



**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI BAHAN KOMPOSIT RAMAH LINGKUNGAN BERPENGUAT SERBUK LIMBAH KAYU SENGON DAN MATRIKS ASAM POLI LAKTAT (PLA)**

**SKRIPSI**

Oleh  
**Nurmania Irmala Sari**  
**NIM 131810201004**

**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2018**



**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI BAHAN KOMPOSIT RAMAH LINGKUNGAN BERPENGUAT SERBUK LIMBAH KAYU SENGON DAN MATRIKS ASAM POLI LAKTAT (PLA)**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Nurmania Irmala Sari**  
**NIM 131810201004**

**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2018**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya Bapak Muhammad Solihin dan Ibu Anik Irma Wati yang tiada hentinya memberiku motivasi, doa, nasehat dan menjadi sumber semangat selama saya berkuliah;
2. Adik-adikku Muhammad Ryan Devani dan Sarirere Solma Lovina yang selalu memberi semangat untuk selalu memberikan yang terbaik;
3. Semua guru-guruku dari Taman Kanak-Kanak, SD, SMP, SMA sampai Perguruan Tinggi, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini;
4. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

**MOTTO**

“Hai orang-orang yang beriman, Jadikanlah sabar dan shalatmu sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar”

(Terjemahan Surat Al-Baqarah: 153)\*



---

\*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2005. *Al-Quran dan Terjemahannya*. Bandung: CV Penerbit Diponegoro

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurmania Irmala Sari

NIM : 131810201004

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “*Fabrikasi dan Karakterisasi Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serbuk Limbah Kayu Sengon dan Matriks Asam Poli Laktat (PLA)*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan 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 dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

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

Jember, 30 Juli 2018

Yang menyatakan,

Nurmania Irmala Sari

NIM 131810201004

**SKRIPSI**

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI BAHAN KOMPOSIT RAMAH LINGKUNGAN BERPENGUAT SERBUK LIMBAH KAYU SENGON DAN Matriks ASAM POLILAKTAT (PLA)**

Oleh

Nurmania Irmala Sari  
NIM 131810201004

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs.Sujito, Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Endhah Purwandari, S.Si, M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “*Fabrikasi dan Karakterisasi Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serbuk Limbah Kayu Sengon dan Matriks Asam Poli Laktat (PLA)*” karya Nurmania Irmala Sari telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas  
Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I

Drs. Sujito, Ph.D.

Endhah Purwandari, S.Si, M.Si.

NIP 196102041987111001

NIP 198111112005012001

Anggota II

Anggota III

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

Dra. Arry Yuariatun Nurhayati M.Si.

NIP. 196812191994021001

NIP. 196109091986012001

Mengesahkan

Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.

NIP 196102041987111001

## RINGKASAN

**Fabrikasi dan Karakterisasi Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serbuk Limbah Kayu Sengon dan Matriks Asam Poli Laktat (PLA);** Nurmania Irmala Sari, 131810201004; 2018: 43 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Salah satu jenis material komposit yang banyak digunakan karena sifatnya yang ramah lingkungan adalah biokomposit, dimana material yang dipakai berasal dari alam. Tanaman yang dapat diaplikasikan sebagai material biokomposit adalah limbah serbuk kayu sengon. Tanaman sengon sendiri mempunyai struktur kayu yang lunak, permukaan kayunya licin, dan tanaman jenis ini banyak ditemukan khususnya di pulau Jawa, Maluku, dan Irian Jaya. Pemanfaatan limbah kayu sengon berupa serbuk belum maksimal sehingga diperlukan penelitian mengenai pemanfaatan serbuk limbah kayu sengon sebagai bahan komposit. Adapun komponen matriks yang dapat diaplikasikan salah satunya berasal dari bahan polimer alami yang bersifat termoplastik yakni menggunakan PLA. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh fraksi massa terhadap karakteristik kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan karakteristik morfologi dari bahan komposit berbasis serbuk limbah kayu sengon dan matriks asam poli laktat (PLA).

Penelitian ini terbagi menjadi tiga tahapan, yaitu sintesis bahan komposit, uji tarik, dan uji morfologi. Sebelum disintesis, terlebih dahulu serbuk limbah kayu sengon diolah untuk mendapatkan selulosa dari serbuk kayu sengon, langkah pertama adalah alkalisasi dengan cara merendam dengan larutan NaOH 5% selama 2 jam kemudian bilas dengan aquades. Serbuk yang sudah dibilas di *bleaching* dengan campuran 1,4% NaClO dan 500 ml aquades selama 1 jam untuk menghilangkan lignin yang masih tersisa, selanjutnya serbuk dicuci dengan menggunakan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk menghilangkan NaClO, kemudian dikeringkan dengan menggunakan suhu 100°C. Sintesis bahan komposit diawali dengan menentukan fraksi massa dari serbuk kayu sengon (0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%) dari massa total serbuk kayu sengon dan PLA sebesar 70 gr. Asam poli laktat dilelehkan sampai pada suhu 180°C untuk selanjutnya dicampurkan dengan serbuk kayu sengon, setelah bahan tercampur rata masukkan pada cetakan 10x10 cm<sup>2</sup>, bahan di cetak dengan menggunakan *hot press machine* yang sudah dipanaskan hingga suhu 150°C, kemudian diberikan tekanan sebesar ±10 MPa selama 5 menit.

Bahan komposit yang dihasilkan dari penelitian ini memiliki warna yang berbeda, semakin besar fraksi massa serbuk yang digunakan dalam fabrikasi bahan komposit, tampak semakin gelap warna bahan komposit yang dihasilkan. Sifat mekanik yang dianalisis dari penelitian ini adalah kekuatan tarik dan modulus elastisitas. Kekuatan tarik dapat diperoleh dengan menguji bahan komposit menggunakan mesin uji merek Hwang Ta tipe HT 2404-10 KN sehingga diperoleh data berupa nilai tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ). Berdasarkan grafik hubungan antara tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ) bahan komposit dengan penguat serbuk limbah kayu sengon dan matriks asam poli laktat dengan berbagai

variasi fraksi massa mengindikasikan bahwa bahan mengalami patah sebelum mencapai daerah plastis. Kekuatan tarik tertinggi pada penelitian ini terletak pada fraksi massa 0% sebesar 69,01 MPa dan modulus elastisitas tertinggi pada fraksi massa 30% sebesar 133,22 MPa

Kekuatan tarik tertinggi terletak pada fraksi massa 0% dan menurun sampai fraksi massa 40%. Hal ini dikarenakan matriks diduga tidak dapat mengikat serbuk limbah kayu sengon secara keseluruhan. Hasil uji tarik bahan komposit yang dilihat pada kondisi patahan dari masing-masing bahan mengindikasikan adanya tipe patahan *fiber fracture*. Berdasarkan hasil SEM pada fraksi massa 0% dengan perbesaran 2000 $\times$ , dapat dilihat bahwa permukaannya nampak rata dan ikatan antar matriks cukup baik. Pada fraksi massa ini hampir tidak ada void pada permukaan bahan, sedangkan pada hasil SEM untuk fraksi massa 20% dan 30% mulai terlihat adanya void (rongga udara) pada perbesaran 2000 $\times$ . Void pada fraksi massa 20% berjumlah tujuh dengan panjang void terbesar sebesar 13,423  $\mu\text{m}$  sedangkan void pada fraksi massa 30% berjumlah enam dengan ukuran panjang maksimum yang dihasilkan sebesar 5,178  $\mu\text{m}$ , sehingga diduga hal tersebut yang menyebabkan tingginya nilai modulus pada fraksi massa 30% dan rendahnya nilai modulus pada fraksi massa 20%.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Fabrikasi dan Karakterisasi Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serbuk Limbah Kayu Sengon dan Matriks Asam Poli Laktat (PLA)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Endhah Purwandari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah sabar dan meluangkan waktu untuk pembimbingan skripsi;
2. Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phil., Ph.D., selaku Dosen Penguji I dan Dra. Arry Yuariatun Nurhayati M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya untuk memberi kritik dan saran skripsi ini;
3. Bapak Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Dosen-dosen FMIPA Universitas Jember yang telah mendidik dan memberikan ilmu selama proses perkuliahan;
5. Tim TA Komposit yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaian skripsi ini (Putri S.W, Nur Kholifah, Mita Umi, Ismunawati, Elok Hidayah, Avkarina, Dianita, Rika Yuli, Rifan Zuhri, Aan Ubaidillah, dan Udin);
6. Teman-Teman yang telah membantu selama penelitian (Muhammad Subhan Aprianto, Nur Irvansyah, Putri S.W, dan Nur Kholifah);
7. Keluarga yang selalu memberikan motivasi, semangat, dan dukungan (Ari Yanuar Pradana Putra, Martina Anois, Dias Fajar Priyanto, dan Gusti Kristina Lucius);
8. Sahabat-sahabat yang memberikan motivasi (Fara Nur.S., Ruly Dwi.A, Imama Siti Mutmainah, Darma Winhaler.G., Merinda Lestari, Jamalludin, Ahmad Imam.Q., Ahmad Fauzi, Aprizal Faruchi, Zilmi Kaffah);

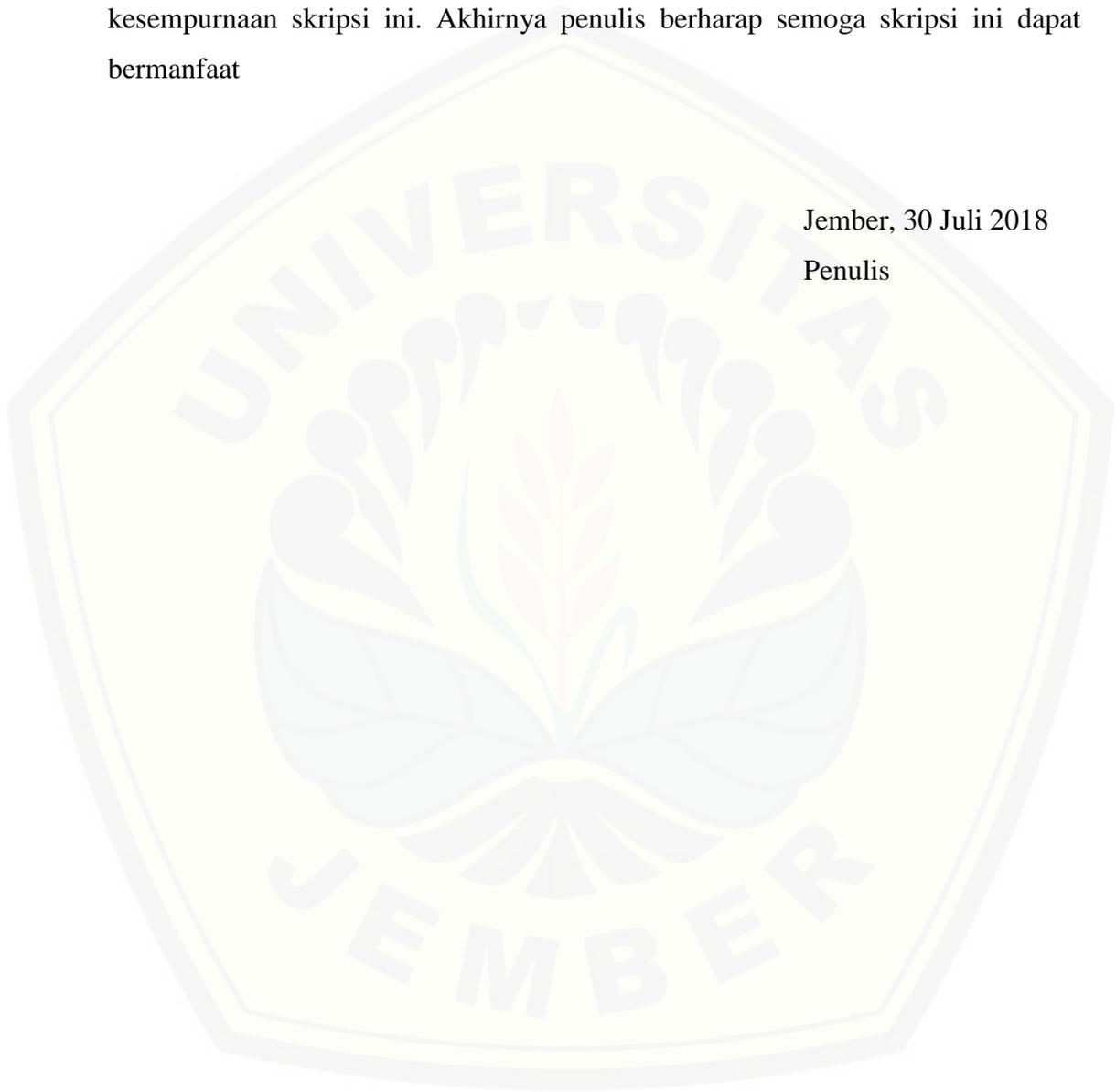
9. Teman-teman angkatan 2013 terimakasih untuk kebersamaan selama ada di fisika;

10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

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

Jember, 30 Juli 2018

Penulis



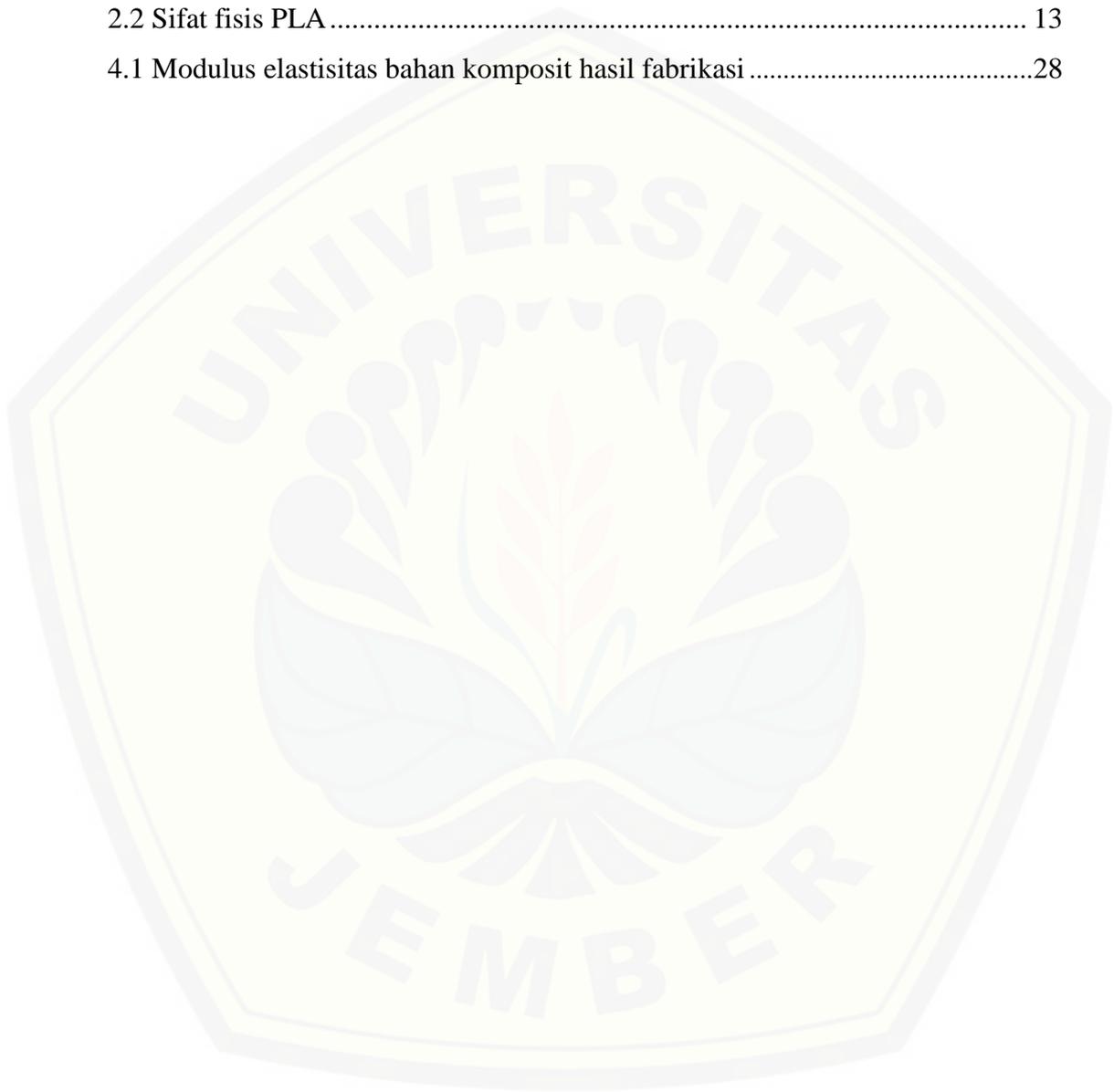
DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN SKRIPSI</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>BAB 1.PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>BAB 2.TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Bahan Komposit</b> .....	5
<b>2.2 Komposit Berdasarkan Jenis Matriks</b> .....	6
<b>2.3 Komposit Berdasarkan Penguatnya</b> .....	6
<b>2.4 Serbuk Kayu Sengon</b> .....	9
<b>2.5 Asam Poli Laktat ( <i>poly-lactid acid</i> )</b> .....	12
<b>2.6 Karakterisasi Bahan Komposit</b> .....	13
2.6.1 Uji Tarik .....	14
2.6.2 Uji Morfologi SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) .....	17

<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	18
<b>3.1 Rancangan Kegiatan Penelitian</b> .....	18
<b>3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian</b> .....	18
<b>3.3 Variabel Penelitian</b> .....	19
<b>3.4 Kerangka Penyelesaian Masalah</b> .....	19
3.4.1 Alat dan Bahan .....	20
3.4.2 Tahap Pengolahan Selulosa Serbuk Kayu Sengon .....	20
3.4.3 Matriks.....	21
3.4.4 Sintesis Bahan Komposit.....	21
3.4.5 Karakterisasi Bahan Komposit .....	22
<b>3.5 Metode Analisis Data</b> .....	23
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	24
<b>4.1 Bahan Komposit Hasil Fabrikasi</b> .....	24
<b>4.2 Kekuatan Tarik Bahan Komposit Hasil Fabrikasi</b> .....	25
<b>4.3 Modulus Elastisitas Bahan Komposit Hasil Fabrikasi</b> .....	28
<b>4.4 Morfologi Internal Bahan Komposit Hasil Fabrikasi</b> .....	31
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	37
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	37
<b>5.2 Saran</b> .....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	38
<b>LAMPIRAN</b> .....	44

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Komponen kimia kayu sengon.....	11
2.2 Sifat fisis PLA.....	13
4.1 Modulus elastisitas bahan komposit hasil fabrikasi.....	28



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Komposisi komposit .....	5
2.2 Diagram komposit berdasarkan penguatnya .....	7
2.3 Komposit partikel.....	7
2.4 Komposit serat .....	8
2.5 Serat panjang ( <i>continuous fiber</i> ) dan serat pendek ( <i>discontinuous fiber</i> )...	8
2.6 Komposit struktur .....	9
2.7 Komposit <i>laminated</i> .....	9
2.8 Komposit <i>sandwich</i> .....	9
2.9 Kayu sengon.....	10
2.10 Serbuk kayu sengon .....	12
2.11 Asam poli laktat ( <i>poly-lactid acid</i> ) .....	13
2.12 Grafik tegangan-regangan.....	15
2.13 Metode <i>offset</i> .....	15
2.14 Tipe grafik tegangan-regangan .....	16
3.1 <i>Fishbone</i> diagram kerangka penyelesaian masalah .....	20
3.2 Asam poli laktat ( <i>polylactid acid</i> ).....	21
3.4 Alat Uji Merek Hwang Ta tipe HT 2404–10 KN.....	22
4.1 Foto bahan komposit berpenguat serbuk limbah kayu sengon dan matriks asam poli laktat pada berbagai variasi fraksi massa : (a) 0%, (b) 10%, (c).20%, (d)30%, dan (e) 40% .....	24
4.2 Grafik hubungan antara tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ) bahan komposit berpenguat serbuk limbah kayu sengon dan matriks asam poli laktat pada berbagai variasi fraksi massa penguat .....	25
4.3 <i>Trendline</i> diagram batang kekuatan tarik ( $y$ ) sebagai fungsi fraksi massa serbuk ( $x$ ) .....	26
4.4 Diagram modulus elastisitas dan densitas bahan komposit hasil sintesis pada berbagai varias fraksi massa serbuk limbah limbah kayu sengon.....	29

4.5	Foto patahan pada bahan komposit setelah uji tarik pada fraksi massa a) 30% dan b) 40% .....	31
4.6	Hasil SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) pada fraksi massa 0% menggunakan perbesaran 100 ×, dengan daerah yang akan dianalisis lebih lanjut ditunjukkan oleh lingkaran hitam .....	32
4.7	Hasil SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) pada fraksi massa 0% menggunakan perbesaran 2000 × .....	33
4.8	Hasil SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) pada fraksi massa 20% menggunakan perbesaran 100 ×, dengan daerah yang akan dianalisis lebih lanjut ditunjukkan oleh lingkaran hitam .....	34
4.9	Hasil SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) pada fraksi massa 20% menggunakan perbesaran 2000 × dengan tanda panah sebagai void .....	34
4.10	Hasil SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) pada fraksi massa 30% menggunakan perbesaran 100 ×, dengan daerah yang akan dianalisis lebih lanjut ditunjukkan oleh lingkaran hitam .....	35
4.11	Hasil SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) pada fraksi massa 30% menggunakan perbesaran 2000 × dengan tanda panah sebagai void .....	36

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
4.1 Grafik Tegangan dan Regangan Pada Tiap Fraksi Massa .....	44
4.2 Data Nilai Tegangan dan Regangan Pada Gambar 4.2 .....	47
4.3 Hasil Uji Tarik Bahan Komposit Dengan Matriks Asam Poli Laktat dan Penguat Serbuk Limbah Kayu Sengon.....	52
4.4 Hasil Modulus Elastisitas Bahan Komposit Dengan Matriks Asam Poli Laktat dan Penguat Serbuk Limbah Kayu Sengon .....	52
4.5 Tabel Bahan Hasil Sintesis Sebelum dan Sesudah Uji Tarik.....	53
4.6 Mesin Uji SEM merek Hitachi tipe 3030 Plus dan Gambar Potongan Bahan untuk Uji SEM .....	54
4.7 Hasil Pengukuran Panjang Void Menggunakan <i>ImageJ</i> Pada Fraksi Massa 20% .....	55
4.8 Hasil Pengukuran Panjang Void Menggunakan <i>ImageJ</i> Pada Fraksi Massa 30%.....	55
4.9 Data Hasil Densitas .....	56

## BAB 1.PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang kaya akan hasil hutannya terutama kayu, sehingga banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan industri besar, industri kecil, dan rumah tangga. Menurut Departemen Kehutanan (2006) produksi hasil hutan khususnya kayu telah mencapai produksi nasional sebesar 9.100.000 m<sup>3</sup>. Dalam pengolahan kayu baik dalam bentuk setengah jadi maupun jadi selalu diperoleh limbah hasil pengolahannya berupa serbuk kayu (Slamet, 2013). Tingginya permintaan produksi kayu dari berbagai industri membuat pengusaha agar mengembangkan bahan atau jenis teknologi baru yang murah dan lebih ramah lingkungan untuk memenuhi kebutuhan di dunia industri.

Berkembangnya teknologi saat ini menuntut adanya bahan baru yang memiliki kekuatan lebih tinggi dibandingkan yang lain sehingga dapat digunakan untuk keperluan industri. Saat ini bahan komposit termasuk jenis bahan yang berkembang begitu pesat karena tahan korosi sehingga dibutuhkan sebagai bahan pengganti logam. Komposit sendiri merupakan penggabungan dua atau lebih material yang memiliki perbedaan bentuk, sifat, dan komposisinya sehingga akan menjadi material baru yang sifatnya lebih baik (Prasetyo, 2010). Terdapat dua penyusun bahan komposit yaitu matriks dan penguat namun penguat memiliki sifat lebih kuat jika dibandingkan dengan matriks yang mempunyai kekuatan lebih rendah (Jokosisworo, 2009).

Salah satu jenis material komposit yang banyak digunakan karena sifatnya yang ramah lingkungan adalah biokomposit, dimana material yang dipakai berasal dari alam. Material dari alam digunakan karena sifatnya yang ramah lingkungan. Hingga saat ini banyak bahan dari alam yang dapat digunakan dalam pembuatan bahan komposit ramah lingkungan, seperti serat bambu (Sujito *et al.*, 2013 a). Selain serat bambu, tanaman yang dapat diaplikasikan sebagai material biokomposit adalah limbah serbuk kayu sengon. Tanaman sengon sendiri mempunyai struktur kayu yang lunak, permukaan kayunya licin, mudah digergaji,

dan tanaman jenis ini banyak ditemukan khususnya di pulau Jawa, Maluku, dan Irian Jaya (Iskandar, 2006).

Pemanfaatan limbah kayu sengon berupa serbuk belum maksimal sehingga diperlukan penelitian mengenai pemanfaatan serbuk limbah kayu sengon salah satunya dengan menggunakan bahan polimer yang mudah terdegradasi. Saat ini bahan polimer banyak digunakan sebagai pengganti bahan logam yang berat dan mudah berkarat. Salah satu bahan polimer yang mudah dibentuk adalah bahan polimer termoplastik jenis asam poli laktat (*polylactid acid*) (Hasibuan, 2006). Asam poli laktat merupakan polimer *biodegradable* yang diperoleh dari polimerisasi asam laktat, sedangkan asam laktat dapat diproduksi dari proses kimiawi berbahan baku pati atau gula sehingga asam poli laktat bersifat *renewable* (Warsiki dan Farobie, 2007).

Penelitian menggunakan asam polilaktat (*polylactid acid*) sebagai komponen matriks pada material biokomposit sudah banyak dilakukan. Soleha (2012) telah menggunakan matriks PLA (*polylactid acid*) dengan penguat limbah pengolahan kayu lapis sengon menggunakan 3 variasi menurut orientasi penguatnya yaitu longitudinal, transversal, dan campuran. Hasil dari penelitiannya diperoleh kekuatan tarik dan modulus elastisitas tertinggi pada arah penguat longitudinal dengan  $11,296 \pm 1,604$  MPa dan  $8,134 \pm 0,368$  MPa. Sujito *et al* (2013 b) juga melakukan penelitian menggunakan lembaran tipis bambu dan kayu sengon dengan matriks PLA (*polylactid acid*), diperoleh hasil kekuatan tarik sebesar  $(22,70 \pm 0,58)$  MPa menggunakan penguat kombinasi 9 lembar lapisan tipis kayu sengon. Sujito *et al* (2011) telah menggunakan matriks PLA (*polylactid acid*) dengan penguat serat bambu, hasil dari penelitiannya diperoleh nilai maksimum kekuatan tarik dan modulus elastisitas sebesar  $110,47 \pm 5,35$  MPa dan  $4,33 \pm 0,27$  MPa pada massa serat bambu sebesar 40% .

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya karakteristik serbuk limbah kayu sengon dengan matriks PLA dengan perlakuan *bleaching* dan variasi fraksi massa belum dilakukan, sehingga pada penelitian ini akan dianalisis mengenai karakterisasi bahan komposit ramah lingkungan dengan penguat serbuk limbah kayu sengon dan matriks PLA dengan perlakuan *bleaching* dan variasi fraksi

massa sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%. Serbuk limbah kayu sengon *dibleaching* guna menghilangkan kandungan lignin. Fabrikasi bahan komposit dilakukan dengan menggunakan alat *hot press machine* pada temperatur 180°C dan ditekan menggunakan tekanan 10± MPa selama 5 menit. Adapun tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh fraksi massa serbuk limbah kayu sengon terhadap kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan morfologi. Sehingga penelitian ini diharapkan dapat menjadi tambahan informasi mengenai sintesis bahan komposit berpenguat serbuk limbah kayu sengon.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah pengaruh fraksi massa penguat terhadap karakteristik bahan komposit berbasis serbuk limbah kayu sengon dan matriks asam poli laktat (PLA).

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Karakteristik bahan dibatasi pada pengukuran kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan morfologi dari bahan komposit yang dihasilkan.
2. Fabrikasi dilakukan dengan alat *hot press machine* pada tekanan 10 MPa dan temperatur 150°C.
3. Serbuk limbah kayu sengon yang digunakan memiliki fraksi massa penguat 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengkaji pengaruh fraksi massa terhadap karakteristik kekuatan tarik dan modulus elastisitas dari bahan komposit berbasis serbuk limbah kayu sengon dan matriks asam poli laktat (PLA).

2. Mengkaji pengaruh fraksi massa terhadap karakteristik morfologi dari bahan komposit berbasis serbuk limbah kayu sengon dan matriks asam poli laktat (PLA).

### 1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat:

1. Menambah pengetahuan mengenai karakteristik mekanik bahan komposit serbuk kayu sengon bermatriks asam poli laktat (*polylactid acid*).
2. Menjadi pertimbangan dalam pengembangan inovasi penggunaan serbuk kayu sengon untuk dijadikan bahan komposit sehingga dapat memiliki nilai jual dan tidak mencemari lingkungan.
3. Menjadi sumber pustaka atau referensi pada penelitian bahan komposit campuran asam poli laktat (*polylactid acid*) dan serbuk kayu sengon.

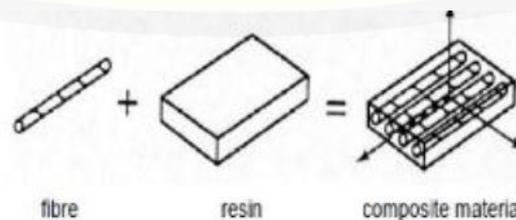
## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bahan Komposit

Bahan komposit merupakan gabungan dari bahan penguat seperti serat (*fibers*) dan bahan pengikat yaitu matriks (resin). Penggabungan kedua bahan ini memiliki tujuan untuk memperoleh sifat baru, sehingga memiliki perbedaan dengan material pembentuknya seperti pada Gambar 2.1. Di dalam bahan komposit, komponen matriks berfungsi sebagai pendistribusi beban ke seluruh material penguat, sedangkan komponen penguat berfungsi sebagai penahan beban (Septiyanto dan Abdullah, 2016). Penguat yang digunakan biasanya berupa serat atau serbuk, baik itu sintetis maupun dari alam. Keunggulan dari serat sintetis seperti *fiber glass* terletak pada kekuatannya dan tidak menyerap air, sedangkan pada serat alam memiliki massa jenis yang rendah dan dapat terurai (Yudhyadi dan Sari, 2013). Selain keunggulan dari bahan komposit juga terdapat kelemahan dari tiap bahan penyusun namun hal itu dapat ditingkatkan. Beberapa sifat yang dapat ditingkatkan untuk mengurangi kelemahan antara lain:

- Kekuatan
- Korosi
- Berat
- Kekakuan

Namun, tidak seluruh sifat tersebut dapat dikembangkan dalam suatu bahan komposit secara bersamaan (Jones, 1999). Bahan komposit sangat bagus untuk dikembangkan sebagai pengganti produk utama pengolahan kayu karena sifatnya yang unggul yaitu sumber bahan bakunya bisa dari limbah non kayu misalnya limbah dari industri (Delviawan, 2015).



Gambar 2.1 Komposisi komposit (Sardar *et al.*, 2014)

## 2.2 Komposit Berdasarkan Jenis Matriks

Callister dan Rethwisch (2010) menyatakan bahwa bahan komposit dapat diklasifikasikan menjadi 3 berdasarkan jenis matriksnya yaitu:

### 1. *Metal Matrix Composite* (Komposit Matriks Logam)

Komposit jenis ini merupakan gabungan dari 2 bahan, logam sebagai matriks dan bahan kedua sebagai penguat. Komposit jenis ini memiliki kelebihan yaitu memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi dan tidak mudah terbakar. Komposit jenis ini juga memiliki kelemahan yaitu biaya produksinya mahal dan memiliki berat yang cukup tinggi karena matriksnya terdiri dari logam dan diaplikasikan sebagai peralatan militer.

### 2. *Ceramic Matrix Composite* (Komposit Matriks Keramik)

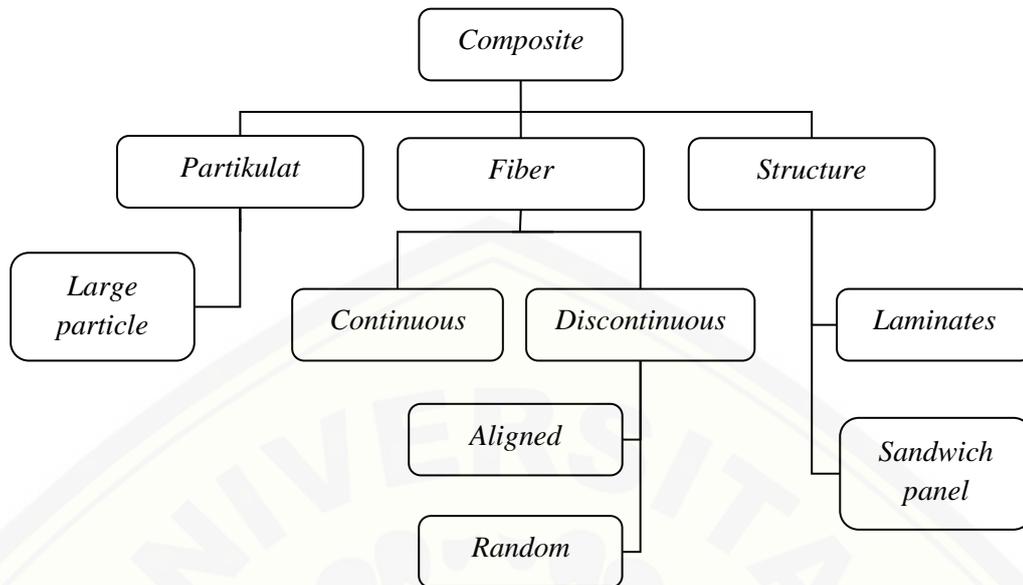
Komposit jenis ini merupakan kombinasi dari dua jenis bahan, keramik sebagai matriks dan bahan yang lainnya sebagai penguat. Kelebihan dari komposit jenis ini adalah tahan pada temperatur tinggi dan tahan terhadap korosi. Selain kelebihan komposit jenis ini juga memiliki kekurangan yaitu sulit diproduksi dalam jumlah besar.

### 3. *Polymer Matrix Composite* (Komposit Matriks Polimer)

Komposit polimer merupakan komposit dengan matriks yang berasal dari polimer, komposit jenis ini dapat diproduksi dalam jumlah besar karena biaya produksi yang lebih murah. Aplikasi dari komposit jenis ini antara lain digunakan sebagai bodi otomotif dan industri transportasi. Hal tersebut diharapkan dapat menurunkan berat kendaraan.

## 2.3 Komposit Berdasarkan Penguatnya

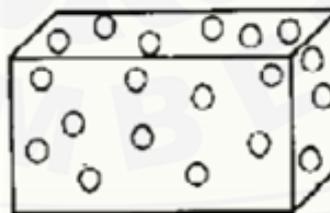
Berdasarkan bentuk bahan penguatnya komposit tersusun dari 3 jenis, yang dapat di lihat pada Gambar 2.2:



Gambar 2.2 Diagram komposit berdasarkan penguatnya (Callister dan Rethwisch, 2007)

Dari Gambar 2.2, komposit berdasarkan jenis penguatnya terdapat 3 jenis yaitu:

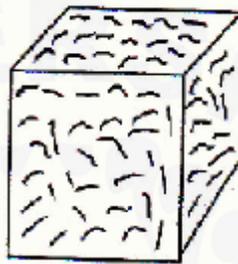
1. *Particulate composite* (komposit partikel) merupakan komposit yang penguatnya memiliki bentuk partikel seperti pada Gambar 2.3. Partikel sebagai bahan penguat sangat menentukan sifat mekanik dari komposit karena meneruskan beban yang didistribusikan oleh matriks (Febrianto, 2011). Komposit partikel ini memiliki kelebihan yaitu kekuatan dan temperaturnya dapat ditingkatkan. Contoh dari bahan komposit partikel yang berasal dari alam diantaranya partikel serbuk genteng.



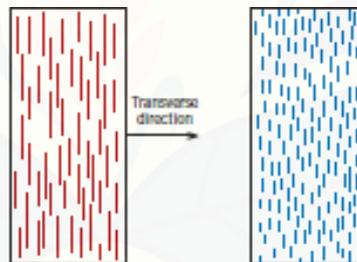
Gambar 2.3 Komposit partikel (Sumber: Nayiroh, 2013)

2. *Fiber Composite* (komposit serat) merupakan komposit yang penguatnya berbentuk seperti serat seperti pada Gambar 2.4. Saat ini banyak sekali serat alam (*natural fiber*) yang digunakan seperti serat nanas, sabut kelapa, dan rami. Komposit dari jenis serat alam lebih efisien dalam menerima beban dan

gaya (Nurhidayat, 2013). Serat alam memiliki keunggulan diantaranya harga lebih murah dan ramah lingkungan. Komposit serat ini dapat disusun secara acak ataupun dengan orientasi tertentu (Nurdin, 2014). Komposit dari serat alam (*natural fiber*) juga memiliki kelemahan diantaranya kekuatan serat yang dipengaruhi oleh usia dari serat itu sendiri, komposit serat dibedakan sesuai ukuran yaitu serat panjang (*continuous fiber*) dan serat pendek (*discontinuous fiber*) seperti pada Gambar 2.5.

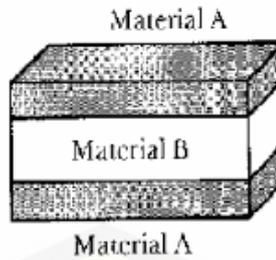


Gambar 2.4 Komposit serat (Nurhidayat, 2013)

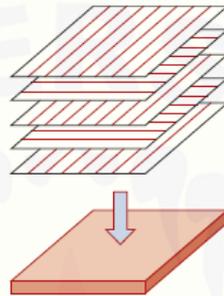


Gambar 2.5 Serat panjang (*continuous fiber*) dan serat pendek (*discontinuous fiber*) (Callister dan Rethwisch, 2010)

3. *Structural composite* (komposit struktural) merupakan komposit yang dibentuk oleh penguat yang memiliki bentuk lembaran yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Berdasarkan strukturnya komposit ini dibedakan menjadi dua yaitu struktur *laminated* dan struktur *sandwich* (Abusiri, 2016). *Laminated* adalah gabungan dua atau lebih lamina yang berbentuk elemen struktur pada komposit seperti pada Gambar 2.7, lamina sering digunakan karena memiliki kekuatan yang tinggi (Callister dan Rethwisch, 2007).

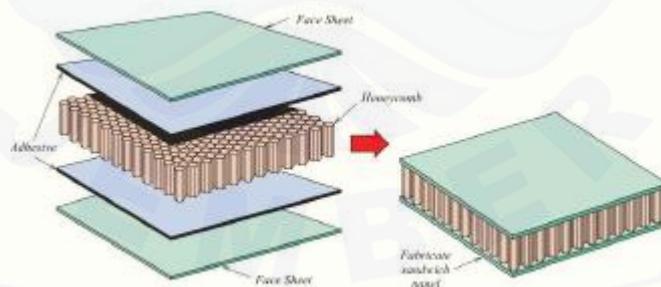


Gambar 2.6 Komposit struktur (Sumber: Nayiroh, 2013)



Gambar 2.7 Komposit *laminat* (Callister dan Rethwisch, 2007)

Struktur *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite* sebagai kulit permukaan serta material inti dibagian tengahnya seperti Gambar 2.8. Komposit jenis ini mempunyai kekuatan yang tinggi (Abusiri, 2016).



Gambar 2.8 Komposit *sandwich* (Callister dan Rethwisch, 2007)

## 2.4 Serbuk Kayu Sengon

Serbuk kayu merupakan salah satu limbah industri pengolahan kayu seperti serbuk gergaji, sebetan, dan sisa kupasan sehingga limbah serbuk kayu meningkat seiring dengan banyaknya penggunaan kayu, serbuk gergaji memiliki

temperatur yang rendah yaitu kurang dari 400 °F (Kooskurniasari, 2014). Kayu sengon pada Gambar 2.9 mempunyai nama latin *Paraserianthes falcataria* dikenal sebagai salah satu tanaman yang mempunyai sifat cepat tumbuh (Praptoyo dan Puspitasari, 2012). Penyebaran kayu sengon adalah diseluruh jawa, Maluku, dan Irian Jaya. Kayu sengon mempunyai batang yang lunak dibandingkan kayu jenis lain sehingga mudah digergaji untuk proses pembuatan kayu sengon menjadi alat-alat rumah tangga seperti lemari dan meja belajar.

Kayu sengon memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Berwarna putih dan coklat muda;
2. Teksturnya kasar dan merata dengan serat yang lurus;
3. Permukaan kayu licin dan agak mengkilap;
4. Kayu yang masih segar berbau petai;
5. Termasuk kelas awet IV/V

Kayu sengon mempunyai penyusutan dalam arah radial sebesar 2,5 % dan 5,2 % dan kerapatan papan blok kayu sengon berkisar 0,33 g/cm<sup>3</sup> hingga 0,36 g/cm<sup>3</sup> (Iskandar, 2006).



Gambar 2.9 Kayu sengon

Jenis kayu ini banyak dipilih oleh berbagai industri dikarenakan memiliki kadar air diatas 40%, dari kadar airnya kayu sengon dapat di golongkan sebagai jenis kayu yang besar namun cepat kering (Sandi *et al.*, 2009). Kelebihan kayu sengon membuat penggunaannya meningkat dibidang industri sehingga

menyebabkan industri kayu mengolahnya menjadi barang jadi (Satmoko, 2013). Selain memiliki kelebihan kayu sengon juga memiliki kelemahan diantaranya venir kayu sengon jika dikeringkan cenderung mengkerut dan bergelombang sehingga dapat mengakibatkan produk dari kayu sengon menurun (Iskandar, 2006). Kayu sengon sendiri memiliki komponen kimia, seperti pada tabel 2.1:

Tabel 2.1 Komponen kimia kayu sengon

Komponen Kimia	Kandungan (%)
Selulosa	49,4
Lignin	26,8
Pentosa	15,6
Abu	0,6
Silika	0,2

(Sumber: Martawijaya *et al.*, 2005)

Dari data diatas memperlihatkan kayu sengon memiliki kandungan selulosa yang tinggi sedangkan kadar ligninnya sedang (Martawijaya *et al.*, 2005).

Menurut Basahona (2010) klasifikasi dari kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) adalah sebagai berikut:

- Kingdom : Plantae
- Divisi : Spermatophyta
- Sub Divisi : Angiospermae
- Kelas : Dicotyledonae
- Ordo : Fabales
- Famili : Fabaceae
- Sub Famili : Mimosoidae
- Genus : *Paraserianthes*
- Spesies : *Paraserianthes falcataria*

Saat ini banyak sekali industri kayu sehingga menyebabkan adanya limbah, jadi perlu adanya usaha untuk menanggulangi dengan cara memanfaatkan limbah tersebut, di PT Sejahtera Usaha Bersama (SUB) Kalibaru manis-

Banyuwangi terdapat industri yang memanfaatkan kayu sengon sebagai bahan baku utama pembuatan papan triplek. Dari industri tersebut terdapat limbah dari serbuk kayu sengon hanya digunakan sebagai bahan bakar tungku atau bahkan tidak dipakai sama sekali, dalam penelitian kali ini memanfaatkan serbuk kayu sengon sebagai penguat. Gambar 2.10 merupakan gambar dari serbuk kayu sengon dari PT Sejahtera Usaha Bersama (SUB)



Gambar 2.10 Serbuk kayu sengon

### **2.5 Asam Poli Laktat ( *poly-lactid acid* )**

Asam poli laktat ditemukan pada tahun 1932 oleh Carothers (Dupont) yang memproduksi PLA dengan massa molekul rendah dengan cara memanaskan asam laktat pada kondisi vakum namun dalam penelitiannya Carothers hanya memfokuskan pada kemasan obat, PLA adalah polimer termoplastik *biodegradable* dengan titik leleh yang relatif tinggi dan memiliki rumus kimia yaitu  $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$  (Tamyiz dan Agustini, 2012). PLA diperoleh dari polimer asam laktat yang disintesis dengan cara polimerisasi kondensasi dari L-asam laktat yang merupakan asam organik (Sujito *et al.*, 2013 a). PLA terbuat dari bahan alam yang dapat diperbaharukan seperti jagung, gula, dan gandum (Hasibuan, 2006). PLA memiliki sifat fisis seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat-sifat fisis PLA

Parameter	Nilai
Bobot Molekul ( Daltons)	100,000-300,000
Titik Leleh (°C)	130-215
Kristalinitas (%)	10-40
Densitas	1,25
Kekuatan Flekstur (Mpa)	88
Kekuatan Akhir (Mpa)	53
<i>Yiels Strength</i> , Mpa	49

(Sumber: Warsiki dan Farobie, 2007)

PLA memiliki titik leleh 180°C dan dapat digunakan dalam bidang medis karena memiliki sifat biokompabilitas, tidak beracun, serta tidak menimbulkan alergi (Warsiki dan Farobie, 2007). Aplikasi dari PLA banyak digunakan salah satunya dalam dunia medis sebagai benang jahit saat operasi dan dibidang tekstil PLA diaplikasikan untuk pembuatan kaos dan tas, saat ini PLA dikembangkan untuk perbaikan jaringan tubuh manusia (Tamyiz dan Agustini, 2012).



Gambar 2.11 Asam poli laktat (*poly-lactid acid*)

## 2.6 Karakterisasi Bahan Komposit

Karakterisasi bahan komposit dalam penelitian ini dilakukan dengan beberapa uji diantaranya uji tarik dan morfologi .

### 2.6.1 Uji Tarik

Kekuatan dari desain material sangat berpengaruh pada sifat fisik materialnya, oleh karena itu diperlukan pengujian pada bahan komposit untuk mengetahui sifat tersebut, salah satunya dilakukan pengujian tarik (*tensile test*). Uji tarik digunakan untuk mengetahui seberapa besar respon yang diterima oleh material saat diberikan beban, misalnya gaya yang menyebabkan suatu material mengalami perubahan struktur. Kekuatan tarik biasa juga disebut dengan *ultimate tensile strength* (UTS) dengan cara meletakkan bahan yang akan diuji diantara penjepit pada jarak tertentu, kemudian gaya tarik (F) diaplikasikan pada bahan sehingga bahan mengalami pertambahan panjang ( $\Delta l$ ) hingga patah (Creese, 1999).

Nilai tegangan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.1)$$

dimana:  $\sigma$  = tegangan (MPa)

F = gaya tarik (N)

$A_0$  = luas penampang awal bahan ( $m^2$ )

(Nugraha, 2015).

Data pertambahan panjang, merupakan data hasil perubahan panjang ( $\Delta l$ ) dari panjang mula-mula ( $l_0$ ), selanjutnya digunakan untuk menentukan regangan seperti pada persamaan 2.2:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.2)$$

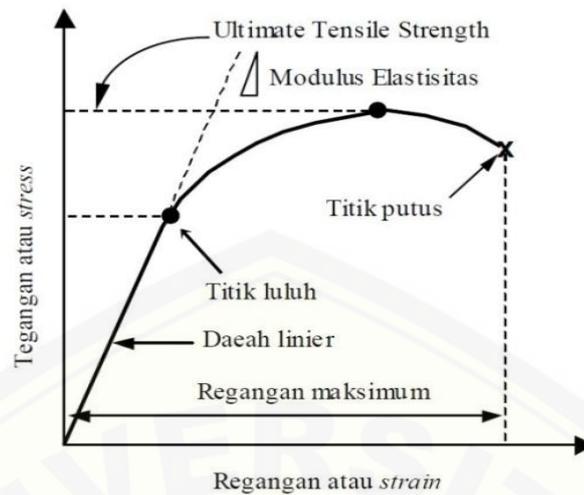
dimana:  $\varepsilon$  = regangan (%)

$\Delta l$  = perubahan panjang (m)

$l_0$  = panjang mula-mula (m)

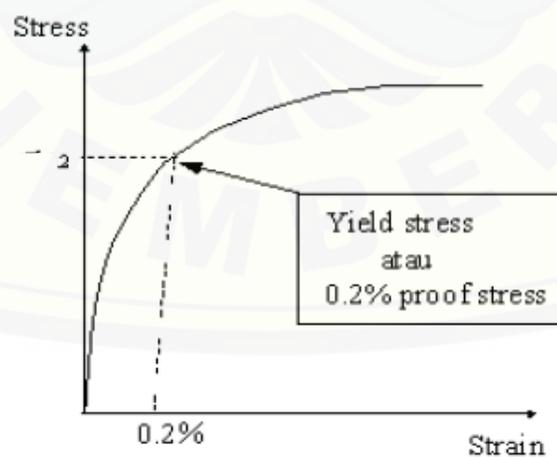
(Pell, 2012).

Grafik tegangan-regangan yang dihasilkan oleh setiap bahan umumnya sama, seperti pada Gambar 2.12 grafik mula-mula linier pada titik tertentu namun kemudian menjadi tidak linier seiring dengan meningkatnya tegangan, kemudian grafik mengalami penurunan sampai bahan patah (Hidayah, 2017).



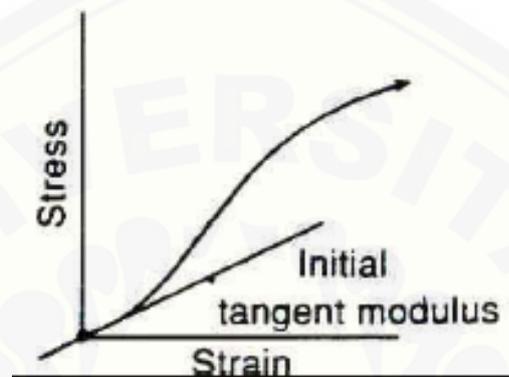
Gambar 2.12 Grafik tegangan-regangan (Sumber: Sastranegara, 2009)

Daerah linier atau daerah elastis merupakan daerah dimana bahan masih bias kembali ke keadaan semula ketika tegangan dihilangkan. Titik luluh merupakan keadaan suatu bahan mengalami deformasi plastis sehingga bahan bersifat permanen dan tidak dapat kembali lagi ke keadaan semula, titik luluh dapat ditentukan menggunakan metode *offset*, yaitu dengan cara menarik garis lurus sejajar dengan garis linier yang menunjukkan daerah elastis bahan dari titik regangan sebesar 0,2% (0,002) (Callister dan Rethwisch, 2010), seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Metode *offset* (Sastranegara, 2009)

Grafik tegangan-regangan yang dihasilkan oleh suatu bahan terkadang memiliki tipe yang berbeda, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14. Berdasarkan grafik tegangan-regangan pada Gambar 2.14, modulus elastisitas suatu bahan tidak lagi ditentukan menggunakan metode *offset*, melainkan menggunakan metode *initial tangent modulus* (Lord *et al.*, 2005).



Gambar 2.14 Tipe grafik tegangan-regangan (Lord *et al.*, 2005)

Lord *et al* (2005) menyatakan bahwa metode *initial tangent modulus* adalah suatu metode penentuan modulus elastisitas suatu bahan dengan meninjau daerah elastis pertama pada grafik tegangan-regangan. Daerah elastis ini dapat ditentukan dengan menarik garis lurus sejajar daerah linier yang terbentuk di awal grafik tegangan-regangan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14. Selanjutnya, gradien dari daerah linier tersebut ditentukan sebagai nilai modulus elastisitas bahan.

Secara matematis, besarnya nilai modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

dimana: E = modulus elastisitas tarik (MPa)

$\sigma$  = tegangan (MPa)

$\varepsilon$  = regangan

(Maryanti *et al.*, 2011).

UTS merupakan tegangan tarik maksimum sebelum bahan uji putus dan menandakan akhir dari pertambahan panjang serta awal dari patahan. Nilai kekuatan maksimum ditentukan dari beban maksimum dibagi luas penampang seperti pada persamaan 2.4:

$$UTS = \sigma_u = \frac{F maks}{A_0} \quad (2.4)$$

dimana: UTS = kekuatan tarik maksimum (Pa)

$F maks$  = beban maksimum(N)

$A_0$  = luas penampang ( $m^2$ )

(Soleha, 2012).

#### 2.6.2 Uji Morfologi SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Teknik SEM (*Scanning Electron Microscopy*) digunakan untuk mengetahui informasi tentang perubahan struktural yang disebabkan oleh permukaan yang rusak setelah mengalami uji mekanik (Angles *et al.*, 1999). *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan jenis mikroskop elektron yang dapat digunakan untuk mengamati morfologi, SEM menggunakan elektron dan medan elektromagnetik sebagai lensanya (Voutou dan Stefanaki, 2008). SEM (*Scanning Electron Microscopy*) awalnya berevolusi dari *x-ray* yang sebelumnya digunakan ahli biologi dalam melakukan penelitiannya untuk melihat struktur dengan ukuran nano (Postek dan Hocken, 2004). Mikroskop elektron lahir pada tahun 1932, prinsip kerjanya dengan cara memantulkan berkas elektron dari material yang diuji, sehingga material yang disinari akan memantulkan kembali berkas elektron ke segala arah, sehingga mikroskop ini mempunyai kemampuan untuk memperbesar objek lebih tinggi jika dibandingkan dengan mikroskop optik (Biantong, 2008).

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Kegiatan Penelitian

Penelitian diawali dengan studi pustaka dari berbagai sumber yang merupakan langkah observasi untuk penelitian yang akan dilaksanakan. Dari Hasil observasi diperoleh identifikasi permasalahan yaitu banyaknya limbah serbuk kayu sengon yang belum dimanfaatkan secara maksimal, sehingga solusinya adalah membuat bahan komposit dengan penguat limbah serbuk kayu sengon, bahan yang digunakan sebagai komponen pada bahan komposit dalam penelitian ini menggunakan limbah serbuk kayu sengon yang diperoleh dari PT Sejahtera Usaha Bersama (SUB) di Kalibaru Manis-Banyuwangi. Serbuk diberikan perlakuan untuk memperoleh selulosa dari serbuk sengon, kemudian selulosa serbuk sengon dicampur dengan asam poli laktat (*polylactid acid*). Dari hasil sintesis selanjutnya dilakukan karakterisasi bahan meliputi uji tarik bahan komposit dan uji morfologi.

Penelitian dilakukan di dua tempat berbeda. Proses sintesis bahan dan uji tarik menggunakan mesin uji merek Hwang Ta tipe HT 2404–10 KN dilakukan di Laboratorium Fisika Bahan Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember. Adapun untuk uji morfologi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merek Hitachi tipe 3030 Plus dilakukan di Laboratorium Biosains Politeknik Negeri Jember. Penelitian ini dimulai pada bulan Oktober 2017 hingga April 2018.

### 3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer karena data tersebut diperoleh langsung dari hasil eksperimen. Jenis data penelitian yang diperoleh ada dua yaitu data kuantitatif berupa data uji tarik dari hasil mesin uji merek Hwang Ta tipe HT 2404–10 KN dan data kualitatif berupa visualisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada bahan komposit dengan fraksi massa limbah kayu sengon yang berbeda.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini yaitu fraksi massa serbuk kayu sengon. Dalam hal ini yang dimaksud dengan fraksi massa serbuk kayu sengon adalah perbandingan massa serbuk kayu sengon yang digunakan dengan massa bahan komposit yang dihasilkan. Fraksi massa serbuk kayu sengon yang digunakan dalam sintesis bahan komposit pada penelitian ini adalah 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan morfologi. Kekuatan tarik dalam penelitian ini didefinisikan sebagai kemampuan maksimum bahan komposit dalam mempertahankan kondisinya terhadap gaya tarik yang diberikan hingga bahan komposit mengalami deformasi (putus). Modulus elastisitas dalam penelitian ini adalah ukuran yang digunakan untuk merepresentasikan kekakuan bahan komposit hasil sintesis. Morfologi dalam penelitian ini digunakan untuk mengamati kondisi bahan setelah diberi perlakuan berupa uji tarik.

3. Variabel Kontrol

Variabel yang dikontrol dalam penelitian ini adalah kondisi sintesis bahan komposit dengan metode *hot press machine*, yaitu temperatur dan tekanan pengepresan dengan suhu 150°C dan ditekan menggunakan tekanan  $\pm 10$  MPa selama 5 menit.

### 3.4 Kerangka Penyelesaian Masalah

Kerangka pemecahan masalah pada penelitian ini meliputi beberapa tahapan kegiatan penelitian. Adapun tahapan-tahapan penelitian digambarkan melalui *fishbone* diagram seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Fishbone* diagram kerangka penyelesaian masalah

### 3.4.1 Alat dan Bahan

#### 1. Alat

Peralatan yang digunakan adalah alat cetak, timbangan digital, *hot press machine*, mesin uji merek Hwang Ta tipe HT 2404–10 KN, *microwave*, aluminium foil, termometer *infrared* (*Omegascope tipe OS520*), *stopwatch*, saringan, teflon, kompor listrik, loyang, gelas ukur, pengaduk, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merek Hitachi tipe 3030 Plus.

#### 2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah asam poli laktat (*polylactid acid*), serbuk kayu sengon dari PT Sejahtera Usaha Bersama di Kalibaru Manis-Banyuwangi, aquades, NaOH, lem, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan NaClO.

### 3.4.2 Tahap Pengolahan Selulosa Serbuk Kayu Sengon

Limbah serbuk kayu sengon yang akan dijadikan bahan komposit berasal dari PT Sejahtera Usaha Bersama (SUB) di Kalibaru Manis-Banyuwangi. Limbah serbuk kayu sengon dialkalisasi dengan cara direndam selama 2 jam dengan NaOH sebanyak 25 gr yang dicampur dengan aquades 500 ml sehingga diperoleh

larutan NaOH 5%. Setelah 2 jam bilas serbuk sengon menggunakan aquades untuk menetralkan dari larutan NaOH yang masih menempel, serbuk yang telah dibilas kemudian *dibleaching* (pemutihan) untuk menghilangkan lignin dengan campuran 1,4% NaClO dan aquades 500 ml selama 1 jam, setelah selesai serbuk dibilas dengan menggunakan aquades. Kemudian serbuk dicuci dengan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  untuk menghilangkan NaClO yang masih tersisa sebanyak 25 gr dan aquades 500 ml, setelah proses pencucian serbuk sengon di oven dengan suhu  $100^\circ\text{C}$  sampai kering.

#### 3.4.3 Matriks

Matriks yang digunakan pada penelitian ini adalah asam poli laktat (*polylactid acid*) jenis PL 2000 produksi *Miyoshi Oil and Fat Ltd*, Jepang.



Gambar 3.2 Asam Poli Laktat (*polylactid acid*)

#### 3.4.4 Sintesis Bahan Komposit

Sintesis bahan komposit dari serbuk kayu sengon dan asam poli laktat (*polylactid acid*) diawali dengan menentukan fraksi massa dari serbuk kayu sengon (0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%) dari massa total serbuk kayu sengon dan PLA sebesar 70 gr. Asam poli laktat dilelehkan sampai pada suhu  $180^\circ\text{C}$  setelah itu serbuk kayu sengon dicampurkan sedikit demi sedikit sampai tercampur. Setelah bahan tercampur rata, bahan dimasukkan pada cetakan berukuran  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , lalu diletakkan pada *hot press machine* yang sudah dipanaskan hingga suhu  $150^\circ\text{C}$ . Pada bahan tersebut diberikan tekanan sebesar  $\pm 10 \text{ MPa}$  selama 5 menit. Setelah proses pengepresan, cetakan didinginkan hingga temperatur ruang dengan

cara memutus hubungan antara sumber listrik dengan *hot press machine*. Percobaan diulang untuk bahan komposit dengan fraksi massa yang lain.

#### 3.4.5 Karakterisasi Bahan Komposit

Karakterisasi bahan komposit dilakukan dengan menggunakan uji tarik dan uji morfologi. Uji tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji merek Hwang Ta tipe HT 2404–10 KN yang di tunjukkan seperti Gambar 3.4. Mesin uji tarik digunakan untuk memperoleh data tegangan dan regangan. Uji tarik dilakukan dengan cara mengukur panjang, lebar, dan tebal bahan uji, kemudian masukkan data dimensi bahan ke program uji tarik di komputer. Bahan uji diletakkan diantara penjepit dengan mengatur panjang antar penjepit 3 cm dan menguncinya dengan cara mengulir. Kemudian bahan uji ditarik dengan kecepatan *crosshead* sebesar 1 mm/menit sampai bahan uji patah. Setelah selesai pengujian spesimen dilepas dari penjepit, percobaan diulangi kemudian dicatat dan plot dalam grafik.



Gambar 3.4 Alat Uji Merek Hwang Ta tipe HT 2404–10 KN

Uji morfologi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merek Hitachi tipe 3030 Plus untuk mengetahui visualisasi kondisi internal bahan komposit pada fraksi massa 0%, 20%, dan 30%, sehingga diketahui perbedaan

morfologi dari setiap spesimen bahan yang uji. Prinsip kerja dari SEM pada dasarnya adalah melakukan pemindaian terhadap permukaan menggunakan elektron yang dipancarkan, kemudian dilewatkan pada sepasang gulungan pemindai (*scanning coil*), sehingga nantinya gambar dapat dilihat dari monitor komputer dan secara otomatis disimpan ke dalam media penyimpanan.

### 3.5 Metode Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil uji tarik berupa tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ). Berdasarkan nilai tegangan dan regangan yang diperoleh selanjutnya dibuat grafik hubungan antara tegangan dan regangan. Dari grafik dapat ditentukan nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas, kekuatan tarik ditentukan dari besarnya nilai tegangan tarik maksimum yang diterima oleh bahan sebelum putus. Modulus elastisitas diperoleh dengan menggunakan metode *initial tangent modulus*, yaitu dengan menarik garis lurus sejajar daerah linier pertama pada grafik tegangan regangan. Selanjutnya, gradien dari daerah linier tersebut ditentukan sebagai nilai modulus elastisitas bahan. Pada penelitian ini terdapat 3 pengulangan bahan komposit pada setiap fraksi massa 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%, sehingga total diperoleh sebanyak 15 grafik. Berdasarkan grafik hubungan antara kekuatan tarik dan modulus elastisitas terhadap variasi fraksi massa penguat, akan dianalisis ada tidaknya perbedaan karakteristik yang dihasilkan. Analisis dilakukan untuk mendapatkan informasi berkaitan dengan nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas tertinggi dan terendah pada bahan, sehingga data tertinggi yang diperoleh akan dikaitkan dengan uji morfologi. Pada uji morfologi, bahan komposit dengan fraksi massa penguat sebesar 0%, 20%, dan 30% akan diamati mengenai kondisi internal bahan seperti kondisi permukaan bahan, serta dianalisis mengenai ada tidaknya void, jumlah, dan ukuran menggunakan aplikasi *imageJ* pada bahan komposit yang dihasilkan.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi yang telah dilakukan terhadap bahan komposit dengan penguat serbuk limbah kayu sengon dan matriks asam poli laktat dapat disimpulkan bahwa:

1. Kekuatan tarik menurun seiring dengan bertambahnya fraksi massa penguat, kekuatan tarik tertinggi diperoleh sebesar 69,01 MPa pada fraksi massa 0%. Nilai optimum dari modulus elastisitas diperoleh pada fraksi massa 30% sebesar 133,22 MPa.
2. Karakteristik morfologi bahan komposit menunjukkan bahwa adanya variasi fraksi massa serbuk kayu sengon dapat mempengaruhi jumlah dan ukuran dari void.

### 5.2 Saran

Penelitian serupa dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meminimalkan adanya void (rongga udara) pada bahan komposit yang dibuat, sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik dari bahan komposit itu sendiri. Disamping itu, perlu dilakukan uji mekanik yang berbeda, untuk melengkapi informasi berkenaan dengan karakteristik mekanik bahan komposit berpenguat serbuk kayu sengon dan matriks PLA. Salah satunya adalah dengan melakukan uji bending bahan, untuk mengetahui kekuatan bending dari bahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abusiri, M. I. 2016. Pengaruh Fraksi Massa Serat dan Konsentrasi Alkali Terhadap Kekuatan Tarik Bahan Komposit Selulosa Bakteri Dengan Penguat Serat Ampas Tebu. *Skripsi*. Jember: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Angles, M.N., J. Reguant, D. Montane, F. Ferrando, X. Farriol, dan J. Salvado. 1999. *Binderless Composites from Pretreated Residual Softwood*. *Jurnal of Applied Polymer Science*. 73: 2485-2491.
- Basahona, S. 2010. Sengon. <http://sumantobasahona.blogspot.co.id> [Diakses pada 28 agustus 2017].
- Biantong, M,R. 2008. SEM ( *scanning electron miscroscope*). <http://mandeleyev-rapuan.blogspot.co.id/2012/03/sem-scanning-electron-microscope.html> [Diakses pada 9 September 2017].
- Callister, W. D. dan D. G. Rethwisch. 2007. *Materials Science and Engineering (Seventh Edition)*. United State of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Callister, W. dan D. G. Rethwisch. 2010. *Materials Science and Engineering (Eighth Edition)*. United State of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Clareyna, E. D. dan L. J. Mawarani. 2013. Pembuatan dan Karakteristik Komposit Polimer Berpenguat *Bagasse*. *Jurnal Teknik Pomits*. 2(2): 208-213.
- Creese, R. C. 1999. *Manufacturing Processes and Materials*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Delviawan, A. 2015. Sifat-Sifat Dasar Papan Komposit Plastik Dari Limbah Serbuk Gergajian Kayu Jati dan Plastik Polietilen Berkerapatan Tinggi. *Skripsi*. Bogor: Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan Intitut Pertanian Bogor.

- Departemen Kehutanan. 2006. *Keputusan Direktur Jenderal Bina Produksi Kehutanan*. 28 Juli 2006. Jakarta.
- Febrianto, A. 2011. Karakterisasi Sifat Mekanik Biokomposit Serat Kelapa dengan Matrik Plastik Biodegradabel dari PLA (*Poly Lactic Acid*). *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Gere, J. M, dan S. Timoshenko. 2000. *Mekanika Bahan*. Edisi Empat. Jakarta: Erlangga.
- Hasibuan, A. R. 2006. Polikondensasi Azeotropik Asam Laktat Menjadi Asam Polilaktat Sebagai Bahan Baku Kemasan Pangan. *Tesis*. Bogor: Program Studi Ilmu Pangan Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Hidayah, E. 2017. Pengaruh Serat Sabut Kelapa dan Rami Pada Kekuatan Tarik dan Modulus Elastisitas Bahan Komposit dengan Matriks Polipropilena. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Iskandar, M. I. 2006. Pemanfaatan Kayu Hutan Rakyat Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen Untuk Kayu Rakitan. *Prosiding Seminar Hasil Litbang Hasil Hutan 2006*: 183-195.
- 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): 191-196 .
- Jones, R. M. 1999. *Mechanics of Composite Materials Second Edition*. USA: Taylor and Francis Inc.
- Kooskurniasari, W. 2014. Pemanfaatan Serbuk Gergaji Kayu Sengon (*Albizia Chinensis*) Sebagai Sorben Minyak Mentah dengan Aktivasi Kombinasi Fisik. *Skripsi*. Jakarta : Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Ludfah, L. A. 2009. Sintesis dan Karakterisasi Bahan Komposit (Resin Poliester – Serbuk Gergaji Kayu Sengon). *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.

- Lord, J., M. Rides. dan M. Loveday. 2005. *Modulus Measurement Methods*. UK: *National Physical Laboratory Queens Road Teddington*.
- Martawijaya, A., I. Kartasudjana, K. Kadir, dan S.A. Prawira . 2005. *Atlas Kayu Indonesia Jilid II*. Bogor : Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
- 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.
- Nayiroh, N. Teknologi Material Komposit. [Online]. <http://nurun.lecturer.uin-malang.ac.id/wpcontent/uploads/sites/7/2013/03/Material-Komposit.pdf> [ Diakses 28 Agustus 2017 ].
- Nugraha, I. P. 2015. Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Tarik dan Geser *Interfacial* Serat Alam Rami – Resin Epoxy. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin*.
- Nurdin, H. 2014. Analisis Kekuatan Bending pada Papan Komposit Serat. *Prosiding Konvensi Nasional Asosiasi Pendidikan Teknologi dan Kejuruan (APTEKINDO)*. 13 sd 14 November 2014: 435-442.
- Nurhidayat, A. 2013. Pengaruh Fraksi Volume Pada Pembuatan Komposit HDPE Limbah-Cantula dan Berbagai Jenis Perekat Dalam Pembuatan *Laminate*.Tesis. Surakarta: Program Pascasarjana Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret.
- Pell, Y. M. 2012. Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Karakterisasi Mekanik *Green Composite* Widuri- Epoxy. *Seminar Nasional dan Teknik 2012*. 114-120.
- Postek, M. T. dan R. J. Hocken. 2004. *Instrumentation and Metrology for Nanotechnology*. United State of America: *National Nanotechnology Initiative Workshop*.

- Praptoyo, H., R. Puspitasari. 2012. Variasi Sifat Anatomi Kayu Sengon (*Paraserienthes Falcataria (L) Nielsen*) Dari 2 Jenis Permudaan Yang Berbeda. *Seminar Nasional Mapeki XV*. 6-7 November 2012: 33-41.
- Prasetyo, A. J. 2010. Aplikasi metode Elemen Hingga (Meh) Pada Struktur Rin Bodi Angkutan Publik. *Skripsi*. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Pratama, Y. Y., R. H. Setyanto, dan I. Priadythama. 2014. Pengaruh Perlakuan Alkali, Fraksi Volume Serat, dan Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Sabut Kelapa – Polyester. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*. 13(1): 8-15.
- Roylance, D. 2008. *Mechanical Properties of Materials*. USA: MIT.
- Sandi, T. R., Karyadi, dan E. Setyawan. 2009. Pengaruh Penambahan Serat Anyaman Bambu dengan Berbagai Variasi Jarak Terhadap Kuat Lentur, Tekan, dan Tatik Papan Partikel Dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah*: 293-297.
- Sardar, K., T. Rangaswamy, dan Shivakumar. 2014. *Fabrication and Investigation of Bending Test on Hybrid (Sisal and Banana) Fiber Reinforced Polyester Composite Material*. *Internasional Journal of Recent Development in Engineering and Technology*. 3(6): 6 Desember 2014 : 5-13.
- Sastranegara, A. 2009 . Mengenal Uji Tarik dan Sifat-Sifat Mekanik Logam. <http://www.infometrik.com/wp%20content/uploads/2009/09/Mengenal%20ujitarik.pdf> [Diakses 9 September 2017].
- Satmoko, M. A. 2013. Pengaruh Variasi Temperatur Cetakan Terhadap Karakterisasi Briket Kayu Sengon Pada Tekanan Kompaksi 6000 Psig. *Skripsi*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Septiyanto, R.F, dan A. D. Abdullah. 2016. Perbandingan Komposit Serat Alam dan Serat Sintesis Melalui Uji Tarik Dengan Bahan Serat Jute dan *E-Glass*. *Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*. 2(1): 1-11.

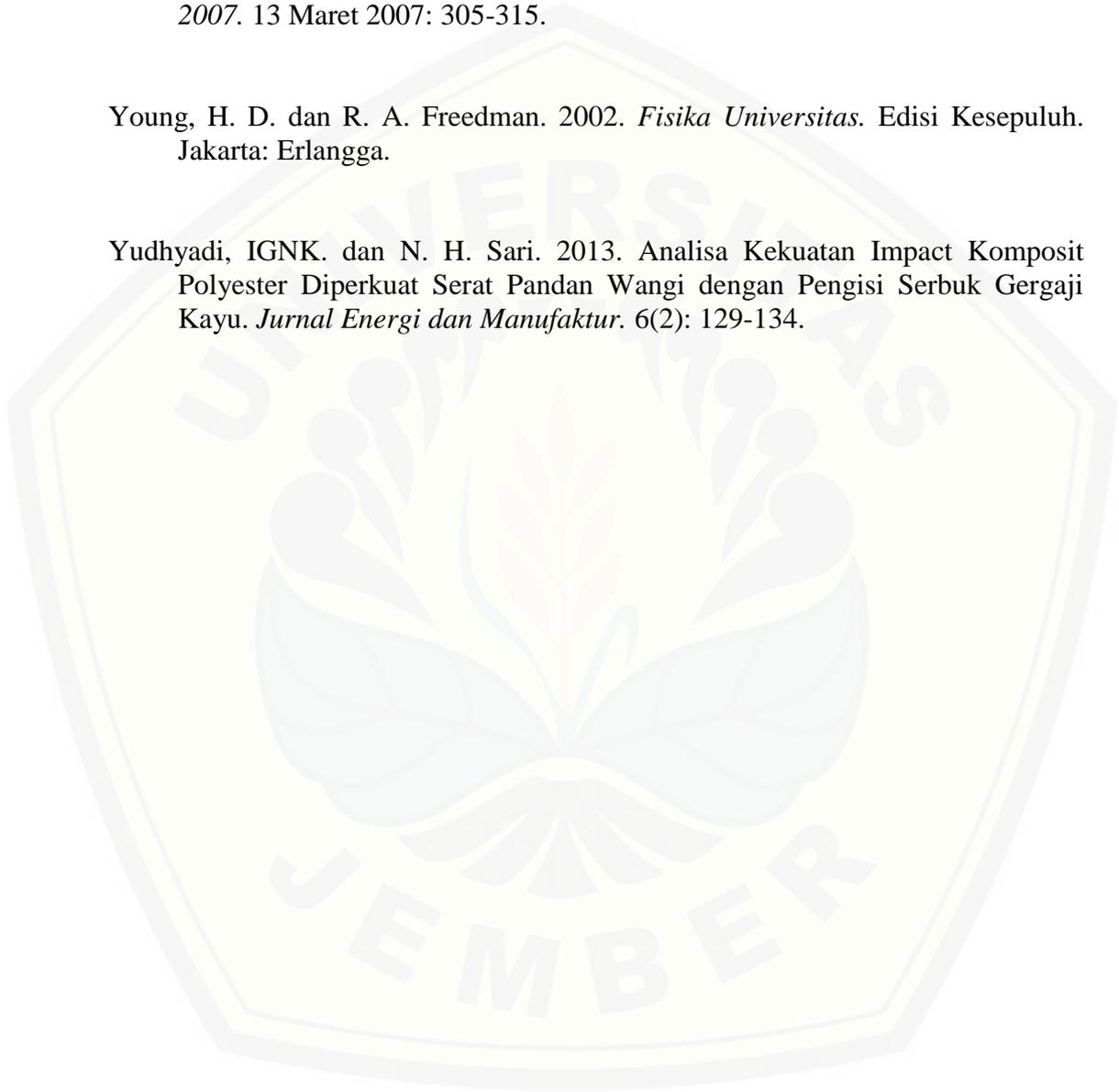
- Slamet, S. 2013. Karakterisasi Komposit dari Serbuk Gergaji Kayu (*Sawdust*) Dengan Proses Hotpress Sebagai Bahan Baku Papan Partikel. *Prosiding SNST Ke 4*. 1-9.
- Slamet, S. 2012. Komposit partikel Serbuk Gergaji Kayu (*Sawdust*) Dengan Resin Urea Formaldehid Sebagai Bahan Baku Utama *Box Speaker*. *Jurnal Teknik*. 5(1): 1-6.
- Soleha, W. 2012. Kekuatan Tarik, Modulus Elastisitas dan Kemampuan Biodegradasi Bahan Komposit Dengan Penguat Limbah Pengolahan Kayu Lapis dan Resin Poly Lactic Acid (PLA). *Skripsi*. Jember: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
- Souisa, M. 2011. Analisis Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Bahan Dengan Uji Tarik. *Jurnal Berekeng*. 5(2): 9-14.
- Sudirman, A., I. Gunawan, A. Handayani, dan E. Hertinvyana. 2002. Sintesis dan Karakterisasi Komposit Polipropilena/Serbuk Kayu Gergaji. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 4(1): 20-25.
- Sujito., J. K. Pandey, H.Takagi. 2011. *Mechanical Properties of "Green" Composites Based On Poly-Lactid Acid Resin and Short Single Bamboo Fibers*. International Journal of Modern Physics.
- Sujito., Sumarji, E. Purwandari, dan E. Hidayah. 2013 (a). Pengembangan Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serat Ampas Tebu dan Resin *Biodegradable*. Jember : Lembaga Penelitian Universitas Jember.
- Sujito., H. Munawaroh, dan E. Purwandari. 2013 (b). Sifat-sifat Mekanik dan Kemampuan Biodegradasi Bahan Biokomposit *Poly Lactid Acid* dengan Penguat Lembaran Tipis Bambu dan Kayu Sengon. *Jurnal ILMU DASAR*. 14(2): 67-72.
- Tamyiz, M, dan R. Agustini. 2012. Pengaruh Konsentrasi Katalis Timah (II) Oktoat Terhadap Viskositas dan Massa Molekul Poli(Asam Laktat) Pada Polimerisasi Asam Laktat Dengan Metode *Ring Opening Polymerization*. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa 2012*. 25 Februari 2012. 13-21.

Voutou, B, dan C. Stefanaki. 2008. *Electron Microscopy. Physics of Advances Materials Winter School*. 1-11.

Warsiki, E, dan O. Farobie. 2007. Review Pembuatan Asam Polilaktat (PLA) Dari Gliserol Sebagai Hail Samping Industri Biodiesel. *Konferensi Nasional 2007*. 13 Maret 2007: 305-315.

Young, H. D. dan R. A. Freedman. 2002. *Fisika Universitas*. Edisi Kesepuluh. Jakarta: Erlangga.

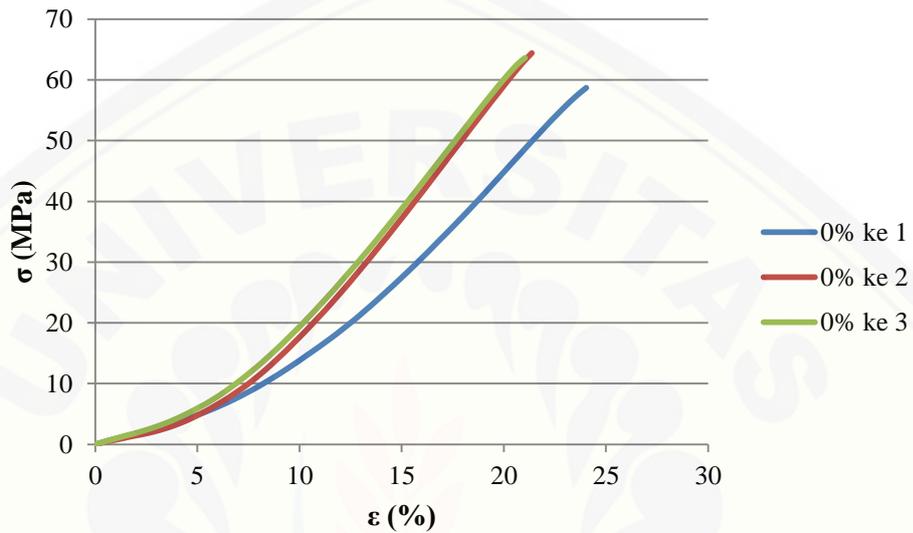
Yudhyadi, IGNK. dan N. H. Sari. 2013. Analisa Kekuatan Impact Komposit Polyester Diperkuat Serat Pandan Wangi dengan Pengisi Serbuk Gergaji Kayu. *Jurnal Energi dan Manufaktur*. 6(2): 129-134.



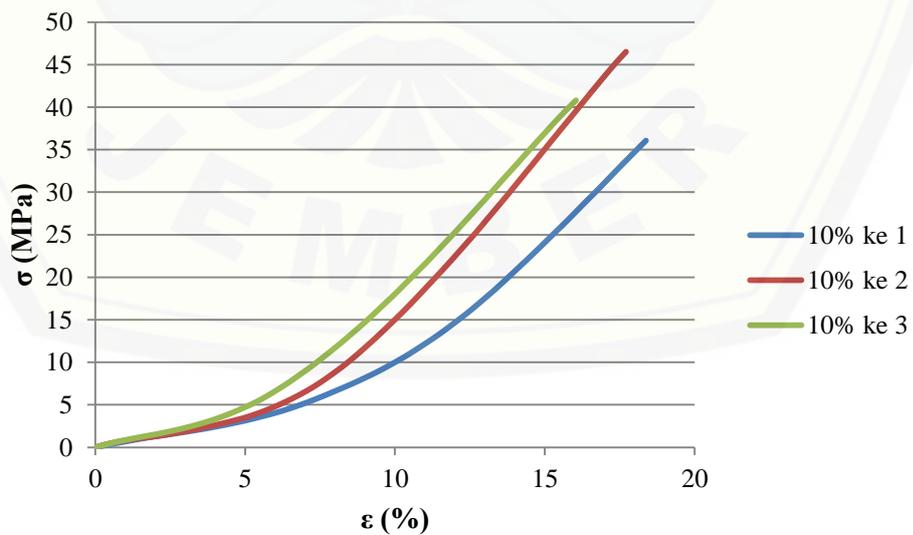
LAMPIRAN

Lampiran 4.1 Grafik Tegangan dan Regangan Pada Tiap Fraksi Massa

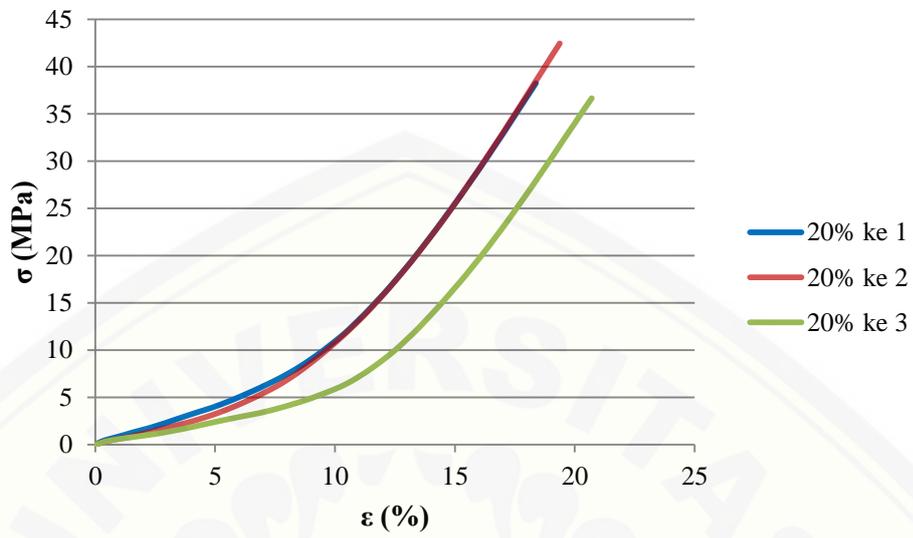
a. Fraksi Massa 0%



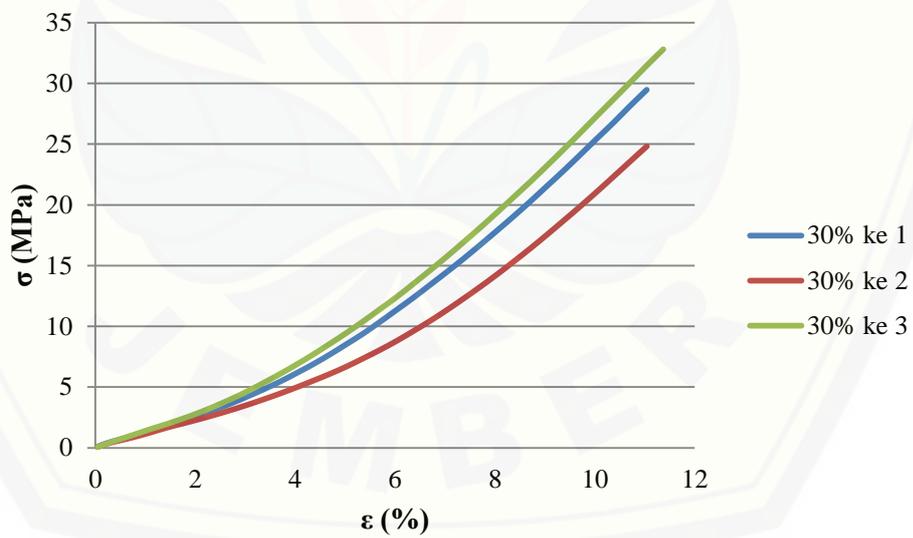
b. Fraksi Massa 10%



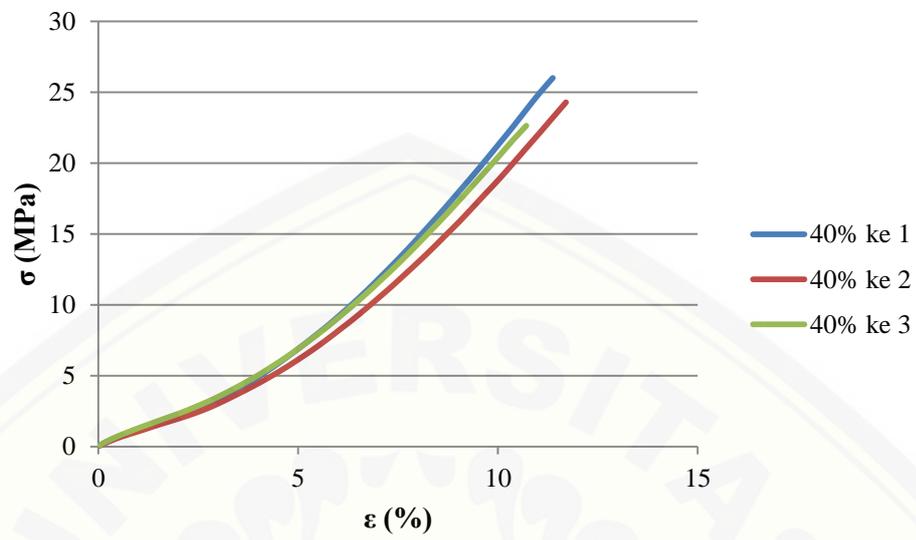
## c. Fraksi Massa 20%



## d. Fraksi Massa 30%



e. Fraksi Massa 40%



**Lampiran 4.2 Data Nilai Tegangan dan Regangan Pada Gambar 4.2**

Fraksi massa 0%		Fraksi massa 0%	
X = $\epsilon$ (%)	Y = $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	X = $\epsilon$ (%)	Y = $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )
0,04	0,01	10,37	18,92
0,17	0,12	10,71	20,12
0,36	0,30	11,04	21,30
0,59	0,48	11,37	22,51
0,86	0,66	11,71	23,78
1,14	0,84	12,04	25,06
1,44	1,06	12,37	26,35
1,75	1,29	12,71	27,70
2,07	1,50	13,04	29,05
2,40	1,72	13,37	30,38
2,72	1,96	13,71	31,77
3,05	2,25	14,04	33,16
3,38	2,57	14,37	34,54
3,71	2,93	14,71	35,96
4,04	3,34	15,01	37,37
4,37	3,79	15,37	38,80
4,71	4,29	15,71	40,25
5,04	4,84	16,04	41,67
5,37	5,41	16,37	43,15
5,71	6,04	16,71	44,63
6,04	6,69	17,04	46,07
6,37	7,36	17,37	47,57
6,71	8,10	17,70	49,03
7,04	8,87	18,04	50,49
7,37	9,65	18,37	51,97
7,71	10,52	18,70	53,42
8,04	11,44	19,04	54,87
8,37	12,39	19,37	56,33
8,71	13,41	19,70	57,73
9,04	14,45	20,04	59,17
9,37	15,52	20,37	60,58
9,71	16,65	20,71	61,94
10,04	17,78	21,04	63,24
		21,37	64,41

Fraksi massa 10%		Fraksi massa 10%	
$X = \varepsilon$ (%)	$Y = \sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$X = \varepsilon$ (%)	$Y = \sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )
0,05	0,04	8,38	9,85
0,17	0,18	8,71	10,83
0,36	0,36	9,04	11,87
0,59	0,55	9,38	12,93
0,86	0,73	9,71	14,04
1,14	0,89	10,04	15,17
1,45	1,04	10,38	16,34
1,76	1,18	10,71	17,55
2,07	1,33	11,04	18,80
2,40	1,50	11,38	20,06
2,72	1,71	11,71	21,31
3,05	1,92	12,04	22,63
3,38	2,15	12,38	23,96
3,71	2,39	12,71	25,28
4,04	2,65	13,04	26,68
4,38	2,93	13,37	28,07
4,71	3,23	13,71	29,47
5,04	3,55	14,04	30,92
5,38	3,94	14,38	32,36
5,71	4,38	14,71	33,77
6,04	4,86	15,04	35,25
6,38	5,40	15,38	36,69
6,71	5,99	15,71	38,13
7,05	6,63	16,04	39,56
7,38	7,33	16,38	41,01
7,71	8,11	16,71	42,45
8,04	8,96	17,05	43,87
		17,38	45,24
		17,71	46,51

Fraksi massa 20%		Fraksi massa 20%	
X = $\epsilon$ (%)	Y = $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	X = $\epsilon$ (%)	Y = $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )
0,04	0,03	9,37	9,40
0,17	0,12	9,71	10,12
0,36	0,28	10,04	10,85
0,59	0,42	10,37	11,60
0,86	0,55	10,71	12,40
1,14	0,68	11,04	13,22
1,44	0,83	11,37	14,09
1,75	1,00	11,71	15,00
2,07	1,19	12,04	15,93
2,39	1,39	12,37	16,90
2,72	1,60	12,71	17,90
3,05	1,80	13,04	18,91
3,38	2,01	13,37	19,95
3,71	2,23	13,71	21,05
4,04	2,46	14,04	22,15
4,37	2,71	14,37	23,27
4,71	2,98	14,71	24,43
5,04	3,27	15,04	25,60
5,37	3,59	15,37	26,82
5,71	3,92	15,71	28,05
6,04	4,28	16,04	29,27
6,37	4,66	16,37	30,55
6,70	5,05	16,70	31,83
7,04	5,47	17,04	33,11
7,37	5,90	17,37	34,44
7,71	6,37	17,70	35,75
8,04	6,90	18,04	37,10
8,37	7,46	18,37	38,45
8,71	8,08	18,71	39,78
9,04	8,73	19,04	41,13
		19,37	42,44

---

**Fraksi massa 30%**

$X = \varepsilon (\%)$	$Y = \sigma(N/mm^2)$
0,05	0,06
0,17	0,26
0,36	0,53
0,59	0,84
0,86	1,20
1,14	1,59
1,44	1,98
1,76	2,41
2,07	2,89
2,39	3,43
2,72	4,02
3,05	4,66
3,38	5,37
3,71	6,10
4,04	6,89
4,37	7,71
4,72	8,62
5,05	9,51
5,38	10,45
5,71	11,44
6,04	12,44
6,37	13,51
6,71	14,62
7,04	15,74
7,37	16,92
7,71	18,11
8,04	19,35
8,37	20,61
8,70	21,88
9,04	23,20
9,37	24,54
9,70	25,91
10,04	27,30
10,37	28,67
10,70	30,05
11,04	31,45
11,37	32,81

---

---

**Fraksi massa 40%**

$X = \varepsilon (\%)$	$Y = \sigma (\text{N/mm}^2)$
0,04	0,07
0,17	0,28
0,36	0,53
0,59	0,75
0,86	1,00
1,15	1,27
1,45	1,55
1,76	1,86
2,07	2,18
2,40	2,55
2,72	2,94
3,05	3,37
3,38	3,86
3,71	4,40
4,04	4,98
4,37	5,60
4,71	6,27
5,04	6,96
5,37	7,70
5,71	8,45
6,04	9,25
6,37	10,09
6,70	10,96
7,04	11,89
7,37	12,84
7,71	13,81
8,04	14,83
8,38	15,87
8,71	16,93
9,04	18,02
9,37	19,11
9,71	20,23
10,04	21,38
10,37	22,54
10,71	23,74
11,04	24,92
11,38	26,00

---

**Lampiran 4.3 Hasil Uji Tarik Bahan Komposit Dengan Matriks Asam Poli Laktat dan Penguat Serbuk Limbah Kayu Sengon**

Penguat	Fraksi Massa Penguat	n	fk	$\sigma$ (MPa)	$\sigma'$ (MPa)	$\bar{\sigma}$ (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)
Tanpa Penguat	0%	1	1,11	58,69	65,15	69,01	3,60
		2	1,18	64,41	76,20		
		3	1,03	63,62	65,68		
	10%	1	1,26	42,76	54,07	48,37	3,09
		2	1,02	46,51	47,59		
		3	1,06	40,81	43,44		
Serbuk Limbah Kayu Sengon	20%	1	1,11	38,23	42,44	44,82	3,08
		2	1,20	42,44	50,93		
		3	1,12	36,64	41,10		
	30%	1	1,07	29,47	31,62	30,23	2,02
		2	1,06	24,82	26,25		
		3	1,00	32,81	32,81		
	40%	1	1,05	26,00	27,30	26,39	0,65
		2	1,10	24,28	26,74		
		3	1,11	22,63	25,12		

**Lampiran 4.4 Hasil Modulus Elastisitas Bahan Komposit Dengan Matriks Asam Poli Laktat dan Penguat Serbuk Limbah Kayu Sengon**

Penguat	Fraksi Massa Penguat	n	fk	E (MPa)	E' (MPa)	$\bar{E}$ (MPa)	$\Delta E$ (MPa)
Tanpa Penguat	0%	1	1,11	89,35	99,18	96,04	3,08
		2	1,18	75,96	89,87		
		3	1,03	95,96	99,07		
	10%	1	1,26	60,11	76,00	74,34	4,93
		2	1,02	63,61	65,09		
		3	1,06	76,97	81,94		
Serbuk Limbah Kayu Sengon	20%	1	1,11	78,99	87,68	72,17	9,67
		2	1,20	62,01	74,41		
		3	1,12	48,51	54,41		
	30%	1	1,07	131,38	140,97	133,22	6,85
		2	1,06	171,01	119,56		
		3	1,00	139,13	139,13		
	40%	1	1,05	106,69	112,02	117,25	5,44
		2	1,10	101,32	111,60		
		3	1,11	138,24	128,14		

Lampiran 4.5 Tabel Bahan Hasil Sintesis Sebelum dan Sesudah Uji Tarik

Fraksi Massa	Sebelum Uji Tarik	Sesudah Uji Tarik
0%		
10%		
20%		
30%		

40%



Lampiran 4.6 Mesin Uji SEM merek Hitachi tipe 3030 Plus dan Gambar Potongan Bahan untuk Uji SEM



**Lampiran 4.7 Hasil Pengukuran Panjang Void Menggunakan *ImageJ* Pada Fraksi Massa 20%**

Void ke-	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length ( $\mu\text{m}$ )
1	0,41	3,74	0	20,93	-5,32	5,92
2	0,19	0,73	0	3,25	2,86	2,74
3	0,12	1,75	0	21,33	-9,46	1,67
4	0,10	7,43	0	84,00	0	1,37
5	0,66	12,03	0	98,18	-42,11	9,60
6	0,36	8,04	0	58,00	-47,12	5,23
7	0,92	3,46	0	35,06	-14,18	<b>13,42</b>

**Lampiran 4.8 Hasil Pengukuran Panjang Void Menggunakan *ImageJ* Pada Fraksi Massa 30%**

Void ke-	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length ( $\mu\text{m}$ )
1	0,11	0,49	0	2,18	10,31	1,53
2	0,16	0,79	0	2,33	-122,74	2,28
3	0,11	17,48	0	84,25	-70,02	1,60
4	0,10	9,07	0	49,69	-73,30	1,43
5	0,18	4,18	0	75,00	-90,00	2,60
6	0,36	0,75	0	3,41	37,48	<b>5,18</b>

## Lampiran 4.9 Data Hasil Densitas

Fraksi Massa	v	m	$\rho$	$\bar{\rho}$	$\Delta\rho$
0%	6,11	7,72	1,26	1,29	0,58
	6,50	8,39	1,29		
	5,71	7,53	1,32		
10%	6,95	7,87	1,13	1,26	0,61
	5,63	7,42	1,32		
	5,86	7,72	1,32		
20%	6,11	7,94	1,30	1,25	0,57
	6,60	8,23	1,25		
	6,17	7,46	1,21		
30%	5,13	7,09	1,38	1,36	0,57
	5,20	7,15	1,38		
	5,50	7,19	1,31		
40%	5,78	7,84	1,36	1,31	0,57
	6,08	7,83	1,29		
	6,05	7,76	1,28		