



**PENGARUH FRAKSI MASSA TERHADAP SIFAT MEKANIK
MATERIAL KOMPOSIT *BINDERLESS* DARI SERAT
AMPAS TEBU DAN SERBUK KAYU SENGON**

Oleh
Aan Ubaidillah
NIM 141810201021

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**PENGARUH FRAKSI MASSA TERHADAP SIFAT MEKANIK
MATERIAL KOMPOSIT *BINDERLESS* DARI SERAT
AMPAS TEBU DAN SERBUK KAYU SENGON**

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
Aan Ubaidillah
NIM 141810201021

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Umi Uzlifah dan Ayahanda Muslimin tercinta;
2. Adikku tercinta Elsa Indana Zulfa Dwi Arianti;



MOTO

“Mekhina tuhan tak perlu dengan umpatan dan membakar kitabNya
Khawatir besok kamu tak bisa makan saja itu
sudah mekhina tuhan”

(Sujiwo Tejo)

“Intinya, bagaimana sembahyang itu bisa mendorong seluruh
hatimu untuk menolong orang lain. Itulah inti pergi
ke masjid, gereja, wihara, kuil, dan sebagainya”

(Sujiwo Tejo, Lupa Endonesa)*

* Sujiwo Tejo. 2012. *Lupa Endonesa*. Yogyakarta: PT. Bentang Pustaka.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Aan Ubaidillah

NIM : 141810201021

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Fraksi Massa Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit *Binderless* Dari Serat Ampas Tebu dan Serbuk Kayu Sengon” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada instansi 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 dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

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, Januari 2019

Yang menyatakan,

Aan Ubaidillah

NIM 141810201021

SKRIPSI

**PENGARUH FRAKSI MASSA TERHADAP SIFAT MEKANIK
MATERIAL KOMPOSIT *BINDERLESS* DARI SERAT
AMPAS TEBU DAN SERBUK KAYU SENGON**

Oleh
Aan Ubaidillah
NIM 141810201021

Pembimbing:

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

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

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Fraksi Massa Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit *Binderless* Dari Serat Ampas Tebu dan Serbuk Kayu Sengon” telah disetujui pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Drs. Sujito, Ph.D.
NIP 196102041987111001

Endhah Purwandari, S.Si., M.Si.
NIP 198111112005012001

Anggota II,

Anggota III,

Ir. Misto, M.Si.
NIP 195911211991031002

Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phil., Ph.D.
NIP 196812191994021001

Mengesahkan
Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.
196102041987111001

RINGKASAN

PENGARUH FRAKSI MASSA TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT *BINDERLESS* DARI SERAT AMPAS TEBU DAN SERBUK KAYU SENGON; Aan Ubaidillah, 141810201021; 2019: 50 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Material komposit merupakan campuran dua atau lebih bahan atau fasa yang berbeda. Material komposit dapat tersusun atau terbentuk dari berbagai jenis bahan. Beberapa peneliti memanfaatkan bahan alam untuk membentuk material komposit. Beberapa bahan alam yang dapat dimanfaatkan untuk menyusun material komposit dengan jumlah yang masih sangat melimpah adalah serat ampas tebu dan serbuk gergaji kayu sengon. Pembuatan material komposit dari serat ampas tebu maupun serbuk kayu sengon telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya dengan variasi fraksi massa dan variasi temperatur pengempaan. Penelitian ini dilakukan sintesis material komposit ramah lingkungan dengan tidak menggunakan resin sintetis yang tidak ramah lingkungan atau biasa disebut dengan komposit *Binderless* dimana dalam pembuatannya komposit *Binderless* hanya dengan meningkatkan ikatan oleh pengaktifan komponen kimia dari bahan penyusunnya. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui pengaruh fraksi massa terhadap sifat mekanik (kekuatan tarik, modulus tarik, kekuatan *bending*, dan modulus *bending*) serta sifat fisis berupa morfologi internal material komposit dari serat ampas tebu dan serbuk kayu sengon.

Bahan komposit yang disintesis di dalam penelitian ini dibuat dengan menggunakan serat ampas tebu (orientasi serat acak) yang dipadukan dengan serbuk kayu sengon. Sebelum memperoleh serat ampas tebu yang siap dibuat material komposit, dilakukan proses penghancuran serat ampas tebu dengan menggunakan *blender*, dilanjutkan dengan proses alkalisasi menggunakan larutan NaOH 5% selama 2 jam. Setelah itu, dibersihkan dilanjutkan dengan proses *bleaching* dengan larutan NaClO 1,4% selama 1 jam, kemudian serat dicuci dan dikeringkan. Sementara itu untuk memperoleh serbuk kayu sengon yang siap digunakan serbuk kayu sengon mengalami proses yang sama dengan yang dilakukan pada serat ampas tebu. Sintesis bahan komposit dengan variasi fraksi massa serbuk kayu sengon 0%-100% dengan massa total setiap material komposit adalah 8 gram. Kedua bahan dicampur dengan ditambahkan asam sitrat 5%, kemudian dimasukkan ke dalam cetakan, lalu dipress dengan menggunakan *hot press machine* hingga mencapai suhu 170°. Material komposit yang telah selesai disintesis kemudian dilakukan pengujian tarik dan pengujian *bending* untuk mengetahui kekuatan tarik, modulus tarik, kekuatan *bending*, dan modulus *bending* serta pengujian morfologi internal dengan menggunakan alat SEM.

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa terdapat pengaruh fraksi massa serbuk kayu sengon terhadap kekuatan tarik material komposit. Nilai kekuatan tarik mengalami peningkatan seiring dengan penambahan fraksi massa serbuk kayu sengon dari 0%-100%, yaitu dari 3,23 MPa menjadi 8,11 MPa. Sementara untuk nilai modulus elastisitas mengalami fluktuatif, dimana nilai modulus elastisitas paling rendah sebesar 36,12 MPa pada fraksi massa 90% dan nilai modulus elastisitas paling tinggi sebesar 53,14 MPa pada fraksi massa 40%.

Semakin tinggi nilai modulus elastisitas suatu bahan menunjukkan bahwa bahan tersebut semakin kaku (*stiffness*).

Hasil pengujian morfologi internal dapat terlihat bahwa semakin bertambahnya fraksi massa serbuk kayu sengon maka rongga udara (*void*) akan semakin sedikit dan kecil. Berdasarkan hasil uji SEM fraksi massa 0% memiliki *void* yang banyak sehingga kekuatan tarik pada fraksi massa 0% paling rendah. Sedangkan untuk fraksi massa 50% *void* yang ada di dalam internal material semakin sedikit. Hal tersebut membuat kekuatan tarik material lebih tinggi jika dibandingkan dengan kekuatan tarik fraksi massa 0%. Sementara untuk hasil uji SEM pada fraksi massa 100% jumlah *void* sudah sedikit. Oleh karena itu nilai kekuatan tarik pada fraksi massa 100% paling tinggi jika dibandingkan dengan kekuatan fraksi massa yang lain.

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa terdapat pengaruh variasi fraksi massa serbuk kayu sengon terhadap kekuatan *bending* material komposit. Nilai kekuatan *bending* mengalami peningkatan seiring dengan penambahan fraksi massa serbuk kayu sengon dari 0%-90%, yaitu dari 3,62 MPa menjadi 15,82 MPa. namun terjadi penurunan kekuatan *bending* pada fraksi massa serbuk sengon 100% menjadi 12,93 MPa. Sementara untuk nilai modulus *bending* mengalami fluktuatif, dimana nilai modulus *bending* paling rendah sebesar 64,63 MPa pada fraksi massa 40% dan nilai modulus *bending* paling tinggi sebesar 439,88 MPa pada fraksi massa 100%.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT. atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Fraksi Massa Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit *Binderless* dari Serat Ampas Tebu dan Serbuk Kayu Sengon”. 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 bimbingan pengarahan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada hingga kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Ibu Endhah Purwandari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing dan memberikan arahan mapun nasehat dalam penulisan skripsi ini;
2. Ir. Misto, M.Si., selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phill., Ph.D. selaku Dosen Penguji Anggota yang memberikan masukan, kritik, dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Dr. Artoto Arkundanto, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis;
4. Segenap Dosen dan Karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
5. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan doa dan dukungan;
6. Cyntia Maya Parahita yang telah memberikan semangat, motivasi dan dukungan untuk penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
7. Sahabat-sahabatku di bangku kuliah: Saifudin, Firdaus, Gatut, Satrio, Faishal, Riski dan Ryo yang menemani;
8. Seluruh teman-teman Jurusan Fisika Angkatan 2014 yang telah memberi banyak bantuan selama penulis menempuh studi;
9. Tim komposit yang telah memberikan bantuan serta masukan selama penelitian;
10. Kawan-kawan kos Faiz, Inul, Andri, Ridi, Nola, dan Agung;

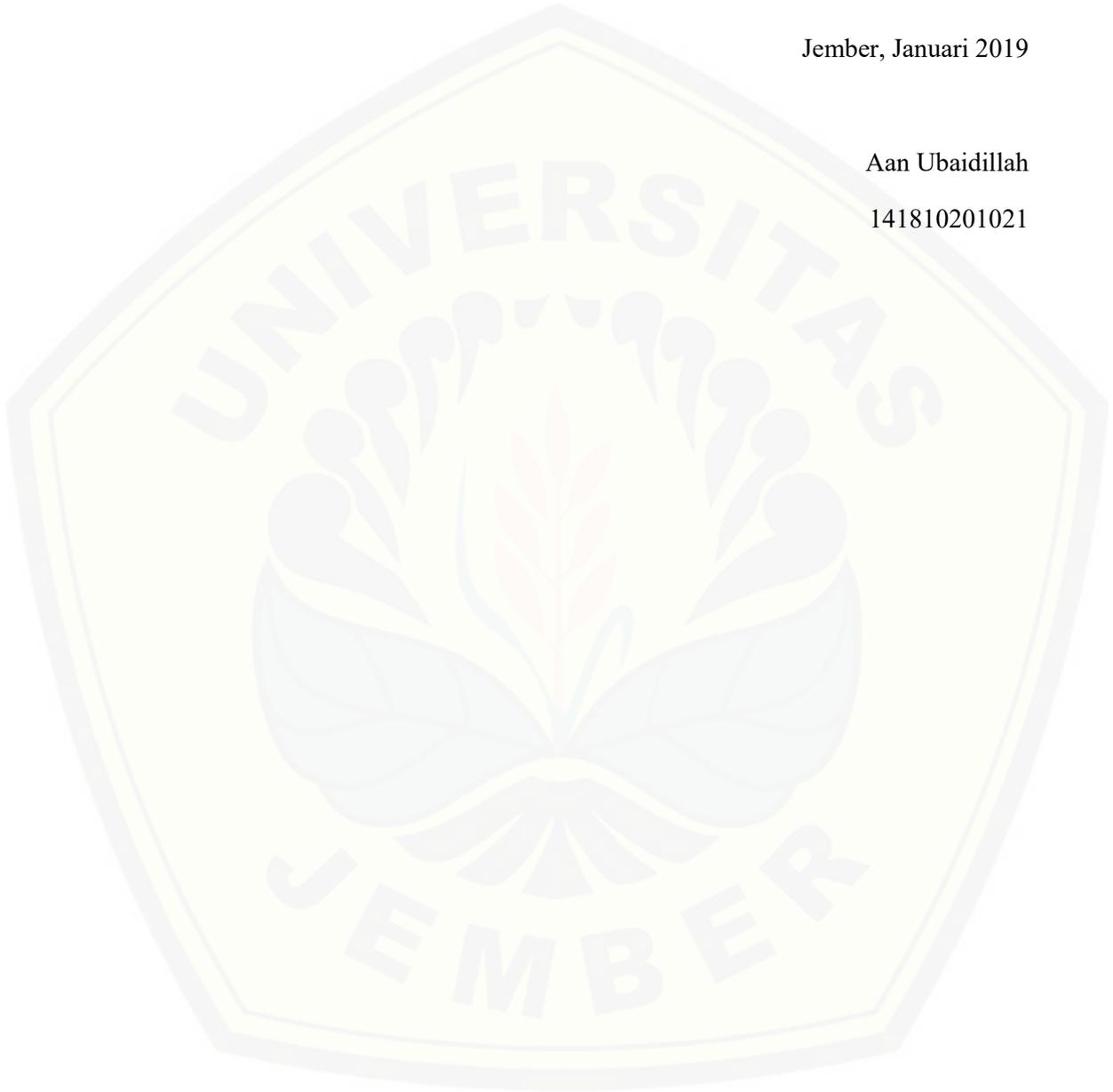
11. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca serta perkembangan ilmu pengetahuan di bidang Fisika maupun bidang yang lainnya.

Jember, Januari 2019

Aan Ubaidillah

141810201021



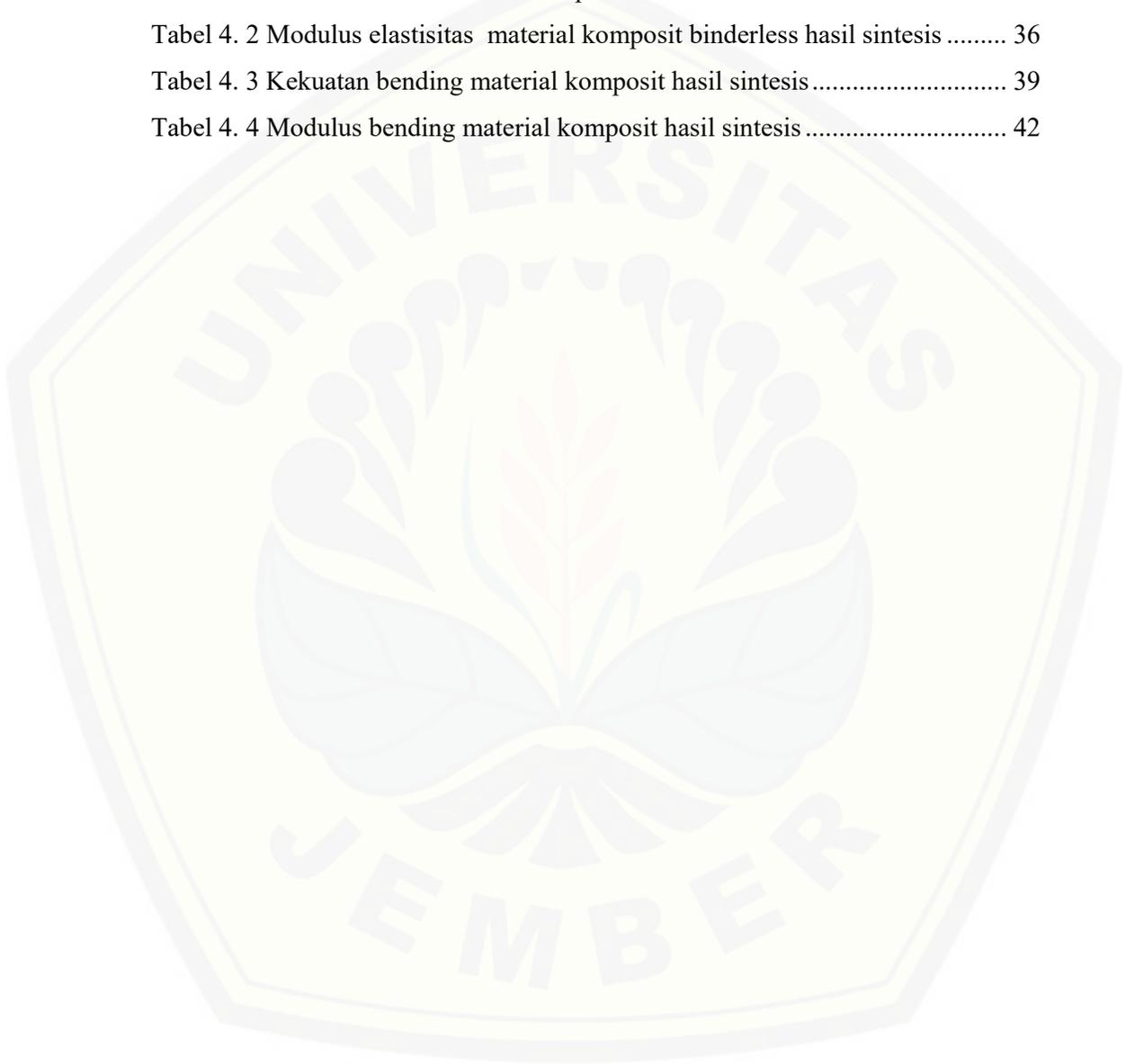
DAFTAR ISI

	Halaman
PERSEMBAHAN	iii
MOTO	iv
PERNYATAAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan	6
1.5 Manfaat	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Material Komposit	8
2.2 Binderless	9
2.3 Ampas Tebu	10
2.4 Serbuk Kayu Sengon	10
2.5 Asam Sitrat	11
2.6 Kelebihan Bahan Komposit	12
2.7 Kekuatan Bahan Komposit	12
2.7.1 Uji Kekuatan Bending	12
2.7.2 Uji Kekuatan Tarik	13
2.8 Uji Morfologi (<i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>)	16
BAB 3 METODE PENELITIAN	17
3.1 Rancangan Kegiatan Penelitian	17

3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian.....	17
3.3 Variabel Penelitian.....	18
3.4 Kerangka Pemecahan Masalah	18
3.4.1 Tahap Persiapan	19
3.4.2 Tahap Pelaksanaan.....	20
3.4.3 Tahap Analisis Data dan Penulisan.....	21
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Material Komposit Hasil Sintesis	25
4.2 Kekuatan Tarik dan Modulus Elastis Material Komposit	
<i>Binderless</i> Hasil Sintesis	26
4.2.1 Kekuatan Tarik.....	26
4.2.2 Modulus Elastisitas	36
4.3 Kekuatan <i>Bending</i> dan Modulus <i>Bending</i> Material Komposit Hasil	
Sintesis.....	39
4.3.1 Kekuatan <i>Bending</i>	39
4.3.2 Modulus <i>Bending</i>	41
BAB 5 PENUTUP	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Tabel kandungan senyawa pada ampas tebu	10
Tabel 2. 2 Tabel kandungan senyawa pada sengon	11
Tabel 4. 1 Kekuatan tarik material komposit hasil sintesis	27
Tabel 4. 2 Modulus elastisitas material komposit binderless hasil sintesis	36
Tabel 4. 3 Kekuatan bending material komposit hasil sintesis	39
Tabel 4. 4 Modulus bending material komposit hasil sintesis	42



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Skema klasifikasi yang digunakan untuk material komposit.....	8
Gambar 2. 2 Klasifikasi komposit serat.....	9
Gambar 2. 3 Rumus molekul asam sitrat.....	11
Gambar 2. 4 Skema pengujian kekuatan bending.....	12
Gambar 2. 5 Skema pengujian kekuatan tarik.....	14
Gambar 2. 6 Kurva regangan tegangan.....	15
Gambar 3.1 Diagram Fishbone kerangka pemecahan masalah pada penelitian yang dilakukan.....	19
Gambar 4. 1Foto material komposit binderless dari serat ampas tebu dan serbuk kayu sengon dengan fraksi massa serbuk kayu sengon.....	25
Gambar 4. 2Grafik hubungan tegangan (σ) dan regangan (ϵ).....	26
Gambar 4. 3 Diagram batang kekuatan tarik material komposit binderless hasil sintesis.....	28
Gambar 4. 4Foto SEM patahan pada fraksi massa 50%.....	31
Gambar 4. 5 Foto hasil uji SEM patahan material komposit binderless pada fraksi massa 0% (tanpa serbuk sengon).....	32
Gambar 4. 6 Foto hasil uji SEM patahan material komposit binderless pada fraksi massa serbuk kayu sengon 50%.....	34
Gambar 4. 7Foto hasil uji SEM patahan material komposit binderless pada fraksi massa 100% (tanpa serat tebu).....	35
Gambar 4. 8 Diagram batang modulus elastis material komposit binderless hasil sintesis.....	37
Gambar 4. 9 Diagram batang kekuatan bending material komposit binderless hasil sintesis.....	40
Gambar 4. 10 Diagram batang modulus bending material komposit binderless hasil sintesis.....	42

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. 1 Grafik tegangan dan regangan pada setiap fraksi massa	49
Lampiran 1. 2 Hasil uji kekuatan tarik material komposit.....	53
Lampiran 1. 3 Hasil modulus elastisitas material komposit	54
Lampiran 1. 4 Hasil uji kekuatan bending material komposit	55
Lampiran 1. 5 Hasil moodulus bending material komposit.....	56
Lampiran 1. 6 Alat Uji SEM merek Hitachi tipe 3030 plus dan Gambar Potongan Sampel uji SEM.....	61

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dewasa ini semakin berkembang dan maju. Salah satu teknologi yang juga ikut berkembang dan maju adalah teknologi material. Salah satu jenis teknologi material yang saat ini berkembang pesat adalah teknologi material komposit. Saat ini material komposit banyak dikembangkan karena material komposit sendiri memiliki beberapa kelebihan dibandingkan bahan konvensional seperti logam dan polimer. Kelebihan material komposit pada umumnya dapat dilihat pada sifat fisik dan mekanik serta kelebihan dari segi biaya.

Menurut Nayiroh (2013), kelebihan material komposit dibandingkan bahan konvensional ditinjau dari sifat mekanik dan fisik adalah memiliki densitas yang lebih rendah dari bahan konvensional lainnya sehingga bahan komposit memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih dari bahan konvensional. Memiliki massa jenis rendah (ringan), lebih kuat dan lebih ringan, perbandingan kekuatan dan berat yang menguntungkan, lebih kuat (*stiff*), ulet (*tough*) dan tidak getas, koefisien pemuaian yang rendah, tahan terhadap perubahan cuaca, tahan terhadap korosi, dan mudah diproses (dibentuk). Kelebihan yang lain dari material komposit yaitu material komposit relatif jauh lebih ekonomis atau murah dibandingkan dengan bahan konvensional. Hal ini dikarenakan material komposit dapat dibuat dari limbah-limbah hasil industri meubel, limbah pertanian, dan limbah lainnya yang banyak tidak dimanfaatkan.

Menurut Maryati (2011), secara umum material komposit dapat didefinisikan sebagai gabungan dua material atau lebih yang memiliki bentuk berbeda, komposisi kimianya berbeda, dan tidak saling melarutkan dimana satu material berfungsi sebagai penguat dan lainnya berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya. Pada umumnya material komposit tersusun dari material yang berfungsi sebagai penguat dan material yang berfungsi resin atau perekat. Penguat pada material komposit dapat berasal dari penguat yang berbentuk serat atau serbuk. Penguat berbentuk serat sendiri terbagi menjadi serat sintesis dan serat alami. Serat alami dan sintesis ini memiliki kelebihan dan

kekurangan masing-masing. Serat sintesis memiliki kekurangan yaitu tidak bisa terurai oleh lingkungan (*biodegradasi*) serta harganya relatif lebih mahal. Oleh karena itu para peneliti mengembangkan serat berbasis serat alam, yang mana serat alam sendiri bersifat bisa terurai secara alami, harganya relatif murah, dan tersedia banyak di alam.

Serat alam yang biasa digunakan untuk sintesis material komposit adalah serat ampas tebu, serabut kelapa, rami, serat bambu dan masih banyak yang lainnya. Serat ampas tebu adalah salah satu serat alam yang banyak tersedia di daerah Jember. Hal tersebut dikarenakan di daerah kabupaten Jember terdapat beberapa pabrik gula yang masih aktif beroperasi. Pemanfaatan limbah ampas tebu sekarang ini sudah banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan material komposit. Seperti yang dilakukan oleh Yudo dan Jatmiko (2008) yang membuat bahan komposit dari limbah ampas tebu dan berpenguat serat enceng gondok yang ditinjau dari kekuatan tarik dan impak. Menurut penelitian ini limbah ampas tebu memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi, mudah didapatkan, harganya murah, tidak membahayakan kesehatan serta mudah terurai oleh alam. Penelitian tersebut membuat bahan komposit dari serat tebu dan serat enceng gondok dengan variasi arah serat. Variasi arah serat yang dipakai adalah arah serat searah dengan sudut 0° dan arah serat bersilangan dengan sudut 45° . Hasil yang didapatkan yaitu kekuatan tarik bahan dengan arah serat searah dengan sudut 0° lebih besar dibandingkan dengan bahan yang menggunakan arah serat bersilangan. Begitu juga dengan hasil uji impak. Ampas tebu merupakan bahan limbah yang cukup potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan bahan komposit.

Menurut Prasetyoningrum (2016), ampas tebu (*bagasse*) di definisikan sebagai limbah dari proses penggilingan tebu (*Saccharum oicinarum*) setelah di keluarkan nutrisi atau niranya dalam industri pembuatan gula. Komposisi rata-rata ampas tebu (*bagasse*) dari hasil pembuatan gula di Indonesia adalah terdiri dari 52,9% limbah cair, 3,5% blotong, 32,0% ampas tebu (*bagasse*), 4,5% tetes tebu (*molasses*), 7,05% gula dan 0,1% abu (Punawan dalam Prasetyoningrum, 2016). Sebanyak 50% ampas tebu belum dimanfaatkan dan memiliki nilai ekonomis rendah. Selain itu ampas tebu yang sangat berpotensi digunakan sebagai bahan

penguat bahan komposit serbuk kayu sengon juga sangat berpotensi digunakan juga sebagai bahan penyusun material komposit. Hal tersebut karena serbuk kayu sengon selama ini belum dimanfaatkan secara maksimal. Serbuk kayu sengon masih belum dimanfaatkan secara optimal, salah satunya yaitu sebagai pupuk. Serbuk sengon sendiri banyak sekali tersedia di kabupaten Jember, serbuk tersebut berasal dari industri kayu yang ada di Jember. Pemanfaatan ampas tebu dan serbuk kayu sengon secara otomatis bisa mengurangi limbah industri yang selama ini menjadi masalah di masyarakat. Selain dapat mengurangi limbah pemanfaatan limbah-limbah ini bisa menjadi terobosan untuk bidang material.

Contoh penguat yang berasal dari alam adalah serbuk kayu sengon. Serbuk kayu sengon sendiri tersedia cukup banyak di daerah Kabupaten Jember dikarenakan area pertanian masih sangat luas sehingga lahan-lahan perkebunan kayu sengon banyak terdapat di Jember. Oleh sebab itu industri pengolahan kayu sengon semakin berkembang di Jember, semakin berkembangnya industri ini maka semakin meningkat pula limbah hasil pengolahan kayu sengon. Oleh sebab itu untuk memanfaatkan limbah kayu yang banyak ini maka limbah tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan bahan komposit. Penguat berbasis serbuk sendiri biasanya digunakan sebagai bahan penyusun komposit dengan mencampur serbuk kayu tersebut dengan resin. Penelitian pemanfaatan serbuk kayu sengon telah banyak dilakukan salah satunya yang dilakukan oleh Soleha (2012) yang meneliti tentang kekuatan bahan komposit yang menggunakan limbah pengolahan kayu lapis sengon dan resin *poly lactic acid* (PLA) dengan variasi arah serat penguat memanjang (*longitudinal*), tegak lurus (*transversal*). Kekuatan tarik yang dihasilkan dari bahan komposit ini adalah $\sigma = (11,296 \pm 1,604) \text{ N/mm}^2$ untuk arah serat penguat *longitudinal* dan $\sigma = (2,037 \pm 0,320) \text{ N/mm}^2$. Serbuk kayu sengon merupakan bahan yang cukup potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan bahan komposit.

Penelitian pembuatan material komposit sudah banyak dilakukan, para peneliti melakukan penelitian dan pembuatan material komposit dengan mencampurkan atau memadukan serat dengan resin atau perekat. Termasuk penelitian yang dilakukan oleh Alghiffari (2008) yang membuat bahan komposit dari ampas tebu dengan matriks urea formaldehida. Penelitian itu bertujuan untuk

mengetahui pengaruh kadar resin urea formaldehida terhadap sifat-sifat bahan komposit papan partikel dengan ampas tebu. Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah peningkatan kadar matriks urea formaldehida cenderung meningkatkan sifat fisis dan mekanis bahan komposit. Penelitian pembuatan tentang bahan komposit yang ramah lingkungan (*biodegradable*) telah banyak dilakukan salah satunya penelitian yang dilakukan oleh Ningsih *et al.*, 2012, yang meneliti tentang kemampuan biodegradasi modifikasi polipropena komposit *biodegradable* dengan bahan pengisi pati pisang dan sorbitol sebagai platisizer. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil penguburan material komposit selama 10 hari menghasilkan penurunan massa material komposit sebesar 16,12%, penguburan material komposit selama 20 hari menghasilkan penurunan massa material komposit sebesar 25,45%, pada waktu selama 30 hari menghasilkan penurunan massa material komposit sebesar 29,36%, dan nilai tertinggi penurunan massa sebesar 29,44% pada waktu penguburan selama 40 hari. Peningkatan nilai persen massa menunjukkan penambahan pati mengakibatkan bahan komposit yang terbentuk lebih disukai oleh mikroba sehingga banyak terbentuk celah pori yang mengakibatkan menurunnya massa bahan komposit.

Di sisi yang lain, penelitian sintesis dan karakterisasi material komposit ramah lingkungan juga telah banyak dilakukan tanpa menggunakan resin. Teknologi sintesis material komposit dengan cara ini biasa dikenal dengan teknologi *binderless*. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Widyorini dan Satiti (2011) yang membuat bahan komposit dari bahan kayu sengon, kayu nangka, dan kayu jati. Penelitian ini menggunakan metode pengepresan dengan suhu tinggi, dimana suhu yang digunakan adalah sebesar 180°C dan pengepresan dilakukan selama 15 menit serta perlakuan serat direndam dan tidak direndam dalam air panas pada suhu $100 \pm 2^\circ\text{C}$ selama 3 jam. Target yang ingin dicapai untuk penggunaan metode *binderless* ini yaitu membuat bahan dengan densitas sebesar $0,7 \text{ g/cm}^3$ dengan ukuran dimensi bahan sebesar 25 cm x 25 cm x 0,7 cm. Hasil penelitiannya menunjukkan ikatan paling kuat ada pada papan partikel dengan menggunakan serat kayu nangka dengan ketebalan pembengkakan sebesar 6%, penyerapan air sebesar 45%. 1,96 kgf/cm² ikatan internal, 62 kgf/cm² modulus *bending* dan 12886 kgf/cm² modulus elastis. Sementara itu, Habibi (2017)

meneliti tentang pengaruh temperatur sintesis terhadap kekuatan tarik dan bending bahan komposit dari ampas tebu berbasis *binderless*. Penelitian tersebut menggunakan variasi temperatur sintesis sebesar 80°C, 90°C, 100°C, 110°C, dan 120°C. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik dan bending adalah nilai tertinggi kekuatan tarik dan modulus elstatis didapatkan pada variasi temperatur 90°C yaitu sebesar 8,01 MPa dan 1076,75 MPa. Sementara untuk kekuatan bending dan modulus bending tertinggi diperoleh pada temperatur 100°C yaitu sebesar 5,09 MPa dan 186,32 MPa. Dijelaskan juga bahwa apabila peningkatan temperatur dari 80°C menjadi 90°C, dapat mengakibatkan peningkatan interaksi dalam bentuk gaya adhesi. Namun peningkatan temperatur ini tidak selamanya dapat meningkatkan interaksi gaya adhesi. Semakin besar temperatur yang dipakai akan mengakibatkan lignoselulosa menjadi berkurang dan mengakibatkan gaya adhesi menjadi kecil.

Penelitian juga dilakukan oleh Widyorini dan Nugraha (2015), yang meneliti tentang sifat fisis dan mekanis papan partikel sengon dengan perekat asam sitrat dan sukrosa. Penelitian tersebut dilakukan dengan rasio asam sitrat dan sukrosa sebesar 0:100, 25:75, 75:25, dan 100:0 yang dicampurkan dengan partikel dengan kadar perekat sebesar 7,5% dan 15%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kadar perekat dapat meningkatkan sifat fisis dan mekanis papan partikel. Kualitas papan partikel yang tertinggi diperoleh pada papan partikel dengan kadar perekat 15% dengan rasio asam sitrat dan sukrosa sebesar 50:50. Nilai modulus patah dan modulus elastis yang didapatkan sebesar 10,7 MPa dan 3,3 GPa.

Berdasarkan uraian di atas pemilihan bahan serat ampas tebu dan serbuk kayu sengon dikarenakan di daerah Jember dan sekitarnya banyak terdapat limbah ampas tebu dan serbuk kayu sengon yang masih belum dimanfaatkan secara maksimal dan masih menjadi permasalahan bagi lingkungan. Sehingga dalam penelitian tugas akhir ini akan dilakukan pemanfaatan limbah ampas tebu dan serbuk kayu sengon yang dijadikan material komposit *binderless* berbahan ampas tebu dan serbuk kayu sengon dengan menggunakan alat *hot press machine* dengan variasi fraksi massa. Kemudian akan dilakukan pengujian tarik serta *bending* untuk mengetahui karakteristik mekanis bahan. Berdasarkan hasil pengujian akan

dilakukan analisis dan pengkajian sifat mekanik dari material komposit hasil sintesis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan pada latar belakang, permasalahan yang dapat dikaji dalam penelitian ini adalah pengaruh fraksi massa serat ampas tebu dan serbuk kayu sengon terhadap sifat mekanik material komposit hasil sintesis.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Temperatur sintesis yang digunakan adalah 170 °C
2. Fraksi massa serbuk kayu sengon yang digunakan adalah 0% sampai dengan 100%.
3. Sifat mekanik material komposit hasil sintesis dibatasi hanya pada kekuatan dan modulus elastisitas, dan kekuatan bending atau modulus *bending*.
4. Arah orientasi serat yang dipakai adalah acak.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian yang dilakukan kali ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat dan memperoleh bahan komposit *binderless* dari ampas tebu dan serbuk kayu sengon.
2. Mengetahui pengaruh fraksi massa terhadap sifat mekanik bahan komposit *binderless* dari ampas tebu dan serbuk kayu sengon.

1.5 Manfaat

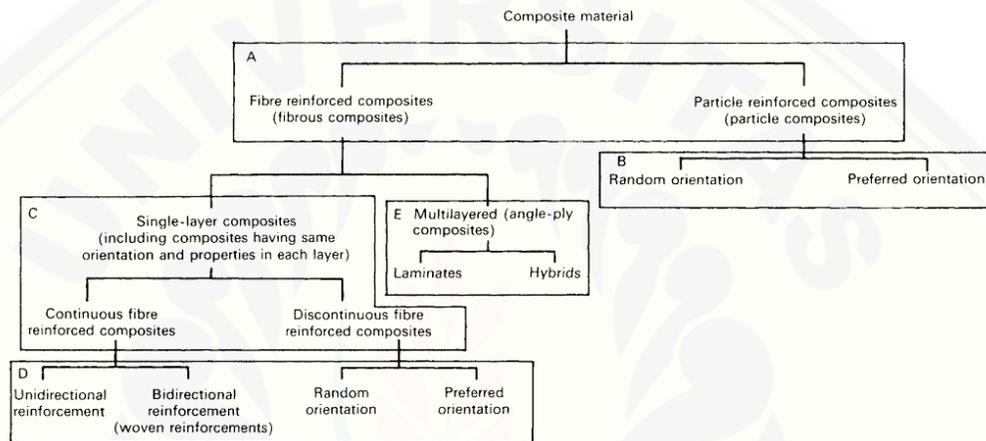
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi massa terhadap sifat mekanik bahan komposit *binderless* dari ampas tebu dan serbuk kayu sengon. Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberi informasi tentang pemanfaatan limbah ampas tebu dan serbuk kayu sengon sebagai pembentuk bahan komposit.
2. Menjadikan ampas tebu dan serbuk kayu sengon bahan baku alternatif pembentuk bahan komposit.
3. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan teknologi material khususnya material komposit.
4. Memungkinkan untuk dijadikan referensi acuan penelitian selanjutnya pada bidang bahan komposit.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

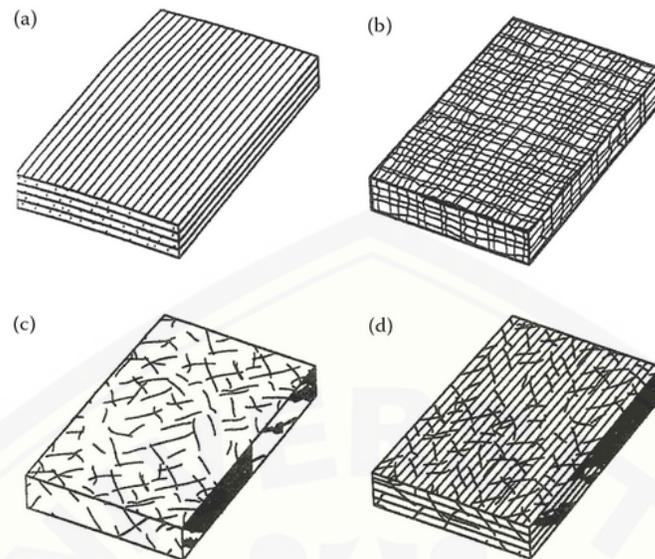
2.1 Material Komposit

Matthews dan Rawlings (1999), komposit merupakan campuran dua atau lebih bahan atau fasa yang berbeda. Material komposit dapat tersusun atau terbentuk dari berbagai jenis bahan. Bahan penyusun komposit pada dasarnya terdiri dari dua jenis yaitu berbasis serat dan berbasis partikel. Klasifikasi kedua bahan tersebut diuraikan pada Gambar 2.1:



Gambar 2. 1 Skema klasifikasi yang digunakan untuk material komposit (Sumber: Matthews dan Rawlings, 1999)

Bahan penyusun material komposit yang paling sering digunakan adalah serat (*fiber*). Secara umum penggunaan serat sebagai penguat mempunyai kelebihan yaitu serat lebih kuat dari penguat bentuk lain seperti serbuk. Fungsi utama serat adalah penopang matriks yang digunakan dalam bahan komposit tersebut, sehingga dapat dikatakan bahwa serat berpengaruh pada kekuatan material komposit yang akan dihasilkan nantinya. Menurut Gibson (2011), jenis komposit serat dapat diklasifikasikan ke dalam 4 (empat) yaitu kelompok *Continuous Fiber Composite* (Komposit serat kontinu), *Woven Fiber Composite* (Komposit serat tenun), *Chopped Fiber Composite* (Komposit serat pendek), dan *Hybrid Composite* (Komposit serat pendek dan kontinu).



Gambar 2. 2 Klasifikasi komposit serat; a). Continuous Fiber Composite b). Woven Fiber Composite c). Chopped Fiber Composite d). Hybrid Composite (Sumber: Gibson, 2011)

2.2 Binderless

Shen (1986) dalam Widyorini dan Satiti (2011) mendefinisikan *Binderlessboard* adalah material komposit yang dalam pembuatannya hanya dengan meningkatkan ikatannya oleh pengaktifan komponen kimia dari bahan penyusunnya menggunakan metode uap atau panas. Okuda dan Sato (2004) dalam Kurniawan (2007) mengatakan bahwa bahan yang mengandung lignoselulosa dapat dibuat papan dengan menggunakan proses pengempaan panas tanpa adanya tambahan bahan perekat atau resin. Hal ini membuktikan bahwa terjadi perubahan unsur kimia dalam proses pengempaan panas itu.

Penelitian tentang material komposit dengan menggunakan metode *binderless* telah banyak dilakukan. Salah satu yang meneliti tentang komposit *binderless* ini adalah (Widyorini, 2005b) yang meneliti tentang sifat papan partikel dari ampas tebu, dikatakan bahwa tingkat pembentukan ikatan diri bergantung pada bahan kimia dan sifat morfologi bahan lignoselulosa, serta pada kondisi manufakturnya. Pada dasarnya komposit yang dihasilkan dengan metode *Binderless* kekuatan rekatnya tidak jauh dari komposit yang dibuat dengan menggunakan tambahan resin atau matrik sebagai bahan perekatnya.

2.3 Ampas Tebu

Ampas tebu merupakan bahan sisa yang dihasilkan dari proses pengolahan batang tebu. Biasanya tebu-tebu dari perkebunan diolah oleh pabrik gula (PG) untuk dijadikan gula dengan diambil sari niranya. Dari pengolahan tebu tersebut ampas tebu (*baggase*) yang di hasilkan sebanyak 35-40% dari jumlah tebu yang diolah. Ampas tebu selama ini masih belum dimanfaatkan dengan maksimal. Biasanya ampas tebu (*baggase*) ini hanya diolah menjadi makanan ternak, pupuk, sebagai bahan bakar *boiler* di pabrik gula ataupun sebagai bahan baku pembuatan papan partikel (Misran, 2015). Panjang serat serat tebu biasanya 1,7-2 cm dan berdiameter kurang lebih 20 μm sehingga cocok untuk bahan pembuat papan, ampas tebu ini yang berbentuk serat ini pada umumnya tidak larut dalam air dan biasanya mengandung selulosa, lignin, dan pantosa (Sudaryanto *et al.*, 2002 dalam Yosephine, 2012). Kandungan senyawa pada ampas tebu ditunjukkan pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2. 1 Tabel kandungan senyawa pada ampas tebu

Kandungan	Kadar (%)
Abu	3
Lignin	22
Selulosa	37
Sari	1
Pentosa	27
SiO ₂	3

Sumber : Yosephine, 2012

2.4 Serbuk Kayu Sengon

Menurut Martawijaya *et al.*, (1997), bahwa sengon merupakan jenis tanaman yang mudah tumbuh dan dibudidayakan dengan mudah, sehingga tanaman sengon banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan meubel, kayu lapis ataupun tripleks. Tanaman sengon mempunyai arah serat lurus dan bergelombang dengan tekstur batang agak kasar dan merata. Selain itu kayu sengon memiliki ciri-ciri yaitu tinggi pohon $\pm 30-40$ meter, ranting muda bersegi dan berambut. Bentuk daun sempurna menyirip rangkap, dengan satu kelenjar

atau lebih pada tangkainya. Sedangkan kelopak bunga berbilangan lima kelopak bergigi, dengan tinggi ± 2 mm. Tabung mahkotanya berbentuk corong, berambut, berwarna putih kemudian kuning pucat, tingginya ± 6 mm. Jumlah benang sari banyak, tangkai sari berwarna putih, dan pada pangkalnya menyatu menjadi tabung, dengan panjang $\pm 1,5$ cm. Polongan berbentuk pita, lurus diatas tanda bekas mahkota dengan panjang tangkainya 0,5-1 cm. kandungan senyawa tanaman sengon ditunjukkan pada tabel 2.2 di bawah ini.

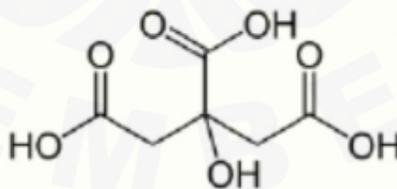
Tabel 2. 2 Tabel kandungan senyawa pada sengon

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

Sumber : Mansyur *et al.*, 2008

2.5 Asam Sitrat

Menurut Umemura *et al.*, 2011 dalam Widyorini (2012) Asam sitrat (2-hydroxy-1,2,3-propanetricarbocyclic acid) adalah salah satu jenis asam organik lemah yang terkandung didalam daun dan buah tumbuhan genus *Citrus* (jeruk-jerukan), yang mengandung didalamnya tiga gugus karboksil. Secara umum, asam sitrat dibuat melalui fermentasi dari bahan yang mengandung glukosa dan sukrosa. Adapun rumus molekul dari asam sitrat dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Rumus molekul asam sitrat (sumber: Umemura *et al.*, 2011 dalam Widyorini *et al.*, 2012)

2.6 Kelebihan Bahan Komposit

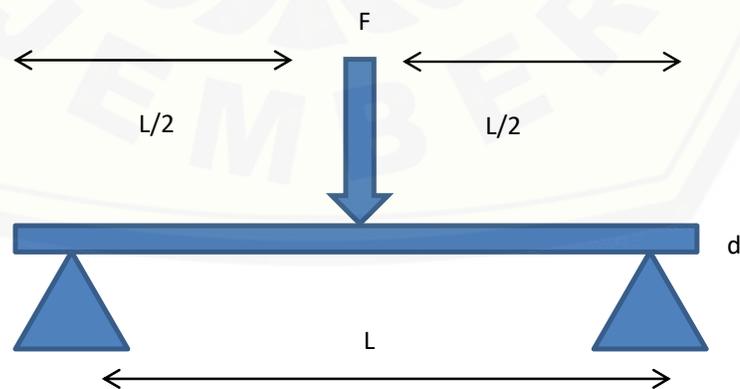
Menurut Nayiroh (2013), kelebihan material komposit dibandingkan bahan yang lain dari segi sifat mekanik dan fisik adalah memiliki densitas yang lebih rendah dari bahan konvensional lainnya, sehingga bahan komposit memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih dari bahan konvensional lainnya, mempunyai massa jenis rendah (ringan), lebih kuat dan lebih ringan, perbandingan kekuatan dan berat yang menguntungkan, lebih kuat (*stiff*), ulet (*tough*) dan tidak getas, mempunyai koefisien pemuaian yang rendah, tahan terhadap cuaca & tahan terhadap korosi, dan mudah diproses (dibentuk). Kelebihan yang lain dari bahan komposit yaitu dari segi biaya bahan komposit relatif jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan bahan konvensional lainnya. Hal itu yang membuat banyak peneliti yang mengembangkan material komposit.

2.7 Kekuatan Bahan Komposit

Kekuatan bahan komposit dapat diketahui dengan melakukan pengujian pada bahan komposit. pengujian yang dilakukan pada bahan komposit meliputi uji kekuatan *bending* dan uji kekuatan tarik.

2.7.1 Uji Kekuatan Bending

Menurut Oroh *et al.* (2013), pengujian kekuatan bending atau pengujian lentur dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan tahan bahan komposit ketika diberikan beban pada titik lentur. Pengujian kekuatan *bending* ini juga dilakukan untuk mengetahui keelastisan suatu bahan. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban atau gaya tegak lurus tepat di tengah bahan.



Gambar 2. 4 Skema pengujian kekuatan bending (Sumber: Habibi, 2017)

Cara untuk mengetahui kekuatan bending dari suatu bahan digambarkan pada Gambar 2.3 dimana L merupakan jarak antara dua tumpuan tempat meletakkan sampel bahan, dan L/2 merupakan jarak titik tengah dari tumpuan dan F merupakan gaya yang akan diberikan ke sampel bahan secara konstan sampai sampel bahan mengalami deformasi (patah).

Menurut Hartanto (2009), momen yang terjadi bahan komposit saat pengujian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M = \frac{F}{2} \cdot \frac{L}{2} \quad (2.1)$$

Adapun untuk mengetahui kekuatan bending dari bahan, kita gunakan

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \quad (2.2)$$

Untuk mengetahui modulus elastis *bending* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Eb = \frac{L^3 \cdot F}{4 \cdot b \cdot d^3 \cdot \delta} \quad (2.3)$$

dimana:

σ_b = Kekuatan bending (N/mm²)

F = Beban yang di berikan (N)

L = Jarak antara dua titik tumpuan (mm)

b = Lebar sampel uji (mm)

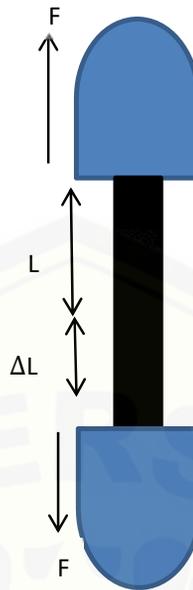
d = Tebal sampel uji (mm)

δ = Defleksi (mm)

Eb = Modulus elastis bending (N/mm²)

2.7.2 Uji Kekuatan Tarik

Menurut Maryati *et al.* (2011), pengujian kekuatan tarik dimaksudkan untuk mengetahui tegangan, regangan, dan modulus elastisitas bahan dengan cara menarik dua ujung bahan sampai putus. Dengan melakukan pengujian kekuatan tarik kita dapat mengetahui seberapa besar elastisitas sebuah bahan serta dapat mengetahui seberapa besar bahan yang diuji merespon terhadap gaya tarik yang diberikan.



Gambar 2. 5 Skema pengujian kekuatan tarik (Sumber: Habibi, 2017)

Menurut Surdia (1992) dalam Hartanto (2009), hubungan antara tegangan dan regangan pada beban tarik ditentukan oleh persamaan (2.4).

$$F = \sigma \cdot A \text{ atau } \sigma = \frac{F}{A} \quad (2.4)$$

dimana:

F = Beban (N)

A = Luas penampang (mm^2)

σ = Tegangan (N/mm^2)

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan.

Nilai regangan ini adalah regangan proporsional yang didapat dari garis.

Proporsional pada

grafik tegangan-tegangan hasil uji tarik komposit (Surdia dalam Hartanto,2009).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l_0} \times 100\% \quad (2.5)$$

dimana,

ε = Regangan (%)

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

l_0 = panjang daerah ukur (mm)

Pada daerah proporsional yaitu daerah dimana tegangan dan regangan yang terjadi masih sebanding, defleksi yang terjadi masih bersifat elastis dan masih berlaku hukum Hooke. Besarnya nilai modulus elastisitas komposit yang juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Surdia dalam Hartanto, 2009).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.6)$$

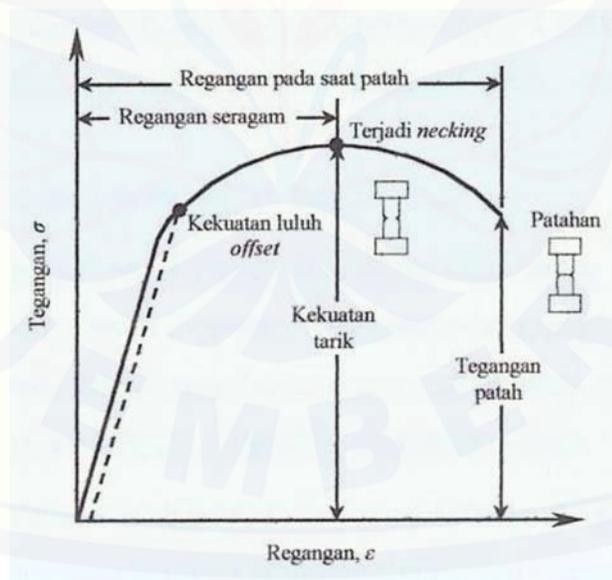
dimana:

E = Modulus elastis tarik (N/mm^2)

σ = Kekuatan tarik (N/mm^2)

ε = Regangan (%)

Berdasarkan Gambar 2.5, tegangan luluh *offset* dilakukan dengan mengukur perpotongkan kurva tegangan regangan dengan garis sejajar garis lurus elastis *offset*. Jika tegangan kecil maka akan mengakibatkan perpanjangan bertambah serta terjadi *necking* atau bisa disebut pengecilan penampang dan kurva tegangan regangan menjadi landai serta modulus elastis rendah (Kurniawan dalam Wahyudyanto, 2016).



Gambar 2. 6 Kurva regangan tegangan (Sumber: Wahyudyanto, 2016)

Metode *offset* yang digunakan untuk menentukan titik luluh dilakukan dengan cara menarik garis lurus yang sejajar dengan garis miring pada daerah

elastis dari titik 0,2% pada sumbu x (regangan) hingga memotong kurva tegangan regangan. Titik yang diperoleh dari metode ini nantinya akan digunakan untuk menentukan nilai modulus elastis (Porwanto dan Lizda 2010).

2.8 Uji Morfologi (*Scanning Electron Microscopy* (SEM))

Pengujian morfologi SEM dilakukan untuk mencari tahu informasi tentang perubahan struktural permukaan secara tiga dimensi yang disebabkan oleh hasil pengujian secara mekanik (Angles, 1999). Pada SEM, gambar akan dibuat berdasarkan hasil deteksi elektron baru (*secondary electron*) atau elektron pantul (*back scattered electron*) yang berasal dari permukaan sampel ketika permukaan sampel dipindai dengan menggunakan elektron. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya akan diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor *cathode ray tube* (CRT) (Pujianto, 2009).

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Kegiatan Penelitian

Kegiatan penelitian yang akan dilakukan merupakan penelitian eksperimen laboratorium yang didasarkan pada permasalahan yang telah diajukan, yaitu tentang pemanfaatan serat limbah ampas tebu dan serbuk kayu sengon sebagai bahan dasar pembuatan material komposit *binderless*. Ada dua tahapan eksperimen dalam penelitian ini. Tahap pertama adalah sintesis material komposit *binderless* berbasis bahan serat limbah ampas tebu dan serbuk kayu sengon, dan tahap kedua adalah pengujian sifat mekanik material komposit hasil sintesis. Sebagai material komposit *binderless* maka dalam sintesis material komposit dalam penelitian ini tidak digunakan perekat atau yang biasa dikenal dengan resin.

Eksperimen sintesis material komposit dan pengujian sifat mekanik (kekuatan tarik dan *bending*) dilakukan di tempat yang sama yaitu di Laboratorium Fisika Bahan, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Berdasarkan data hasil uji tarik dan *bending*, selanjutnya dilakukan pengolahan dan analisis data hasil uji tersebut. Hasil analisis yang diperoleh kemudian dibahas dan dikaji yang dituangkan dalam bentuk tulisan dan grafik. Dari hasil analisis data, dilakukan penarikan kesimpulan sebagai jawaban atas permasalahan yang dikaji. Hasil pembahasan dalam penelitian ini disusun ke dalam bentuk karya tulis ilmiah untuk publikasi dan dalam bentuk laporan tugas akhir.

3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian

Jenis data yang didapatkan dari penelitian ini adalah data primer yang berupa data numerik (kuantitatif) yang diperoleh langsung dari hasil eksperimen. Data tersebut berupa data tegangan (σ) dan regangan (ϵ) yang diperoleh dari hasil eksperimen uji tarik, dan data gaya (F) dan defleksi (δ) yang diperoleh dari hasil eksperimen uji *bending*. Data tersebut di atas bersumber dari eksperimen uji kekuatan tarik dan eksperimen uji kekuatan bending.

3.3 Variabel Penelitian

Ada 3 (tiga) variabel pokok dalam penelitian ini, yaitu variabel kontrol, variabel bebas, dan variabel bergantung. Ketiga variabel tersebut diuraikan sebagai berikut:

1. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel penelitian yang keberadaannya dikontrol atau dianggap sama selama proses penelitian berlangsung sehingga variabel tersebut dapat dianggap tidak mempengaruhi hasil penelitian. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah tekanan dan waktu proses pengempaan selama sintesis material komposit *binderless* dilakukan yaitu tekanan pengempaan 10 MPa, dan waktu 25 menit, dimensi sampel uji papan partikel yaitu 10cm x 1 cm x 1 cm, jarak antara dua klem dalam pengujian kekuatan tarik dan jarak antara dua titik tumpu dalam pengujian kekuatan bending masing-masing adalah 5 cm dan dilakukan pada temperatur ruang.

2. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel penelitian yang nilainya dapat divariasikan sesuai dengan kemauan peneliti untuk mengetahui pengaruhnya terhadap obyek atau variabel yang akan diteliti. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah fraksi massa serbuk kayu sengon. Fraksi massa serbuk kayu sengon yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 0% sampai dengan 100%, sedangkan temperatur pengempaan saat sintesis bahan dilakukan adalah sebesar 170 °C.

3. Variabel Terikat

Variabel terikat atau biasa juga disebut dengan variabel bergantung (*dependence variable*) merupakan variabel penelitian yang ingin diketahui/diukur nilainya karena adanya perubahan atau variasi pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kekuatan tarik (σ), modulus tarik/elastisitas (E), kekuatan *bending* (σ_b), dan modulus *bending* (E_b).

3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

Kerangka pemecahan masalah dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram *fishbone* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Fishbone kerangka pemecahan masalah pada penelitian yang dilakukan

3.4.1 Tahap Persiapan

Adapun tahap persiapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Tahap Persiapan Alat dan Bahan

1. Alat

Adapun alat yang digunakan meliputi alat cetak bahan uji, pengaduk, saringan, penggaris, timbangan digital, gelas ukur, pipet tetes, *Hot-Pressed Machine*, *Universal Testing Machine* (UTM) HT 2402, blender Philips HR 2116, *stopwatch*, oven, loyang, *Thermometer infrared* (*ohmegascup* tipe 0S520).

1. Bahan

Serbuk limbah kayu sengon diperoleh dari PT.Sejahtera Usaha Bersama Kalibaru Manis-Banyuwangi, serat ampas tebu berasal dari PTPN XI PG Semboro, NaOH, air, NaClO, dan Asam sitrat.

b. Persiapan Serat Ampas Tebu Dan Serbuk Kayu Sengon

1. Tahap Pengolahan Selulosa Serbuk limbah kayu sengon

Serbuk limbah kayu sengon yang diperoleh dari pabrik triplek PT. Sejahtera Usaha Bersama Kalibaru Manis-Banyuwangi berupa serbuk halus kering. Pengolahan serbuk limbah kayu sengon dilakukan dengan beberapa tahap

yaitu alkalisasi, *bleaching*, dan pengeringan. Langkah awal yang dilakukan pada proses alkalisasi yaitu membuat larutan NaOH 5%. Kemudian serbuk limbah kayu sengon dicampur dengan larutan hingga rata dan didiamkan selama 2 jam. Hasil dari alkalisasi disaring dan dinetralkan dengan air untuk menghilangkan larutan NaOH yang masih tersisa. Proses selanjutnya yaitu proses pemutihan (*bleaching*) dengan cara membuat larutan NaClO 1,4%. Serbuk hasil alkalisasi dimasukkan ke dalam larutan NaClO 1,4% untuk menghilangkan sisa-sisa lignin dari hasil alkalisasi. Proses pemutihan ini dilakukan selama 1 jam. Setelah proses pemutihan selesai hasilnya disaring dan dibilas dengan menggunakan air. Setelah pencucian selesai dilakukan pengeringan dengan cara dioven dengan suhu 100°C selama 100 menit.

2. Tahap Pengolahan Serat Ampas Tebu

Serat ampas tebu yang digunakan diperoleh dari PTPN XI PG Semboro. Ampas tebu yang didapat kemudian dilakukan alkalisasi dengan membuat larutan NaOH 5%. Serat ampas tebu yang diperoleh dicampur dengan larutan selama 2 jam. Hasil dari alkalisasi lalu diblender bersama dengan larutan NaOH untuk memisahkan antara serat ampas tebu dengan gabus yang terdapat pada ampas tebu. Hasil alkalisasi yang telah diblender dinetralkan menggunakan air untuk menghilangkan larutan NaOH yang masih tersisa. Proses selanjutnya yaitu pemutihan (*bleaching*) dengan cara membuat larutan NaClO 1,4%. Serat ampas tebu hasil alkalisasi dicampur dengan larutan NaClO 1,4% selama 1 jam, untuk menghilangkan sisa-sisa lignin dari hasil alkalisasi. Setelah proses pemutihan selesai, hasilnya disaring dan dibilas menggunakan air. Proses terakhir yaitu setelah pencucian selesai dilakukan pengeringan serat dalam oven dengan suhu 100°C selama 60 menit sampai serat ampas tebu kering kemudian diblender lagi untuk menghaluskan serat ampas tebu.

3.4.2 Tahap Pelaksanaan

a. Sintesis Material Komposit

Sintesis material komposit *binderless* dilakukan dengan melakukan variasi fraksi massa dan temperature sintesis. Dalam sintesis material komposit *binderless* dilakukan dengan beberapa langkah. Langkah pertama menimbang ampas tebu dan serbuk limbah kayu sengon dengan variasi fraksi massa serbuk

kayu sengon yaitu 0% sampai dengan 100% dengan menambahkan asam sitrat 5% dari berat total bahan lalu dicampur hingga merata dengan menggunakan blender. Selanjutnya campuran dari serbuk limbah kayu sengon, serat ampas, dan asam sitrat tebu dimasukkan dalam cetakan kemudian di *press* dengan menggunakan alat *Hot Press Machine* selama 25 menit dengan temperatur 170 °C. Bahan komposit *binderless* yang telah selesai dicetak, dikeluarkan dari cetakan. Untuk keperluan karakterisasi material komposit *binderless*, setiap perlakuan sintesis dibuat sebanyak 3 buah sampel.

b. Karakterisasi Material Komposit *Binderless*

Karakterisasi sifat mekanik material komposit *binderless* dilakukan dengan melakukan ujin kekuatan tarik dan uji kekuatan *bending*. Karakterisasi dilakuakn dengan menggunakan alat *Universal testing Machine* (UTM) HT 2402. Uji kekuatan tarik dilakukan dengan memberikan gaya tarik pada kedua ujung sampel uji seperti pada gambar 2.4 sampai batas sampel uji tersebut patah setelah diukur panjang, lebar, dan tebalnya. Gaya tarik yang teramati pada saat sampel uji patah merupakan kekuatan tarik dari sampel yang diuji. Modulus elastis dapat ditentukan dari grafik hasil uji tarik dengan mengambil data tegangan dan regangan yang ada. Kekuatan *bending* dan modulus *bending* didapatkan dengan langkah awal mengukur tebal, lebar dan panjang sampel uji dengan menggunakan penggaris. Kemudian titik tumpu dan titik tengah sampel uji ditentukan dan diberi tanda. Sampel diletakkan pada mesin uji dengan jarak titik tengah dan titik tumpu yang sudah ditentukan seperti pada gambar 2.3. besar beban uji yang diaplikasikan dicatat kemudian besar defleksi sampel uji diukur pada setiap beban hingga terjadi patahan. Ukuran bahan untuk uji sifat mekanik yaitu 1cm x 1cm x 10cm dengan panjang bentang keperluan uji sebesar 5cm.

3.4.3 Tahap Analisis Data dan Penulisan

a. Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian tarik adalah berupa data tegangan (σ) dan regangan (ϵ), digunakan untuk menentukan kekuatan tarik dengan menggunakan persamaan 2.4 serta modulus elastis dengan menggunakan persamaan 2.6. Berdasarkan nilai tegangan dan regangan yang diperoleh, akan

dibuat grafik hubungan antara tegangan dan regangan. Melalui grafik hubungan antara tegangan dan regangan dapat diketahui nilai kekuatan tarik maksimum dari material komposit dan nilai modulus elastis dari material komposit dengan menarik garis lurus pada titik 0,2% dari sumbu regangan yang sejajar dengan garis lurus sehingga akan terjadi perpotongan atau disebut metode *offset*. Berdasarkan data dari nilai kekuatan tarik dan modulus elastis material komposit dibuat grafik hubungan dengan fraksi massa serat untuk mengetahui pengaruh fraksi massa serat terhadap nilai kekuatan tarik material komposit ataupun nilai modulus elastis material komposit.

Sementara untuk pengujian kekuatan bending data yang diperoleh adalah data gaya (F) dan defleksi (δ). Data tersebut digunakan untuk menentukan kekuatan bending dengan menggunakan persamaan 2.2 dan modulus bending menggunakan persamaan 2.3. Berdasarkan data tegangan dan defleksi yang diperoleh, akan dibuat grafik hubungan antara tegangan dan defleksi. Melalui grafik hubungan antara tegangan dan defleksi dapat diketahui nilai kekuatan bending maksimum dari material komposit dan nilai modulus bending dari material komposit. Berdasarkan data dari nilai kekuatan bending dan modulus bending material komposit dibuat grafik hubungan dengan fraksi massa serat untuk mengetahui pengaruh fraksi massa serat terhadap nilai kekuatan bending material komposit ataupun nilai modulus bending material komposit.

b. Penulisan Naskah Tugas Akhir dan Artikel Ilmiah

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh fraksi massa terhadap sifat mekanik material komposit *binderless* dari ampas tebu dan serbuk kayu sengon. Hasil analisis yang diperoleh kemudian dibahas dan dikaji yang dituangkan dalam bentuk tulisan dan grafik. Dari hasil analisis data, dilakukan penarikan kesimpulan sebagai jawaban atas permasalahan yang dikaji. Hasil pembahasan dalam penelitian ini disusun ke dalam bentuk karya tulis ilmiah untuk publikasi dan dalam bentuk laporan tugas akhir.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan sintesis dan karakterisasi yang telah dilakukan terhadap material komposit dari serat ampas tebu dan serbuk kayu sengon dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan serbuk kayu sengon pada sintesis material komposit *binderless* berbasis serat ampas tebu mempengaruhi nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas material komposit *binderless* hasil sintesis. Kekuatan tarik tertinggi material komposit *binderless* pada penelitian ini diperoleh pada material komposit dengan serbuk kayu sengon 100% , yaitu sebesar $(8,11 \pm 0,69)$ MPa. Sementara itu, nilai modulus elastis tertinggi didapatkan pada fraksi massa serbuk kayu sengon sebesar 40%, yaitu sebesar $(53,14 \pm 1,73)$ MPa.
2. Penambahan serbuk kayu sengon pada sintesis material komposit *binderless* berbasis serat ampas tebu berpengaruh pada nilai kekuatan dan modulus *bending* material komposit *binderless* hasil sintesis. Kekuatan *bending* tertinggi diperoleh pada material komposit *binderless* dengan penambahan fraksi massa serbuk kayu sengon 90%, yaitu sebesar $(15,82 \pm 1,90)$ MPa. Sementara itu, nilai modulus *bending* tertinggi didapatkan pada material komposit dengan fraksi massa serbuk kayu sengon 100%, yaitu sebesar $(439,88 \pm 30,36)$ MPa.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, untuk mendapatkan material komposit *binderless* yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan dalam bidang lain maka perlu dilakukan penelitian yang lebih komperhensif tentang pengaruh tekanan dan temperatur sintesis terhadap sifat mekanik dan fisik material komposit *binderless* berbasis serat ampas tebu dan serbuk kayu. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut berhubungan dengan ukuran bahan penyusun komposit *binderless* untuk meminimalisir jumlah *void* didalam bahan yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akay, M. 2015. *An Introduction to Plymer-Matrix Composites*. Bookbon.com.[17 Oktober 2018].
- Alghiffari, A. F. 2008. Pengaruh Kadar Resin Perekat Urea Formaldehida terhadap Sifat-sifat Papan Partikel Ampas Tebu. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Gibson, R. F. 2011. *Principles of Composite Materials Mechanics: Third Edition*. New York: CRC press.
- Habibi, A. I. 2017. Pengaruh Temperatur Sintesis terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Bahan Komposit Binderless dari Ampas Tebu. *Skripsi*. Jember: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Hartanto, L. 2009. Study Perlakuan Alkali dan Fraksi Volume Serat terhadap Kekakuan Bending, Tarik, dan Impak Komposit Berpenguat Serat Rami Bermatrik Polyester BQTN 157. *Doctoral Disertasi*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Hidayati, R. N. 2018. Pengaruh Perbandingan Komposisi Isian (*filler*) Dan Waktu Perendaman Serat Dalam Pembuatan Komposit Dari Limbah Serbuk Gergaji Kayu Dan Serat Pelepah Pisang (*Musa.sp*). *Kehutanan Indonesia* 3:1-8.
- Kholifah, N. 2018. Kekuatan Tarik dan Modulus Elastis Bahan Komposit Berbasis Ampas Tebu dan Serbuk kayu Sengon dengan Matriks Selulosa Bakteri. *Skripsi*. Jember. Universitas Jember.
- Kurniawan, R. 2007. Studi Pembuatan Papan Partikel Binderless dari Kenaf (*Hibicus Cannabinus L*). *Skripsi*. Bogor: Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan. IPB.

- Lamaming, J., Othman, S., Tamoko, S., Rokiah, H., Norafizah, S., and Sato, M. 2013. Influence of chemical components of oil palm on properties of binderless particleboard. *J Agric Life Sci.* 8(3): 3358-3371.
- Ludfah, L. A. 2009. Sintesis Dan Karakterisasi Bahan Komposit (Resin Poliester-Serbuk Gergaji Kayu Sengon). *Skripsi*. Jember. Universitas Jember.
- Mamur, L.O., M. Hasbi., dan P. Aksar. 2016. Kajian Eksperimental Sifat Mekanik Material Komposit Serat Tangkai Sagu Dipadukan Dengan Serbuk Gergaji Kayu Jati. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Mesin*: 2(2). 37-41.
- Mansyur, I. M, Osly. R., Ridwan, A. P., Han, R., Nurwati, H., Mohammad, M., Jasni, Sri, R., dan Rena, M. S. 2008. Petunjuk Praktis Sifat-Sifat Dasar Jenis Kayu Indonesia. *Indonesia Sawmill and Woodworking Association (ISWA)*.
- Maryati, B., Sonief, A. A. A., dan Wahyudi, S. 2011. Pengaruh alkalisasi komposit serat kelapa-poliester terhadap kekuatan tarik. *Rekaya Mesin*: 2(2).123-129.
- Martawijaya, A dan Kartasujana, I. 1977. Ciri Umum, Sifat dan Kegunaan Jenis-Jenis Kayu Indonesia. Bogor: Departemen Pertanian.
- Matthews, F. L., and Rawlings, R. D. 1999. *Composite Materials: Engineering and Science*. New York: Elsevier.
- Misran, E. 2005. Industri tebu menuju *zerowaste industry*. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara: *Jurnal Teknologi Proses*.4(2):6-10.
- Nayiroh, N. 2013. Teknologi Material Komposit. <http://nurun.lecturer.uinmalang.ac.id/wpcontent/uploads/sites/7/2013/03/MaterialKomposit.pdf>. [22 November 2017].
- Ning, Liu., *et al.* 2015. Effect of Nano-Sized and Micro-Sized Carbon Fiber on Interlaminar Shear Strength and Tribological Properties of High Strength Glass Fabric/Epolic Laminate In Water Environment. *Journal of Composite: Part B*. Elsevier. 68. 92-99.

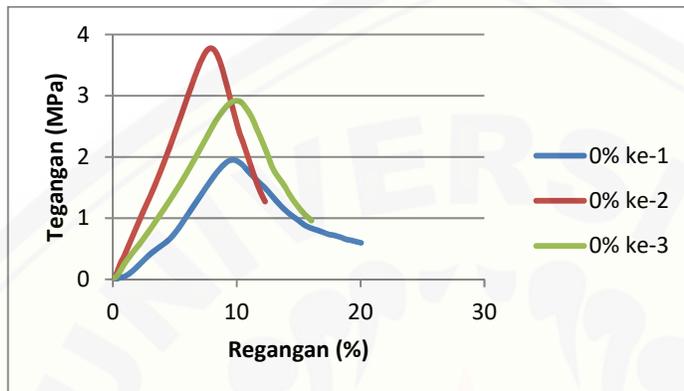
- Ningsih, E. S., S. Mulyadi, dan Y. Yetri. 2012. Modifikasi polipropena sebagai polimer biodegradable dengan bahan polimer komposit biodegradable dengan bahan pengisi pati pisang dan sorbitol sebagai platisizer. *Jurnal Fisika: Unand*. 1(1):53-59
- Oroh, J., F. P. Sappu, dan R. C. Lumintang. 2013. Analisis sifat mekanik material komposit dari serat sabut kelapa. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin Unsrat*: 13(1):4.
- Prasetyoningrum, S. H. 2016. Proses Pembuatan *Pulping* dan *Bleaching* dari Ampas Tebu dengan Proses Sada Menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH) dengan Alat Digester (*Pulping and Bleaching Process of Sugarcane Dregs by Soda Prosecc Using Sodium Hydroxid (NaOH) whith Digester Equipment*). *Doctoral Dissertation*. Semarang: UNDIP.
- Porwanto, D. A. M., dan J. Lizda. 2010. Karakterisasi Komposit Berpenguat Serat Bambu dan Serat Gelas Sebagai Alternatif Bahan Baku Industri. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pujianto, T. H. 2009. Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida dan Temperatur Anil terhadap Struktur Nan0 dan Tingkat Kristalin TiO₂ Nanotubes. *Skripsi*. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Purwanto, D. 2016. Sifat Fisis Dan Mekanis Papan Partikel Dari Limbah Campuran Serutan Rotan Dan Serbuk Kayu. *Jurnal Riset Industri*. 10(3):125-133.
- Rahman, M.B.N dan Kamiel, B.P. 2011. Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat-Sifat Tarik Komposit Diperkuat *Unidirectional* Serat Tebu dengan Matrik Poliester. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*. 14(2):133-138.
- Rianto, Y. 2011. Pengaruh Komposisi Campuran *Filler* Terhadap Kekuatan *Bending* Komposit Ampas Tebu-Serbuk Kayu Dalam Matrik *Polyester*. *Skripsi*. Surakarta. Universitas Sebelas Maret.
- Soleha, W. 2012. Kekuatan Tarik, Modulus Elastis 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 Universitas Jember.

- Wahyudyanto, J. 2016. Pengaruh Filler Mikro Partikel Karbon Tempurung Kelapa (CMP-CS) terhadap Photo Makro dan Kekuatan Tarik Komposit Polyester. *Doctoral Disertasi*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Widyorini, R., Xu, J., and Watanabe, T. 2005. *Chemical Changes In Steam-Pressed Kenaf Core Binderless Particleboard*. *J Wood Sci* 51:26-32.
- Widyorini, R., J. Xu, K. Umamura, and S. Kawai. 2005b. *Manufacture and properties of binderless particle board from bagasse: effect of raw material type, storage methods, and manufacturing proses*. Japan: *Japan Wood Research Society*. 51:648-652.
- Widyorini, R., dan D. A. Satiti. 2011. Characteristics of binderless board made from heat-treated wood species. In *Proc 3rd International Symposium of Indonesian Wood Research Society*. (Pp.125-129).
- Widyorini, R., dan P.A. Nugraha. 2015. Sifat fisis dan mekanis papan partikel sengon dengan perekat asam sitrat-sukrosa. *Jurnal Ilmu Teknologi Kayu Tropis*. 13(2):175-184.
- Widyorini, R., T.A. Prayitno, A.P. Yudha, B.A. Setiawan, dan B.H. Wicaksono. 2012. Pengaruh konsentrasi asam sitrat dan suhu pengempaan terhadap kualitas papan partikel dari pelepah nipah. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 4(1):62-70.
- Yosephine, A., V. Gala, A. Ayucitra, dan E. S. Retnoningtyas. 2012. Pemanfaatan ampas tebu dan kulit pisang pembuatan kertas serat campuran. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. 11(3):94-100.
- Yudo, H., & Jatmiko, S. 2008. Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (baggase) ditinjau dari kekuatan Tarik dan Impak. *kapal*: 5(2), 95.101.

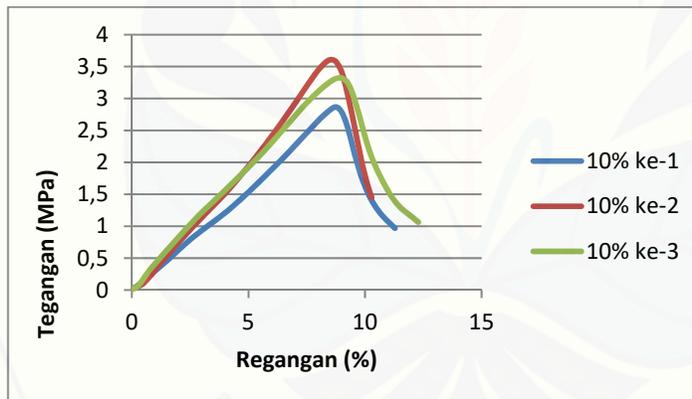
LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Grafik tegangan dan regangan pada setiap fraksi massa

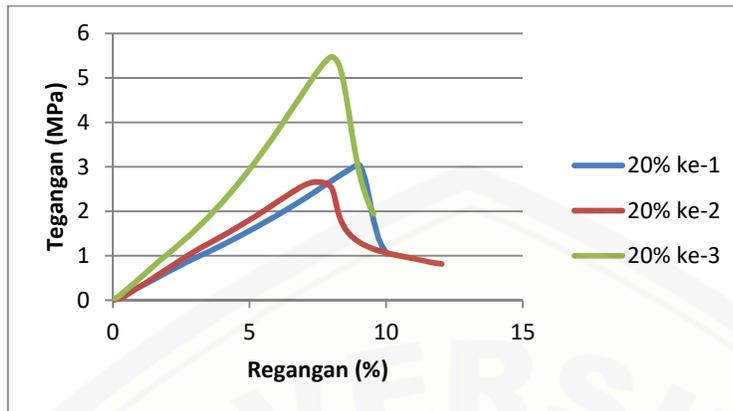
a. Fraksi massa 0%



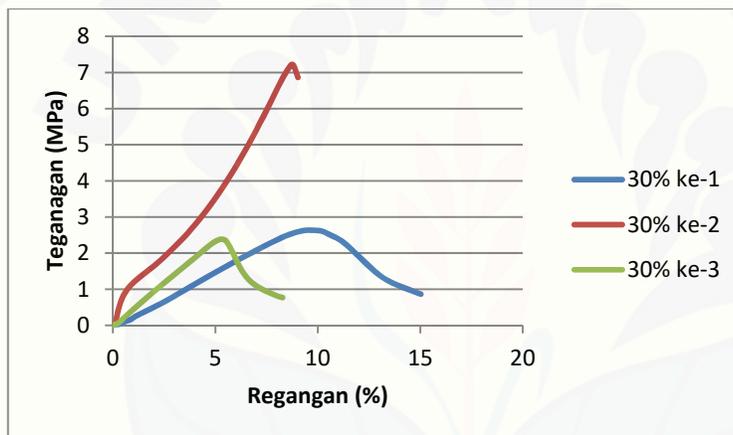
b. Fraksi massa 10%



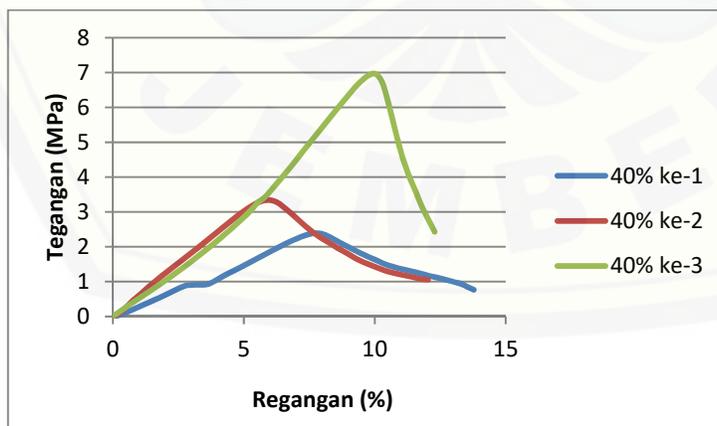
c. Fraksi massa 20%



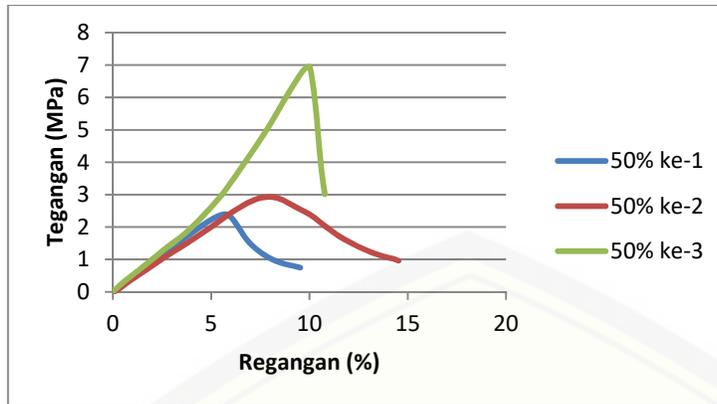
d. Fraksi massa 30%



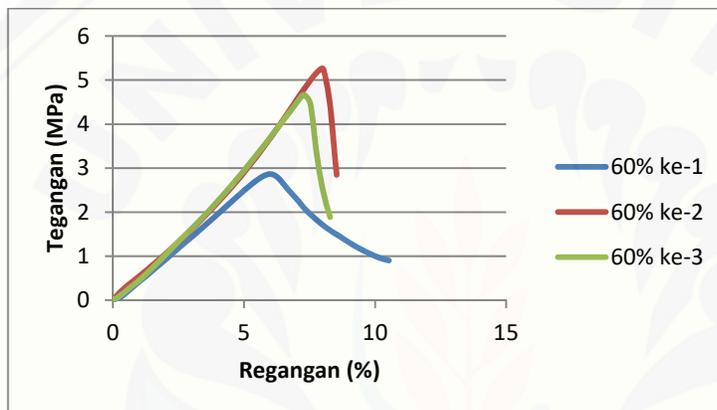
e. Fraksi massa 40%



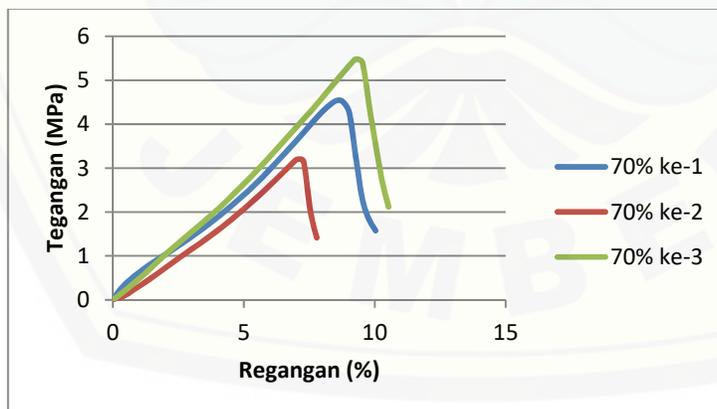
f. Fraksi massa 50%



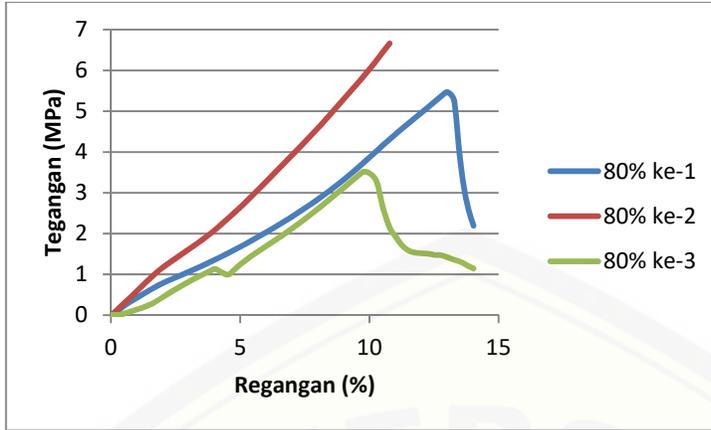
g. Fraksi massa 60%



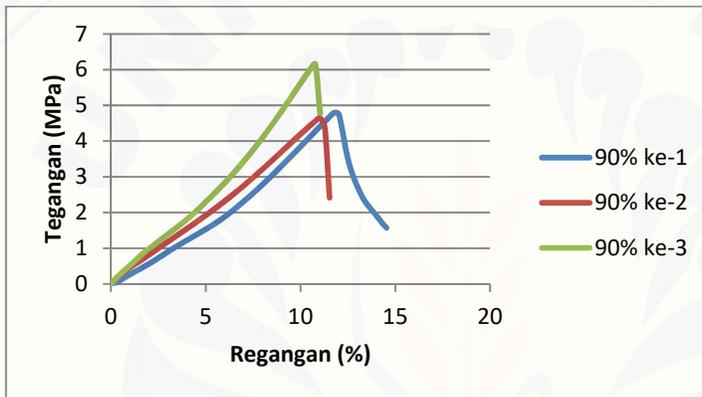
h. Fraksi massa 70%



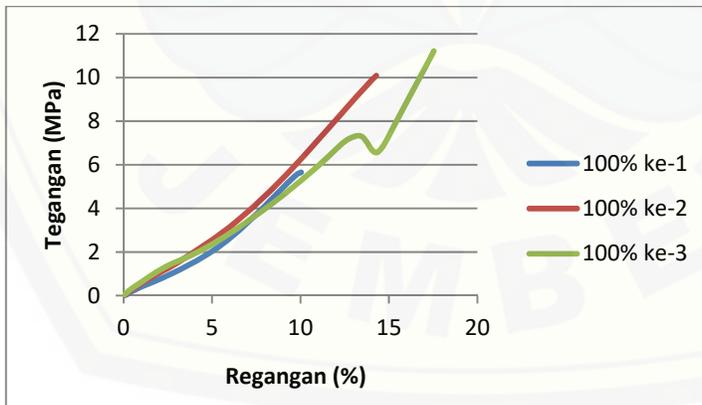
i. Fraksi massa 80%



j. Fraksi massa 90%



k. Fraksi massa 100%



Lampiran 1. 2 Hasil uji kekuatan tarik material komposit

Fraksi	n	fk	σ (MPa)	σ' (MPa)	$\bar{\sigma}'$ (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)
0%	1	1,22	1,95	2,38	3,22	0,48
	2	1,08	3,77	4,05		
	3	1,11	2,92	3,24		
10%	1	1,12	2,87	2,99	3,52	0,33
	2	1,09	3,61	4,12		
	3	0,87	3,32	3,45		
20%	1	1,13	3,03	3,27	3,81	0,72
	2	1,15	2,66	2,93		
	3	0,93	5,47	5,23		
30%	1	1,04	2,64	3,21	4,04	1,16
	2	1,14	7,22	6,34		
	3	1,04	2,38	2,57		
40%	1	1,09	2,39	2,67	4,11	1,01
	2	0,97	3,34	3,62		
	3	0,99	6,96	6,05		
50%	1	1,22	2,39	2,69	4,16	1,15
	2	0,88	2,93	3,36		
	3	1,08	6,93	6,44		
60%	1	1,08	2,86	3,11	4,28	0,60
	2	1,10	5,24	5,08		
	3	0,96	4,67	4,63		
70%	1	1,08	4,54	4,89	4,45	0,61
	2	1,01	3,23	3,23		
	3	0,95	5,48	5,21		
80%	1	1,02	5,47	5,82	4,88	1,01
	2	1,01	6,66	5,96		
	3	0,88	3,52	2,86		
90%	1	1,06	4,89	4,89	5,01	0,22
	2	0,89	4,64	4,70		
	3	0,81	6,15	5,44		
100%	1	1,20	5,65	6,78	8,11	0,69
	2	0,84	10,08	8,44		
	3	0,81	11,21	9,10		

Lampiran 1.3 Hasil modulus elastisitas material komposit

Fraksi	N	fk	E (MPa)	E' (MPa)	\bar{E}' (MPa)	ΔE (MPa)
0%	1	1,22	29,50	36,04	38,46	5,71
	2	1,08	45,89	49,33		
	3	1,11	27,06	30,00		
10%	1	1,12	59,96	35,36	50,24	8,57
	2	1,09	31,65	65,06		
	3	0,87	57,87	50,30		
20%	1	1,13	45,33	51,05	47,81	1,78
	2	1,15	39,15	44,92		
	3	0,93	51,11	47,47		
30%	1	1,04	30,40	31,66	38,95	3,69
	2	1,14	38,19	43,62		
	3	1,04	39,94	41,56		
40%	1	1,09	46,49	50,58	53,14	1,73
	2	0,97	58,17	56,44		
	3	0,99	52,84	52,40		
50%	1	1,22	53,66	28,80	46,78	9,57
	2	0,88	70,02	61,45		
	3	1,08	46,32	50,09		
60%	1	1,08	30,85	33,26	41,45	4,97
	2	1,10	36,96	40,66		
	3	0,96	52,74	50,43		
70%	1	1,08	55,48	59,73	49,83	5,79
	2	1,01	39,26	39,67		
	3	0,95	52,62	50,07		
80%	1	1,02	29,50	30,07	36,98	3,45
	2	1,01	39,92	40,43		
	3	0,88	45,73	40,43		
90%	1	1,06	37,72	40,10	36,12	8,39
	2	0,89	53,96	48,26		
	3	0,81	24,59	20,01		
100%	1	1,20	36,76	44,15	43,16	0,51
	2	0,84	50,66	42,42		
	3	0,81	52,88	42,92		

Lampiran 1. 4 Hasil uji kekuatan bending material komposit

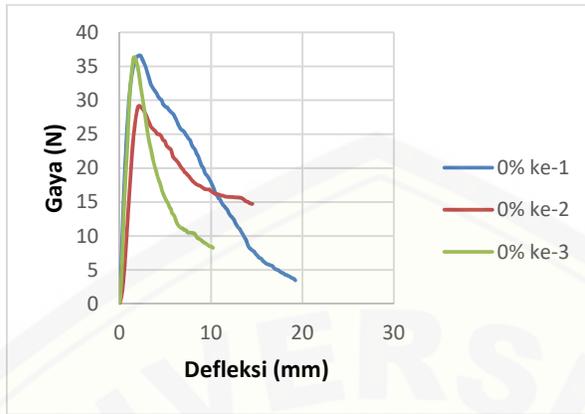
Fraksi	n	fk	σ_b (MPa)	σ_b' (MPa)	$\overline{\sigma_b'}$ (MPa)	$\Delta\sigma_b$ (MPa)
0%	1	1,02	3,83	3,90	3,63	0,26
	2	1,12	2,78	3,11		
	3	1,04	3,72	3,87		
10%	1	1,06	5,04	5,36	4,28	0,55
	2	1,11	3,50	3,90		
	3	1,05	3,39	3,57		
20%	1	1,17	5,02	5,87	5,15	0,37
	2	1,07	4,40	4,71		
	3	1,09	4,45	4,85		
30%	1	1,11	5,92	6,56	6,26	0,45
	2	1,07	6,38	6,83		
	3	1,03	5,23	5,38		
40%	1	1,01	7,50	7,60	6,83	0,57
	2	1,20	6,00	7,18		
	3	1,00	5,70	5,71		
50%	1	1,28	5,23	6,71	6,85	0,07
	2	1,08	6,41	6,92		
	3	1,21	5,70	6,92		
60%	1	1,04	6,06	6,32	7,09	0,40
	2	1,00	7,29	7,29		
	3	1,02	7,51	7,65		
70%	1	1,00	9,14	9,16	8,93	0,35
	2	1,19	6,90	8,25		
	3	1,27	7,39	9,40		
80%	1	1,05	10,70	11,25	10,83	0,38
	2	1,17	8,60	10,07		
	3	1,31	8,55	11,16		
90%	1	1,28	14,80	18,98	15,93	1,90
	2	1,31	12,30	16,07		
	3	1,20	10,34	12,41		
100%	1	1,28	10,26	13,10	12,93	0,23
	2	1,28	10,36	13,23		
	3	1,31	9,55	12,47		

Lampiran 1. 5 Hasil moodulus bending material komposit

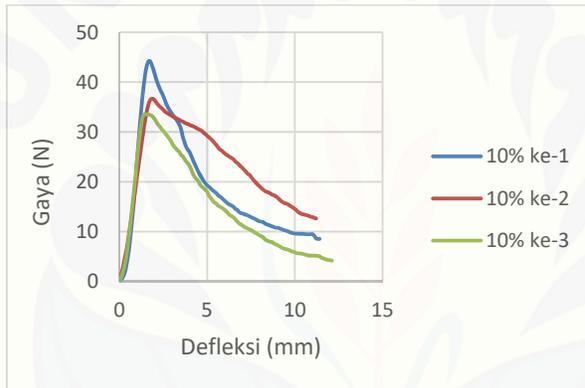
Fraksi	N	fk	$E_b(MPa)$	$E_{b'}(MPa)$	$\overline{E_{b'}}(MPa)$	$\Delta E_b(MPa)$
0%	1	1,00	154,17	154,45	160,52	14,83
	2	1,19	159,19	188,69		
	3	1,21	113,98	138,42		
10%	1	1,03	88,88	91,32	95,22	2,36
	2	1,00	94,87	94,87		
	3	1,28	72,54	99,47		
20%	1	1,07	80,82	86,46	74,88	6,13
	2	1,07	67,84	72,57		
	3	1,02	64,43	65,60		
30%	1	1,00	166,66	166,25	148,36	18,40
	2	1,04	160,37	167,26		
	3	1,06	104,90	111,57		
40%	1	1,05	75,53	79,65	64,63	9,32
	2	1,12	42,54	47,56		
	3	1,11	59,87	66,67		
50%	1	1,17	94,58	110,53	91,40	10,11
	2	1,09	69,84	76,19		
	3	1,04	84,03	87,47		
60%	1	1,11	139,15	154,18	147,45	12,55
	2	1,02	120,94	123,14		
	3	1,20	137,83	165,02		
70%	1	1,05	304,60	320,20	302,26	13,62
	2	1,17	235,36	275,54		
	3	1,20	259,00	311,05		
80%	1	1,08	171,98	185,64	205,68	10,03
	2	1,27	169,07	214,97		
	3	1,01	213,53	216,44		
90%	1	1,31	298,20	389,48	317,11	23,68
	2	1,28	313,00	399,73		
	3	1,28	253,79	324,11		
100%	1	1,28	389,79	500,02	439,88	30,36
	2	1,31	319,34	417,09		
	3	1,31	308,19	402,53		

Lampiran 1. 6 Grafik tegangan dan defleksi pada setiap fraksi massa

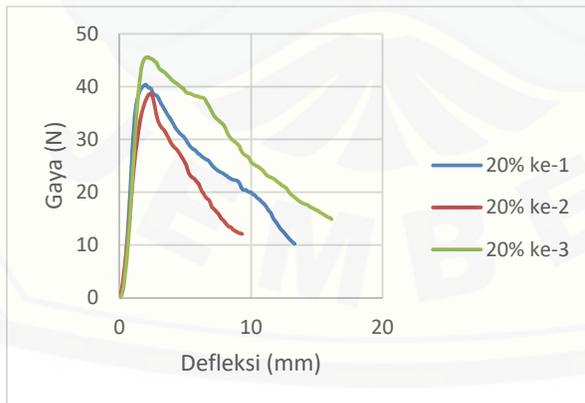
a. Fraksi massa 0%



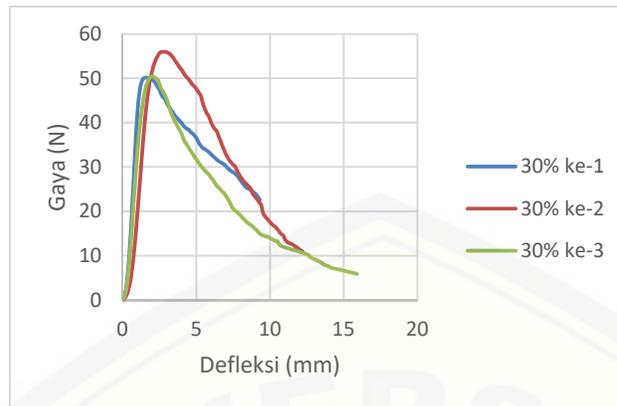
b. Fraksi massa 10%



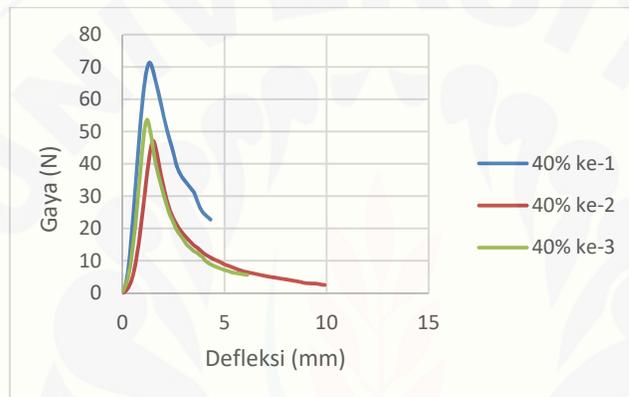
c. Fraksi massa 20%



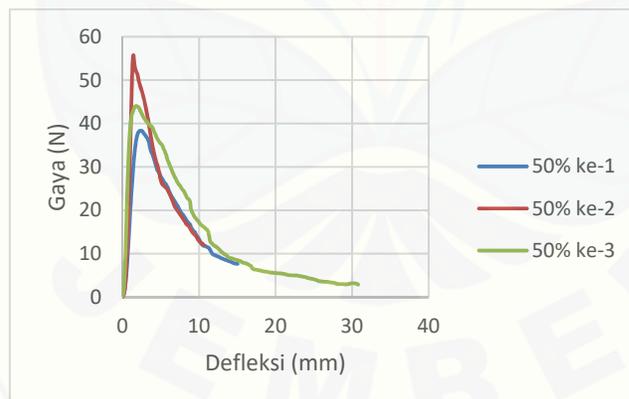
d. Fraksi massa 30%



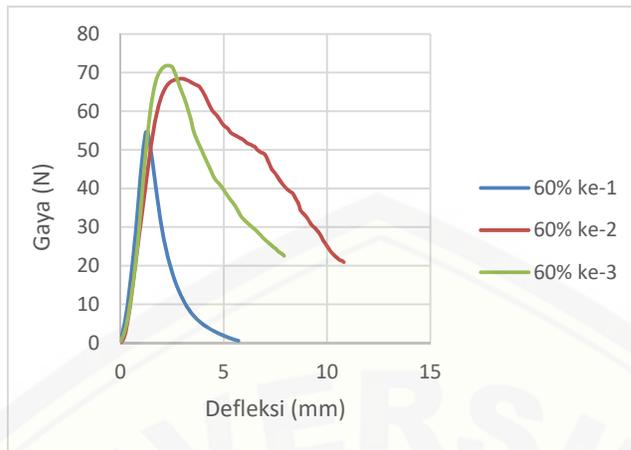
e. Fraksi massa 40%



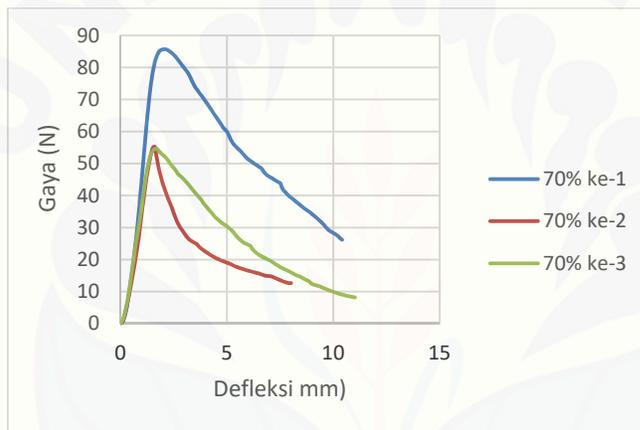
f. Fraksi massa 50%



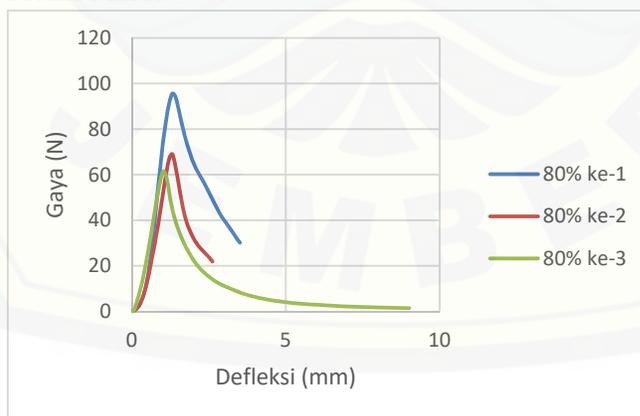
g. Fraksi massa 60%



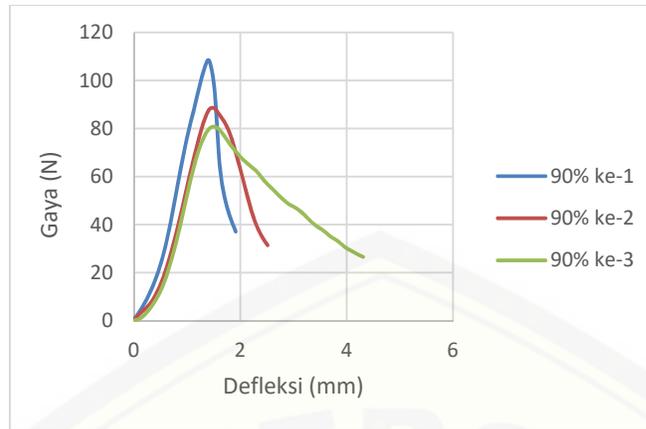
h. Fraksi massa 70%



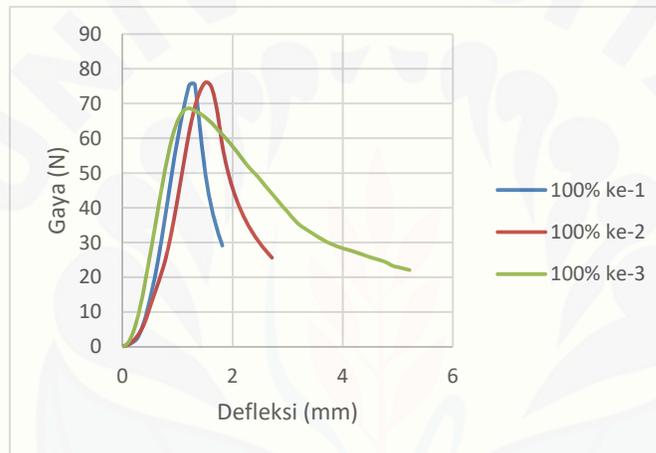
i. Fraksi Massa 80%



j. Fraksi Massa 90%



k. Fraksi Massa 100%



Lampiran 1. 7 Alat Uji SEM merek Hitachi tipe 3030 plus dan Gambar Potongan Sampel uji SEM

a. Alat uji SEM



b. Potongan sampel untuk melihat tipe patahan



0%



50%



100%