



**KARAKTERISTIK *GREEN COMPOSITE* BERBASIS *POLYLACTIC ACID*
(PLA) DAN SERAT RAMI**

TESIS

Oleh

**Elok Hidayah
NIM 171820201002**

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



**KARAKTERISTIK *GREEN COMPOSITE* BERBASIS *POLYLACTIC ACID*
(PLA) DAN SELULOSA SEAT RAMI**

TESIS

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan studi Program Studi Fisika (S-2)
dan mencapai gelas Magister Sains

oleh

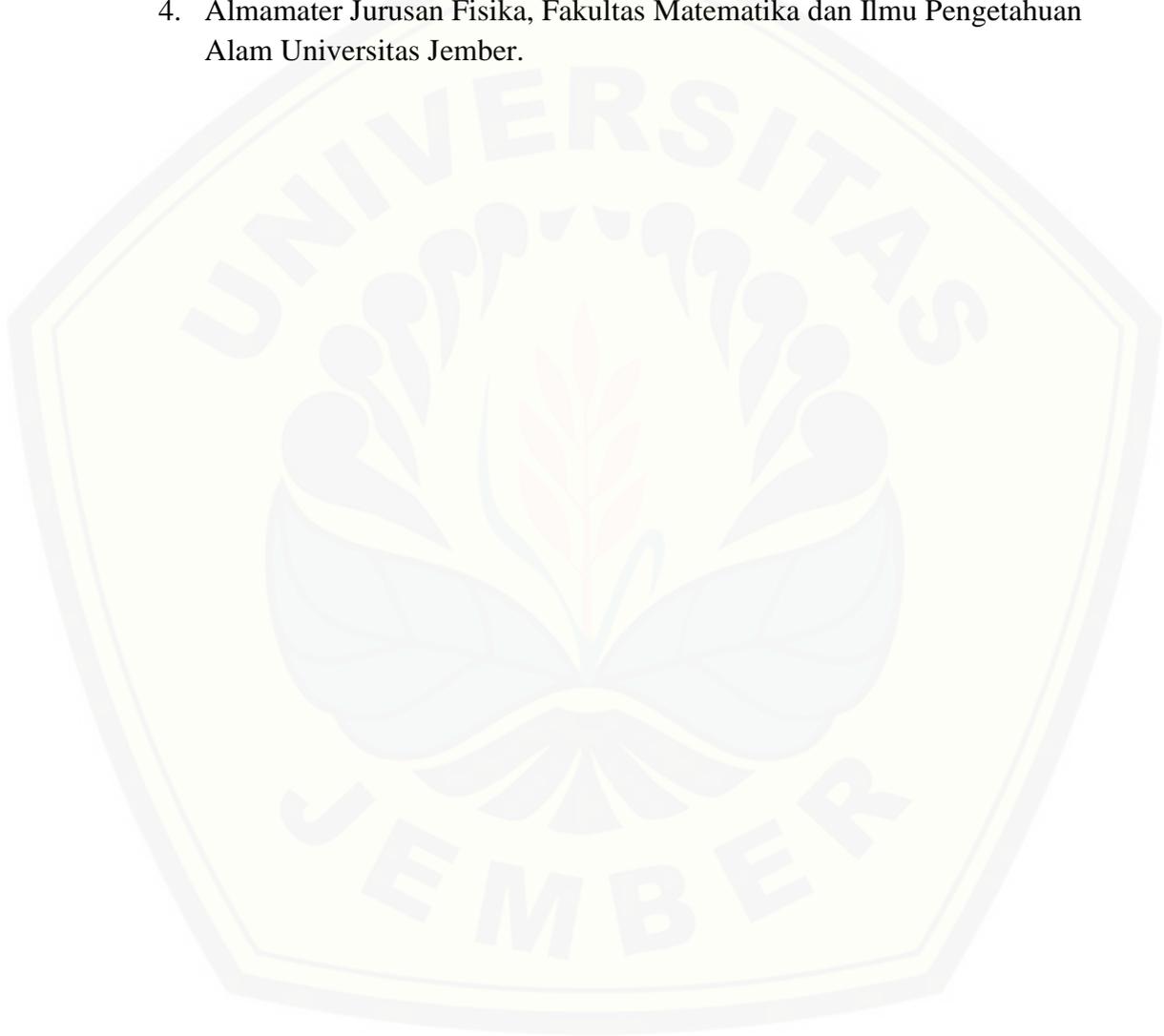
Elok Hidayah
NIM 171820201002

MAGISTER FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tesis ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Sumbulatin Andawiyani dan Ayahanda Ifik Suratman;
2. Adik-adik tersayang, Nur Masduki Yahya dan Arum Dewi Masyitoh;
3. Guru-guru sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Almamater Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.



HALAMAN MOTO

Janganlah menginginkan ilmu sementara kamu meninggalkan kepayahan^{*)}

Ilmu tidak akan memberikan sebagian kecilnya sekalipun kepadamu sampai kamu memberikan totalitasmu kepada ilmu^{**)}

Orang yang bertambah ilmunya namun tidak bertambah hidayahnya, maka ia tidak bertambah kecuali semakin jauh dari Allah SWT^{***)}

*) Abdul Haris. 2017. Teori Dasar Nahwu dan Sharf. Jember: Pustaka Bidayah.
**) Abdul Haris. 2017. Teori Dasar Nahwu dan Sharf. Jember: Pustaka Bidayah.
***) HR. Ad-Dailami dalam Abdul Haris. 2017. Teori dasar Nahwu dan Sharf. Jember: Pustaka Bidayah.

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Elok Hidayah

NIM : 171820201002

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ”Karakteristik *Green Composite* Berbasis *Polylactic Acid* (PLA) dan Serat Rami” 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 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, November 2019
Yang menyatakan,

Elok Hidayah
171820201002

TESIS

**KARAKTERISTIK *GREEN COMPOSITE* BERBASIS *POLYLACTIC ACID*
(PLA) DAN SERAT RAMI**

Oleh

Elok Hidayah
NIM 121810201015

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si.

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis berjudul “Karakteristik *Green Composite* Berbasis *Polylactic Acid* (PLA) dan Serat Rami” 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.
NIP 196102041987111001

Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si.
NIP 197301152000031001

Anggota II,

Anggota III,

Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si.
NIP 196712151998021001

Drs. Yuda C. Hariadi, M.Sc., Ph.D.
NIP 196203111987021001

Mengesahkan
Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.
NIP 196102041987111001

RINGKASAN

Karakteristik *Green Composite* Berbasis *Polylactic Acid* (PLA) dan Serat Rami; Elok Hidayah, 171820201002; 2019: 81 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Meningkatnya pencemaran lingkungan dan rasa peduli terhadap lingkungan telah mendorong sejumlah industri dan peneliti untuk mengembangkan material baru berbahan baku dari alam. Salah satu material baru tersebut adalah *green composite* (GC). GC dikembangkan dengan memanfaatkan bahan-bahan yang ramah lingkungan, seperti serat bambu, serat sabut kelapa, serat ampas tebu, serat rami, dan beberapa serat alam lainnya. Serat alam biasa dipadukan dengan matriks polimer untuk sintesis GC. Karakteristik serat alam dan matriks yang digunakan sangat berpengaruh terhadap karakteristik akhir GC. Serat alam dan matriks yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat rami dan PLA. Serat rami memiliki karakteristik yang cenderung hidrofilik, sementara PLA cenderung hidrofobik. Keadaan ini menyebabkan interaksi antarmuka serat rami dan PLA menjadi lemah, sehingga dapat menurunkan kekuatan mekanik GC hasil sintesis.

Solusi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan mekanik GC adalah dengan meningkatkan interaksi antarmuka serat alam dan matriks. Hal ini dapat dilakukan dengan mengurangi sifat hidrofilik serat alam, sehingga serat alam menjadi lebih hidrofobik. Sifat hidrofilik serat alam dapat dikurangi melalui modifikasi permukaan serat secara kimia, salah satunya adalah alkalisasi menggunakan NaOH 5% (w/v) selama 2 jam.

Pemanfaatan NaOH untuk modifikasi permukaan serat alam memiliki kekurangan, yaitu beracun dan mencemari lingkungan. Menanggapi hal tersebut, maka penelitian tentang modifikasi permukaan serat alam menggunakan bahan ramah lingkungan perlu ditingkatkan. Salah satu bahan ramah lingkungan yang dapat diaplikasikan adalah asam sitrat. Melalui penelitian ini, asam sitrat dan NaOH sama-sama dimanfaatkan untuk modifikasi permukaan serat rami. Modifikasi permukaan serat rami dengan asam sitrat dilakukan dengan merendam serat rami dalam larutan asam sitrat 4% (w/v) selama 3 jam. Melalui modifikasi permukaan serat rami, diperoleh serat rami hasil alkalisasi (N), serat rami hasil perendaman dengan asam sitrat (AS), dan serat rami hasil alkalisasi dilanjutkan dengan perendaman asam sitrat (NAS). Asam sitrat, selain digunakan untuk modifikasi permukaan serat rami juga dimanfaatkan sebagai bahan aditif saat sintesis GC, diharapkan dapat menjadi agen *crosslinking* antara serat rami dan PLA. Konsentrasi asam sitrat yang ditambahkan saat sintesis GC adalah 4% (w/w) dari massa total GC. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mengetahui pengaruh modifikasi permukaan serat dan penambahan asam sitrat terhadap karakteristik GC.

GC dalam penelitian ini disintesis menggunakan *hot press machine* pada temperatur 170°C dan tekanan 10 MPa. GC yang diperoleh melalui penelitian ini terdiri dari: GC berpenguat serat rami hasil alkalisasi (GC-N), GC berpenguat serat rami hasil perendaman asam sitrat (GC-AS), GC berpenguat serat rami

dengan penambahan asam sitrat (GC-PS), GC berpenguat serat rami hasil alkalisasi dilanjutkan dengan perendaman asam sitrat (GC-NAS), dan GC berpenguat serat rami hasil alkalisasi dengan penambahan asam sitrat (GC-NPS). Selain beberapa jenis GC tersebut, juga dilakukan sintesis GC berpenguat serat rami tanpa perlakuan (GC-TP), untuk mengetahui pengaruh modifikasi permukaan serat dan penambahan asam sitrat terhadap karakteristik GC.

Karakteristik GC hasil sintesis dianalisis melalui beberapa pengujian diantaranya uji tarik, uji *bending*, uji DSC, dan uji SEM. Selain beberapa pengujian yang sudah disebutkan, dilakukan uji FTIR terhadap serat rami untuk mengetahui pengaruh modifikasi permukaan terhadap karakteristik serat rami. Hasil uji FTIR menunjukkan bahwa alkalisasi dan alkalisasi dilanjutkan dengan perendaman asam sitrat, efektif untuk mengurangi sifat hidrofilik serat rami. Sementara perendaman dengan asam sitrat belum mampu mengurangi sifat hidrofilik serat rami. Keadaan ini dapat menjadi indikator bahwa interaksi antarmuka serat rami hasil perendaman asam sitrat dan PLA lebih lemah dibandingkan interaksi antarmuka serat rami hasil alkalisasi dan PLA. Akibatnya kekuatan mekanik sampel GC-AS lebih rendah dari sampel GC-N dan GC-NAS. Hal ini dapat diamati melalui hasil uji tarik, uji *bending*, dan uji SEM.

Uji tarik dan *bending* terhadap sampel GC-N, GC-AS, dan GC-NAS menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan *bending* tertinggi dihasilkan oleh sampel GC-NAS, yaitu $(36,96 \pm 1,06)$ MPa dan $(125,24 \pm 9,76)$ MPa. Sementara kekuatan tarik dan *bending* sampel GC-AS adalah $(25,93 \pm 2,96)$ MPa dan $(81,50 \pm 1,87)$ MPa. Nilai kekuatan tarik dan *bending* sampel AS tersebut masih lebih rendah dari sampel N. Kekuatan tarik dan *bending* terendah dihasilkan oleh sampel GC-PS, masing-masing adalah $(18,62 \pm 1,06)$ MPa dan $(26,55 \pm 3,67)$ MPa. Nilai kekuatan tarik dan *bending* sampel GC-PS ini lebih rendah dari sampel GC tanpa perlakuan (GC-TP). Kekuatan tarik dan *bending* GC-TP adalah $(24,90 \pm 1,16)$ MPa dan $(70,41 \pm 3,35)$ MPa.

Modifikasi permukaan serat dan penambahan asam sitrat tidak hanya berpengaruh pada karakteristik mekanik GC, melainkan juga karakteristik termal GC. Secara keseluruhan, hasil uji DSC menunjukkan bahwa modifikasi permukaan serat dan penambahan asam sitrat menyebabkan kestabilan termal GC menurun. Kestabilan termal tertinggi dan terendah, secara berurutan dihasilkan oleh sampel GC-TP dan GC-NPS. Hal ini dapat ditunjukkan melalui temperatur leleh, yang dihasilkan oleh sampel GC-TP dan GC-NPS. Masing-masing sebesar $164,1^{\circ}\text{C}$ dan $167,3^{\circ}\text{C}$.

Keseluruhan hasil yang diperoleh melalui penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik GC berbasis PLA dan serat rami dipengaruhi oleh modifikasi permukaan serat dan penambahan asam sitrat. Modifikasi permukaan serat dianggap efektif untuk meningkatkan karakteristik mekanik GC, namun belum mampu mempertahankan kestabilan termal GC. Sementara penambahan asam sitrat dalam penelitian ini belum mampu menjadi agen *crosslinking* antarmuka serat rami dan PLA, serta cenderung menurunkan interaksi antarmuka serat rami dan PLA, sehingga berakibat pada rendahnya kekuatan mekanik dan kestabilan termal GC dengan penambahan asam sitrat (GC-PS dan GC-NPS).

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul "Karakteristik *Green Composite* Berbasis *Polylactic Acid* (PLA) dan Serat Rami". Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata dua (S-2) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

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

1. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) sekaligus Pembimbing Akademik, dan Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA), yang telah membimbing penulis sampai terselesaikannya tesis ini.
2. Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si., dan Drs. Yuda C. Hariadi, M.Si., Ph.D., selaku Dosen Penguji I dan Dosen Penguji II atas seluruh masukan yang telah diberikan bagi kesempurnaan tesis ini;
3. Bapak Edy Sutrisno, Bapak Taufan, Ibu Frida, dan Ibu Rosi selaku teknisi laboratorium yang membantu dalam menyelesaikan proses pengujian;
4. Seluruh mahasiswa strata dua (S-2), khususnya Ayu, Nova, Ifa, dan Arofah yang telah bersedia memberikan do'a, motivasi dan semangat;
5. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang turut membantu kelancaran dalam penyelesaian tesis ini.

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

Jember, November 2019

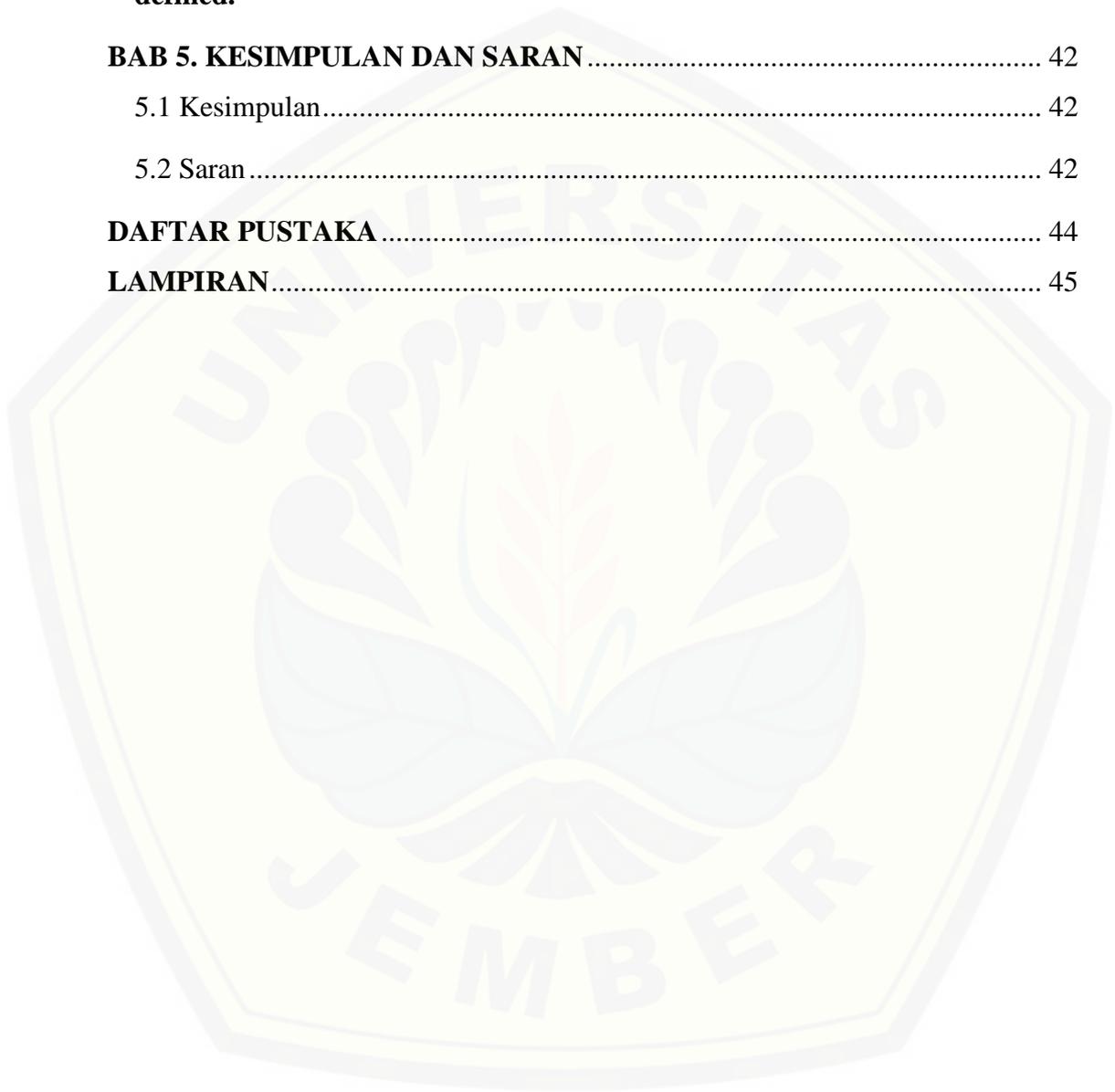
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	8
1.3 Batasan Masalah	8
1.4 Tujuan.....	9
1.5 Manfaat	9
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Material Komposit.....	10
2.2 <i>Green Composite</i>	11
2.4 Komponen Penyusun <i>Green Composite</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4.1 Matriks	Error! Bookmark not defined.
2.4.2 <i>Polylactic acid (PLA)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4.3 Serat.....	Error! Bookmark not defined.

2.4.4 Serat Rami	Error! Bookmark not defined.
2.5 Modifikasi Permukaan Serat Alam	Error! Bookmark not defined.
2.5.1 Alkalisasi	Error! Bookmark not defined.
2.5.2 Asam Sitrat	Error! Bookmark not defined.
2.6 Karakterisasi Material Komposit.....	Error! Bookmark not defined.
2.6.1 Uji Tarik	Error! Bookmark not defined.
2.6.2 Uji <i>Bending</i>	Error! Bookmark not defined.
2.6.3 <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC)	Error! Bookmark not defined.
2.6.4 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) ..	Error! Bookmark not defined.
2.6.5 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	Error! Bookmark not defined.
BAB 3. METODE PENELITIAN	38
3.1 Rancangan Kegiatan Penelitian	38
3.2 Jenis dan Sumber Data	Error! Bookmark not defined.
3.3 Variabel Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.4 Pelaksanaan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.4.1 Persiapan Serat Rami	Error! Bookmark not defined.
3.4.2 Sintesis <i>Green Composite</i> (GC)	Error! Bookmark not defined.
3.4.3 Karakterisasi	Error! Bookmark not defined.
3.5 Analisis Data	Error! Bookmark not defined.
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Modifikasi Permukaan Serat Rami	40
4.2 Analisis FTIR Serat Rami.....	Error! Bookmark not defined.
4.3 <i>Green Composite</i> (GC) Hasil Sintesis.....	Error! Bookmark not defined.
4.4 Kekuatan Tarik dan Modulus Elastisitas.....	Error! Bookmark not defined.

4.5 Kekuatan dan Modulus <i>Bending</i>	Error! Bookmark not defined.
4.6 Morfologi Internal <i>Green Composite</i>	Error! Bookmark not defined.
4.7 Karakteristik Termal <i>Green Composite</i> (GC)	Error! Bookmark not defined.
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	42
5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	45



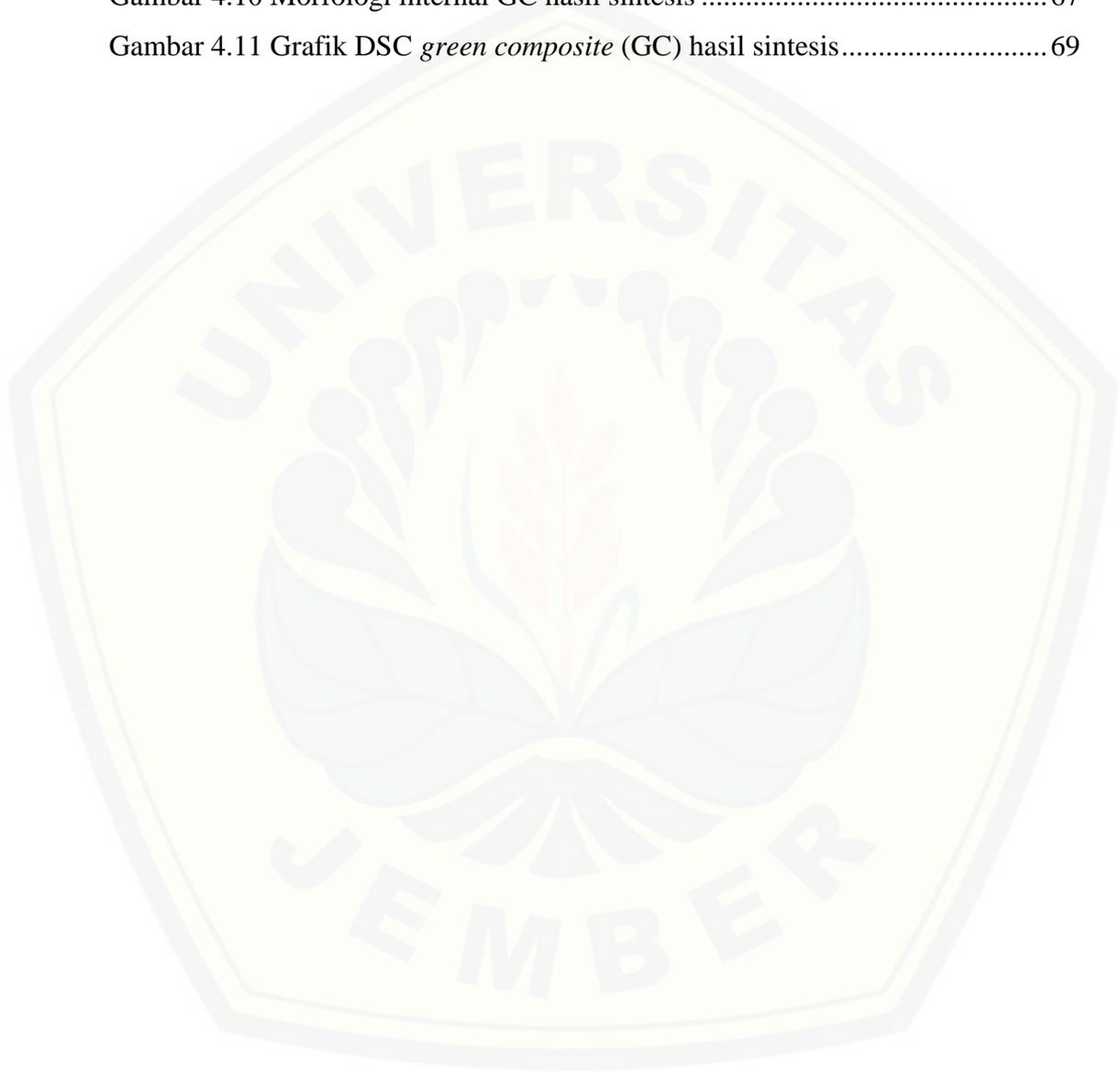
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Aplikasi komposit berpenguat serat tanaman	12
Tabel 2.2 Karakteristik PLA dan polimer sintetis.....	16
Tabel 2.3 Karakteristik serat alam dan serat sintetis.....	19
Tabel 2.4 Komposisi kimia dan kekuatan tarik serat alam	21
Tabel 3.1 Kode <i>green composite</i> (GC) dan keterangannya.....	46
Tabel 4.1 Tipe serat rami dan kandungan selulosa serat rami	52
Tabel 4.2 <i>Green composite</i> (GC) hasil sintesis.....	58
Tabel 4.3 Kekuatan tarik dan modulus elastisitas GC hasil sintesis.....	61
Tabel 4.4 Kekuatan dan modulus <i>bending</i> GC hasil sintesis.....	64
Tabel 4.5 Karakteristik termal GC hasil sintesis.....	71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur kimia PLA	17
Gambar 2.2 Skema struktur serat tanaman	18
Gambar 2.3 Tanaman dan serat rami	20
Gambar 2.4 Ilustrasi pemisahan selulosa kristalin dari komponen amorf (a), skema reaksi alkalisasi antara serat alam dan NaOH.....	24
Gambar 2.5 Mekanisme <i>crosslinking</i> asam sitrat dan selulosa.....	25
Gambar 2.6 Ilustrasi uji tarik	27
Gambar 2.7 Grafik tegangan-regangan	27
Gambar 2.8 Titik luluh pada grafik tegangan-regangan	29
Gambar 2.9 Metode <i>offset</i>	30
Gambar 2.10 Tipikal grafik tegangan (<i>stress</i>)-regangan (<i>strain</i>) pada material <i>brittle</i> (getas) (A) dan <i>ductile</i> (ulet) (B).....	31
Gambar 2.11 Ilustrasi uji <i>bending</i> (<i>three point bending</i>).....	32
Gambar 2.12 Kurva DSC untuk sampel polimer	33
Gambar 2.13 Spektrum FTIR.....	35
Gambar 3.1 Diagram tulang ikan rancangan penelitian.....	38
Gambar 3.2 Alur pelaksanaan penelitian	43
Gambar 4.1 Kekuatan tarik GC sebagai fungsi dari konsentrasi asam sitrat.....	53
Gambar 4.2 Serat rami tanpa perlakuan dan hasil modifikasi	54
Gambar 4.3 Hasil uji FTIR serat rami: tanpa perlakuan (TP) dan sesudah modifikasi (N, AS, dan NAS).....	55
Gambar 4.4 Perbedaan hasil uji FTIR serat rami: tanpa perlakuan (TP) dan sesudah modifikasi (N, AS, dan NAS)	57
Gambar 4.5 Tipikal <i>green composite</i> (GC) hasil sintesis (a), dan sampel uji mekanik (b)	59
Gambar 4.6 Tipikal grafik hubungan antara tegangan dan regangan GC hasil sintesis	60

Gambar 4.7 Grafik kekuatan tarik dan modulus elastisitas GC hasil sintesis.....	62
Gambar 4.8 Grafik hubungan antara gaya dan defleksi pada masing-masing GC hasil sintesis.....	63
Gambar 4.9 Grafik kekuatan dan modulus <i>bending</i> sampel GC hasil sintesis	65
Gambar 4.10 Morfologi internal GC hasil sintesis	67
Gambar 4.11 Grafik DSC <i>green composite</i> (GC) hasil sintesis.....	69



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
3.1 Persiapan serat rami	82
3.2 Sintesis <i>green composite</i>	82
3.3 Ilustrasi Uji Tarik dan Uji <i>Bending</i>	83
3.4 Penentuan modulus elastisitas dengan metode <i>offset</i>	84
3.5 Penentuan modulus <i>bending</i>	85
4.1 <i>Green composite</i> hasil sintesis dan hasil uji mekanik.....	86
4.2 Data Hasil Uji Tarik	88
4.3 Data Hasil Uji <i>Bending</i>	90
4.4 Grafik Hasil Uji Tarik	92
4.3 Grafik Hasil Uji <i>Bending</i>	94

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelestarian lingkungan, sampai saat ini masih menjadi isu global yang membutuhkan perhatian khusus. Menurunnya kelestarian lingkungan, yang salah satunya disebabkan oleh pemanfaatan material *non-biodegradable* telah memberikan dampak negatif terhadap kesehatan lingkungan. Kesehatan lingkungan termasuk salah satu indikator untuk menentukan kesejahteraan hidup manusia termasuk seluruh aspek biologis di bumi, dan telah dijadikan sebagai salah satu agenda khusus dalam *sustainable development goals* (SDG's) yang harus dicapai sampai tahun 2030 (UNDP, 2015). Menanggapi hal tersebut, berbagai usaha untuk menghasilkan teknologi yang ramah lingkungan, dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan telah dilakukan. Usaha yang sampai saat ini masih dan terus dilakukan adalah pengembangan teknologi di bidang material, salah satunya adalah material komposit (Satyanarayana, 2015).

Material komposit, adalah suatu material yang tersusun atas dua komponen utama yaitu penguat dan matriks. Penguat dan matriks yang sampai saat ini banyak diaplikasikan dalam material komposit masih berbahan baku sintesis, yang berpotensi mengemisikan CO₂, bersifat *non-biodegradable*, dan tidak dapat diperbaharui (Akay, 2015). Apabila pemanfaatan material berbahan baku sintesis ini terus ditingkatkan, maka diperkirakan emisi CO₂ akan meningkat dari 1,6 miliar juta ton pada tahun 2016, menjadi 2,6 miliar ton pada tahun 2050 (Kaza *et al.*, 2018). Permasalahan ini telah meningkatkan rasa peduli terhadap lingkungan, sehingga menumbuhkan keinginan untuk mengurangi pemanfaatan material berbahan baku sintesis.

Munculnya rasa peduli terhadap lingkungan didukung dengan melimpahnya sumber daya alam terbarukan, telah mendorong sejumlah peneliti untuk mengembangkan material komposit berbahan baku dari alam, *renewable* dan *biodegradable*, atau yang biasa disebut sebagai "*green composite* (GC)" (Ghalia, 2017). Beberapa bahan baku alam yang telah diaplikasikan dalam *green composite* adalah serat ampas tebu (Cao *et al.*, 2006), serat bambu (Sujito, 2014;

De dan Baxi, 2017), serat kenaf (Yusoff *et al.*, 2016), serat sisal (Orue *et al.*, 2016), serat sabut kelapa (Bifel *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2017), dan serat rami (Suizu *et al.*, 2009; Irawan *et al.*, 2011). Berdasarkan beberapa bahan dasar tersebut, *green composite* (GC) telah diaplikasikan di sejumlah bidang seperti industri penerbangan, *automobile*, *furniture*, dan olahraga. Meskipun demikian GC belum sepenuhnya mampu menggantikan peran material berbahan baku sintetis. Hal ini dikarenakan kekuatan mekanik GC masih lebih rendah, jika dibandingkan dengan material berbahan baku sintetis. Rendahnya kekuatan mekanik GC dapat ditingkatkan melalui beberapa cara diantaranya adalah pemilihan serat dan matriks, peningkatan interaksi antarmuka serat dan matriks, serta penambahan bahan tertentu sebagai agen *crosslinking* antarmuka serat dan matriks saat sintesis GC (Loos, 2015; Orue *et al.*, 2016).

Pemilihan serat dan matriks menjadi salah satu bagian yang penting dalam sintesis GC. Karakteristik akhir GC sangat bergantung pada karakteristik serat dan matriks yang digunakan. Supaya menghasilkan GC dengan kekuatan mekanik yang tinggi, maka serat dan matriks yang digunakan harus memiliki kekuatan mekanik yang tinggi (Fiore *et al.*, 2014). Pemilihan serat dalam penelitian ini ditentukan melalui sintesis GC terlebih dahulu, yang memanfaatkan beberapa serat alam (serat rami, serat sabut kelapa, dan serat ampas tebu) sebagai komponen penguat, dengan *polylactic acid* (PLA) sebagai matriks. GC disintesis dengan massa total serat dan matriks 80 gram. Massa total tersebut tersusun atas 10% serat dan 90% matriks. GC hasil sintesis terdiri dari GC berpenguat serat rami, GC berpenguat serat sabut kelapa, GC berpenguat serat ampas tebu, GC berpenguat serat rami-sabut kelapa, GC berpenguat serat rami-ampas tebu, dan GC berpenguat serat rami-sabut kelapa-ampas tebu. Masing-masing GC diuji tarik dan dianalisis kekuatan tarik serta modulus elastisitasnya. Kekuatan tarik dan modulus elastisitas tertinggi dihasilkan oleh GC berpenguat serat rami, masing-masing adalah $56,88 \pm 1,17$ MPa dan $363,37 \pm 11,44$ MPa (Hidayah *et al.*, 2018). Melalui kegiatan sintesis GC yang telah dilakukan, maka serat rami ditentukan sebagai penguat yang digunakan dalam penelitian ini, dengan matriks PLA.

Selain pemilihan serat, interaksi antarmuka serat dan matriks termasuk salah satu faktor yang penting untuk diperhatikan. Serat dan matriks dengan kekuatan mekanik tinggi belum tentu menghasilkan *green composite* (GC) dengan kekuatan mekanik yang tinggi, jika interaksi antarmuka serat dan matriks yang dihasilkan rendah. Interaksi antarmuka serat dan matriks masih menjadi fokus penelitian di bidang material komposit, khususnya material komposit berpenguat serat alam. Serat alam, khususnya serat tanaman memiliki karakteristik hidrofilik. Sifat hidrofilik serat tanaman menyebabkan serat tanaman sulit berinteraksi dengan matriks polimer, yang cenderung hidrofobik. Interaksi antarmuka serat dan matriks dapat ditingkatkan dengan mengurangi sifat hidrofilik serat. Sifat hidrofilik serat dapat dikurangi dengan mengurangi komponen lain dalam serat seperti lignin dan hemiselulosa, sehingga kandungan selulosa serat meningkat.

Selulosa merupakan salah satu komponen penyusun serat tanaman yang memiliki kekuatan mekanik dan kristalinitas tinggi. Semakin tinggi kandungan selulosa serat, maka semakin tinggi kekuatan mekanik serat. Serat rami yang digunakan dalam penelitian ini, termasuk serat dengan kandungan selulosa yang tinggi. Sekitar 80,0-85,2% komponen penyusun serat rami adalah selulosa, 0,5% lignin dan selebihnya adalah hemiselulosa (Kalita *et al.*, 2013). Diantara ketiga komponen penyusun serat, hemiselulosa merupakan komponen serat dengan tingkat hidrofilik yang tinggi. Semakin rendah komponen hemiselulosa serat, semakin berkurang sifat hidrofilik serat. Komponen hemiselulosa serat dapat dikurangi atau dihilangkan melalui modifikasi permukaan serat.

Modifikasi permukaan serat yang dianggap efektif untuk mengurangi sifat hidrofilik serat adalah modifikasi secara kimia menggunakan NaOH, atau yang biasa disebut dengan alkalisasi. Irawan *et al.* (2011) menyatakan bahwa alkalisasi menggunakan NaOH 5% (w/v) selama 2 jam termasuk metode yang efektif untuk mengurangi sifat hidrofilik serat alam, sekaligus meningkatkan kandungan selulosa serat sehingga meningkatkan interaksi antarmuka serat dan matriks. Pernyataan tersebut didukung oleh dua penelitian setelahnya, yang dilakukan oleh Shahzad (2012) dan Bifel *et al.* (2015).

Shahzad (2012) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh konsentrasi NaOH (1%, 5%, dan 10%) (w/v) terhadap karakteristik tarik komposit poliester berpenguat serat *hemp*. Hasil uji tarik menyatakan bahwa komposit poliester berpenguat serat *hemp*, dengan alkalisasi menggunakan NaOH 5% (w/v) menghasilkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas tertinggi. Secara berurutan, kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang dihasilkan adalah 46,4 MPa dan 7,5 GPa. Selanjutnya Bifel *et al.* pada tahun 2015 melakukan penelitian mengenai pengaruh lama alkalisasi terhadap kekuatan tarik komposit poliester berpenguat serat sabut kelapa. Alkalisasi menggunakan NaOH 5% (w/v) diaplikasikan untuk modifikasi permukaan serat sabut kelapa. Lama alkalisasi divariasikan dari 2 jam, 4 jam, 6 jam, dan 8 jam. Hasil uji tarik menunjukkan, kekuatan tarik tertinggi dihasilkan oleh komposit poliester berpenguat serat sabut kelapa dengan alkalisasi selama 2 jam. Semakin lama waktu alkalisasi yang digunakan, kekuatan tarik yang dihasilkan semakin rendah. Sesuai hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Irawan *et al.*, 2011; Shahzad, 2012; Bifel *et al.*, 2015), maka alkalisasi menggunakan NaOH 5% (w/v) dimanfaatkan sebagai salah satu metode modifikasi permukaan serat rami dalam penelitian ini, dengan lama alkalisasi 2 jam. Proses alkalisasi yang dilakukan dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan uji coba proses alkalisasi yang telah dilakukan sebelumnya, untuk menghasilkan serat rami dengan kandungan selulosa tertinggi.

Alkalisasi menggunakan NaOH masih menjadi metode modifikasi permukaan serat yang banyak digunakan. Karakteristik NaOH yang beracun dan berpotensi mencemari lingkungan menyebabkan sejumlah peneliti mulai mencari alternatif lain, untuk mengurangi pemanfaatan material sintetis dan mengurangi risiko pencemaran lingkungan. Menanggapi hal tersebut, Pua *et al.* (2013) serta De dan Baxi (2017) telah memanfaatkan bahan yang ramah lingkungan untuk modifikasi permukaan serat tanaman, yaitu asam sitrat. Pua *et al.* (2013), dalam penelitiannya memanfaatkan NaOH dan asam sitrat untuk modifikasi permukaan serat kenaf. Masing-masing serat kenaf hasil modifikasi digunakan sebagai penguat, dengan matriks *polyvinyl alcohol* (PVA). Komposit hasil sintesis diuji tarik dan dibandingkan. Modifikasi permukaan serat dengan NaOH menghasilkan

komposit PVA dengan kekuatan tarik dan modulus elastisitas lebih tinggi, dibandingkan modifikasi menggunakan asam sitrat. Namun demikian, modifikasi permukaan serat kenaf menggunakan NaOH menyebabkan elastisitas serat berkurang, sehingga daya regang serat kenaf hasil alkalisasi lebih rendah, dibandingkan serat kenaf hasil modifikasi menggunakan asam sitrat.

Berbeda dengan hasil penelitian Pua *et al.* (2013), hasil penelitian De dan Baxi (2017) terhadap komposit epoksi berpenguat serat bambu menyatakan bahwa, modifikasi permukaan serat bambu menggunakan asam sitrat 5% (w/v) dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit epoksi. Namun, kekuatan *bending* yang dihasilkan masih lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil modifikasi menggunakan NaOH 2,5 % (w/v). Secara berurutan, kekuatan tarik dan *bending* komposit epoksi dengan modifikasi menggunakan NaOH adalah 75 MPa dan 85 MPa. Sementara kekuatan tarik dan *bending* komposit epoksi dengan modifikasi menggunakan asam sitrat mencapai 80 MPa dan 70 MPa.

Kedua penelitian yang telah dilakukan (Pua *et al.*, 2013; De and Baxi, 2017), masih memanfaatkan polimer sintesis sebagai matriks, dengan penguat serat alam. Asam sitrat dan NaOH masih dimanfaatkan secara individu untuk modifikasi permukaan serat alam. Baik asam sitrat maupun NaOH, masing-masing memiliki keunggulan dan kelemahan saat diaplikasikan untuk modifikasi permukaan serat alam. Maka, dalam penelitian ini asam sitrat dan NaOH kembali dimanfaatkan untuk modifikasi permukaan serat alam. Masing-masing NaOH dan asam sitrat dimanfaatkan untuk perendaman serat rami, sehingga diperoleh serat rami hasil alkalisasi dan serat rami hasil perendaman menggunakan asam sitrat.

Mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Orue *et al.* (2016) serta Wang dan Yi (2018), NaOH dan asam sitrat tidak hanya dimanfaatkan secara individu, melainkan juga dimanfaatkan secara berkelanjutan untuk modifikasi permukaan serat rami. Serat rami dialkalisasi terlebih dahulu menggunakan NaOH, kemudian dinetralkan dan dilanjutkan dengan perendaman menggunakan asam sitrat, sehingga diperoleh serat rami hasil alkalisasi dilanjutkan dengan perendaman asam sitrat. Perendaman serat rami dengan asam sitrat dapat menjadi agen *crosslinking* antarmuka selulosa serat rami (De dan Baxi, 2017). Harapan

yang ingin diperoleh melalui pemanfaatan NaOH dilanjutkan dengan asam sitrat adalah terbetuknya ikatan silang antarmuka selulosa serat rami hasil alkalisasi, sehingga dapat mempertahankan elastisitas serat rami dan meningkatkan kekuatan mekanik serat rami.

Orue *et al.* (2016) memanfaatkan alkalisasi dan agen *crosslinking* untuk modifikasi permukaan serat alam. Alkalisasi dilakukan menggunakan NaOH, dengan agen *crosslinking* berupa *silane*. NaOH dan *silane* dimanfaatkan secara individu dan berkelanjutan untuk modifikasi permukaan serat sisal, sehingga diperoleh serat sisal hasil modifikasi dengan alkalisasi, serat sisal hasil modifikasi dengan *silane*, dan serat sisal hasil modifikasi dengan alkalisasi+*silane*. Masing-masing serat sisal hasil modifikasi dimanfaatkan sebagai penguat dalam *green composite* (GC) dengan matriks PLA. Hasil uji tarik terhadap seluruh GC hasil sintesis menunjukkan bahwa modifikasi permukaan menyebabkan kekuatan tarik GC lebih rendah, dibandingkan dengan GC berpenguat serat sisal tanpa perlakuan. Namun demikian, modifikasi permukaan yang menghasilkan kekuatan tarik tertinggi adalah alkalisasi dan alkalisasi+*silane*. Penelitian serupa dilakukan kembali oleh Wang dan Yi (2018) menggunakan serat alam yang berbeda.

Wang dan Yi (2018) menggunakan serat rami dengan matriks PLA untuk sintesis GC, yang diaplikasikan untuk struktur interior pesawat terbang. NaOH dan *silane* dimanfaatkan untuk modifikasi permukaan serat rami, sebagaimana metode yang telah dilakukan sebelumnya (Orue *et al.*, 2016). NaOH dan *silane* dimanfaatkan secara individu dan berkelanjutan. Hasil uji *bending* menunjukkan bahwa modifikasi serat rami menggunakan NaOH dan *silane* menghasilkan GC dengan kekuatan *bending* tertinggi, yaitu sebesar 140,37 MPa. Nilai tersebut dua kali lipat lebih tinggi dari standar yang telah ditetapkan untuk aplikasi interior pesawat terbang, yaitu 70 MPa. Wang dan Yi (2018) juga memanfaatkan serat rami dan PLA untuk sintesis GC. Namun demikian, bahan yang digunakan untuk modifikasi permukaan serat rami adalah bahan kimia yang tidak ramah lingkungan, sebagaimana yang digunakan oleh Orue *et al.* (2016). Sebagai bentuk kontribusi penulis dalam penelitian *green composite*, serta pemanfaatan bahan ramah lingkungan, maka penulis memanfaatkan asam sitrat untuk menggantikan *silane*.

Asam sitrat dalam penelitian ini tidak hanya dimanfaatkan untuk modifikasi permukaan serat rami, tetapi juga dimanfaatkan sebagai bahan aditif saat sintesis GC. Sebagai bahan aditif, asam sitrat diharapkan dapat menjadi agen *crosslinking* antarmuka selulosa serat rami dan matriks PLA. Asam sitrat yang digunakan dalam penelitian ini, ditentukan konsentrasinya sebesar 4% (w/v) dan 4% (w/w). Konsentrasi asam sitrat 4% (w/v) dimanfaatkan untuk modifikasi permukaan serat rami, melalui perendaman serat rami selama 3 jam. Sementara konsentrasi asam sitrat 4% (w/w) dimanfaatkan sebagai bahan aditif saat sintesis *green composite*. Penetapan konsentrasi asam sitrat tersebut didasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Sujito *et al.*, 2019), yang telah diseminarkan dalam seminar internasional ISCPMS UI 2019.

Berdasarkan latar belakang dan beberapa penelitian yang telah dilaporkan sebelumnya, maka dilakukan penelitian terhadap *green composite* (GC) berpenguat serat rami dengan matriks PLA. NaOH dan asam sitrat diaplikasikan untuk meningkatkan interaksi antarmuka serat rami dan PLA. Melalui modifikasi permukaan serat rami menggunakan NaOH dan asam sitrat diperoleh beberapa jenis serat rami, yaitu serat rami hasil alkalisasi (N), serat rami hasil perendaman asam sitrat (AS), dan serat rami hasil alkalisasi dilanjutkan dengan perendaman asam sitrat (NAS). Masing-masing serat rami hasil modifikasi diuji FTIR, untuk mengetahui pengaruh modifikasi permukaan serat rami terhadap komposisi kimia serat rami. Selanjutnya, serat rami hasil modifikasi diaplikasikan sebagai penguat dengan matriks PLA sehingga diperoleh beberapa jenis GC diantaranya, GC berpenguat serat rami hasil alkalisasi (GC-N), GC berpenguat serat rami hasil perendaman asam sitrat (GC-AS), dan GC berpenguat serat rami hasil alkalisasi dilanjutkan dengan perendaman asam sitrat (GC-NAS).

Serat rami tanpa perlakuan (TP) juga dimanfaatkan sebagai penguat, sehingga diperoleh GC tanpa perlakuan (GC-TP). Sintesis GC-TP dilakukan untuk mengetahui pengaruh modifikasi permukaan serat rami dan penambahan asam sitrat saat sintesis GC. Penambahan asam sitrat dalam penelitian ini dilakukan terhadap GC-TP dan GC berpenguat serat rami hasil alkalisasi (GC-N). Melalui penambahan asam sitrat, diperoleh GC tanpa perlakuan dengan

penambahan asam sitrat (GC-PS) dan GC berpenguat serat rami hasil alkalisasi dengan penambahan asam sitrat (GC-NPS). Seluruh GC hasil sintesis dikarakterisasi, dan dianalisis seluruh data hasil karakterisasi. Karakterisasi yang dilakukan meliputi uji mekanik (tarik dan *bending*), uji DSC (*differential scanning calorimetry*), dan uji SEM (*scanning electron microscopy*).

Melalui penelitian ini dapat diketahui pengaruh modifikasi permukaan serat dan penambahan asam sitrat terhadap karakteristik GC hasil sintesis, meliputi kekuatan tarik dan modulus elastisitas, kekuatan *bending* dan modulus *bending*, serta kestabilan termal *green composite* berbasis PLA dan serat rami. Hasil yang diperoleh melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi baru, berkaitan dengan pemanfaatan alkalisasi dan asam sitrat dalam sintesis *green composite* (GC) berpenguat serat rami dengan matriks PLA.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, permasalahan yang dicari penyelesaiannya melalui kegiatan penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh modifikasi permukaan serat terhadap karakteristik GC berbasis PLA dan serat rami?
2. Bagaimana pengaruh penambahan asam sitrat terhadap karakteristik GC berbasis PLA dan serat rami?

1.3 Batasan Masalah

Supaya permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini dapat diuraikan dengan baik dan terarah, maka perlu dilakukan pembatasan masalah. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Serat rami yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat pendek dengan ukuran panjang 3,0-4,0 mm, yang telah dicuci dan diberi perlakuan mekanik menggunakan *home mixer*.
2. Modifikasi permukaan serat rami dalam penelitian ini dilakukan dengan alkalisasi dan perendaman menggunakan asam sitrat.

3. Alkalisasi dilakukan menggunakan NaOH dengan konsentrasi 5% (w/v) selama 2 jam. Sementara perendaman asam sitrat dilakukan selama 3 jam, dengan konsentrasi asam sitrat 4% (w/v).
4. Serat rami tanpa perlakuan adalah serat rami yang diperoleh pada poin 1 dan tidak dimodifikasi, baik alkalisasi ataupun perendaman asam sitrat.
5. Penambahan asam sitrat pada proses sintesis GC dilakukan dengan mencampurkan 4% (w/w) asam sitrat ke dalam lelehan PLA.
6. *Green composite* (GC) tanpa perlakuan adalah GC berpenguat serat rami tanpa perlakuan dan tanpa penambahan asam sitrat.
7. Karakteristik GC yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi kekuatan tarik dan modulus elastisitas, kekuatan dan modulus *bending*, serta kestabilan termal.

1.4 Tujuan

Sesuai dengan rumusan masalah yang ada, tujuan dilakukannya kegiatan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh modifikasi permukaan serat terhadap karakteristik GC berbasis PLA dan serat rami.
2. Mengetahui pengaruh penambahan asam sitrat terhadap karakteristik GC berbasis PLA dan serat rami.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dalam pengembangan GC, khususnya berkaitan dengan peningkatan interaksi antarmuka serat rami dan PLA. Memberikan informasi terkait pemanfaatan NaOH dan asam sitrat untuk modifikasi permukaan serat rami. Secara umum, dapat menjadi tambahan referensi bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang GC.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Suatu material dapat dikatakan sebagai material komposit jika tersusun atas dua material atau lebih dengan karakteristik yang berbeda, dan digabungkan secara makro sehingga material penyusunnya masih dapat dibedakan satu sama lain (Natarajan *et al.*, 2015). Terdapat dua komponen utama penyusun material komposit, yaitu penguat dan matriks. Karakteristik yang dimiliki oleh dua komponen tersebut sangat menentukan karakteristik akhir material komposit hasil sintesis (Tong *et al.*, 2002). Akay (2015) menyatakan bahwa material komposit pada dasarnya telah diaplikasikan sejak 1500 SM. Saat itu, komponen penyusun material komposit masih berasal dari alam, dan teknologi untuk sintesis masih sederhana. Kelemahan yang dimiliki material komposit pada saat itu adalah massa jenis yang tinggi, tidak tahan lama, kekuatan mekanik rendah dan tidak fleksibel. Hal tersebut kemudian mendorong sejumlah peneliti untuk mengembangkan material baru, sehingga dihasilkan material komposit berbahan dasar logam dan keramik. Material komposit berbahan dasar logam dan keramik memiliki kekuatan mekanik yang lebih tinggi dari sebelumnya, dan tahan lama. Namun demikian, tingkat fleksibilitas masih rendah, korosif dan massa jenis yang dihasilkan tinggi (Chawla, 2012).

Penelitian mengenai material komposit terus dilakukan, sehingga ditemukan beberapa jenis polimer sintesis yang dimanfaatkan sebagai penguat dan matriks, pada abad ke-19 (Akay, 2015). Melalui sintesis material komposit berbasis polimer, seluruh permasalahan material komposit yang sebelumnya berhasil diselesaikan. Material komposit berbahan dasar polimer memiliki beberapa keunggulan, yaitu massa jenis rendah, tahan korosi, tahan panas, kuat, fleksibel dan mudah dibentuk (John dan Anandjiwala, 2008). Keunggulan tersebut menjadi awal dilakukannya produksi material komposit berbahan dasar polimer di berbagai industri manufaktur. Meskipun demikian, pemanfaatan polimer sintesis memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Beberapa dampak negatif tersebut

antara lain berkurangnya lahan subur, dan terjadinya pencemaran air akibat penumpukan sampah *non-biodegradable*, pemanfaatan minyak bumi yang berlebih, serta peningkatan akumulasi gas CO₂ di atmosfer yang memiliki pengaruh negatif terhadap perubahan iklim, dan diduga menjadi salah satu penyebab terjadinya *global warming* (Joshi *et al.*, 2004; Khan *et al.*, 2018).

Dilatarbelakangi oleh dampak negatif yang ditimbulkan akibat pemanfaatan polimer sintetis, sejumlah peneliti mulai tertarik untuk kembali mengembangkan material komposit dengan memanfaatkan sumber daya alam ramah lingkungan, sebagai komponen penyusunnya. Melalui pengembangan ini, dihasilkan material komposit baru yang disebut dengan biokomposit (Ramamoorthy *et al.*, 2015). Biokomposit merupakan material komposit yang salah satu komponen penyusunnya (serat atau matriks) berasal dari alam. Pemanfaatan biokomposit belum sepenuhnya mengurangi penumpukan sampah *non-biodegradable*, karena salah satu komponen penyusunnya masih berasal dari material sintetis. Hal tersebut menjadi pemicu untuk terus mengembangkan material komposit dengan kembali memanfaatkan sumber daya alam secara penuh sebagai komponen penyusunnya, sehingga diperoleh material komposit baru yang disebut dengan *green composite* (Verma *et al.*, 2016).

2.2 Green Composite

Green composite (GC) tersusun atas dua komponen utama yaitu penguat dan matriks, yang mana baik penguat maupun matriks sama-sama berasal dari alam, *biodegradable* dan *renewable* (Blackburn, 2005). Komponen penyusun GC yang *biodegradable* dan *renewable* menyebabkan GC lebih ramah lingkungan dan dapat diaplikasikan secara berkelanjutan (Satyanarayana, 2015). Karakteristik GC yang ramah lingkungan dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan telah mendorong peneliti dan industri untuk mengembangkan GC, sehingga dapat diaplikasikan di berbagai bidang.

Green composite (GC) banyak diaplikasikan di berbagai bidang seperti penerbangan, *automobile*, olahraga, dan *furniture* (Rakesh dan Singh, 2019), sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.1. Beberapa aplikasi GC tersebut belum

sepenuhnya menggantikan peran material sintetis. Hal ini disebabkan oleh rendahnya kekuatan mekanik yang dihasilkan oleh GC.

Tabel 2.1 Aplikasi komposit berpenguat serat tanaman

Aplikasi	Material yang digunakan
Komponen peredam, panel pintu, kusen pintu	Komposit berpenguat serat tanaman
Panel lantai	Komposit polipropilena berpenguat serat <i>flax</i>
<i>Dashboard</i>	Komposit berpenguat serat <i>jute</i>
Plafon	Komposit berpenguat serat <i>jute</i>
Papan sirkuit	Komposit PLA berpenguat serat kenaf

(Sumber: Sharma *et al.*, 2019; Rakesh dan Singh, 2019)

Kekuatan mekanik yang dihasilkan oleh *green composite* (GC) dipengaruhi oleh komponen penyusun GC seperti jenis serat alam dan matriks, bahan aditif saat sintesis GC, serta perlakuan yang diberikan pada serat alam sebelum akhirnya diaplikasikan sebagai penguat (Orue *et al.*, 2016; Bifel *et al.*, 2015). Perlakuan yang diberikan pada serat alam, atau modifikasi permukaan serat alam dilakukan untuk mengurangi sifat hidrofilik serat alam. Sifat hidrofilik serat alam ini menyebabkan serat alam sulit berinteraksi dengan matriks polimer. Sulitnya interaksi antara serat alam dan matriks polimer menjadi salah satu penyebab rendahnya kekuatan mekanik GC. Oleh sebab itu, serat alam dan matriks yang memiliki kekuatan mekanik tinggi belum tentu menghasilkan GC dengan kekuatan mekanik yang tinggi, jika interaksi antara serat dan matriks sulit terjadi (lemah).

Selain melalui modifikasi permukaan serat alam, interaksi antara serat alam dan matriks dalam *green composite* (GC) dapat ditingkatkan dengan menambahkan bahan tertentu sebagai agen *crosslinking*, antara serat alam dan matriks polimer. Polimer yang banyak diaplikasikan untuk sintesis GC adalah *polylactic acid* (PLA). Beberapa jenis serat alam yang telah diaplikasikan sebagai penguat dengan matriks PLA diantaranya serat rami (Yu *et al.*, 2010; Yu *et al.*, 2014; Yu *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2016; Wang dan Yi, 2018), serat bambu

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Kegiatan Penelitian

Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari tiga tahapan utama yaitu persiapan, pelaksanaan dan pelaporan. Masing – masing tahapan tersusun atas beberapa kegiatan sebagaimana diasajikan dalam bentuk diagram tulang ikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram tulang ikan rancangan penelitian

Tahap persiapan dalam penelitian ini diawali dengan studi pustaka terhadap beberapa jurnal, buku, dan tesis untuk menentukan permasalahan yang diselesaikan dalam penelitian ini. Hasil studi pustaka dituangkan dalam bentuk matriks penelitian, yang memuat jenis penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, kelebihan, kekurangan, komponen penguat dan matriks, serta upaya yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, berkaitan dengan peningkatan interaksi antarmuka serat dan matriks. Berdasarkan matriks penelitian, kemudian ditentukan variabel penelitian, serta alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari: teflon, cetakan besi, *hot press machine*, termometer *infrared*, oven, loyang, gunting, penggaris, jangka sorong, *stopwatch*, *beaker glass*, *magnetic stirrer*, *home mixer* (*blender*), gerinda, serat rami, PLA, asam sitrat, NaOH, dan aquades. Setelah tahap persiapan selesai dilakukan, dilanjutkan dengan tahap pelaksanaan.

Tahap pelaksanaan dalam penelitian ini dimulai dengan persiapan serat rami. Serat rami dalam penelitian ini dipersiapkan berdasarkan metode modifikasi permukaan serat yang berbeda. Modifikasi permukaan serat yang diaplikasikan antara lain alkalisasi, perendaman dengan asam sitrat, dan alkalisasi yang dilanjutkan dengan perendaman asam sitrat. Proses alkalisasi dan perendaman serat rami dalam penelitian ini ditentukan terlebih dahulu, berdasarkan hasil uji coba proses alkalisasi dan perendaman serat rami, yang telah dilakukan sebelumnya. Uji coba proses alkalisasi yang telah dilakukan dibedakan menjadi dua, berdasarkan ada tidaknya proses perebusan serat sebelum alkalisasi.

Alkalisasi tanpa proses perebusan dilakukan untuk menentukan waktu alkalisasi yang efektif, diantara 2 jam dan 24 jam. Alkalisasi dilakukan menggunakan NaOH 5% (w/v) dengan mengaplikasikan perlakuan mekanik menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit, dengan kecepatan 720 putaran/menit. Dilanjutkan dengan perlakuan mekanik menggunakan *home mixer* pada 5 menit terakhir proses alkalisasi. Setelah mencapai batas waktu alkalisasi, serat dicuci menggunakan air bersih sampai tidak terasa licin kemudian dikeringkan. Pengeringan serat rami hasil alkalisasi dilakukan pada temperatur ruang selama 24 jam, dilanjutkan dengan oven pada temperatur 100°C selama 2x30 menit. Melalui kegiatan ini diperoleh serat rami tipe A untuk lama alkalisasi 2 jam, dan serat rami tipe B, untuk lama alkalisasi 24 jam.

Selanjutnya adalah alkalisasi serat rami yang diawali dengan proses perebusan. Perebusan dilakukan dengan tiga keadaan yang berbeda, yaitu: perebusan pada temperatur 70°C selama 30 menit, perebusan pada temperatur 100°C selama 30 menit, dan perebusan pada temperatur 100°C selama 60 menit. Setelah proses perebusan, dilakukan proses pengeringan serat sebagaimana yang dilakukan pada proses alkalisasi. Serat yang telah kering dialkalisasi

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian karakteristik *green composite* (GC) berbasis *polylactic acid* dan serat rami ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Modifikasi permukaan serat yang dilakukan dalam penelitian ini berpengaruh terhadap karakteristik serat rami, sehingga mempengaruhi karakteristik GC hasil sintesis. Modifikasi permukaan serat yang dianggap efektif untuk meningkatkan kekuatan mekanik GC adalah alkalisasi dilanjutkan dengan perendaman asam sitrat (NAS). Dibuktikan dengan kekuatan tarik dan kekuatan *bending* yang dihasilkan oleh sampel GC-NAS lebih tinggi diantara sampel GC lainnya. Masing-masing adalah $(36,96 \pm 1,06)$ MPa dan $(182,85 \pm 13,76)$ MPa. Secara keseluruhan, modifikasi permukaan serat yang diaplikasikan dalam penelitian ini tidak signifikan mempengaruhi karakteristik termal GC.
2. Penambahan asam sitrat yang dilakukan dalam penelitian ini belum mampu menjadi agen *crosslinking* antarmuka serat rami dan PLA. Hasil uji SEM menunjukkan, GC dengan penambahan asam sitrat memiliki banyak void. Akibatnya interaksi antarmuka serat rami dan PLA menjadi lemah, sehingga menurunkan kekuatan mekanik dan kestabilan termal GC dengan penambahan asam sitrat. Kekuatan tarik dan kekuatan *bending* GC berpenguat serat rami tanpa perlakuan, dengan penambahan asam sitrat (GC-PS) adalah $(18,62 \pm 1,06)$ MPa dan $(26,55 \pm 3,67)$ MPa. Sementara kekuatan tarik dan kekuatan *bending* GC berpenguat serat rami hasil alkalisasi dengan penambahan asam sitrat (GC-NPS) adalah $(17,69 \pm 1,12)$ MPa dan $(28,74 \pm 1,50)$ MPa.

5.2 Saran

Modifikasi permukaan yang digunakan dalam penelitian ini perlu diuji tingkat efektifitasnya melalui penelitian serupa, namun dengan memvariasikan jenis serat yang digunakan. Supaya pengaruh dari modifikasi permukaan serat

lebih mudah untuk diidentifikasi, dapat dilakukan uji FTIR disertai dengan uji selulosa dan uji SEM terhadap masing-masing serat hasil modifikasi.



DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, B.K. 2007. *Introduction to Engineering Materials*. New Delhi: Tata MC Graw-Hil Publishing Company Limited.
- Akay, M. 2015. *An Introduction to Polymer Matrix Composites*. Irlandia: Ventus Publishing APs.
- Al-Oqla, F. M. dan M. Salit. 2017. *Materials Selection for Natural Fiber Composites*. UK: Elsevier Ltd.
- Altenbach, H., J. Altenbach, dan W. Kissing. 2004. *Mechanics of Composite Structural Elements*. New York: Springer.
- Apelblat, A. 2014. *Citric Acid*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Bandyopadhyay, A. dan S. Bose. 2013. *Characterization of Biomaterials*. USA: Elsevier.
- Bifel, R.D., E. Maliwemu, dan D.G. H. Adoe. 2015. Pengaruh Perlakuan Alkali Serat Sabut Kelapa terhadap Kekuatan Tarik Komposit Poliester. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Nusa Cendana*. 02(01): 61 – 68.
- Blackburn, R. 2005. *Biodegradable and Sustainable Fibers*. Inggris: CRC Press.
- Callister, W.D. dan D.G. Rethwisch. 2009. *Material Science and Engineering: An Introduction*. United States: John Wiley and Sons, Inc.
- Campo, E. 2008. *Selection of Polymeric Materials: How to Select Design Properties from Different Standards*. Norwich: William Andrew Inc.
- Cao, Y., S. Shibata, dan I. Fukumoto. 2006. Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(3): 423–429.
- Cauley, J.W.M. 1986. *Definition, Philosophy, and Overview of Conference. Proceeding of the 31st Sagamore Conference: Materials Characterization for Systems Performance and Reliability*. 13-17 Agustus 1984. Plenum Press: 1.
- Chawla, K. 2012. *Composite Materials: Science and Engineering Third Edition*. New York: Springer Science+Bussines Media.
- Chirayil, C.J., J. Joy, L. Mathew, M. Mozetic, J. Koetz, dan S. Thomas. 2014. Isolation and characterization of cellulose nanofibrils from *Helicteres Isora* Plant. *Ind. Corps. Products*. 59(2014): 27–34.

LAMPIRAN

3.1 Persiapan Serat Rami



Serat rami



Dipotong 3-4 mm



Alkalisasi



Serat rami hasil alkalisasi



Serat rami hasil akalisasi

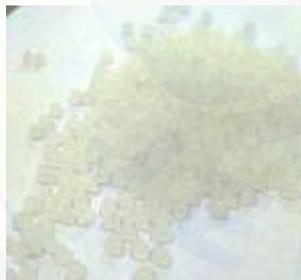


Blender



Serat rami mikro

3.2 Sintesis *Green Composite*



PLA



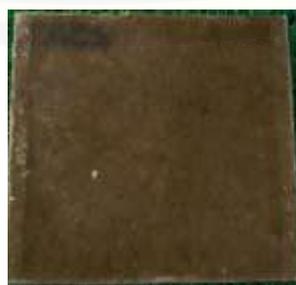
Pelelehan PLA



Penambahan serat



Pengepresan



Sampel (100 x 100) mm²

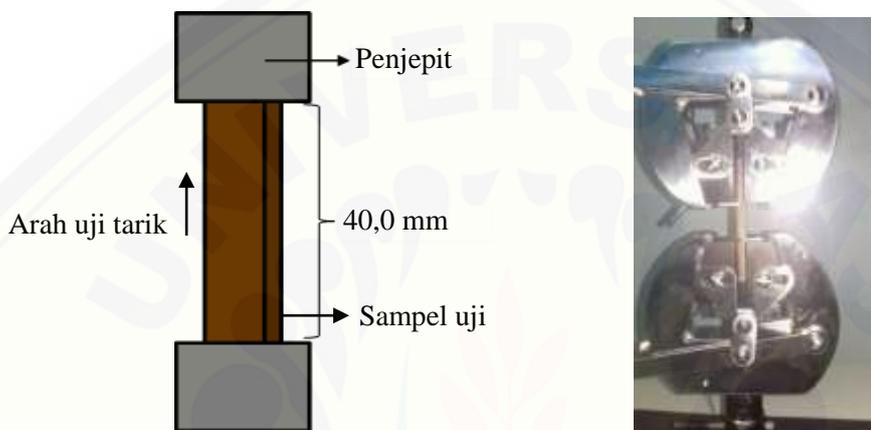


Sampel (100 x 10) mm²

3.3 Ilustrasi Uji Tarik dan Uji *Bending*

A. Uji Tarik

Uji tarik dalam penelitian ini dilakukan menggunakan alat uji *universal testing machine*, merek Hung Ta tipe HT 2402-10 kN. Pengujian dilakukan dengan meletakkan sampel uji diantara dua penjepit. Jarak antar penjepit ditentukan sebesar 40,00 mm, sebagaimana diilustrasikan pada gambar berikut ini.



B. Uji *Bending*

Uji *bending* dilakukan menggunakan alat uji yang serupa dengan yang digunakan saat uji tarik. Namun, uji *bending* dilakukan dengan meletakkan sampel uji diantara dua penumpu. Jarak antar penumpu ditentukan sebesar 50,0 mm. Berikut merupakan ilustrasi dari uji *bending*.

