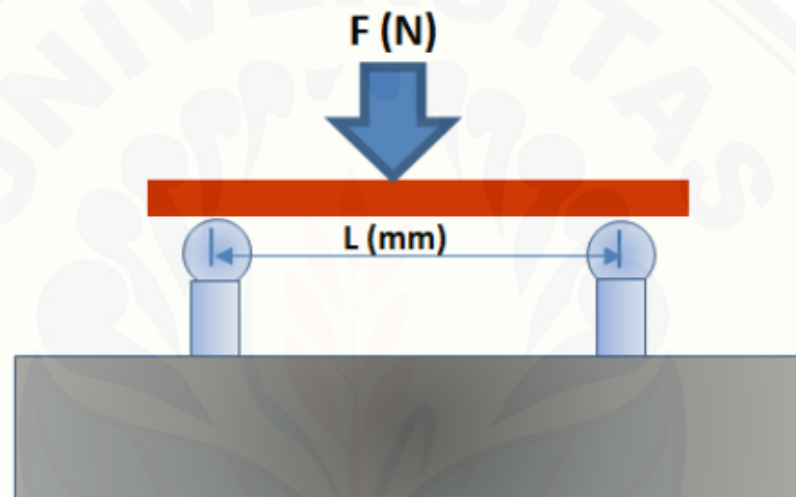
1. Mengukur spesimen sesuai dimensi ASTM D 790



Gambar 3. 17 Dimensi pengujian bending

2. Meletakkan spesimen pada dudukan dengan posisi terlentang yang seperti pada gambar 3.17.

3. Menyesuaikan span dengan panjang spesimen sesuai ASTM.
4. Mengatur rentang support span 10% dari nilai yang telah ditentukan.
5. Memastikan bahwa jarak span dan titik beban terletak seimbang antara kanan dan kiri.
6. Memasukkan ukuran dimensi spesimen pada software komputer.
7. Menjalankan mesin uji bending dan mengamati software pada komputer.
8. Mematikan mesin uji bending jika pada software sudah menunjukkan penurunan kekuatan atau biasa ditandai dengan hasil menunjukkan angka 0



Gambar 3. 18 Mekanisme pengujian bending

3.6 Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah diperoleh hasil pembebanan F_1 , F_2 dan $-F_1$, $-F_2$ pada pembebanan tarik sumbu X, Y uji tarik dan pada pembebanan tekan sumbu X, Y uji bending, analisa tersebut meliputi :

1. Analisis nilai modulus elastisitas E_{11} , E_{22} dan kekuatan tarik σ_{11} , σ_{22} terhadap pembebanan tarik F_1 , F_2 berpenguat serat kaca *woven*
2. Analisis nilai bending σ_{13} , σ_{23} terhadap pembebanan tekan $-F_1$, $-F_2$ berpenguat serat kaca *woven*.
3. Pengamatan morfologi makro dan mikro spesimen pengujian tarik dan bending

Tabel 3. 1 Data pengamatan nilai tegangan tarik dan nilai modulus

No	Pembebanan Tarik	Pengulangan	Tegangan Tarik (MPa)	Nilai Modulus (E)	Rata-rata Tegangan Tarik	Rata-rata Nilai modulus
1.	Pembebanan tarik sumbu X	A1				
		A2				
		A3				
2.	Pembebanan tarik sumbu Y	B1				
		B2				
		B3				

Tabel 3. 2 Data pengamatan kekuatan bending

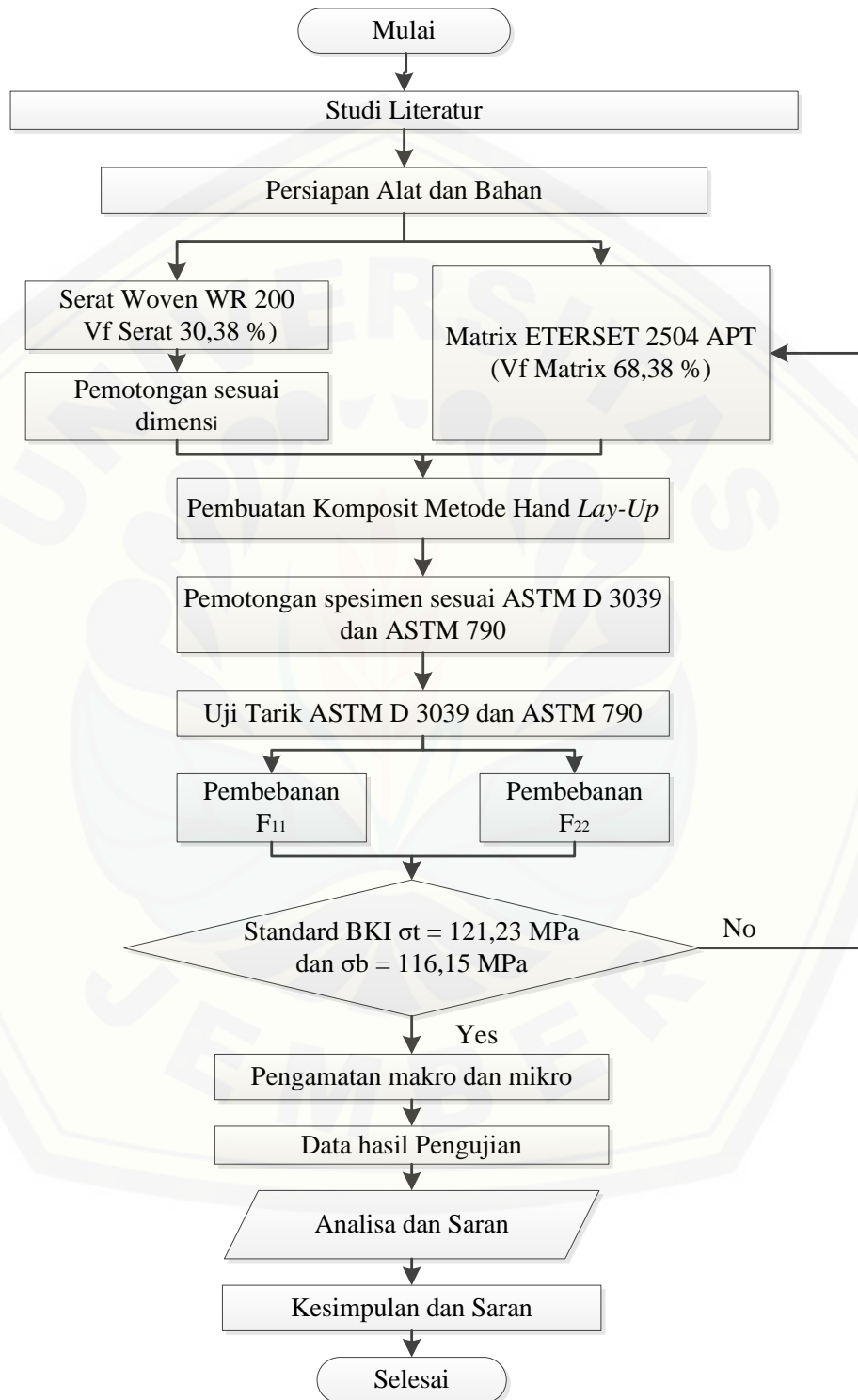
No	Pembebanan Tekan	Pengulangan	Tegangan Bending (MPa)	Rata-rata Tegangan Bending (MPa)
1.	Pembebanan tekan sumbu Y	A1		
		A2		
		A3		
2.	Pembebanan tekan sumbu X	B1		
		B2		
		B3		

Tabel 3. 3 Pengamatan morfologi makro dan mikro

No.	Pembebanan Tarik	Morfologi Makro	Morfologi Mikro
1.	Pembebanan tarik sumbu X		
2.	Pembebanan tarik sumbu Y		

3.7 Diagram Alir Penelitian

Langkah – Langkah dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.19



Gambar 3. 19 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang analisis sifat mekanik komposit polyester dengan penguat serat kaca *woven* dan matriks *unsaturated polyester 2504 APT* terhadap pembebanan yang diberikan di peroleh hasil kesimpulan sebagai berikut :

- 1a. Modulus elastisitas maksimal serat kaca *woven* tertinggi $E_y = 9352,2$ MPa dengan nilai regangan $\varepsilon_y = 0,0949$. Modulus Elastisitas pada arah sumbu X lebih rendah jika dibandingkan dengan modulus elastisitas pada arah sumbu Y yaitu $E_x = 8842$ MPa dengan nilai regangan $\varepsilon_x = 0,1182$.
- b. Kekuatan tarik maksimal pada arah sumbu Y adalah $\sigma_y = 119,07$ MPa lebih tinggi dibandingkan pada arah sumbu X yaitu $\sigma_x = 118,02$ MPa.
2. Kekuatan bending serat kaca *woven* arah sumbu Y lebih besar dibanding arah sumbu X, yaitu $\sigma_{b_x} = 233,54$ MPa dan $\sigma_{b_y} = 148,06$ MPa.
3. Berdasarkan pengamatan foto makro komposit serat kaca *woven* menunjukkan ciri khas bentuk patahan LAB, LGM dan XGM . Pengamatan lanjut foto mikro menunjukkan terjadinya *fiberpullout* pada pembebanan tarik arah X dan Y

5.2 Saran

Adapun saran yang di berikan terhadap analisis beban pada sumbu X,Y uji tarik dan X, Y uji bending serat kaca *woven* sebagai berikut :

Komposit lamina jika diaplikasikan pada bidang perkapalan memiliki kekuatan mekanik yang berbeda pada setiap arah pembebanannya sehingga perlu di perhatikan dalam penataan serat, dengan begitu maka kecelakaan kapal bisa diminimalisir terhadap karakteristik yang sudah di ketahui pada penelitian ini. Untuk penelitian selanjutnya disarankan lebih baik memakai metode *vacuum* untuk meminimalisir terjadinya *fiberpullout*.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D 3039. *Standar Test Method For Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. American National Standard.
- ASTM D 790. *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. American National Standard.
- Anam, K., A. Purnowidodo, dan S. A. Setyabud. 2018. Pengaruh *Woven Angle* dan Proses Penekanan Terhadap Tegangan Tarik pada *Natural Fiber Lminate Composite*. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol.9, No.3 155-162.
- Anonim. (2002). *Composite Materials Handbook*, Departement of Defence, United States of America, pp. (6-74) – (7-39).
- Aramide, F. O., I. O. Oladele, dan D. O. Folorunso. 2009. Evaluation of the Effect of Fiber Volume Fraction on the Mechanical Properties of a Polymer Matrix Composite. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*: 134-141.
- Astika, I. M. 2012. Analisa Delaminasi pada Glass Fiber Reinforced Polymer Komposit Laminat Dengan Pembebanan Fatigue. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin* Vol. 2 No. 1: 1-14.
- Badawy, A. A. M. 2012. Impact Behavior of Glass Fibers Reinforced Composite Laminates at Different Temperatures. *Ain Shams Engineering Journa* Vol 3: 105-111.
- Banakar, P., dan H. K. Shivanda. 2012. Influence of Fiber Orientation & Thickness on Tensile Properties of Laminated Polymer Composites. *Bonfring*. 41-46.
- BKI. (2006). *Fibreglass Reinforced Plastics Ships, Rules and Regulation for the Classification and Construction of Ships*, Biro Klasifikasi Indonesia. Jakarta.
- Callister, W.D. *Materials science and Engineering an Introduction*. John Wiley and sons, Inc., New York, 2000.
- Campbell, F. C. 2010. *Structural Composite Materials*: ASM INTERNASIONAL
- Carli, S. A. Widyanto, dan I. Haryanto. 2012. Analisis Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Serat Gelas Jenis Woven dengan Matriks Epoxy dan Polyester

Berlapis Simetri dengan Metoda Manufaktur Hand Lay-Up *Teknis* Vol. 7 No.1: 22-26.

Carli, S. A Widyanto, dan I. Haryanto. 2012. Pengaruh Arah Serat Gelas dan Bahan Matriks Terhadap Kekuatan Komposit Airfoil Profile Fan Blades. *Prosiding SNST: C*. 46- C. 51.

Dante, K. R., dan G. Aprianto. 2017. *Composites Manufacturing and Testing*. Depok: PT RAJAGRAFINDO PERSADA.

David, Cripps. 2010. *Manufacturing Guide and Tools*

Elbadry, E. A., A. GA, A. M, dan O. EA. 2018. Effect of Glass Fibers Stacking Sequence on the Mechanical Properties of Glass Fiber/Polyester Composites. *Journal of Material Sciences & Engineering* Vol. 7: 1-5.

Gere, J. M., dan Timoshenko. 2002. *Mekanika Bahan*. Jakarta: Erlangga.

Girijappa, Y. G. T., S. M. Rangappa, J. Parameswaranpillai, dan S. Siengchin. 2019. Natural Fibers as Sustainable and Renewable Resource for Development of Eco-Friendly Composites. *Journal Frontiers in Materials* Vol. 6: 1-14.

Gundara, G. 2017. Analisis Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Serat Gelas Berlapis. 2: 17-21.

Hermiansyah, M. E., S. Junus, I. Sholahuddin, D. D. Laksana, Sumarji, dan Y. A. Nugraha. 2018. Pengaruh Jumlah Lamina Fiberglass Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Spent Coffee Ground dengan Metode Vacuum Molding

Jones, R. M., dan K. S. Devens. 1999. *Mechanics of Composite Materials Second Edition*. USA: Taylor & Francis, Inc.

Kumar, S. S., dan D. V. Anbumalar. 2015. Selection and Evaluation of Natural Fibers. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology* Vol. 2.

Kunarto, dan I. Sumargianto. 2016. Serat Tebu (Bagasse) Sebagai Bahan Pengisi Pada Komposit dengan Matriks Resin Poliester. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Bandar Lampung* Vol 2 No.1: 26-36

Ma'aruf, B., dan A. Jamaluddin. 2010. Teknologi Pembangunan Skala Komersil Kapal SEP-HULL Berbahan *Fiberglass*. *Majalah Pengkajian Industri* Vol.4 No.2: 113-122.

Ma'aruf, B. 2011. Studi Standardisasi Konstruksi Laminasi Lambung Kapal *Fiberglass*. *Jurnal Standardisasi* Volume 13, No. 1: 16-25.

- Ma'aruf, B. 2013. Analisis Kekuatan Laminasi Lambung Kapal Fiberglass yang Menggunakan Material Multiaxial. *Jurnal Standardisasi*. Volume 16 Nomor 1: 31-40.
- Mallick, P. K. 2008. *Fiber-Reinforced Composites* New York: Press Taylor & Francis Group, LLC.
- Munasir. 2011. Studi Pengaruh Orientasi Serat Fiber Glass Searah dan Dua Arah Single Layer terhadap Kekuatan Tarik Bahan Komposit Polypropylene. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)* Vol. 1 No. 1: 33-41.
- Nasiruddin. 2014. Analisis Termal-Mekanis Komposit Matrix Polyester Dengan Aditif Partikel Montmorillonite Berpenguat Serat Kenaf Anyam. Skripsi Universitas Jember. Jember
- Rios-Soberanis, C. R., R. H. Cruz-Estrada, J. Rodriguez-Laviada, dan E. Perez-Pacheco. 2012. Study of Mechanical Behavior of Textile Reinforced Composite Material. *Engineering Journal DYNA*: 115-123.
- Pradana, D. 2017. Pengaruh Dekomposisi Termal Komposit *Unsaturated Polyester-Montmorillonite*-Serat Kaca terhadap Karakteristik Kekuatan Tarik Jember: Universitas Jember.
- Pupurs, A. (2016). Fiber failure and debonding in composite materials. *Modeling Damage, Fatigue and Failure of Composite Materials*, 173–196.
- Punyamurthy, R., D. Sampathkumar, B. Bennehalli, R. P. Ranganagowda, P. V. Badyankal, dan S. C. Venkateshappa. 2014. Research Article Abaca Fiber Reinforced Hybrid Composites. *International Journal of Applied Engineering Research* Volume 9 Number 23: 20274-20286.
- Rahman, M. B. N., T. Suwanda, dan K. Diharjo. 2008. Studi Optimasi Peningkatan Kekuatan Bending Komposit Berpenguat Serat Nanas Nanasan (Bromeliaceae) Kontinu Searah. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*. Vol 11 No 2: 207-217.
- Sari, N. H., Sinarep, Ahmad, dan I. Yudhyadi. 2011. Ketahanan Bending Komposit Hybrid Serat Batang Kelapa/Serat Gelas dengan Matrik Urea Formaldehyde. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M* 5: 91-97.
- Safri, S. N. A. B., Sultan, M. T. H., & Jawaid, M. (2019). Damage analysis of glass fiber reinforced composites. *Durability and Life Prediction in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering* : 133–147

- Sofyan, B. T. 2011. *Pengantar Material Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Souisa, M. 2011. Analisis Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Bahan dengan Uji Tarik. *Jurnal Berekeng* Vol. 5 No. 2: 9-14.
- Swamy, M. C., P. Patil, dan S. D. Chame. 2016. Effect of Thickness and Fiber Orientation on Flexural Strength of GFRP Composites. *international Journal of Advancement in Engineering Technology Management & Applied Science* Volume 3: 83-93.
- Syahrial, A. Z., dan N. Huda. 2018. Studi Pengaruh Orientasi Serat Komposit FRP Terhadap Kekuatan Lambung Kapal Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Seminar Nasional Cendekiawan: 573-582*.
- Takeuchi, C. P., M. Estrada, dan D. L. Linero. 2016. The Elastic Modulus and Poisson's Ratio of Laminated Bamboo *Guadua Angustifolia*. *Key Engineering Materials* 668: 126-133.
- Vaidya, A., & Pathak, K. (2019). Mechanical stability of dental materials. Applications of Nanocomposite Materials in Dentistry. *Woodhead Publishing Series in Biomaterials* : 285–305
- Yuan, Y., X. Yao, B. Liu, H. Yang, dan H. Imtiaz. 2017. Failure modes and strength prediction of thin ply CFRP angle-ply laminates. *Journal Composite Structures: 729-735*.
- Yudiono, H., Rusiyanto, dan Kiswadi. 2017. Kekuatan Tarik Komposit Lamina berbasis Anyaman Serat Karung Plastik Bekas (*woven bag*). *Jurnal Kompetensi Teknik* Vol. 8 No.2,: 1-7.
- Zulkifli, N. I., N. Samat, H. Anuar, dan N. Zainuddin. 2015. Mechanical Properties and Failure Modes of Recycled Polypropylene/Microcrystalline Cellulose Composites. *Journal Material and Design: 114-123*.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

LAMPIRAN A

A.1 Perhitungan fraksi volume

Diketahui :

Massa Serat Kaca : 106,91 gram

Densitas Serat Kaca : $2,3 \text{ g/ml}$

Densitas Resin : $1,12 \text{ g/ml}$

Matrik : 68,39 %

Reinforce : 30,38 %

Hardener : 0,69 %

Volume Cetakan : Panjang x Lebar x Tinggi

$$17 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$$

$$153 \text{ cm}^3$$

Volume Resin = Volume Cetakan x Persentase Resin

$$= 153 \text{ cm}^3 \times 68,93 \%$$

$$= 105,46 \text{ cm}^3$$

Volume Serat = Volume Cetakan x Persentase Serat

$$= 153 \text{ cm}^3 \times 30,38 \%$$

$$= 46,48 \text{ cm}^3$$

Massa Resin = Volume Resin x Densitas Resin

$$= 105,46 \text{ cm}^3 \times 1,12 \text{ g/ml}$$

$$= 118,12 \text{ gram}$$

Massa Serat = Volume Serat x Densitas Serat

$$= 46,48 \text{ cm}^3 \times 2,3 \text{ g/ml}$$

$$= 106,91 \text{ gram}$$

Volume Katalis = 1% x Volume Resin

$$= 1\% \times 105,46 \text{ cm}^3$$

$$= 1,05 \text{ ml}$$

A.2 Properties reinforce

TABLE 2.1
Properties of Selected Commercial Reinforcing Fibers

Fiber	Typical Diameter (μm) ^a	Density (g/cm^3)	Tensile Modulus GPa (Msi)	Tensile Strength GPa (ksi)	Strain-to-Failure (%)	Coefficient of Thermal Expansion ($10^{-6}/^\circ\text{C}$) ^b	Poisson's Ratio
<i>Glass</i>							
E-glass	10 (round)	2.54	72.4 (10.5)	3.45 (500)	4.8	5	0.2
S-glass	10 (round)	2.49	86.9 (12.6)	4.30 (625)	5.0	2.9	0.22
<i>PAN carbon</i>							
T-300 ^c	7 (round)	1.76	231 (33.5)	3.65 (530)	1.4	-0.6 (longitudinal) 7-12 (radial)	0.2
AS-1 ^d	8 (round)	1.80	228 (33)	3.10 (450)	1.32		
AS-4 ^d	7 (round)	1.80	248 (36)	4.07 (590)	1.65		
T-40 ^e	5.1 (round)	1.81	290 (42)	5.65 (820)	1.8	-0.75 (longitudinal)	
IM-7 ^d	5 (round)	1.78	301 (43.6)	5.31 (770)	1.81		
HMS-4 ^d	8 (round)	1.80	345 (50)	2.48 (360)	0.7		
GY-70 ^e	8.4 (bilobal)	1.96	483 (70)	1.52 (220)	0.38		
<i>Pitch carbon</i>							
P-55 ^c	10	2.0	380 (55)	1.90 (275)	0.5	-1.3 (longitudinal)	
P-100 ^c	10	2.15	758 (110)	2.41 (350)	0.32	-1.45 (longitudinal)	
<i>Aramid</i>							
Kevlar 49 ^f	11.9 (round)	1.45	131 (19)	3.62 (525)	2.8	-2 (longitudinal) 59 (radial)	0.35
Kevlar 149 ^f		1.47	179 (26)	3.45 (500)	1.9		
Technora ^g		1.39	70 (10.1)	3.0 (435)	4.6	-6 (longitudinal)	

A.3 Lampiran properties resin

Resin Unsaturated Polyester Eterset 2504		
Sifat	Nilai Satuan dalam Matrik	Nilai dalam Satuan US
Densitas	$1,12 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$	70 lb/ft ³
Modulus Elastisitas	3,4 Gpa	493 Ksi
Kekuatan Tarik	60 Gpa	870 Psi
Penguluran	2 %	2 %
Kekuatan Lendut	113 Mpa	16400 Psi
Ekspansi Termal	$31 \times 10^{-6} /^\circ\text{C}$	$17 \times 10^{-6} \text{ in}/(\text{in}\cdot\text{hr})$
Konduktivitas Termal	0,17 W/(m.K)	1,18 BTU.in/(hr.ft ² .°F)
Temperatur Kerja Maksimum	170 °C	325 °F

LAMPIRAN B

B.1. Lampiran Tabel Perhitungan Tegangan Tarik dan Modulus Elastisitas

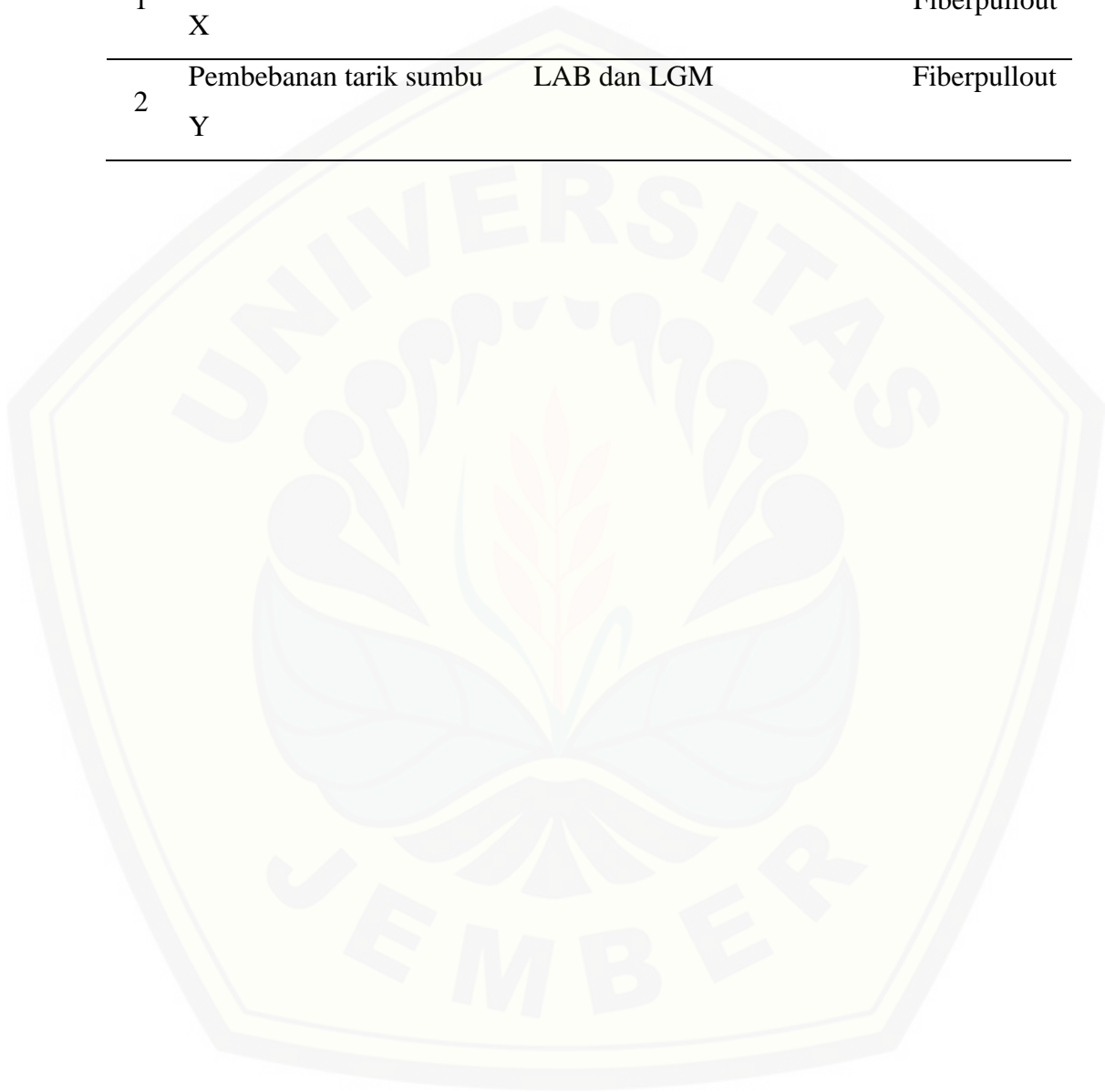
No	Pembebanan Tarik	Pengulangan	Tegangan Tarik (MPa)	Nilai Modulus (MPa)	Regangan	Rata-rata Tegangan Tarik (Mpa)	Rata-rata Regangan	Rata-rata Nilai modulus (Mpa)
1.	Pembebanan tarik sumbu X	A1	105,65	7059,7	0,099	118,02	0,1182	8842
		A2	122,85	7981,7	0,161			
		A3	108,23	7879,2	0,121			
		A4	135,83	8854,8	0,159			
		A5	113,41	9089,5	0,089			
		A6	107,19	4749	0,109			
		A7	109,83	8355,7	0,117			
		A8	130,23	9968	0,119			
		A9	118,32	7478	0,145			
		A10	128,66	17002	0,063			
2.	Pembebanan tarik sumbu Y	B1	121,10	8890,1	0,142	119,07	0,0949	9352,2
		B2	121,56	15231	0,85			
		B3	122,01	1754	0,67			
		B4	117,57	8515,1	0,145			
		B5	125,84	14358	0,82			
		B6	129,48	11219	0,97			
		B7	121,72	10782	0,75			
		B8	115,01	6427,5	0,93			
		B9	110,82	7767	0,98			
		B10	105,56	8578,1	0,65			

B.2. Lampiran Tabel Perhitungan Tegangan Bending

No	Pembebanan Tekan	Pengulangan	Tegangan Bending (Mpa)	Rata-rata Tegangan Bending (Mpa)
1.	Pembebanan tekan sumbu Y	A1	123,61	148,06
		A2	115,75	
		A3	149,11	
		A4	140,55	
		A5	154,02	
		A6	173,95	
		A7	161,66	
		A8	173,25	
		A9	165,27	
		A10	123,41	
2.	Pembebanan tekan sumbu X	B1	179,47	233,54
		B2	202,44	
		B3	242,61	
		B4	243,01	
		B5	246,25	
		B6	275,52	
		B7	182,87	
		B8	230,30	
		B9	272,11	
		B10	260,77	

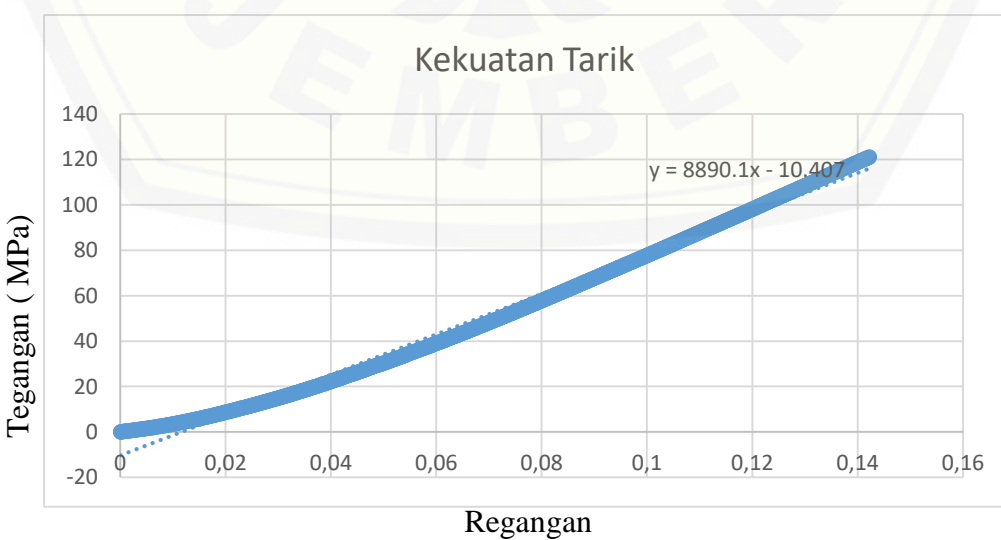
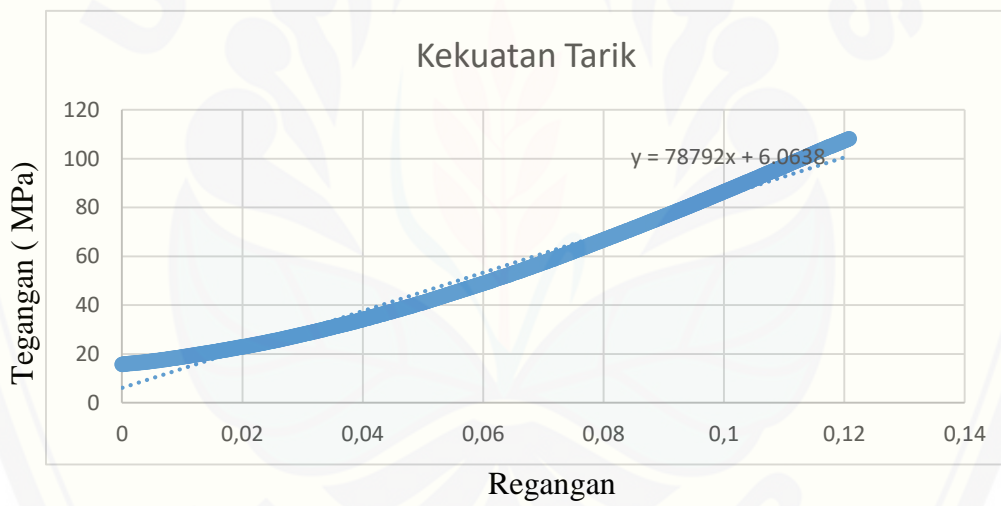
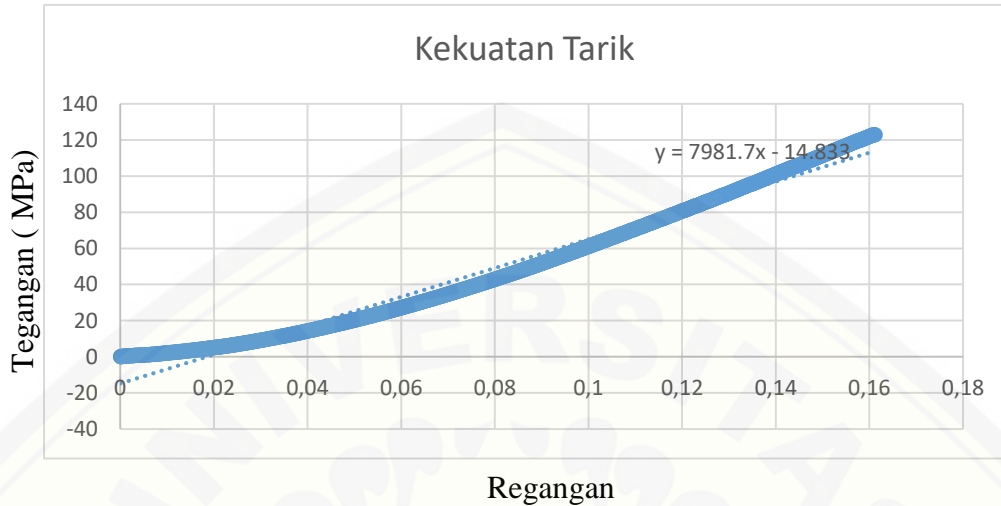
B 3. Lampiran Tabel Pengamatan Morfologi makro dan mikro

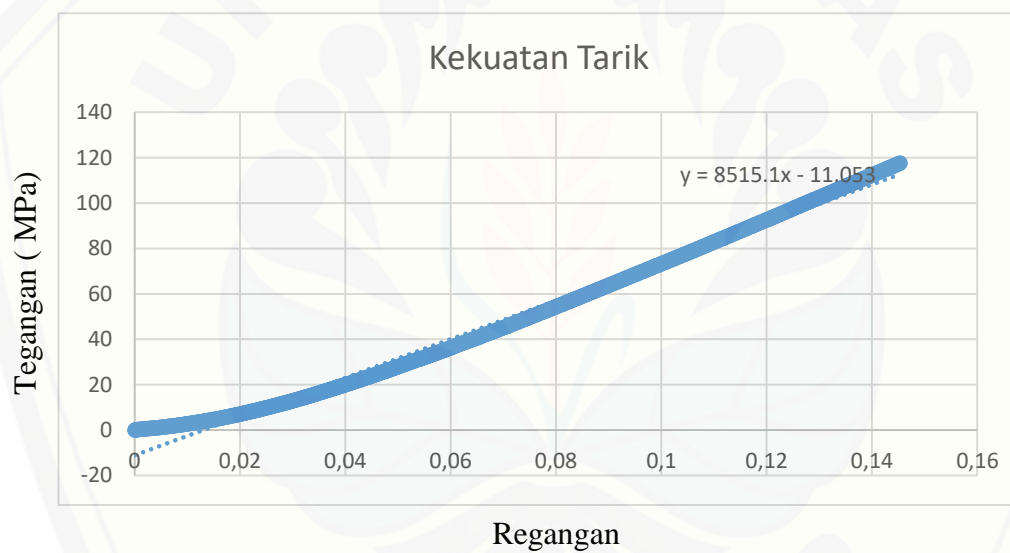
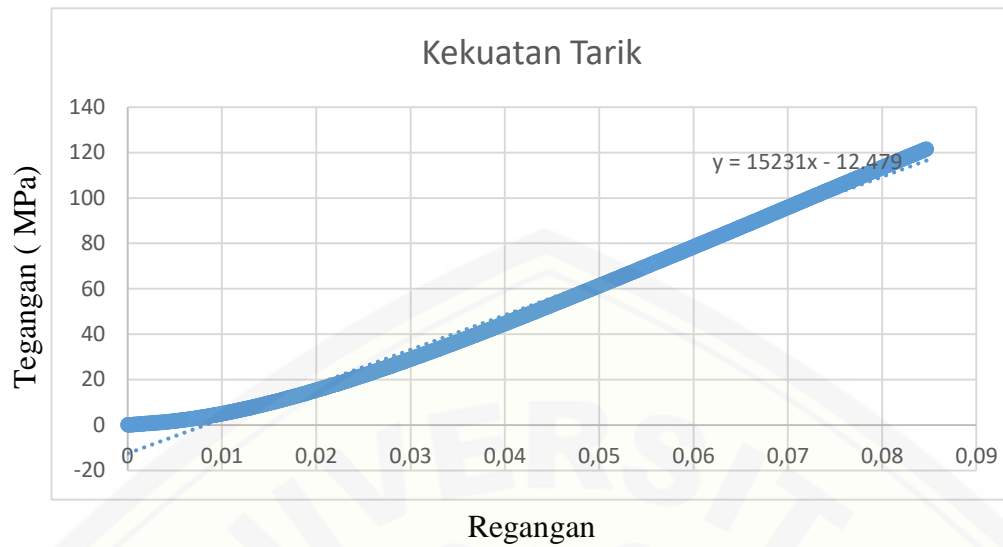
No	Pembebanan Tarik	Morfologi Makro	Morfologi Mikro
1	Pembebanan tarik sumbu X	LAB LGM dan XGM	Fiberpullout
2	Pembebanan tarik sumbu Y	LAB dan LGM	Fiberpullout



LAMPIRAN C

Grafik Kekuatan Tarik





Lampiran D

D.1 Lampiran Alat dan Bahan



Resin eterset 2504 APT (Lab terapan FT Unej)



Katalis (Lab terapan FT Unej)



Serat kaca woven WR 200 (Lab terapan FT Unej)



Timbangan digital (Lab terapan FT Unej)



Gunting (Lab terapan FT Unej)



Wadah bahan (Lab terapan FT Unej)



Suntikan (Lab terapan FT Unej)



Kaca (Lab terapan FT Unej)



Mesin uji tarik



Double tipe (Lab terapan FT Unej)



Plastisin (Lab terapan FT Unej)



Lem kaca (Lab terapan FT Unej)



Digital microscope (Lab terapan FT Unej)



Kamera (Lab terapan FT Unej)

Lampiran E

E 1. Fabrikasi sampel komposit



Preparasi Cetakan



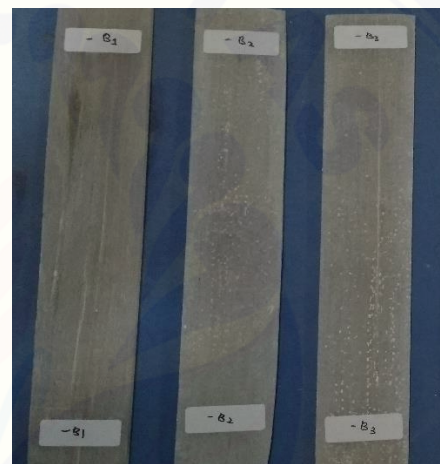
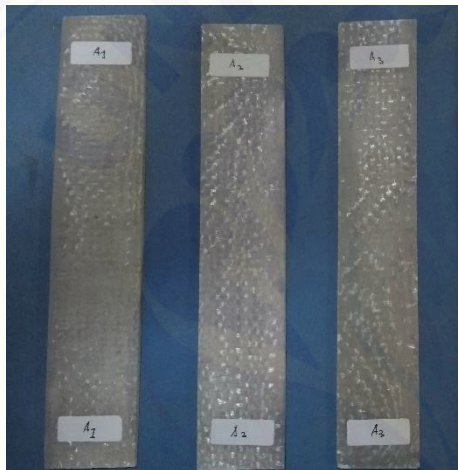
Potongan serat



Resin



Susunan serat



Spesimen Komposit