



**KEKUATAN TARIK DAN *BENDING* BAHAN MIKROKOMPOSIT  
BERPENGUAT SERAT SABUT KELAPA DAN *POLYLACTIC  
ACID* (PLA) RESIN**

**SKRIPSI**

Oleh

**Mita Ummi Waziirah  
NIM 121810201039**

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**



**KEKUATAN TARIK DAN *BENDING* BAHAN MIKROKOMPOSIT  
BERPENGUAT SERAT SABUT KELAPA DAN *POLYLACTIC  
ACID (PLA) RESIN***

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan studi Program Studi Fisika (S-1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh

**Mita Ummi Waziirah  
NIM 121810201039**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayahanda Alm. Hermanto dan Ibunda Hanik Atul Chitam yang selalu berjuang untuk semua pencapaian saya dan semua restu yang telah diberikan.
2. Adik saya Muhammad Ryan Ja'alhaq yang selalu memberikan semangat dan menjaga saya.
3. Guru-guru sejak saya taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah memberikan ilmu serta bimbingan dengan penuh kesabaran dan keikhlasan.
4. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

**MOTTO**

”Sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang bertakwa dan orang-orang yang berusaha memperbaiki amalnya” (QS: An-Nahl:128)

“내가 알지 나의 노력~I know how much effort I have” (Yang se Hyun)<sup>1</sup>

“if you do your very best, even the result isn't too good, you regret little less”  
(Lee seung hoon)<sup>2</sup>



---

<sup>1</sup>Yang Se Hyung is Korean Comedian: Master In The House (Korean Show)

<sup>2</sup>Lee Seung Hoon is speed skating champion~goldmedal winner 2018 in Pyeongchang Olympic: Master in The House (Korean Show)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mita Ummi Waziirah

NIM: 121810201039

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “*Kekuatan Tarik dan Bending Bahan Mikrokomposit Berpenguat Serat Sabut Kelapa dan Polylactic Acid (PLA) Resin*” adalah benar – benar hasil karya ilmiah sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

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

Jember, 29 Januari 2019

Yang Menyatakan,

Mita Ummi Waziirah

NIM 121810201039

**SKRIPSI**

**KEKUATAN TARIK DAN BENDING BAHAN MIKROKOMPOSIT  
BERPENGUAT SERAT SABUT KELAPA DAN  
POLYLACTIC ACID (PLA) RESIN**

Oleh  
Mita Ummi Waziirah  
NIM 121810201039

Pembimbing  
Dosen Pembimbing Utama : Drs. Sujito, Ph.D.  
Dosen Pembimbing Anggota : Wenny Maulina, S.Si., M.Si.

**PENGESAHAN**

Proposal berjudul “Kekuatan Tarik Dan *Bending* Bahan Mikrokomposit Berpenguat Serat Sabut Kelapa Dan *Polylactic Acid* (PLA) Resin” telah disetujui pada :

hari, tanggal : Selasa, 29 Januari 2019

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas  
Jember

Tim Penguji:

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Sujito, Ph.D.

Wenny Maulina, S.Si., M.Si.

NIP 196102041987111000

NIP 198711042014042000

Anggota III,

Anggota IV,

Ir. Misto, M.Si.

Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phill., Ph.D.

NIP 195911211991031002

NIP 196812191994021001

Mengesahkan

Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.

NIP 196102041987111000

## RINGKASAN

**Kekuatan tarik dan *bending* bahan mikrokomposit berpenguat serat serabut kelapa dan *polylactic acid* (PLA);** Mita Umami Wazirah; 121810201039; 2019; 42 Halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Tanaman kelapa merupakan tanaman perkebunan atau tanaman industri. Seluruh bagian dari tanaman kelapa dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu bagian dari tanaman kelapa yang banyak dimanfaatkan yaitu serat sabut kelapa. Pengoptimalan pemanfaatan serat sabut kelapa dapat digunakan sebagai penyusun dalam bahan komposit. Bahan komposit merupakan kombinasi dua bahan atau lebih untuk menghasilkan bahan baru yang lebih baik daripada komponen penyusunnya. Penyusun dalam bahan komposit memiliki peran masing-masing, yaitu sebagai penguat dan peran lainnya sebagai matriks. Serat kelapa dalam bahan komposit berfungsi sebagai penguat, dan matriks yang digunakan berupa polimer alami yaitu *polylactic acid*. Kelebihan dari polimer *polylactic acid* ini ialah memiliki kekuatan mekanik yang baik, *termoplast*, dan ramah lingkungan.

Pada penelitian ini menggunakan konsep bahan mikrokomposit, dimana bahan yang digunakan menggunakan struktur mikro. Pembuatan bahan komposit melalui tahap pencampuran serat sabut kelapa dan *polylactic acid* yang disebut proses sintesis, dengan variasi fraksi massa serat 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan bahan *polylactic acid* murni tanpa penguat 0%. Bahan komposit hasil sintesis diuji kekuatan mekanik bahan untuk mengetahui karakteristik bahan dan pengamatan morfologi. Uji mekanik yang dilakukan berupa uji tarik dan uji *bending*. Sedangkan pengamatan morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui struktur ikatan matriks dan serat pada area deformasi.

Pada uji tarik, nilai kekuatan tarik tertinggi dihasilkan oleh bahan dengan fraksi massa serat sabut kelapa 20% sebesar (55,50±2,68) MPa dan nilai kekuatan tarik terendah dihasilkan oleh bahan dengan fraksi massa serat sabut kelapa 50% sebesar (25,02±0,93) MPa. Selanjutnya pada uji *bending*, nilai kekuatan *bending* tertinggi dihasilkan oleh bahan tanpa penguat 0% sebesar (102,69±8,87) MPa, nilai kekuatan *bending* tertinggi pada bahan komposit dihasilkan oleh bahan dengan fraksi massa serat 10% sebesar (100,61±0,41) MPa dan nilai kekuatan *bending* terendah dihasilkan oleh bahan dengan fraksi massa serat sabut kelapa 50% sebesar (39,29±4,55) MPa. Pada uji *bending*, nilai kekuatan *bending* menurun seiring bertambahnya fraksi massa serat. Pada pengamatan morfologi internal bahan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada area patahan mengindikasikan adanya *void* dan *fiber break* pada bagian internal bahan mikrokomposit. Beberapa serat mengalami *pull-out* saat uji tarik dan *bending* dilakukan.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ” Kekuatan tarik dan *bending* bahan mikrokomposit berpenguat serat sabut kelapa dan *polylactic acid* (PLA) resin”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S-1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) dan Wenny Maulina, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA) atas segala waktu, perhatian dan kesabaran dalam membimbing penulis sampai terselesaikannya skripsi ini;
2. Ir. Misto, M.Si., selaku Dosen Penguji I dan Dosen pembimbing akademik dan Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phill., Ph.D., selaku Dosen Penguji II atas seluruh masukan yang telah diberikan bagi kesempurnaan skripsi ini;
3. Alm. Hermanto ayahanda tercinta, yang selalu memberikan dukungan dan menginginkan kesuksesan penyelesaian skripsi ini;
4. Bapak dan Ibu pengasuh Pondok Pesantren Mahasiswi Al-Husna, yang selalu memberikan do'a, arahan dan semangat;
5. Seluruh Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan strata satu (S-1) di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember, dengan terselesaikannya skripsi ini;
6. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember yang telah membantu dalam hal administrasi maupun lainnya;
7. Teman – teman fisika: Elok Hidayah, Rika Yuli, Rizky Diaztari, Diana Zain, Eka Yuli K, M. Habibi, Rifan Zuhri, M. Nur Hamid, Irvansyah dan Andrian

yang telah bersedia membantu dan menemani selama masa skripsi dan saling memberikan do'a, motivasi dan semangat;

8. Keluarga besar "LORENT'Z 12" dan "GJ" yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih atas kisahnya, dukungan dan semangatnya;
9. Adik-adik tercinta, Luluk, Zuhro, Vina, Kholif, Nia, Putri, Ega, dan yudis terimakasih atas kebersamaan, bantuan, do'a dan semangatnya;
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang turut membantu kelancaran dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jember, 29 Januari 2019

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN COVER</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN</b> .....	<b>v</b>
<b>SKRIPSI</b> .....	<b>vi</b>
<b>PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Tujuan</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Manfaat</b> .....	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Bahan Komposit</b> .....	<b>4</b>
2.1.1. Keunggulan Bahan Komposit .....	<b>5</b>
2.1.2. Klasifikasi dan karakteristik bahan komposit.....	<b>6</b>
2.1.3. Bahan Mikrokomposit.....	<b>9</b>
<b>2.2 Serat Sabut Kelapa</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3 Polylactic Acid (PLA)</b> .....	<b>11</b>
<b>2.4 Uji Mekanik</b> .....	<b>12</b>
2.4.1. Uji Tarik .....	<b>13</b>
2.4.2 Uji <i>Bending</i> .....	<b>16</b>

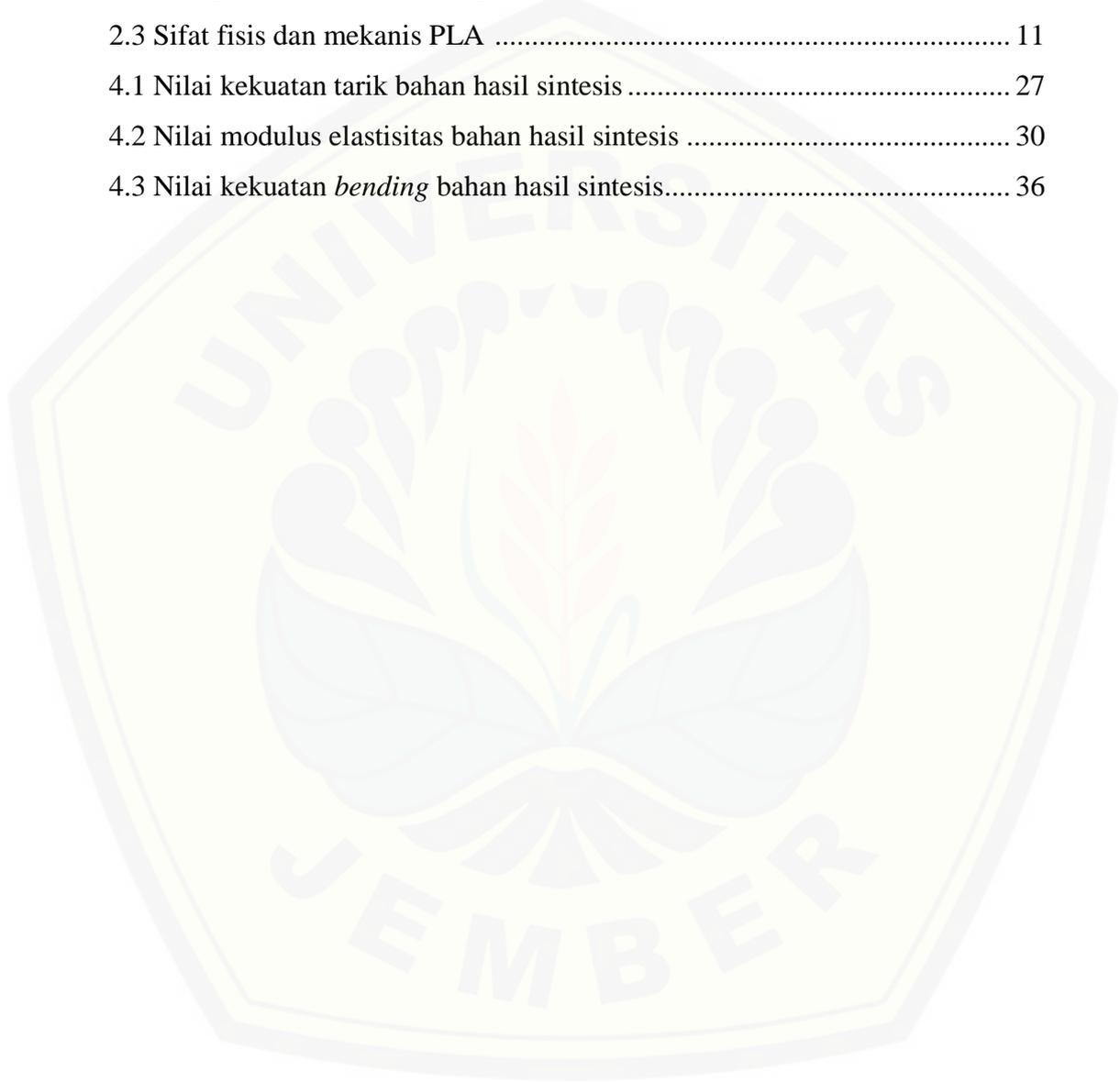
2.5 Pengamatan Morfologi Bahan Komposit Menggunakan Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	17
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1 Rancangan Penelitian .....	19
3.2 Jenis dan Sumber Data.....	19
3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukurannya.....	19
3.4 Kerangka Pemecahan Masalah .....	20
3.4.1 Studi literatur .....	21
3.4.2 Persiapan Alat dan Bahan .....	21
3.4.3 Sintesis Bahan.....	21
3.4.4 Uji Mekanik dan Pengamatan Morfologi Internal Bahan Komposit ...	22
3.5 Metode Analisis Data .....	22
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>24</b>
4.1 Hasil Sintesis Bahan Mikrokomposit .....	24
4.2 Pengujian Tarik Bahan Hasil Sintesis.....	25
4.2.1 Kekuatan Tarik Bahan Hasil Sintesis .....	25
4.2.2 Modulus Elastisitas Bahan Komposit Hasil Sintesis .....	29
4.2.3 Pengamatan Morfologi Internal Setelah Uji Tarik .....	32
4.3 Pengujian Bending Bahan Hasil Sintesis .....	34
4.3.1 Kekuatan <i>Bending</i> Bahan Hasil Sintesis .....	34
4.3.2 Pengamatan Morfologi Internal Setelah Uji <i>Bending</i> .....	38
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>41</b>
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>48</b>

DAFTAR GAMBAR

2.1. Susunan bahan komposit .....	5
2.2. Komposit berpenguat serat (a) serat kontinu (b) serat pendek (c) serat acak.....	7
2.3. Bahan Komposit laminate .....	8
2.4. Komposit berpenguat partikel .....	8
2.5. <i>Polylactic acid</i> (PLA) .....	11
2.6. Spesimen saat uji tarik .....	13
2.7. Grafik tegangan-regangan.....	14
2.8. Grafik tipikal tegangan regangan jangka pendek.....	15
2.9. Metode pengujian <i>three point bending</i> .....	17
3.1. Diagram alir penelitian.....	20
4.1. Bahan komposit hasil sintesis .....	24
4.2. Patah pada bahan setelah uji tarik .....	25
4.3 Tipe grafik hubungan tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ) bahan komposit serat sabut kelapa dengan <i>polylactic acid</i> dengan fraksi massa serat 20% .....	26
4.4. Grafik nilai kekuatan tarik bahan hasil uji tarik .....	27
4.5. Grafik hubungan tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ) pada bahan komposit dengan fraksi massa serat 20% .....	29
4.6. Grafik nilai modulus elastisitas setiap fraksi massa serat .....	30
4.7. Visualisasi bahan komposit fraksi massa serat 20% .....	32
4.8. Visualisasi bahan komposit fraksi massa serat 50% .....	33
4.9. Bahan komposit untuk pengujian <i>bending</i> (a) fraksi massa serat 10% dan (b) fraksi massa serat 50% .....	35
4.10. Bahan hasil uji <i>bending</i> setiap fraksi massa serat (a) deformasi berupa patahan dan (b) deformasi berupa retakan bagian bawah.....	35
4.11. Grafik nilai kekuatan <i>bending</i> setiap fraksi massa serat .....	36
4.12. Visualisasi bahan komposit fraksi massa serat 10% .....	38
4.13. Visualisasi bahan komposit fraksi massa serat 50% .....	39

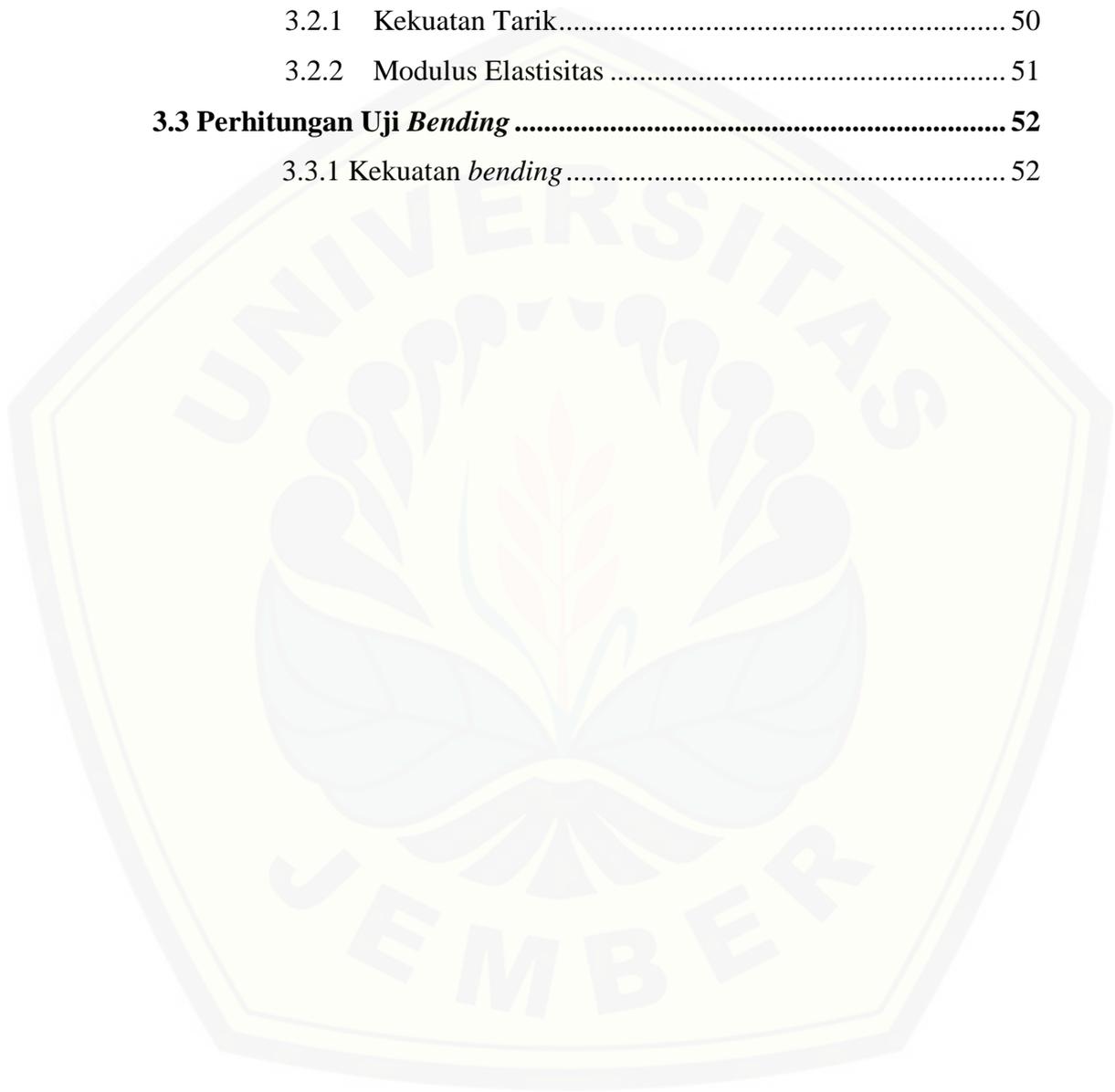
**DAFTAR TABEL**

2.1 Sifat-sifat fisik serat kelapa.....	10
2.2 Komposisi kimia serat kelapa .....	10
2.3 Sifat fisis dan mekanis PLA .....	11
4.1 Nilai kekuatan tarik bahan hasil sintesis .....	27
4.2 Nilai modulus elastisitas bahan hasil sintesis .....	30
4.3 Nilai kekuatan <i>bending</i> bahan hasil sintesis.....	36



**DAFTAR LAMPIRAN**

<b>3.1 Bahan hasil sintesis sebelum dan setelah diuji .....</b>	<b>48</b>
<b>3.2 Perhitungan uji Tarik.....</b>	<b>50</b>
3.2.1 Kekuatan Tarik.....	50
3.2.2 Modulus Elastisitas .....	51
<b>3.3 Perhitungan Uji <i>Bending</i> .....</b>	<b>52</b>
3.3.1 Kekuatan <i>bending</i> .....	52



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tanaman kelapa banyak dijumpai di seluruh pelosok Nusantara, sehingga hasil alam berupa kelapa di Indonesia sangat melimpah (Wiyono *et al.*, 2014). Tanaman kelapa merupakan tanaman perkebunan atau industri berupa pohon batang lurus dari *family Palmae*. Tanaman kelapa (*Cocos nucifera L*) sering disebut sebagai tanaman serbaguna atau tanaman yang mempunyai nilai ekonomi tinggi. Seluruh bagian tanaman kelapa dapat dimanfaatkan untuk kepentingan manusia, sehingga tanaman ini sering disebut tanaman kehidupan (*tree of life*) karena hampir seluruh bagian dari pohon, akar, batang, daun dan buahnya dapat dipergunakan untuk kebutuhan kehidupan manusia sehari-hari (Lumintang *et al.*, 2011). Saat ini pemanfaatan limbah berupa serat sabut kelapa masih terbatas pada industri-industri mebel dan kerajinan rumah tangga serta belum diolah menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi. Salah satu cara untuk mengubah serat sabut kelapa menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi yaitu menggunakan serat sabut kelapa sebagai penguat pada bahan komposit.

Komposit merupakan kombinasi dua bahan atau lebih yang menghasilkan bahan baru lebih baik daripada komponen penyusunnya (Campbell, 2010). Saat ini bahan komposit dikembangkan oleh para peneliti sebagai bahan alternatif pengganti. Hal ini disebabkan oleh adanya keuntungan penggunaan bahan komposit seperti konstruksi menjadi lebih ringan, mudah dibentuk, tahan terhadap korosi dan proses pembuatan yang mudah serta tidak memerlukan investasi yang besar.

Bahan komposit dibedakan menjadi skala makro dan mikro bergantung pada ukuran penyusunnya (Abanat *et al.*, 2012). Pada penelitian ini bahan komposit yang digunakan pada skala mikro, dimana penguat serat serabut kelapa yang digunakan dibentuk menjadi serat serabut kelapa berukuran mikro. Menurut penelitian yang dilakukan Susanti *et al.* (2015) struktur mikrokomposit menunjukkan adanya ikatan yang baik antara matriks dan serat.

Bahan mikrokomposit pada penelitian ini menggunakan matriks berupa polimer alami. Polimer alami yang digunakan adalah resin *polylactic acid* (PLA), berasal dari sumber daya alam terbarukan seperti jagung, gandum, bit gula, dan tapioka (Sujito *et al.*, 2013). Kandungan bahan alami dari resin PLA menyebabkan dampak yang rendah terhadap lingkungan, selain itu resin PLA memiliki sifat mekanik yang baik.

Kombinasi dari serat alam dan *polylactic acid* (PLA) mampu menghasilkan bahan dengan sifat mekanik yang baik. Sifat mekanik yang akan diteliti adalah kekuatan tarik dan lentur dengan pengujian tarik dan *bending*. Sujito (2014) melakukan penelitian bahan komposit yang tersusun serat ampas tebu dengan resin biodegradable menggunakan fraksi massa 20%, 40%, dan 60%. Hasil penelitian menyatakan nilai kekuatan tarik tertinggi ada pada bahan komposit hasil sintesis dengan fraksi massa 40% dan orientasi arah serat sejajar yaitu sebesar  $(28,27 \pm 1,42)$  MPa, dan kekuatan tarik minimum dimiliki oleh bahan komposit hasil sintesis dengan arah orientasi serat acak dan fraksi massa serat 60%, yaitu sebesar  $(0,82 \pm 0,06)$  MPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas terbesar dari dua jenis bahan komposit yang dihasilkan adalah pada bahan komposit dengan fraksi massa 20% yaitu sebesar  $(1,81 \pm 0,06)$  MPa dan  $(0,34 \pm 0,01)$  MPa, masing-masing untuk bahan komposit orientasi searah dan orientasi acak. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa bahan komposit dengan fraksi massa 20% memiliki kemampuan yang lebih tinggi untuk mempertahankan bentuknya sebelum terjadi deformasi permanen akibat beban tarik yang diberikan.

Berdasarkan penelitian tersebut, maka pada penelitian ini peneliti bertujuan untuk mengkaji kekuatan tarik dan *bending* bahan mikrokomposit menggunakan bahan berpenguat serat serabut kelapa dan *polylactic acid* (PLA). Sehingga melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk dapat digunakan pada pembuatan panel-panel, *dashboard*, perangkat interior lainnya yang memiliki sifat mekanik yang baik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana nilai kekuatan tarik dan *bending* bahan mikrokomposit berpenguat serat serabut kelapa dan *polylactic acid* (PLA) resin?
2. Bagaimana struktur penguat dan matriks pada bahan setelah terjadi deformasi pada pengamatan morfologi internal melalui uji SEM?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai kekuatan tarik dan *bending* bahan mikrokomposit berpenguat serat serabut kelapa dan *polylactic acid* (PLA) resin.
2. Mengetahui struktur penguat dan matriks pada bahan setelah terjadi deformasi pada pengamatan morfologi internal melalui uji SEM.

## 1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

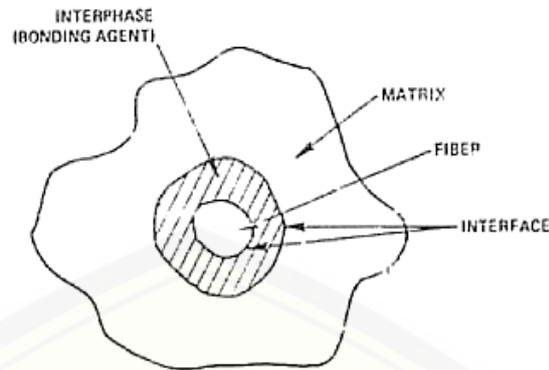
1. Memberikan pengetahuan karakteristik bahan mikrokomposit dari serat serabut kelapa dan *polylactic acid* (PLA) resin berdasarkan kekuatan tarik dan *bending*;
2. Berkontribusi sebagai acuan penelitian selanjutnya dalam meneliti sifat mekanik dari bahan serat alam dengan *polylactic acid* (PLA) resin.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bahan Komposit

Material atau bahan adalah sebuah zat, benda, atau barang yang dibutuhkan untuk membuat sesuatu. Material dapat berupa bahan mentah seperti bahan alam yang belum diproses ataupun bahan yang telah melewati proses produksi lebih lanjut (Asbhy *et al.*, 2007). Menurut Callister *et al.* (2007), klasifikasi material padat berdasarkan susunan kimia dan struktur atom digolongkan menjadi tiga yaitu logam, keramik, dan polimer. Seiring pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi modern, terdapat persyaratan kuat untuk sebuah bahan. Penelitian dari bahan dilakukan secara bertahap berdasarkan eksperimen dan metode *fumbling* (meraba-raba). Penelitian ini akhirnya berkembang ke arah merancang sebuah bahan berdasarkan sifat-sifatnya. Penelitian inilah yang menghasilkan bahan komposit (Wang *et al.*, 2011).

Komposit merupakan suatu struktur yang tersusun atas beberapa bahan pembentuk tunggal yang digabungkan menjadi struktur baru dengan sifat lebih baik dibanding dengan masing-masing pembentuknya (Hartono *et al.*, 2016). Makna lain dari komposit merupakan kombinasi dua bahan atau lebih yang menghasilkan bahan baru lebih baik daripada komponen penyusunnya. Berbeda halnya dengan kombinasi dari bahan logam, yang masing-masing bahannya mempertahankan sifat kimia, fisik, dan mekanik yang terpisah (Campbell, 2010). Menurut Maryanti *et al.* (2011), komposit didefinisikan sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuknya, komposisi kimianya, dan tidak saling melarutkan antara materialnya dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat (*reinforcement*) dan material lainnya (matriks) berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Susunan bahan komposit (Sumber: Junus, 2011)

Perbedaan karakteristik komponen penyusun komposit dapat dikombinasikan dengan tujuan memperoleh sifat baru yang diharapkan. Secara umum terdapat dua kategori material penyusun komposit yaitu penguat dan matriks (Maryanti *et al.*, 2011). Penguat (*reinforcement*) adalah sebuah isi (*fill*) yang berfungsi sebagai penguat pada bahan komposit. Menurut Santoso *et al.* (2015), beberapa fungsi penguat adalah dapat menyerap 90% beban yang terjadi pada komposit, menghasilkan kekakuan dan kekuatan, serta menghasilkan konduktivitas elektrik. Sedangkan matriks merupakan bahan pengikat atau penyatu serat dalam komposit (Purboputro, 2006). Menurut Shalin (1995), fungsi matriks dalam material komposit adalah mempertahankan kestabilan bentuk dan ukuran, memberikan distribusi antar serat, memberikan materi deformasi stabilitas dibawah panas dan tingkat mekanik maksimum yang diberikan oleh kinerja spesifikasi, mendistribusikan kembali tindakan eksternal pada semua dasar serat dalam bahan komposit, termasuk rusak dan terdistorsi, dan memberikan stabilitas dalam medium yang diinginkan. Ikatan yang sinergis antara matriks dan penguat akan menghasilkan sifat material baru yang tidak dapat diperoleh dari proses alami (Daryanto, 2007).

#### 2.1.1. Keunggulan Bahan Komposit

Menurut Sari *et al.* (2011), komposit mempunyai banyak kelebihan dan keistimewaan dari segi sifat mekanis, fisik, termal, dan kimianya, yaitu:

1. Sifat kekuatan dan ketiutannya cukup baik.

2. Kestabilan dimensi dan ketahanan termal yang tinggi.
3. Peningkatan modulus spesifik (modulus/massa jenis) dan kekuatan spesifik (kekuatan/massa jenis) menyebabkan berat jenis komposit semakin berkurang.
4. Peningkatan ketahanan terhadap bahan kimia.
5. Biaya produksi dapat dikurangi karena bahan dasar yang digunakan berkurang.

Namun perlu diketahui bahwa semua sifat diatas tidak dapat diperoleh secara bersamaan. Misalnya, peningkatan sifat kekakuan dan kekuatan umumnya mengurangi sifat keliatan bahan tersebut. Jadi pencapaian kekuatan optimum komposit yang dihasilkan disesuaikan dengan penggunaan komposit tersebut.

#### 2.1.2. Klasifikasi dan karakteristik bahan komposit

Klasifikasi bahan komposit berdasarkan matriksnya dibagi menjadi tiga macam (Kelly dan Zweben, 2000), yaitu:

1. *Polymer Matrix Composites (PMC)*

*Polymer Matrix Composites (PMC)* merupakan bahan komposit yang terdiri dari penguat dan matriks berupa polimer (Callister *et al.*, 2007). Pada penelitian ini matriks yang digunakan berupa PLA (*polylactic acid*), sehingga bahan yang dihasilkan termasuk jenis *Polymer Matrix Composites (PMC)*.

2. *Metal Matrix Composites (MMC)*

*Metal Matrix Composites (MMC)* merupakan bahan komposit yang terdiri dari penguat dan matriks berupa logam. Logam terdiri dari satu atau lebih unsur logam (besi, aluminium, tembaga, titanium, emas, dan nikel), dan seringkali juga elemen non logam (karbon, nitrogen, dan oksigen) dalam jumlah relatif kecil (Callister *et al.*, 2007).

3. *Ceramic Matrix Composites (CMC)*

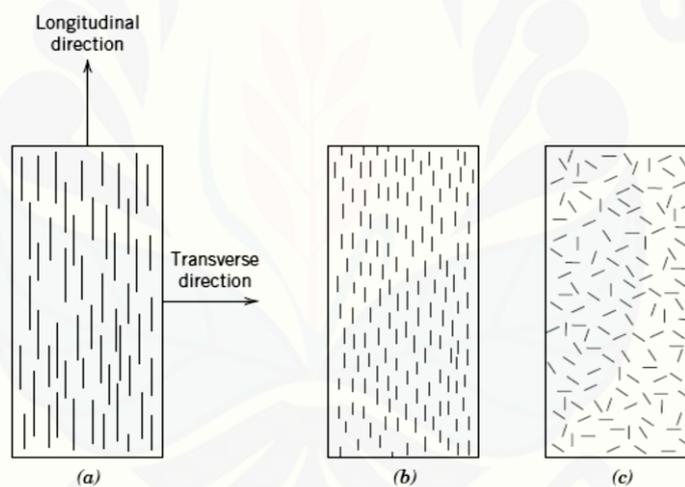
*Ceramic Matrix Composites (CMC)* merupakan bahan komposit yang terdiri dari penguat dan matriks berupa keramik. Keramik adalah senyawa antara unsur logam dan non logam, biasanya terdiri dari oksida, nitrida, dan karbida. Contohnya, sebagian besar material bahan keramik termasuk aluminium oksida

atau alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), silikon dioksida atau silika ( $\text{SiO}_2$ ), Silikon karbida ( $\text{SiC}$ ), silikon nitrida ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), dan beberapa keramik tradisional yang terdiri dari mineral tanah liat seperti porselen, semen, dan gelas (Callister *et al.*, 2007).

Sedangkan menurut Kartini (2002), berbagai macam klasifikasi bahan komposit berdasarkan penguatnya meliputi:

### 1. *Fibrous Composite Materials*

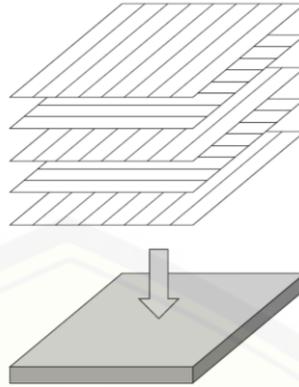
*Fibrous Composite Materials* tersusun dari serat dan matriks. Penguat dari bahan komposit jenis ini berupa serat. Penyusunan bahan komposit jenis ini masih dibedakan berdasarkan orientasi arah serat seperti serat kontinu, serat pendek, dan serat acak seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Pada penelitian ini menggunakan klasifikasi *Fibrous Composite Materials* jenis serat pendek dengan orientasi arah acak, karena serat yang dihasilkan berupa serat pendek.



Gambar 2.2. Komposit berpenguat serat (a) serat kontinu (b) serat pendek (c) serat acak  
(Sumber: Callister *et al.*, 2007)

### 2. *Laminate Composite Materials*

*Laminated Composite Materials* tersusun dari lembaran dari berbagai material. Bahan komposit laminate merupakan gabungan dari beberapa lembaran bahan komposit. Gambaran bahan komposit jenis ini diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Bahan komposit lembaran (Sumber: Callister *et al.*, 2007)

### 3. *Particulate Composite Materials*

*Particulate Composite Materials* tersusun dari partikel dan matriks (Gambar 2.4). Pada bahan komposit jenis ini yang digunakan sebagai penguat berbentuk partikel seperti butiran, kerikil dan pasir. Penguat pada bahan komposit jenis ini terdistribusi secara merata pada matriksnya.



Gambar 2.4. Komposit berpenguat partikel (Sumber: Spinger, 2003)

Menurut Jones (1975), karakteristik yang dapat ditingkatkan pada bahan komposit antara lain:

1. Kekuatan
2. Kekakuan
3. Berat
4. Ketahanan terhadap korosi
5. Ketahanan termal
6. Konduktivitas termal

### 2.1.3. Bahan Mikrokomposit

Bahan komposit didefinisikan sebagai struktur dalam skala makro atau mikro yang dibuat dari bahan-bahan yang berbeda, ciri-cirinya pun tetap terbawa setelah komponen terbentuk sepenuhnya (Abanat *et al.*, 2012). Pengukuran dalam skala makro biasa digunakan untuk mengetahui karakteristik bahan seperti, kekuatan, kekakuan, kelembapan, berat, dan ketahanan terhadap pengaruh lingkungan. Selain itu, pengamatan skala makro biasa dilakukan secara kasat mata, seperti bentuk, dan warna bahan komposit.

Pada skala mikro pengamatan bahan biasanya menggunakan pengamatan morfologi internal pada bahan, guna mengetahui fenomena yang terjadi dalam bahan. Pada tinjauan secara mikromekanik yang dilihat adalah komposit merupakan material yang tersusun atas matriks dan serat yang membentuknya (Jokosisworo, 2009). Karena itu selalu ada antarmuka diantara dua bahan, dan sifat-sifat antarmuka ini mempunyai pengaruh yang jelas terhadap sifat-sifat komposit (Abanat *et al.*, 2012). Pengamatan morfologi internal suatu bahan dapat menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pengamatan dilakukan pada area patahan bahan komposit setelah pengujian mekanik.

## 2.2 Serat Sabut Kelapa

Serat sabut kelapa merupakan serat alami (*natural fiber*) yang bersumber langsung dari alam (bukan merupakan buatan atau rekayasa manusia). Beberapa keistimewaan pemanfaatan serat sabut kelapa sebagai bahan baru rekayasa antara lain menghasilkan bahan baru komposit alam yang ramah lingkungan dan mendukung gagasan pemanfaatan serat sabut kelapa menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi dan teknologi tinggi (Wiyono *et al.*, 2014). Serat alami memiliki banyak keunggulan dibandingkan serat buatan (sintetik) seperti beratnya lebih ringan, dapat diolah secara alami dan ramah lingkungan (Astika dan dwijana, 2013). Sedangkan serat sintetis memiliki kelemahan-kelemahan yaitu relatif mahal, tidak dapat terdegradasi secara alami, beracun, dan jumlahnya terbatas (Yudo dan Jatmiko, 2008).

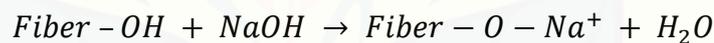
Serat sabut kelapa digunakan sebagai penguat dalam bahan komposit. Menurut Jones (1975), fungsi serat kelapa sebagai penguat yaitu dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lengkung, mempertinggi kekuatan tumbuk, meningkatkan ratio kekuatan terhadap berat, serta menjaga dan mempertahankan kestabilan bentuk. Serat sabut kelapa memiliki sifat fisik tersendiri seperti dijelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik serat kelapa

Sifat- Sifat	Nilai	Satuan
Densitas	1,25	$g/cm^3$
<i>Tensile Strength</i>	220	MPa
<i>Elongation Modulus</i>	6	Gpa
<i>Elongation at failure</i>	15-25	%

(Sumber : Sari *et al.*, 2011)

Serat sabut kelapa yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu melalui proses alkalisasi. Menurut Maryanti *et al.* (2011), Reaksi berikut menggambarkan proses yang terjadi saat perlakuan alkali pada serat:



Proses alkalisasi dapat membersihkan kotoran dan lapisan *lignin* pada permukaan atau dinding serat (Bakri *et al.*, 2013). Alkalisasi menghilangkan komponen penyusun serat yang kurang efektif dalam menentukan kekuatan antarmuka yaitu *hemiselulosa*, *lignin* atau *pektin*. Berkurangnya *hemiselulosa*, *lignin* atau *pektin*, menyebabkan daya serap serat oleh matriks akan semakin baik, sehingga kekuatan antar muka pun akan semakin meningkat. Selain itu, pengurangan *hemiselulosa*, *lignin* atau *pektin*, akan meningkatkan kekasaran permukaan yang menghasilkan *mechanical interlocking* yang lebih baik (Maryanti *et al.*, 2011). Susunan kimia serat sabut kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi kimia serat kelapa

Komposisi	Nilai (%)
Selulosa	32-43
Hemiselulosa	0,15-0,25
Lignin	40-45
Pektin	3-4
Kelembaban	8

(Sumber : Sari *et al.*, 2011)

### 2.3 Polylactic Acid (PLA)



Gambar 2.5. *Polylactic acid* (PLA)

Matriks yang digunakan dalam penelitian ini berupa polimer biodegradabel yaitu *polylactic acid* (PLA) resin seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5. PLA diperoleh dari polimerisasi asam laktat (Warsiki dan Farobie, 2007), sedangkan asam laktat terbuat dari fermentasi gula dari sumber karbohidrat seperti jagung, tebu, atau tanaman singkong (Grossman and Nwabunma, 1976). *Polylactic acid* (PLA) memiliki karakteristik yaitu transparan, berbentuk butiran, bersifat kaku, mengkilap serta memiliki ketahanan terhadap kelembapan, serta merupakan polimer yang elastis. Partikel halus dengan diameter sekitar 2,2  $\mu\text{m}$  tersuspensi dalam air dengan kandungan massa sekitar 40% (Sujito, 2012). PLA yang digunakan merupakan PLA jenis PL 2000 produksi *Miyoshi Oil and Fat Ltd* Jepang.

Tabel 2.3 Sifat fisis dan mekanis PLA-2000

Parameter	Nilai
Density (gram/cm <sup>3</sup> )	1,26
Tensile strength (MPa)	11,50
Young's modulus (Gpa)	1,10
Particle diameter (mm)	2,20
Kristalinitas (%)	10-40

(Sumber: Sujito, 2014)

PLA merupakan polimer yang bersifat termoplastis, sehingga mudah dibentuk oleh pemanasan (Ibrahim *et al.*, 2006). PLA dapat dipanaskan dimulai dari suhu ruang hingga pada suhu 180°C dan dipertahankan hingga satu jam. Kemudian, pada *hot-pressed* hanya bertahan 0,25 jam atau 15 menit pada suhu 180°C dibawah tekanan 40 MPa, dan didiamkan pada suhu ruang (Kasuga *et al.*, 2000). Salah satu cara untuk meningkatkan sifat mekanis dan termal dari PLA adalah dengan menambahkan serat dan material pengisi (*filler*) (Amri, 2011).

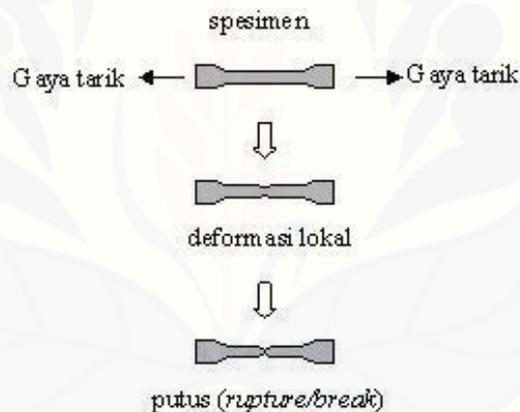
## 2.4 Uji Mekanik

Sifat mekanik material merupakan respon atau perilaku material terhadap pembebanan yang diberikan berupa gaya, torsi, atau gabungan keduanya (Gere *et al.*, 1996). Sifat mekanik bahan komposit bergantung dari sifat bahan penyusunnya (Kartini, 2002). Untuk mendapatkan sifat mekanik material dilakukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik umumnya bersifat merusak (*destructive test*), dimana dari hasil pengujian didapat data dan grafik yang mencirikan bahan yang diuji (Gere *et al.*, 1996).

Pengujian yang tepat hanya didapatkan pada material uji yang memenuhi aspek ketepatan pengukuran, kemampuan mesin, kualitas atau jumlah cacat pada material dan ketelitian dalam membuat spesimen. Sifat mekanik tersebut meliputi: kekuatan tarik, ketangguhan, kelenturan, keuletan, kekerasan, ketahanan aus, kekuatan impak, kekuatan mulur, kekuatan leleh dan sebagainya. Penelitian ini difokuskan kepada uji tarik dan uji *bending* bahan, untuk mengetahui kekuatan tarik dan kemampuan bahan dalam menerima beban dalam arah tegak lurus.

### 2.4.1. Uji Tarik

Kekuatan tarik adalah kemampuan bahan untuk menerima beban tanpa terjadi kerusakan. Kekuatan tarik suatu bahan ditetapkan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang mula-mula sebelum terdeformasi (Ginting, 2016). Uji tarik dilakukan karena beberapa alasan. Hasil uji tarik digunakan dalam memilih bahan-bahan untuk aplikasi perkerayaan. Kekuatan tarik sering termasuk dalam spesifikasi untuk menjamin kualitas bahan. Kekuatan tarik seringkali diukur selama pengembangan dari bahan-bahan baru dan proses, sehingga bahan yang berbeda dan proses dapat dibandingkan. Kekuatan tarik seringkali digunakan untuk memperkirakan bahan di bawah perilaku bentuk pembebanan tegangan titik tertentu (Davis, 2004).



Gambar 2.6. Spesimen saat uji tarik (Sumber: Sastranegara, 2009)

Pada Gambar 2.6 memperlihatkan spesimen uji tarik saat diberi gaya tarik vertikal dari kedua sisi dengan arah yang berlawanan. Ketika gaya yang diberikan semakin besar maka dapat mengakibatkan spesimen mengalami deformasi lokal berupa kerusakan atau keretakan pada titik tertentu. Sampai pada titik dimana kemampuan spesimen menahan beban sebelum akhirnya spesimen terputus.

Menurut Nurdiana *et al.* (2013), kekuatan tarik dapat dihitung dengan persamaan:

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

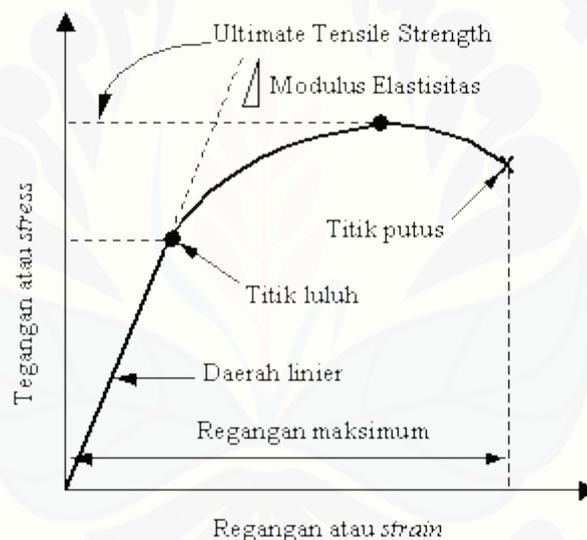
Keterangan:

$A$  = luas penampang benda uji ( $mm^2$ )

$\sigma_{UTS}$  = kekuatan tarik (MPa)

$F$  = gaya (N)

Menurut Daryanto (2007), kesebandingan antara gaya tarik dan regangan yang timbul sebenarnya hanya berlaku sampai pada harga batas tegangan tarik tertentu, yang biasa disebut batas proporsional, batas ini tergantung pada sifat-sifat bahan. Didalam penyelidikan sifat-sifat mekanis diatas batas proporsional, hubungan antara regangan dan tegangan biasanya dilukiskan dalam bentuk grafik pengujian tarik.



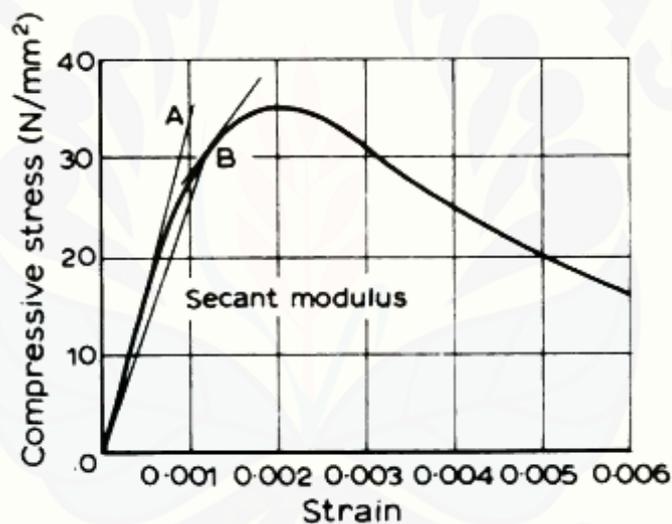
Gambar 2.7. Grafik tegangan-regangan (Sumber: Sastranegara, 2009)

Gambar 2.7 merupakan grafik pada saat uji tarik yang menunjukkan hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang dengan beban mengikuti aturan Hooke “rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah konstan” (Sastranegara, 2009).

Titik luluh (*yield point*) merupakan suatu batas dimana material akan terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban. Tegangan (*stress*) yang

mengakibatkan bahan menunjukkan mekanisme luluh ini disebut tegangan luluh (*yield stress*). Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya patahan (*fracture*) (Fahmi dan Hermansyah, 2011).  $E$  adalah gradien kurva dalam daerah linier, dimana perbandingan tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ) selalu tetap.  $E$  diberi nama “*Modulus Elastisitas*” atau “*Young Modulus*” (Sastranegara, 2009).

Istilah modulus yang hanya dapat digunakan pada saat bagian awal grafik menunjukkan kurva yang lurus dalam kurva. Meskipun bagian dari awal kurva sedikit membengkok dan kemiringan garis pada grafik OA, dimana kurva tangensial yang terbentuk dari titik awal kurva pada titik (0,0) disebut dengan *initial tangent modulus* (Kong dan Evans, 1998).



Gambar 2.8. Grafik tipikal tegangan regangan jangka pendek

Penentuan modulus elastisitas menggunakan metode *initial tangent modulus* menurut Lord (2005) ialah dengan meninjau daerah elastis pertama pada grafik tegangan-regangan. Modulus elastisitas dapat ditentukan dengan menarik garis lurus sejajar dengan yang terbentuk di awal grafik tegangan-regangan, seperti garis OA. Selanjutnya, gradien dari daerah linier tersebut ditentukan sebagai nilai modulus elastisitas bahan.

Regangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{(L_i - L_0)}{L_0} = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$\varepsilon$  = regangan

$L_0$  = panjang ukur sebelum pengujian (mm)

$L_i$  = panjang ukur setelah pengujian (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan dirumuskan:

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

Keterangan:

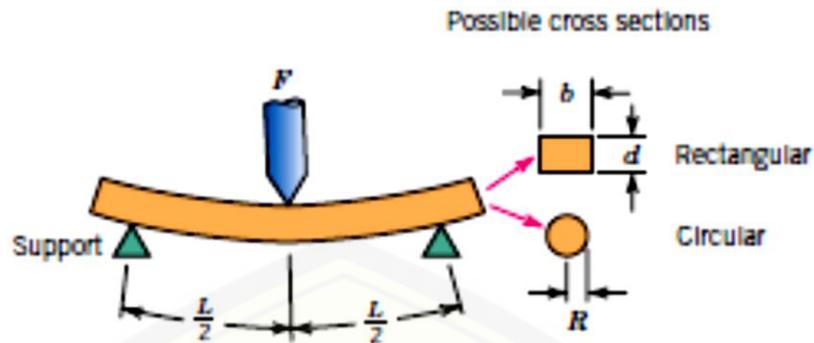
E = modulus elastisitas benda (MPa)

$\sigma$  = tegangan tarik daerah elastisitas (MPa)

$\varepsilon$  = regangan di daerah elastis

#### 2.4.2 Uji *Bending*

Uji *bending* atau uji lentur (*flexure test*) diterapkan untuk bahan yang menerima beban lentur, seperti pada pegas logam, keramik lantai, batu, kayu, plastik, dan gelagar beton. Secara umum proses pengujian *bending* memiliki dua cara pengujian, yaitu: *three point bending* dan *four point bending*. Kekuatan lentur umumnya diuji dengan metode *three-point bending* (Naharuddin *et al.*, 2015). Kelebihan dari metode *three point bending* adalah mudah dalam persiapan spesimen dan pengujian, serta pembuatan *point* lebih mudah (Makhrus, 2015)



Gambar 2.9. Metode pengujian *three point bending* (Sumber: Callister *et al.*, 2007)

Pada Gambar 2.9, menunjukkan sketsa spesimen pengujian *bending* metode *three point bending*. Metode ini menggunakan tiga titik saat pengujian. Titik pertama sebagai penekan yang berada di titik tengah bagian atas spesimen. Dua titik lainnya berada di bawah spesimen dengan jarak yang sama dari titik tengah sebagai tumpuan.

Menurut Callister *et al.* (2007), kekuatan *bending* dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$\sigma_b = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (2.4)$$

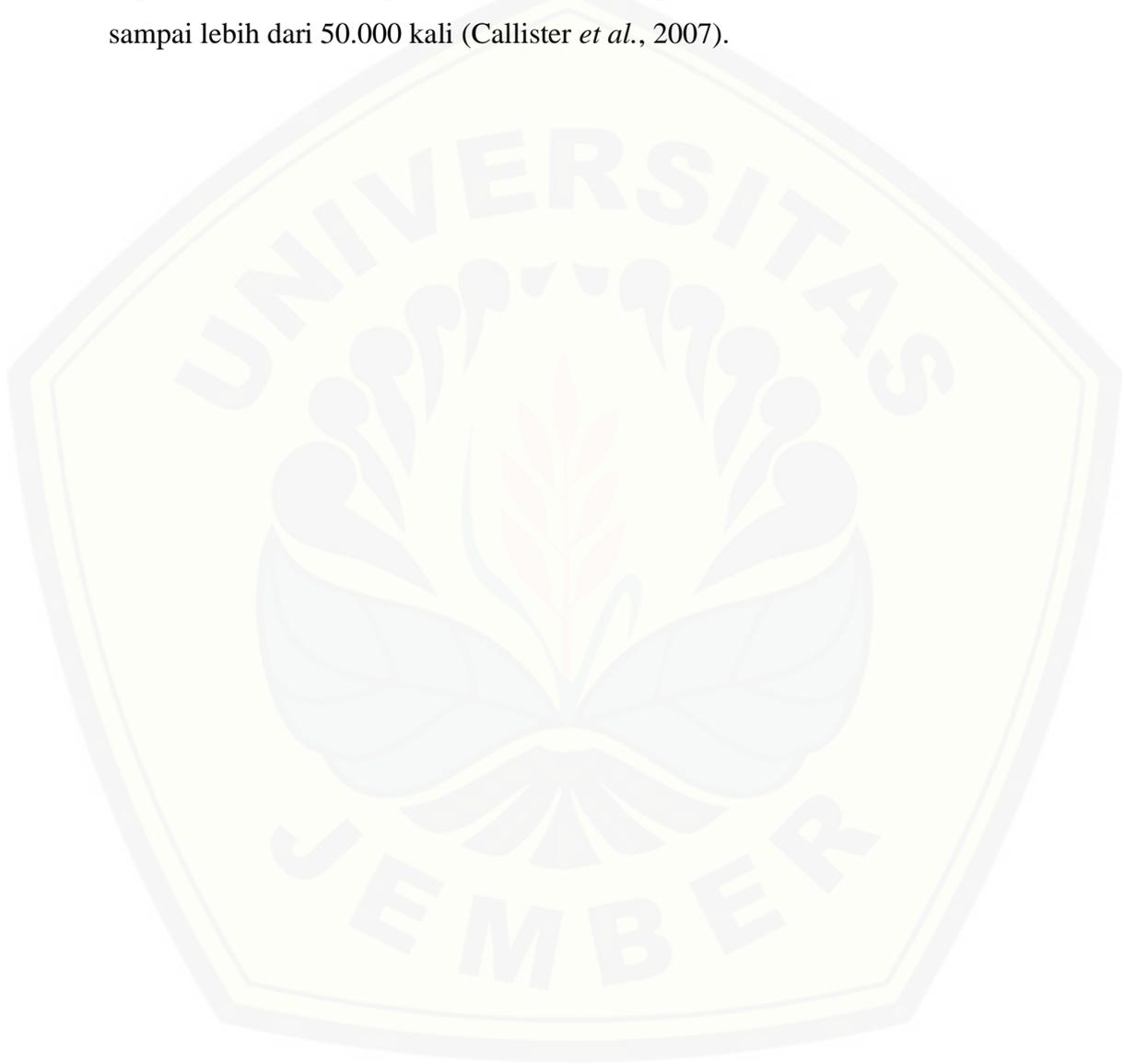
Dimana:

- $\sigma_b$  = kekuatan *bending* (MPa)
- F = gaya (N)
- L = panjang spesimen (mm)
- b = lebar (mm)
- d = tebal (mm)

## 2.5 Pengamatan Morfologi Bahan Komposit Menggunakan Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengamatan morfologi bahan dilakukan guna mengetahui susunan dalam bahan. Struktur morfologi dalam bahan menjelaskan ikatan antara matriks dan serat. Tujuannya untuk mengetahui fenomena penyebab kekuatan mekanik berbeda-beda untuk tiap fraksi massa. Pengamatan dilakukan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). *Scanning Electron Microscope* (SEM) digunakan

untuk mengamati permukaan spesimen. Permukaan spesimen yang akan diamati dipindai dengan berkas elektron, dan berkas elektron refleksi (atau balik-tersebar) dikumpulkan, kemudian ditampilkan pada tingkat pemindaian yang sama pada tabung sinar katoda (serupa dengan CRT layar televisi). Gambar pada layar yang dapat difoto mewakili permukaan fitur dari spesimen. Pembesaran mulai dari 10 sampai lebih dari 50.000 kali (Callister *et al.*, 2007).



## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian terbagi dalam dua tahap kegiatan yaitu tahap sintesis bahan dan tahap karakterisasi atau pengujian bahan. Proses sintesis bahan dan uji mekanik bahan menggunakan mesin uji merk Hwang Ta tipe HT 2404-10 KN dilakukan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember. Sedangkan untuk uji morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)* merk Hitachi tipe 3030 Plus dilakukan di Laboratorium Biosains Politeknik Negeri Jember. Pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan November 2017 sampai November 2018.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *blender*, saringan, alat cetak, *Hot Pressed Machine*, *cutter*, kertas teflon, wadah, pengaduk, teflon, penggaris, gunting, termometer, neraca, mesin uji merk Hwang Ta tipe HT 2404-10 KN dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Sementara itu, bahan yang digunakan berupa serat sabut kelapa, *polylactic acid (PLA)* jenis PL 2000 produksi *Miyoshi Oil and Fat Ltd* Jepang, Aquades, dan NaOH.

### 3.2 Jenis dan Sumber Data

Jenis data dari penelitian ini berupa data kuantitatif. Data kuantitatif yang diperoleh dari uji mekanik berupa data numerik yang berasal dari nilai kekuatan tarik dan *bending*. Data numerik disajikan dalam bentuk grafik tegangan dan regangan. Sedangkan data kuantitatif yang diperoleh dari pengamatan morfologi melalui uji *Scanning Electron Microscope (SEM)* berupa visualisasi bahan hasil sintesis. Adapun sumber data pada penelitian berupa data primer karena data tersebut diperoleh langsung dari hasil eksperimen.

### 3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukurannya

Adapun yang menjadi variabel pengukuran dalam penelitian ini meliputi:

### 1. Variasi fraksi massa

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi fraksi massa serat dan resin. Perbandingan fraksi massa serat dan resin yang digunakan yaitu: 0%:100%, 10%:90% , 20%:80%, 30%:70%, 40%:60%, dan 50%:50%.

### 2. Dimensi spesimen

Dimensi spesimen pada percobaan uji tarik dan *bending* berbeda. Pada Uji tarik spesimen menggunakan dimensi panjang 100 mm, lebar 10 mm, dan tebal kurang dari 10 mm. Spesimen untuk uji *bending* menggunakan dimensi panjang 100 mm, lebar 10 mm, dan tebal 10 mm.

Selanjutnya skala pengukuran dalam penelitian ini menggunakan skala rasio. Skala rasio digunakan untuk membandingkan data. Data yang diperoleh dibandingkan nilai kekuatan tarik dan *bending* pada setiap variasi fraksi massa. Serta dibandingkan nilai kekuatan maksimal dari grafik kekuatan tarik dan *bending*.

## 3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

Kerangka pemecahan masalah pada penelitian ini digambarkan dalam bentuk diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

### 3.4.1 Studi literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan informasi yang berhubungan dengan “kekuatan tarik dan *bending* bahan mikrokomposit berpenguat serat serabut kelapa dan *polylactic acid* (PLA) resin”. Informasi tersebut berdasarkan sumber yang ilmiah, seperti buku, skripsi, jurnal, artikel, dan karya ilmiah lainnya.

### 3.4.2 Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap persiapan alat dan bahan menyediakan segala alat dan bahan yang dibutuhkan selama proses penelitian. Selanjutnya menyiapkan serat sebelum melakukan proses sintesis bahan dengan memberikan perlakuan khusus pada serat untuk membersihkan dan mengubah ukuran serat. Perlakuan yang diberikan berupa proses alkalisasi. Menurut Bifel *et al.* (2015), proses alkalisasi pada serat serabut kelapa direndam dengan campuran Aquades dan NaOH 5% selama 2 jam untuk menghasilkan serat serabut kelapa yang memiliki nilai mekanik paling tinggi. Setelah proses perendaman selesai, serat serabut kelapa diblender beserta campuran cairan alkali selama 20 menit. Kemudian serat dicuci sampai cairan alkali menghilang dan dikeringkan dalam oven dengan temperatur 100°C selama 1 jam.

### 3.4.3 Sintesis Bahan

Sintesis bahan dilakukan dengan mencampurkan matriks dan penguat. Massa total yang digunakan 100 gram dalam sekali cetakan. Matriks berupa *polylactic acid* terlebih dahulu dicairkan, selanjutnya dilakukan proses pencampuran secara manual, yaitu dengan memasukkan serat kedalam matriks melalui proses pengadukan. Setelah pengadukan selesai, bahan langsung dipindahkan dalam cetakan berukuran 10x10 cm yang telah dilapisi kertas teflon dan dipress menggunakan mesin *press* manual. Kemudian, bahan dalam cetakan didiamkan hingga suhu cetakan menurun, selanjutnya bahan dikeluarkan dari cetakan. Spesimen bahan yang dihasilkan memiliki orientasi arah serat acak. Proses tersebut dilakukan berulang kali dengan variasi fraksi massa serat dan resin yang diinginkan sebesar 0%:100%, 10%:90%, 20%:80%, 30%:70%, 40%:60%, dan 50%:50%.

#### 3.4.4 Uji Mekanik dan Pengamatan Morfologi Internal Bahan Komposit

Uji mekanik yang ditetapkan pada penelitian ini adalah uji tarik dan *bending*. Pertama-tama spesimen diukur dimensinya mulai dari panjang, lebar dan tebalnya. Uji mekanik bahan menggunakan mesin uji merk Hwang Ta tipe HT 2404-10 KN. Setiap akan dilakukan pengujian, alat dikalibrasi terlebih dahulu hingga pembeban menunjukkan angka nol. Setelah selesai, proses penarikan bahan uji dilakukan dengan pemberian gaya dengan kecepatan *crosshead* 1 mm/detik hingga bahan patah. Kemudian hasil akhir dicatat, besar gaya yang diberikan dan panjang akhir spesimen setelah mengalami deformasi berupa patahan. Selanjutnya, dilakukan pengulangan pengujian pada specimen yang lainnya.

Berbeda dengan uji tarik, pada uji *bending* menggunakan metode *three point bending*. Dimensi spesimen diukur setelah itu ditentukan satu titik pembeban pada titik tengah bagian atas dan dua titik tumpu pada bagian bawah. Kemudian spesimen diberi gaya pada titik tengah bagian atas hingga terjadi kerusakan dan patah. Selanjutnya dicatat besar gaya yang diberikan dan dilakukan pengulangan pada spesimen yang lainnya. Hasil uji mekanik selanjutnya dilakukan pengamatan morfologi bahan komposit menggunakan uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengamati fenomena pada area patahan guna mengetahui fenomena yang mempengaruhi nilai kekuatan mekanik pada bahan. Pengujian SEM difokuskan pada bahan dengan kekuatan tarik tertinggi dan terendah guna mengetahui fenomena yang mempengaruhi kekuatan mekanik bahan.

### 3.5 Metode Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian bahan selanjutnya akan diolah untuk dianalisis lebih lanjut. Metode analisis datanya meliputi:

#### 1. Hasil Uji Mekanik

Data yang diperoleh dari uji mekanik meliputi nilai kekuatan tarik dan *bending*. Nilai kekuatan tarik diperoleh dari perhitungan berdasarkan data pengujian spesimen berupa beban yang diterima ( $F$ ) dan pertambahan panjang ( $\Delta l$ ) dalam bentuk grafik tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ). Selanjutnya, dari data pengujian

tersebut dihitung nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas bahan yang masing-masing menggunakan persamaan (2.1), untuk modulus elastisitas menggunakan metode *initial tangent modulus* dari grafik tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ) hasil uji tarik. Data yang diperoleh dari pengujian *bending* berupa beban yang diterima ( $F$ ). Nilai kekuatan *bending* diukur menggunakan persamaan (2.4). Berdasarkan hasil pengukuran uji tarik dan *bending*, selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan fraksi massa serat terhadap kekuatan tarik, grafik hubungan fraksi massa serat dengan modulus elastisitas, dan grafik hubungan fraksi massa serat terhadap kekuatan *bending*. Berdasarkan grafik tersebut selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi massa serat sabut kelapa dan *polylactic acid* (PLA) terhadap nilai kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan kekuatan *bending*nya.

## 2. Hasil Pengamatan Morfologi Bahan Komposit Menggunakan Alat *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Hasil dari pengamatan morfologi bahan komposit menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) diperoleh foto spesimen setelah mengalami deformasi bentuk dari uji tarik dan uji *bending*. Visualisasi dari foto spesimen pada pengujian SEM tersebut berupa perbesaran dari keadaan spesimen, sehingga dapat dianalisis fenomena-fenomena yang terjadi setelah bahan mengalami deformasi. Salah satu fenomena yang dapat dianalisis ialah ikatan *inteface* antara matriks dan serat pada spesimen. Selain itu dapat mengidentifikasi adanya *void* dalam bahan. Fenomena tersebut dapat dianalisis sebagai pengaruh karakteristik kekuatan bahan pada saat uji tarik dan uji *bending*.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap kekuatan tarik dan *bending* bahan mikrokomposit berpenguat serat sabut kelapa dan *polylactic acid* (PLA), adalah:

1. Kekuatan tarik bahan komposit serat sabut kelapa dan *polylactic acid* (PLA) tertinggi diperoleh pada bahan komposit dengan fraksi massa serat sabut kelapa 20%, yaitu sebesar  $(55,50 \pm 2,68)$  MPa. Sementara itu, kekuatan tarik terendah diketahui pada bahan komposit hasil sintesis dengan fraksi massa serat sabut kelapa 50%, yaitu sebesar  $(25,02 \pm 0,93)$  MPa.
2. Nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis pada penelitian ini tertinggi diperoleh pada bahan komposit dengan fraksi massa serat 20%, yaitu sebesar  $(149,84 \pm 6,65)$  MPa. Sementara itu, nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis, terendah diperoleh pada bahan fraksi massa serat sabut kelapa 0%, yaitu sebesar  $(68,39 \pm 5,17)$  MPa.
3. Kekuatan *bending* tertinggi bahan komposit hasil penelitian ini dimiliki oleh bahan tanpa penguat 0% sebesar  $(101,12 \pm 9,41)$  MPa dan bahan komposit dengan fraksi massa serat sabut kelapa 10%, yaitu sebesar  $(88,50 \pm 1,56)$  MPa. Penambahan fraksi massa serat sabut kelapa mengakibatkan penurunan nilai kekuatan *bending* bahan komposit hasil sintesis.
4. Pengamatan morfologi internal menggunakan SEM pada area patahan mengindikasikan adanya *void* dan *fiber break* pada bagian internal bahan mikrokomposit. Beberapa serat mengalami *pull-out* saat uji tarik dan *bending* dilakukan.

### 5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini yaitu dilihat dari bahan komposit hasil sintesis untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya yaitu, memperkecil rentang pertambahan fraksi massa serat menjadi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% untuk mengetahui titik perubahan kekuatan mekanik bahan. Pada pengamatan

morfologi bahan komposit hasil sintesis sebaiknya dilakukan sebelum dan sesudah terjadi deformasi untuk setiap variasi fraksi massa serat sebagai pembanding.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Abanat, J. D. J., A. Purnowidodo, dan Y. S. Irawan. 2012. Pengaruh Fraksi Volume Serat Pelepah Gebang (*Corypha Utan Lamarck*) Terhadap Sifat Mekanik Pada Komposit Bermatrik Epoksi. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 3(2): 352-361.
- Ajeng, Dianita. 2017. Pengaruh Fraksi Massa Serat Terhadap Sifat Mekanik Bahan Komposit Berpenguat Serat Sabut Kelapa Dan Matrik Polipropilena. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Amri, F.R. 2011. *Studi Mengenai Sifat Mekanis Komposit Polylactic Acid (PLA) diperkuat Serat Rami*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Asbhy, M., H. Shercliff, dan D. Cebon. 2007. *Materials: engineering, science, processing and design*. UK: Elsevier Ltd.
- Astika, I.M, dan I. G. K. Dwijana. 2013. Karakteristik sifat tarik dan mode patahan komposit polimer dengan penguat serat sabut kelapa. *Dinamika Teknik Mesin*. 4(2). ISSN: 2088-088X.
- Bagus, M. 2014. Pengaruh Variasi Fraksi Berat dan Panjang Serat Komposit Pelepah Kelapa dengan Matriks Polypropylene terhadap Kekuatan Tarik pada proses *Injection Molding*. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Bakri, S. Candrabakty, dan A. Dahyar. 2013. Efek Kondisi Lingkungan Komposit Serat Sabut Kelapa Sebagai Penguat Terhadap Kekuatan Impak Untuk Aplikasi Baling-baling Kincir Angin (The Environmental Effect of Coir Fibre Composite as Reinforcement On Impact Strength for Wind Energy Propeller Application). *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII*. (SNTTM XII):1099-1103.
- Bifel, R.D.N., Maliwemu, E.U.K., dan Adoe, D.G.H. 2015. Pengaruh Perlakuan Alkali Serat Sabut Kelapa terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyester. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Nusa Cendana*. 02(01): 61 – 68.
- Callister, William D, dan David G Rethwisch. 2007. *Materials Science and Engineering an Introduction 7<sup>th</sup> Edition*. USA: John Wiley & Sons.
- Campbell, F. C. 2010. *Structural Composite Materials*. US: ASM International.

- Daryanto, A. 2007. *Eksperimen dan Analisis Pemodelan Uji Tarik Plat Logam (Sheet Metal) dengan Standar ASTM E 8M*. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Diharjo, K. 2006. Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester. *JURNAL TEKNIK MESIN*. 8(1):8-13.
- Fahmi, H., dan H. Hermansyah. 2011. Pengaruh Orientasi Serat Pada Komposit Resin Polyester/ Serat Daun Nanas Terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Teknik Mesin*. 1(1): 46-52.
- Gapsari, F., dan P. H. Setyarini. 2010. Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Resin Berpenguat Serbuk Kayu. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 1(2): 59-64.
- Gere., Timoshenko, dan H. J. Wosparkrik. 1996. *Mekanika Bahan Edisi kedua jilid 1*. Indonesia: Erlangga.
- Ginting, E. M. (2016). *Sifat Mekanis Nano Komposit Termoplastik HDPE Dengan Beberapa Bahan Pengisi*. ISBN 978-602-0888-77-4. Medan: Unimed Press.
- Grossman, R. F., and Nwabunma, D. 1976. *Wiley Series on Polymer Engineering and Technology*. Canada: simakaneously. Auras, R. 2010. *POLY (LACTIC ACID); Synthesis. Structures, Properties, Processing, and Applications*. United States: Jhon wiley & Sons, Inc.
- Hartono., M. Rifai, dan Handoko. 2016. *Pengenalan Teknik Komposit*. Yogyakarta: Deepublish.
- Ibrahim, A., H. C. Wijaya., S. S. Achmadi, dan Y. Haryadi. 2006. Polikondensasi Azeotropik Asam Laktat Menjadi Poli Asam Laktat Sebagai Bahan Baku Kemasan. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 8(1): 58-64.
- Jokosisworo, S. 2009. Pengaruh Penggunaan Serat Kulit Rotan Sebagai Penguat Pada Komposit Polimer Dengan Matriks Polyester Yukalac 157 Terhadap Kekuatan Tarik dan Tekuk. *TEKNIK*. 30(3): ISSN 0852-1697.
- Jones, 1975. *Mechanics of Composite Material*. Kogakusha Ltd: Mc Graw-Hill.
- Junus, S. 2011. *Komposit, Proses Fabrikasi dan Aplikasi*. Jember: Universitas Jember.

- Kartini, R. 2002. *Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Kasuga, T., Y. Ota., M. Nogami, dan Y. Abe. 2000. Preparation and Mechanical Properties Of Polylactic Acid Composites Containing Hydroxyapatite Fibers. *Biomaterials*. 22(1): 19-23.
- Kelly, dan A. C. H. Zweben. 2000. *Comprehensive Composite Materials*. Volume 1. California: Elsevier.
- Kong, F. K., dan R. H. Evans. 1998. *Reinforced and Prestressed Concrete*. Thrid edition. Cambridge: E&FN SPON.
- Lord, J., M. Rides. dan M. Loveday. 2005. *Modulus Measurement Methods*. UK: National Physical Laboratory Queens Road Teddington.
- Lumintang, R. C. A., R. Soenoko, dan S.Wahyudi. 2011. Komposit Hibrid Polyester Berpenguat Serbuk Batang dan Serat Sabut Kelapa. *Jurnal Rekaya Mesin*. 2(2): 145-153.
- Makhrus, A. 2015. *Modifikasi Alat Uji Bending Sistem Mekanik Hodrolik dan Hasil Pengujian untuk Bahan Besi COR*. Semarang: Program Studi Diploma III Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- Maryanti, B., A. A. Sonief, dan S. Wahyudi. 2011. Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Rekayasa Mesin* 2(2): 123-129.
- Naharuddin, A. Sam, dan C. Nugraha. 2015. Kekuatan Tarik dan Bending Sambungan LAS pada Material Baja SM 490 dengan Metode Pengelasan SMAW dan SAW. *Jurnal Mekanikal*. 6(1): 550-555.
- Nurdiana, Z. Lubis, dan M. Vonnisa. 2013. Penentuan Kekuatan Tarik Material Komposit *Epoxy* dengan Pengisi Serat *Rockwool* Secara Eksperimen. *Jurnal Dinamis*. 1(13): ISSN 0216-7492.
- Purboputro, P. I. 2006. Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Impak Komposit Enceng Gondok Dengan Matriks Poliester. *Media Mesin*. 7(2): 70-76.

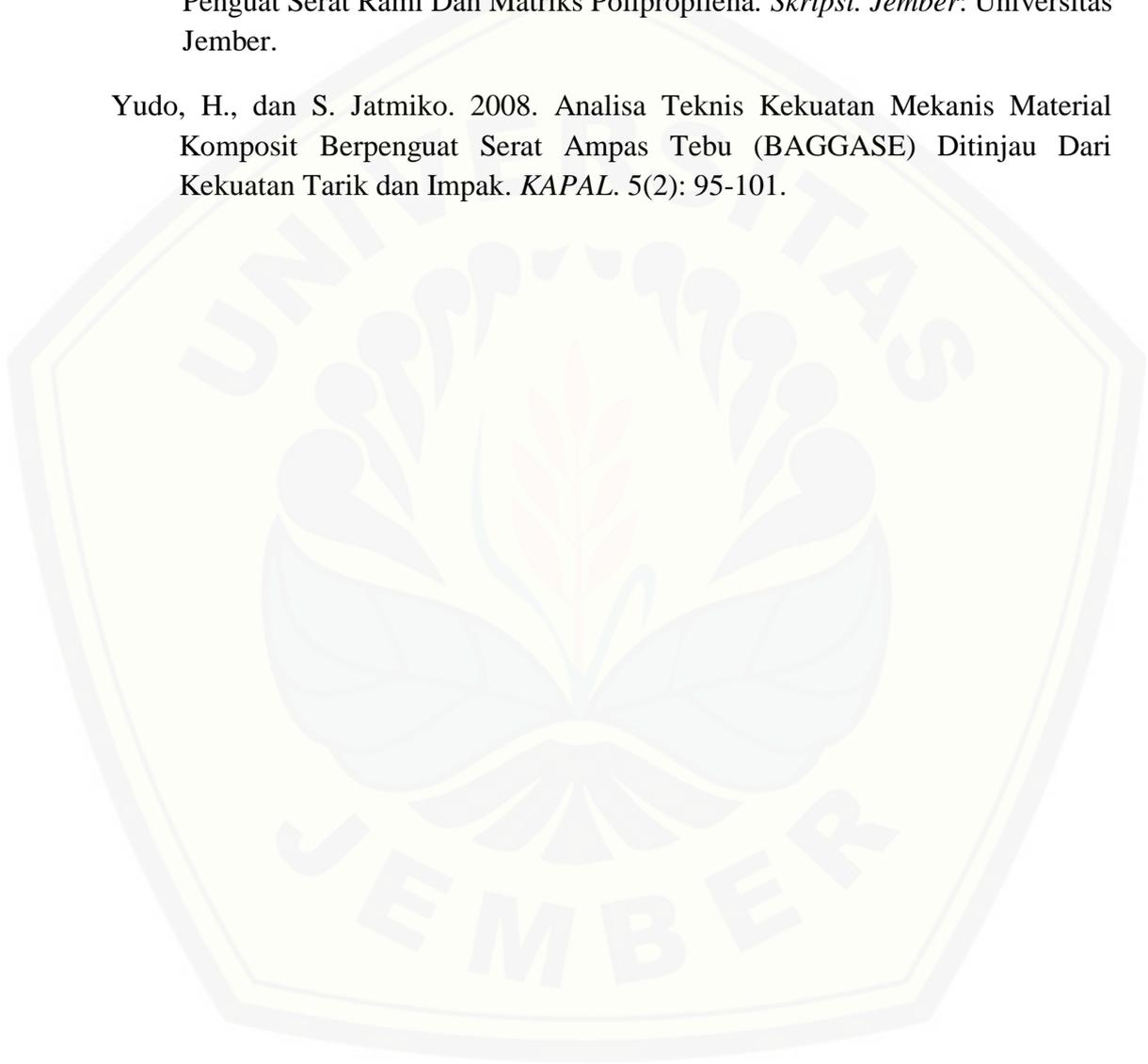
- Santoso, E. F., M. Tauviquirrahman, dan R. Ismail. 2015. Analisis Sifat Mekanik Komposit Serat Gelas Pada Tabung CNG Tipe 2. *Jurnal Teknik Mesin*. 4(4): 389-396.
- Sari, N. H., A. Zainuri, dan F. Wahyu. 2011. Pengaruh Panjang Serat Dan Fraksi Volume Serat Pelepah Kelapa Terhadap Ketangguhan *Impact* Komposit *Polyester*. 1(2): ISSN 2008-088X.
- Sastranegara, A. 2009. *Mengenal Uji Tarik dan Sifat-Sifat Mekanik Logam*. <http://www.infometrik.com/2009/09/mengenal-uji-tarik-dan-sifat-sifatmekaniklogam/>. [Diakses pada 9 Maret 2017].
- Savetlana, S., dan A. Andriyanto. 2012. Sifat-sifat Mekanik Komposit Serat TKKS-Poliester. *Jurnal Mechanical*. 3(1):45-50.
- Shalin, R. E. 1995. *Plimer Matrix Composite*. Cambridge: Chapman & Hall.
- Spinger. G. S. 2003. *Mechanics of Composite Structures*. New York: Cambridge University Press.
- Sujito. 2012. Kekuatan tarik dan Modulus Elastisitas Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berbasis Serat Bambu dan Matriks Asam Poli Laktat. *Jurnal Fisika FLUX*. 9(1): 49-58.
- Sujito. H. Munawaroh, dan E. Purwandari. 2013. Sifat-Sifat Mekanik dan Kemampuan Biodegradasi Bahan Biokomposit *Poly Lactic Acid* (PLA) dengan Penguat Lembaran Tipis Bambu dan Kayu Sengon. *Jurnal ILMU DASAR*. 14(2): 67-72.
- Sujito. 2014. Pengembangan Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serat Ampas Tebu dan Resin Biodegradable. *Abstrak dan Ragkuman Eksekutif Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi*. Jember: Lembaga Penelitian Universitas Jember.
- Susanti., Jasruddin, dan Subaer. 2015. Sintesis Komposit *Bioplastic* Berbahan Dasar Tepung Tapioka Dengan Penguat Serat Bambu. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. 11(2): 179-184.
- Wang, R. M., S. R. Zheng, and Y. Zheng. 2011. *Polymer Matrix Composites and Technology*. Science Press: Woodhead Publishing.
- Warsiki, E., dan O. Farobie. 2007. *Review Pembuatan Asam Polilaktat (PLA) dari Gliserol Sebagai Hasil Samping Industri Biodiesel*. Jakarta: Konferensi

Nasional 2007-Pemanfaatan Hasil Samping Industri Biodiesel dan Industri Etanol serta Peluang Pengembangan Industri Integratednya. 13 Maret 2007.

Wiyono, T., Sunaryo, dan Supardi. 2014. Sifat Mekanik Komposit Serat Kelapa Dengan Perekat Resin Polyester. *Politeknosains*. XIII(2): 35-43.

Wulandari, E. 2017. Kekuatan Dan Modulus Bending Bahan Komposit Dengan Penguat Serat Rami Dan Matriks Polipropilena. *Skripsi. Jember: Universitas Jember*.

Yudo, H., dan S. Jatmiko. 2008. Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (BAGGASE) Ditinjau Dari Kekuatan Tarik dan Impak. *KAPAL*. 5(2): 95-101.



LAMPIRAN

Lampiran 3.1 Bahan hasil sintesis sebelum dan setelah diuji



Gambar 1. Bahan komposit fraksi massa serat 10%



Gambar 2. Bahan komposit fraksi massa serat 20%



Gambar 3. Bahan komposit fraksi massa serat 30%



Gambar 4. Bahan komposit fraksi massa serat 40%



Gambar 5. Bahan Komposit fraksi massa serat 50%

### Lampiran 3.2 Perhitungan uji tarik

#### 3.2.1 Kekuatan tarik

No	Fraksi Massa Serat (%)	Luas (mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)	FK LUAS	$\sigma$ fk (MPa)	$\bar{\sigma}$ fk (MPa)
1	10	71,06	45,49	1,00	45,53	46,87
2		71,53	50,10	1,01	50,47	
3		72,18	43,88	1,02	44,61	
1	20	87,85	43,86	1,24	54,27	55,50
2		85,13	50,58	1,20	60,64	
3		80,85	45,31	1,14	51,59	
1	30	72,03	35,26	1,01	35,77	36,73
2		67,82	32,80	1,05	34,34	
3		67,50	38,10	1,05	40,07	
1	40	68,45	32,73	1,04	33,95	30,17
2		71,52	29,34	1,01	29,56	
3		78,30	24,50	1,10	27,02	
1	50	72,82	26,00	1,03	26,67	25,02
2		66,04	23,19	1,08	24,93	
3		68,51	22,63	1,04	23,45	
1	0	74,81	38,22	1,05	40,27	37,44
2		69,00	38,27	1,03	39,38	
3		71,69	32,37	1,01	32,69	

- Nilai kekuatan tarik

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

- Nilai kekuatan tarik setelah faktor koreksi

- $\sigma$  fk = fk luas  $\times$   $\sigma$

- Nilai kekuatan tarik rata-rata setelah faktor koreksi

- $\bar{\sigma} = \frac{(\sigma_1 fk + \sigma_2 fk + \sigma_3 fk)}{3}$

## 3.2.2 Modulus elastisitas

No	Fraksi Massa Serat (%)	Luas (mm <sup>2</sup> )	E (MPa)	FK LUAS	E fk (MPa)	$\bar{E}$ fk (MPa)
1	10	71,06	134,19	1,00	134,30	98,07
2		71,53	88,14	1,01	88,80	
3		72,18	69,95	1,02	71,12	
1	20	87,85	129,29	1,24	159,97	149,84
2		85,13	126,95	1,20	152,22	
3		80,85	120,59	1,14	137,32	
1	30	72,03	146,89	1,01	149,02	138,80
2		67,82	108,53	1,05	113,62	
3		67,50	146,17	1,05	153,75	
1	40	68,45	137,92	1,04	143,05	145,00
2		71,52	137,92	1,01	138,93	
3		78,30	138,75	1,10	153,02	
1	50	72,82	106,69	1,03	109,42	125,89
2		66,04	138,24	1,08	148,62	
3		68,51	115,44	1,04	119,64	
1	0	74,81	64,66	1,05	68,13	68,39
2		69,00	56,97	1,03	58,62	
3		71,69	77,65	1,01	78,41	

- E = Diperoleh dari metode *initial tangent modulus*
- Modulus elastisitas faktor koreksi

$$E_{fk} = E \times fk \text{ Luas}$$

- Nilai modulus elastisitas rata-rata faktor koreksi

$$\bar{E}_{fk} = \frac{(E_1fk + E_2fk + E_3fk)}{3}$$

### Lampiran 3.3 Pengujian *Bending*

#### 3.3.1 Nilai Kekuatan *Bending*.

No	Fraksi Massa Serat (%)	Panjang (mm)	Tebal (mm)	Lebar (mm)	F (N)	$\sigma$ (MPa)	FK	$\sigma$ fk (MPa)	$\bar{\sigma}$ fk (MPa)
1	10	50	8,50	11,30	742,60	68,22	1,48	100,71	100,61
2		50	8,30	11,15	746,70	72,91	1,39	101,27	
3		50	8,70	11,65	736,20	62,62	1,59	99,85	
1	20	50	7,50	11,70	614,50	70,03	1,19	83,34	83,74
2		50	8,80	11,55	597,30	50,08	1,62	81,01	
3		50	8,05	12,15	640,60	61,02	1,42	86,88	
1	30	50	8,85	9,75	362,20	35,57	1,38	49,12	50,50
2		50	8,60	9,65	395,40	41,55	1,29	53,63	
3		50	8,15	10,80	359,50	37,59	1,30	48,76	
1	40	50	8,95	10,10	294,10	27,26	1,46	39,89	43,28
2		50	8,15	11,85	321,90	30,67	1,42	43,66	
3		50	8,95	11,50	341,40	27,80	1,67	46,30	
1	50	50	9,00	12,00	321,10	24,78	1,76	43,55	39,29
2		50	9,90	12,10	222,60	14,08	2,14	30,19	
3		50	9,50	11,05	325,30	24,46	1,80	44,12	
1	0	50	7,20	8,90	615,50	100,05	1,20	119,92	102,69
2		50	8,00	8,65	720,50	97,61	1,00	97,72	
3		50	8,10	9,25	666,70	82,39	1,10	90,42	

- Nilai kekuatan *bending*

$$\sigma = \frac{3FL}{2bd^2}$$

- Nilai kekuatan *bending* setelah faktor koreksi  
 $\sigma$  fk = fk  $\times$   $\sigma$
- Nilai kekuatan *bending* rata-rata setelah faktor koreksi

$$\bar{\sigma} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{3}$$