



**PENGARUH PERLAKUAN ALKALISASI SERBUK DAUN SIRIH
TERHADAP SIFAT TARIK BIOKOMPOSIT BERBASIS
POLY(LACTIC ACID): METODE *SOLVENT CAST-FILM***

SKRIPSI

Oleh

Hubby Mukaffa

NIM 161910101019

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2020



**PENGARUH PERLAKUAN ALKALISASI SERBUK DAUN SIRIH
TERHADAP SIFAT TARIK BIOKOMPOSIT BERBASIS
POLY(LACTIC ACID): METODE *SOLVENT CAST-FILM***

SKRIPSI

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

Oleh

Hubby Mukaffa

NIM 161910101019

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2020

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah rabbil ‘aalamiin, puji serta syukur atas kehadiran Allah SWT yang selalu mencurahkan limpahan nikmat dan karunia-Nya, sehingga penyusunan tugas akhir ini berjalan dengan semestinya. Shalawat serta salam semoga selalu terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, para sahabatnya, dan para pengikutnya hingga hari akhir. Dengan penuh rasa syukur, saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tua tercinta H. Jawaz Abdul Khaer dan Hj. Bariyyah Mahfudz yang tiada henti memberi dukungan, nasihat, serta do’a selama masa studi di kota perantauan;
2. Seluruh keluarga tercinta;
3. Seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, terkhusus kepada dosen pembimbing dan dosen penguji;
4. Semua sahabat dan teman-teman, terutama sahabat kontrakan, teman kuliah dan teman satu jurusan; dan
5. Seluruh pihak yang turut memberikan dukungan dan bantuan yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.

Terimakasih atas segala kebaikan, dukungan dan bantuan baik dalam bentuk moril maupun materil. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan yang berlipat-lipat ganda dalam bentuk apapun.

MOTTO

“Barangsiapa yang mengerjakan kebaikan seberat *dzarrahpun*, niscaya dia akan melihat (balasan)nya.”

(Al-Qur’an surat Az-Zalzalah, ayat 7) *)

“Orang-orang itu telah melupakan bahwa belajar tidaklah melulu untuk mengejar dan membuktikan sesuatu, namun belajar itu sendiri, adalah perayaan dan penghargaan pada diri sendiri.”

(Andrea Hirata) **)

*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2005. *Al Qur’an dan Terjemahannya*. Bandung: PT Syaamil Cipta Media.

**) Andrea Hirata. 2010. *Padang Bulan*. Yogyakarta: Bentang Pustaka.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Hubby Mukaffa

NIM : 161910101019

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Perlakuan Alkalisasi Serbuk Daun Sirih Terhadap Sifat Tarik Biokomposit Berbasis *Poly(lactic acid)*: Metode *Solvent Cast-film*” adalah benar-benar hasil karya sendiri kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

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

Jember, 11 Nopember 2020

Yang menyatakan,



Hubby Mukaffa
NIM 161910101019

SKRIPSI

**PENGARUH PERLAKUAN ALKALISASI SERBUK DAUN SIRIH
TERHADAP SIFAT TARIK BIOKOMPOSIT BERBASIS
POLY(LACTIC ACID): METODE *SOLVENT CAST-FILM***

Oleh

Hubby Mukaffa
NIM 161910101019

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama: Dr. Mochamad Asrofi, S.T.
Dosen Pembimbing Anggota: Yuni Hermawan, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Perlakuan Alkalisasi Serbuk Daun Sirih Terhadap Sifat Tarik Biokomposit Berbasis *Poly(lactic acid)*: Metode *Solvent Cast-film*” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Dr. Mochamad Asrofi, S.T.
NIP 760019035

Yuni Hermawan, S.T., M.T.
NIP 197506152002121008

Dosen Penguji Utama,

Dosen Penguji Anggota,

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

Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T.
NIP 760014642

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 197008261997021001

RINGKASAN

Pengaruh Perlakuan Alkalisasi Serbuk Daun Sirih Terhadap Sifat Tarik Biokomposit Berbasis *Poly(lactic acid)*: Metode *Solvent Cast-film*; Hubby Mukaffa, 161910101019; 2020: 111 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Poly(lactic acid) (PLA) merupakan salah satu termoplastik berbasis bio yang berasal dari sintesis hasil pertanian (pati dan gula). PLA dianggap sebagai material alternatif yang menjanjikan untuk mengurangi masalah pembuangan limbah padat masyarakat karena ketersediaannya yang melimpah, dan sifatnya yang *biodegradable*. Pada umumnya peneliti menggunakan metode *solvent cast-film* untuk menghasilkan lembaran plastik tipis dengan kehalusan yang baik. Metode tersebut dianggap sebagai metode paling sederhana untuk proses pembuatan komposit matriks polimer (PMC) (terutama yang diperkuat serat alam), karena pada prosesnya tidak membutuhkan peralatan khusus dan dapat menghindari kemungkinan terjadinya kerusakan pada serat seperti yang biasanya terjadi pada proses *melt-mixing*. Selulosa yang ada pada sebagian besar dinding sel tanaman atau organisme lainnya menjadi alasan lain peneliti karena dianggap memiliki kompatibilitas yang baik untuk membentuk ikatan antar-muka dengan PLA. Akan tetapi, modifikasi kimiawi pada dinding sel tersebut perlu dilakukan untuk meregenerasi selulosa pada permukaannya. Salah satu metode yang sangat populer yaitu perlakuan alkalisasi dengan menggunakan NaOH sebagai media rendam partikel atau serat alam pada temperatur dan durasi tertentu. Sebagai negara beriklim tropis, salah satu sumber daya alam yang berpotensi sebagai pengisi PLA ditinjau dari ketersediaan dan kandungannya yaitu daun sirih (*Piper betle* L.). Pada setiap helainya, daun sirih hijau mengandung serat (2,3%), air (85%), *essential oil* (0,08%), karbohidrat (0,5%), protein (3%) dan mineral lainnya. Selain itu, tanaman tersebut mengandung molekul bioaktif *sterol* yang berperan sebagai agen anti-bakteri. Sehingga fokus pada penelitian ini yaitu bertujuan untuk menganalisa pengaruh perlakuan alkalisasi dengan penambahan fraksi massa serbuk daun sirih terhadap sifat tarik biokomposit berbasis PLA.

Penelitian ini terbagi menjadi 2 (dua) tahap, yaitu proses fabrikasi dan pengujian tarik biokomposit diikuti dengan *fracture examination*. Sebelum proses fabrikasi, daun sirih terlebih dahulu dikeringkan di bawah sinar matahari selama 3-5 hari. Kemudian daun sirih diberi perlakuan alkalisasi dengan cara merendam di dalam larutan NaOH 7% selama 3 jam pada temperatur ruangan dilanjutkan dengan proses pembilasan sampai pH 7 dan pengeringan menggunakan oven selama 24 jam pada temperatur 40 °C. Selanjutnya daun yang telah dialkalisasi dilakukan proses *crushing* dan diikuti penyaringan menggunakan *mesh* 80, sehingga didapatkan serbuk daun sirih yang berukuran tidak lebih dari 177 µm. Proses fabrikasi diawali dengan pelarutan PLA di dalam kloroform selama 120 menit dengan keadaan ditutup *aluminium foil*. Setelah 120 menit, serbuk daun sirih (*treated; untreated*, 1 – 3 % wt.) dimasukkan ke dalam larutan PLA diikuti dengan pengadukan mekanis

150 rpm selama 15 menit. Kemudian campuran didiamkan selama 5 menit dengan membuka *aluminium foil* untuk melepaskan gelembung udara yang terbentuk selama proses pengadukan. Setelah itu *casting* campuran ke atas cetakan kaca (160 x 75 mm) dan keringkan selama 24 jam di dalam plastik *ziplock*. Biokomposit dihasilkan dengan ketebalan 0,20 mm. Rangkaian proses pembuatan biokomposit dilakukan pada temperatur ruangan.

Berdasarkan hasil pengujian tarik yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa serbuk daun sirih mampu berikatan baik dengan matriks PLA, hal ini diindikasikan pada meningkatnya kekuatan tarik dan modulus elastisitas biokomposit seiring penambahan fraksi massa serbuk daun sirih. Nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas tertinggi didapati pada biokomposit dengan fraksi massa serbuk 3%, yakni sebesar 19,48 MPa; 118,51 MPa (serbuk daun sirih tanpa alkalisasi) dan 26,34 MPa; 166,46 MPa (serbuk daun sirih dengan alkalisasi). Berdasarkan hal tersebut, biokomposit dengan serbuk daun sirih yang dialkalisasi mampu meningkatkan nilai kekuatan tarik hingga 57%, sedangkan biokomposit dengan serbuk yang tidak dialkalisasi hanya meningkatkan nilai kekuatan tarik hingga 16%. Di sisi lain, *elongation at break* menunjukkan hasil penurunan seiring penambahan fraksi massa serbuk daun sirih pada biokomposit. Hal ini disebabkan oleh *stiffening action* pada pengisi dengan membatasi gerakan rantai polimer PLA selama pengujian tarik. Meskipun demikian, biokomposit dengan serbuk daun sirih alkalisasi menunjukkan *elongation at break* lebih baik dibandingkan dengan biokomposit dengan serbuk daun sirih tanpa perlakuan alkalisasi. Hasil ini juga didukung dengan *fracture examination* menggunakan SEM pada permukaan patahan biokomposit. Pengamatan SEM memperlihatkan, serbuk daun sirih yang telah diberi perlakuan alkalisasi membentuk ikatan yang baik dengan matriks PLA. Hal tersebut diindikasikan dengan ditemukannya sedikit rongga yang terbentuk dan kekasaran permukaan pada patahan biokomposit dengan serbuk yang dialkalisasi.

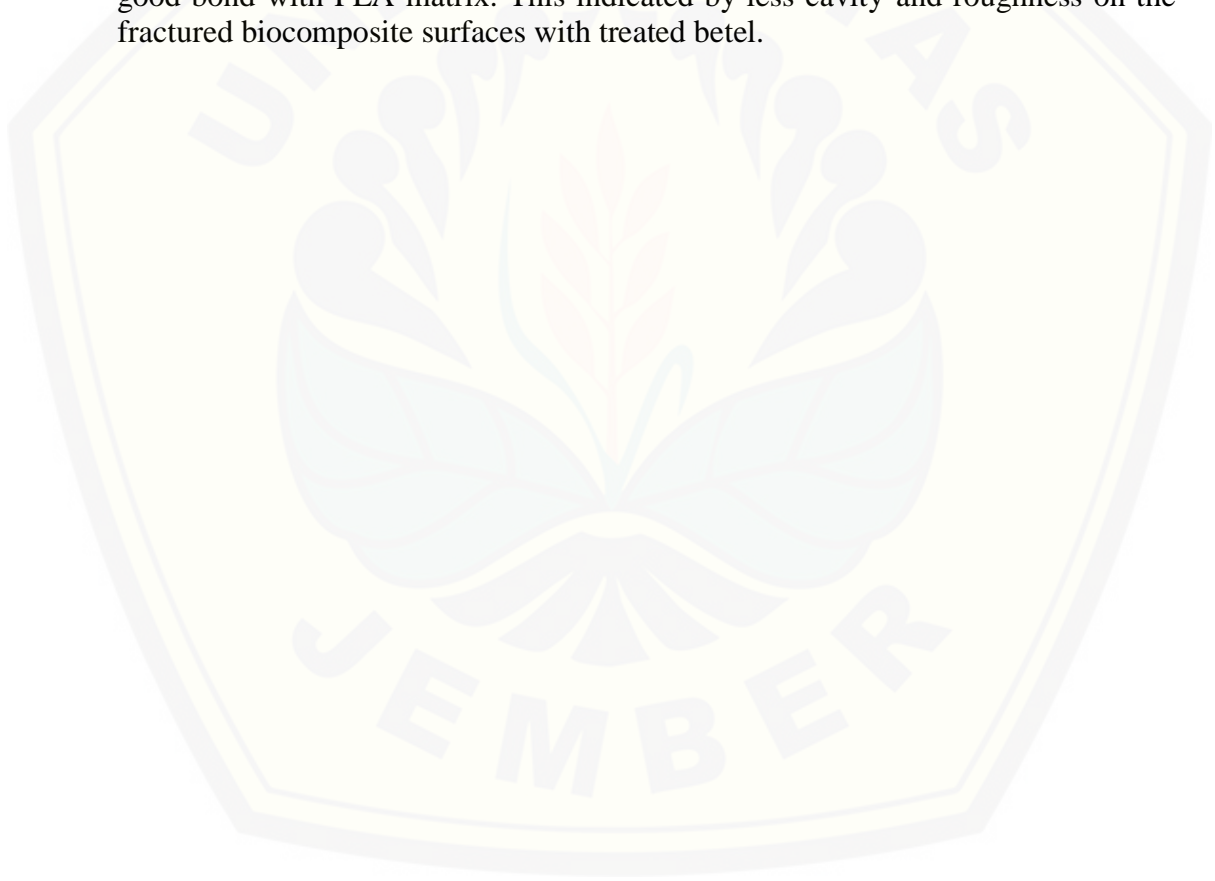
SUMMARY

Effect of Alkali Treatment of *Piper betle* L. on Tensile Properties as Particle Biocomposite Based Poly(lactic acid): Solvent Cast-film Method; Hubby Mukaffa, 161910101019; 2020: 111 page; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Poly (lactic acid) (PLA) is a bio-based thermoplastic derived from synthesis of agricultural products (starch and sugar). PLA was considered as a promising alternative material to alleviate solid waste disposal problems and to lessen the dependence on petroleum-based plastics, because of its abundance, and its biodegradability. Generally, researchers use the solvent cast-film method to produce a thin plastic sheet with good smoothness. This method was considered as the simplest method for the fabrication process of polymer matrix composites (PMC), especially, PMC reinforced with natural fibers, because the process does not requires any special equipment and can stave off the fillers or fibers damage that usually occurs in melt-mixing process. The presence of cellulose in most of the cell wall of plant or other organism becomes also another reason for researchers because of its good compatibility to form interfacial bond with PLA. However, chemical modification to the cell wall need to be done to regenerate cellulose on its surface. One of the most popular method was alkali treatment using NaOH as a soaked medium of particles or natural fibers at a particularistic temperature and duration. As a country with a tropical climate, one of the natural resources that potentially as PLAs filler in terms of its availability and content is betel leaf (*Piper betle* L.). On each strand, betel leaf contains fiber (2.3%), water (85%), essential oil (0.08%), carbohydrates (0.5%), protein (3%) and other minerals. In addition, this plant contain bioactive molecule sterol which acts as anti-bacterial agent. So the focus of this research is to analyze the effect of alkali treatment with addition of betel leaf powder content on tensile properties of PLA-based biocomposites.

This research divided into 2 (two) stages, the first is fabrication process and the second is tensile characterization followed by fracture examination. Before the fabrication process, betel leaf was placed under sunlight for 3-5 days. Then the betel leaf was soaked in 7% NaOH solution for 3 hours at room temperature followed by neutralization then dried using an oven for 24 hours at 40 °C. The treated betel was crushed and sieved by mesh 80, in order to obtain measured betel leaf powder not greater than 177 µm. The fabrication process begins with dissolving PLA in chloroform for 120 minutes and covered with aluminum foil. After 120 minutes, betel leaf powder (1-3% wt.(*treated; untreated*)) was added to PLA solution followed by mechanical stirring at 150 rpm for 15 minutes. Then the mixture was allowed to stand for 5 minutes by opening the aluminum foil caps to release bubbles that formed during the stirring process. After that, cast the mixture onto a glass mold (160 x 75 mm) and dry it for 24 hours in a ziplock plastic. The biocomposites were successfully produced with a thickness of 0.20 mm. The biocomposite manufacturing processes were carried out at room temperature.

Based on the result, tensile strength and elastic modulus of biocomposite were increased with addition of betel powder content, which indicated betel powder had good compatibility with PLA matrix. The highest tensile strength and elastic modulus values were found in biocomposites with a powder mass fraction of 3%, 19.48 MPa; 118.51 MPa (untreated betel) and 26.34 MPa; 166.46 MPa (treated betel). Therefore, biocomposite with treated betel increased the tensile strength value up to 57%, while biocomposite with untreated betel only increased the tensile strength value up to 16%. On the other hand, *elongation at break* showed a reverse trend with addition of the mass fraction of betel leaf powder to the biocomposite. This is due to the stiffening action of the filler by limiting the movement of PLA polymer chain during the tensile test. However, biocomposite with treated betel showed better elongation at break than biocomposite with untreated betel. These results were also supported by fracture examination using SEM on the fractured surfaces of biocomposite. SEM observations showed that treated betel formed a good bond with PLA matrix. This indicated by less cavity and roughness on the fractured biocomposite surfaces with treated betel.



PRAKATA

Alhamdulillah rabbil ‘aalamiin, puji serta syukur atas kehadiran Allah SWT yang selalu mencurahkan limpahan nikmat dan karunia-Nya, sehingga penyusunan tugas akhir berjudul “Pengaruh Perlakuan Alkalisasi Serbuk Daun Sirih Terhadap Sifat Tarik Biokomposit Berbasis *Poly(lactic acid)*: Metode *Solvent Cast-film*” dapat disusun dan diselesaikan dengan semestinya. Shalawat serta salam semoga selalu terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, para sahabatnya, dan para pengikutnya hingga hari akhir. Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini yaitu untuk melengkapi satu syarat guna menyelesaikan jenjang pendidikan strata satu (S1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta; Ibunda Hj. Bariyyah Mahfudz dan Ayahanda H. Jawaz Abdul Khaer yang selalu memberikan do’a, motivasi, dukungan, kasih sayang, serta seluruh hal baik yang tidak pernah dapat diukur oleh satuan nilai apapun. Saudara kandung dan ipar; Afwan Syaogy, Dhea Nadira, Nufzatussalimah dan Alman Faluthfi yang telah memberikan nilai-nilai kehidupan dan contoh yang baik kepada penulis. Keponakan; Arfa, Arfi dan Rayyan yang menjadi generator endorfin virtual selama penulis menyusun tugas akhir.
2. Kedua dosen pembimbing; Bapak Dr. Mochamad Asrofi, S.T. dan Bapak Yuni Hermawan, S.T., M.T. yang telah membantu proses penelitian, melatih keterampilan dan memberikan banyak ilmu pengetahuan kepada penulis sehingga penelitian dapat berjalan dan penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Kedua dosen penguji; Bapak Ir. Sumarji, S.T., M.T. dan Ibu Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T. yang telah memberikan banyak kritik saran yang membangun dalam penulisan tugas akhir ini.

4. Seluruh dosen pengajar dan staff akademik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan dan selalu memberikan pelayanan terbaik kepada seluruh mahasiswanya meskipun ditengah masa pandemi seperti saat sekarang ini.
5. Sahabat perumahan mastrip Q19; Dani, Amruk, Iqbal, Ganang, Bagas, Romy, Rio dan Ilham atas kebersamaan dalam suka maupun duka selama empat tahun menempuh masa studi di Universitas Jember.
6. Tim *Biocomposite Research* yang senantiasa bersama selama proses penyusunan tugas akhir.
7. Rekan kuliah satu angkatan Teknik Mesin Universitas Jember angkatan 2016 yang sangat luar biasa.
8. Paguyuban Imada Jaya sebagai wadah dikala penulis merindukan kampung halaman.

Dalam penulisan dan penyusunan skripsi ini penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk mencapai hasil yang terbaik. Namun, penulis menyadari bahwa di dalam tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak sehingga dapat menyempurnakan tugas akhir ini. Akhir kata yang penulis dapat sampaikan, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh pembaca.

Jember, 11 Nopember 2020

Penulis,

Hubby Mukaffa

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Hipotesis	5

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 Komposit	11
2.2.1 Komposit Berdasarkan Bentuk Penguat	12
2.2.2 Komposit Berdasarkan Fasa Matriks	14
2.3 Polimer <i>Biodegradable</i>	15
2.3.1 Klasifikasi Polimer <i>Biodegradable</i>	15

2.3.2 <i>Poly(lactic acid)</i> (PLA)	16
2.4 Sirih Hijau	17
2.5 Serat Alam Sebagai Penguat <i>Poly(lactic acid)</i>	19
2.5.1 <i>Alkali Treatment</i> (Isolasi Selulosa Serat Alam: Metode Kimia).....	20
2.6 <i>Solvent Cast-Film</i>.....	21
2.7 Karakterisasi Material Biokomposit	23
2.7.1 Pengujian Tarik	23
2.7.2 Pengamatan SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>).....	25
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	28
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.3 Sumber Data Penelitian	28
3.4 Variabel Penelitian	29
3.5 Alat dan Bahan	30
3.5.1 Alat	30
3.5.2 Bahan	37
3.6 Prosedur Penelitian	39
3.6.1 Langkah Pembuatan Spesimen	39
3.6.2 Karakterisasi Spesimen Biokomposit	41
3.7 Diagram Alir Penelitian	42
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Proses Pembuatan Biokomposit PLA/Serbuk Daun Sirih	45
4.2 Pengujian Tarik	47
4.3 Morfologi Patahan Biokomposit: <i>Scanning Electron Microscopy</i>	50
BAB 5. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	53

5.2 Saran53

DAFTAR PUSTAKA55

LAMPIRAN



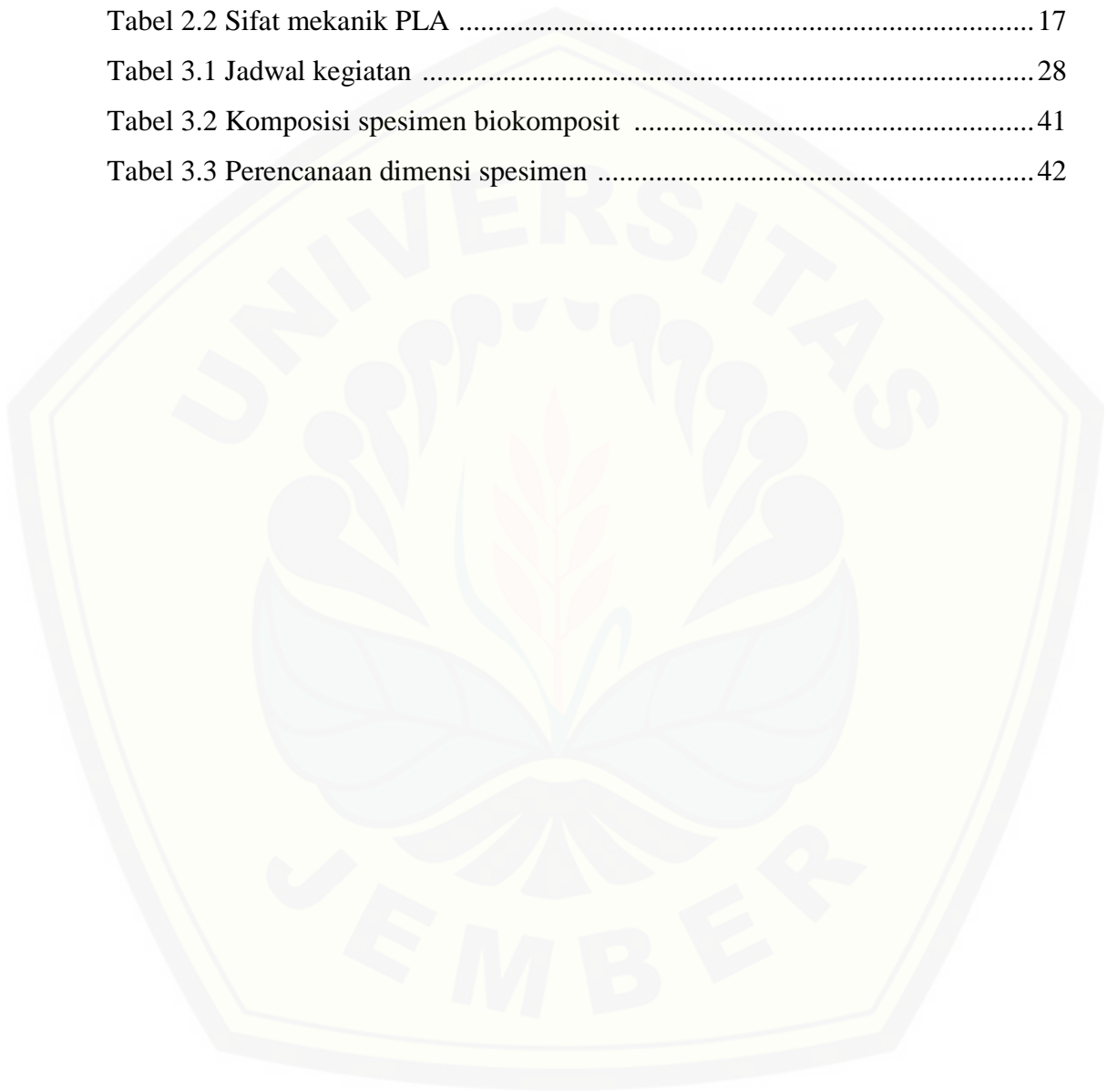
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram hasil pengujian lentur biokomposit PLA serat daun nanas.....	7
Gambar 2.2 Hasil pengujian SEM biokomposit PLA serat daun nanas pada sampel yang telah dilakukan uji lentur	8
Gambar 2.3 Grafik hasil pengujian tarik komposit PLA serat sisal.....	9
Gambar 2.4 Hasil pengujian SEM komposit PLA serat sisal yang telah dilakukan uji tarik.....	9
Gambar 2.5 Diagram klasifikasi komposit berdasarkan bentuk penguatnya	12
Gambar 2.6 Struktur komposit berpenguat serat	13
Gambar 2.7 Skema struktural komposit lamina	14
Gambar 2.8 Skema struktural komposit <i>sandwich</i>	14
Gambar 2.9 Klasifikasi polimer <i>biodegradable</i>	16
Gambar 2.10 Struktur kimia <i>Poly(lactic acid)</i>	17
Gambar 2.11 Distribusi geografis tanaman sirih.....	18
Gambar 2.12 Skematik ilustrasi probabilitas reaksi ikatan antara PLA-selulosa.....	20
Gambar 2.13 Skema reaksi proses alkalisasi pada serat alam	21
Gambar 2.14 Skema proses <i>solvent cast-film</i>	22
Gambar 2.15 Kurva tegangan-regangan	24
Gambar 2.16 Diagram skematik pencitraan dan deteksi SEM Hitachi model TM3030Plus.....	26
Gambar 3.1 Max Blend seri Vape Vapor 100% VG.....	30
Gambar 3.2 Neraca digital DSC-107	31
Gambar 3.3 <i>Hand grinder-blender</i> Oxone OX-853.....	31
Gambar 3.4 Saringan dengan ukuran <i>Mesh</i> 80 (177 μ m)	32
Gambar 3.5 <i>pH-Fix Indicator Strips</i> MN 1911.....	32
Gambar 3.6 Plastik <i>ziplock</i> 30 x 40 cm.....	33
Gambar 3.7 <i>Beaker glass</i> Herma 100 mL.....	33

Gambar 3.8 Cetakan biokomposit.....	34
Gambar 3.9 <i>Digital photo tachometer</i> DT-2234C ⁺	34
Gambar 3.10 Jangka sorong	35
Gambar 3.11 <i>Oven toaster KLAZ red series</i>	35
Gambar 3.12 <i>Tensile Testing Machine</i> HT-2328	36
Gambar 3.13 <i>Scanning electron microscopy</i> Hitachi model TM3030Plus.....	36
Gambar 3.14 Biji <i>Poly(lactic acid)</i> PL-2000	37
Gambar 3.15 Serbuk daun sirih (<i>treated</i> dan <i>untreated</i>).....	37
Gambar 3.16 NaOH	38
Gambar 3.17 Kloroform.....	38
Gambar 3.18 Akuades	39
Gambar 3.19 Ilustrasi proses pengeringan biokomposit	40
Gambar 3.20 Spesimen uji tarik per-ASTM D-882	41
Gambar 3.21 Diagram alir penelitian.....	44
Gambar 4.1 Skema proses persiapan serbuk daun sirih.....	45
Gambar 4.2 Skema proses pembuatan biokomposit PLA/serbuk daun sirih	46
Gambar 4.3 Spesimen setelah pengujian tarik	47
Gambar 4.4 Grafik hasil pengujian tarik biokomposit PLA/serbuk daun sirih.....	48
Gambar 4.5 Hasil pengamatan SEM pada patahan biokomposit.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil pengujian tarik <i>film</i> kitosan-ekstrak daun sirih.....	6
Tabel 2.2 Sifat mekanik PLA	17
Tabel 3.1 Jadwal kegiatan	28
Tabel 3.2 Komposisi spesimen biokomposit	41
Tabel 3.3 Perencanaan dimensi spesimen	42



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia fenomena pencemaran limbah plastik semakin menjadi sorotan dalam beberapa tahun ke belakang. Hal tersebut disebabkan karena ketergantungan manusia terhadap produk berbahan dasar plastik. Contoh paling sederhana, di minimarket sangat banyak produk yang dijual menggunakan plastik sebagai kemasan. Studi yang dilakukan Jambeck et al. (2015), Indonesia setiap tahunnya menghasilkan 3,22 juta ton³ sampah plastik yang tak terkelola dengan baik dan sekitar 0,48-1,29 juta ton³ dari sampah plastik tersebut mencemari lautan. Merujuk pada hasil penelitian tersebut upaya untuk menekan berkembangnya pencemaran plastik terhadap lingkungan perlu dilakukan, salah satunya yaitu dengan cara substitusi bahan baku plastik. Substitusi bahan baku yang dimaksud yaitu mengganti bahan baku plastik yang berasal dari minyak bumi dengan bahan baku terbarukan atau yang dikenal dengan plastik *biodegradable* (bioplastik).

Bioplastik merupakan jenis polimer yang ramah terhadap lingkungan karena mampu terurai sepenuhnya (menjadi air, CO₂, dan biomassa) secara alami oleh aktivitas mikroorganisme seperti jamur dan bakteri (Künkel et al., 2016). Menurut Sarnacke dan Wildes (2008), penggunaan bioplastik ditujukan untuk kemasan sekali pakai. Menurut Paramawati et al. (2007), karena sifat *biodegradable* harus dimiliki bioplastik, maka material penyusun bioplastik sebaiknya mudah diperoleh dengan siklus waktu penyediaan yang singkat (*renewable*).

Poly(lactic acid) (PLA) merupakan salah satu termoplastik berbasis bio yang berasal dari sintesis hasil pertanian (*renewable sources*) seperti pati dan gula, sehingga dapat dikatakan ketersediaan PLA cukup melimpah (Lim et al., 2008). Pada tahun 2011, PLA menjadi produk bioplastik terbesar yang diproduksi di Amerika Serikat dengan jumlah lebih dari 300 juta pound (Sarnacke dan Wildes, 2008). PLA dianggap sebagai material alternatif yang menjanjikan untuk mengurangi masalah pembuangan limbah padat masyarakat karena sifat

biodegradable-nya (Lim et al., 2008). Menurut Auras et al. (2004), proses produksi PLA memberikan beberapa keuntungan seperti: bahan baku didapatkan dari sumber terbarukan di bidang pertanian, proses produksi membutuhkan karbon dioksida, PLA dapat didaur ulang dan terurai secara alami, sifat fisik dan mekanik PLA dapat direkayasa dan produksi PLA dapat meningkatkan perekonomian di bidang pertanian. Keunggulan tersebut memungkinkan PLA untuk menggantikan polimer berbasis minyak bumi pada berbagai pengaplikasian. Misalnya di bidang medis, PLA telah digunakan secara luas karena memiliki sifat biokompatibilitas dengan tubuh manusia, termasuk untuk aplikasi seperti implan medis, jahitan bedah, dan peralatan medis (Lasprilla et al., 2012; Pawar et al., 2014). Selain itu, PLA telah banyak diaplikasikan pada tekstil, plastik, peralatan dan wadah kemasan (kemasan produk yang berumur pendek). Namun dibalik keunggulan yang dimiliki PLA, polimer *biodegradable* ini memiliki kekurangan pada harganya yang relatif mahal, sensitif terhadap air, lambatnya laju kristalisasi dan sifatnya yang getas membatasi penerapan pada bidang industri (Ashok et al., 2014; dan Hutajulu 2017). Oleh sebab itu, banyak peneliti tertarik melakukan pengembangan terhadap PLA dengan berbagai metode untuk mengatasi kekurangan sekaligus memodifikasi permukaan seperti kehalusan yang nantinya disesuaikan untuk pengaplikasian spesifik. Peneliti umumnya mencampurkan partikel atau serat alam (an/organik) dengan menggunakan metode *solvent cast-film* untuk menghasilkan bahan yang tipis dengan kehalusan yang baik. Metode tersebut dianggap sebagai metode dengan teknik paling sederhana untuk proses pembuatan komposit matriks polimer (PMC) terutama yang diperkuat serat alam, karena pada prosesnya tidak membutuhkan peralatan khusus dan dapat menghindari kemungkinan terjadinya kerusakan pada serat seperti yang biasanya terjadi pada proses *melt-mixing* (Kong et al., 2015).

Penelitian mengenai PMC PLA yang diperkuat partikel atau serat alam (an/organik) telah menarik perhatian lebih sebagai bahan yang ramah lingkungan dan biofungsional karena sifat-sifatnya yang *biocompatibility*, harga bahan baku murah, *biodegradability*, dan potensial untuk diaplikasikan di bidang industri (Ashok et al., 2014; Debeli et al., 2017). Ikatan antar-muka yang baik menjadi parameter penting pada komposit untuk proses transfer beban yang efektif yang

dapat mencegah kegagalan dini (*untimely failure*) pada material (Rajesh et al., 2015). Selulosa yang ada pada sebagian besar dinding sel tanaman atau organisme lainnya juga menjadi alasan lain peneliti karena dianggap memiliki kompatibilitas yang baik untuk membentuk ikatan antar-muka dengan PLA (Budtova dan Navard, 2016; Alam et al., 2012). Akan tetapi, modifikasi kimiawi pada partikel atau serat tersebut perlu dilakukan untuk meregenerasi selulosa pada permukaannya. Salah satu metode yang sangat populer di kalangan peneliti yaitu perlakuan alkalisasi (Budtova dan Navard, 2016). Pelakuan alkalisasi umumnya menggunakan larutan NaOH sebagai media rendam partikel atau serat alam pada temperatur dan durasi tertentu. Saat proses perendaman ikatan hidrogen pada struktur jaringan dinding sel akan terputus, melepaskan lignin, hemiselulosa, pektin, dan pengotor lain yang ada pada permukaannya (Budtova dan Navard, 2016; Rajesh et al., 2015)

Sumber daya alam yang berpotensi sebagai komponen pengisi biokomposit PLA adalah daun sirih hijau ditinjau dari kandungan dan melimpahnya ketersediaannya di beberapa bagian negara beriklim tropis (Pradhan et al., 2013). Pada tahun 2008, permintaan simplisia daun sirih (*Piper betle*) di Indonesia untuk pengolahan obat tradisional pada jamu gendong mencapai 671 ton (Pribadi, 2009). Pada setiap helai daun sirih hijau mengandung serat (2,3%), air (85%), *essential oil* (0,08%), karbohidrat (0,5%), protein (3%) dan mineral lainnya (Pradhan et al., 2013). Selain itu, tanaman tersebut mengandung molekul bioaktif *sterol* yang berperan sebagai agen anti-bakteri. Jenis bakteri yang dapat dihambat pertumbuhannya oleh daun sirih diantaranya yaitu *Streptococcus pyrogen*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus vulgaris*, *E. coli*, dan *Pseudomonas aeruginosa* (Pradhan et al., 2013). Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Thuong et al. (2019) yaitu menggunakan ekstrak daun sirih (1% – 3%) sebagai komponen aditif dalam pembuatan lembaran tipis (*film*) berbasis kitosan. Beliau melaporkan bahwa penambahan ekstrak daun sirih pada *film* kitosan mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Salmonella Typhimurium*, *E. Coli* dan *Pseudomonas aeruginosa*. Akan tetapi di sisi lain mereka melaporkan tidak adanya peningkatan nilai kekuatan tarik pada setiap variasi *film* kitosan yang dihasilkan. Mereka mengatakan ekstrak dari daun sirih didominasi oleh komponen hidrofilik yang

menyebabkan rusaknya hubungan antar rantai polimer pada campuran tersebut yang berdampak pada penurunan kekuatan tarik *film*. Berdasarkan hal tersebut selain difokuskan untuk meningkatkan nilai kekuatan tarik biokomposit berbasis PLA, penambahan serbuk daun sirih sebagai pengisi biokomposit PLA pada penelitian yang lebih lanjut diharapkan tetap menghadirkan sifat anti-bakteri pada material.

Dari penjelasan di atas maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisa pengaruh penambahan serbuk daun sirih pada matriks PLA. Berdasarkan pengetahuan penulis, belum ada referensi spesifik terkait pencampuran kedua bahan tersebut untuk peningkatan kekuatan tarik PLA dengan metode *solvent cast-film*. Sehingga fokus pada penelitian ini, penulis melakukan analisis terkait pengaruh perlakuan alkalisasi dengan penambahan serbuk daun sirih (fraksi massa 1%, 2% dan 3%) terhadap sifat kuat tarik biokomposit berbasis PLA. Pengamatan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) juga dilakukan untuk mengamati hubungan antara matriks-pengisi pada biokomposit yang dipengaruhi perlakuan alkalisasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka fokus permasalahan pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh perlakuan alkalisasi dengan penambahan fraksi massa serbuk daun sirih (1%, 2% dan 3%) terhadap sifat kuat tarik biokomposit bermatriks PLA?
2. Bagaimana pengaruh perlakuan alkalisasi daun sirih terhadap pengamatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada patahan biokomposit bermatriks PLA?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini yakni untuk :

1. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan alkalisasi dengan penambahan fraksi massa serbuk daun sirih (1%, 2% dan 3%) terhadap sifat kuat tarik biokomposit bermatriks PLA.
2. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan alkalisasi daun sirih terhadap pengamatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada patahan biokomposit bermatriks PLA.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian besar harapan dapat :

1. Menambah pengetahuan baru mengenai sifat tarik dan morfologi patahan biokomposit PLA berpenguat serbuk daun sirih.
2. Memaksimalkan potensi yang dimiliki daun sirih.
3. Memberikan kontribusi untuk pengembangan biokomposit serta dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh zat pelarut terhadap sifat-sifat PLA diabaikan;
2. Pengaruh zat pelarut terhadap serbuk daun sirih diabaikan;
3. Proses pengeringan biokomposit hanya diperlambat, tidak menggunakan nilai laju penguapan spesifik;
4. Saat proses pengeringan, pengaruh antara uap zat pelarut dengan media pelambat laju penguapan terhadap biokomposit PLA diabaikan; dan
5. Tidak meneliti aktivitas antibakteri material.

1.6 Hipotesis

Berdasarkan pengamatan yang didasari pada penelitian-penelitian terkait maka dapat ditarik hipotesis yaitu, perlakuan alkalisasi dengan penambahan fraksi massa serbuk daun sirih pada matriks PLA akan meningkatkan sifat tarik biokomposit.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Thuong et al. (2019) melakukan penelitian dengan menggunakan ekstrak daun sirih hijau (*Piper betle L.*) sebagai komponen aditif dalam pembuatan lembaran tipis (*film*) berbasis matriks *chitosan* (kitosan). Pada studi tersebut, mereka menggunakan total 4 variasi berdasarkan penambahan fraksi volume ekstrak daun sirih. Fraksi volume 1% – 3% dan fraksi volume 0% sebagai sampel kontrol. Berdasarkan keterkaitan pada penelitian kali ini, salah satu pengujian pada penelitian tersebut yaitu pengujian kekuatan tarik material. Berikut di bawah ini tabel yang menunjukkan hasil pengujian tarik pada masing-masing sampel:

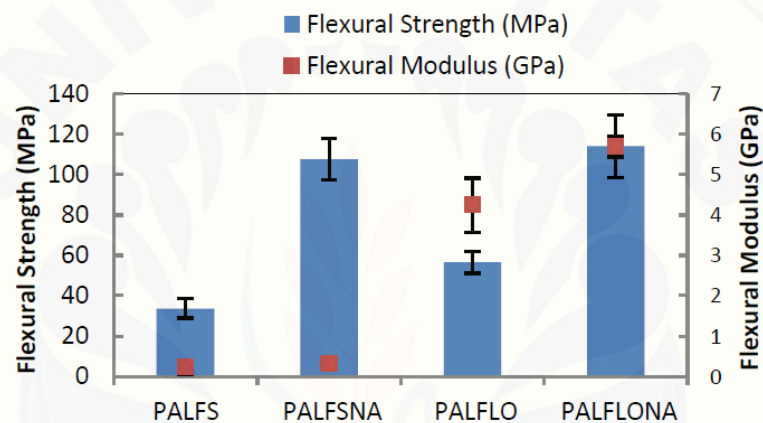
Tabel 2.1 Hasil pengujian tarik *film* kitosan-ekstrak daun sirih

Sample	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)
0%	92,05 ± 2,06	3,60 ± 0,86
1%	34,18 ± 1,97	3,49 ± 0,51
2%	48,24 ± 2,49	5,19 ± 1,00
3%	16,67 ± 0,39	22,21 ± 3,23

(Sumber: Thuong et al., 2019)

Pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Thuong et al. (2019), sampel dengan variasi 0% ekstrak daun sirih menunjukkan nilai kekuatan tarik paling tinggi. Dari tabel dapat dilihat bahwa hasil pengujian tarik memiliki kecenderungan menurun seiring penambahan kandungan ekstrak daun sirih pada *film* berbasis kitosan. Mereka mengatakan hal tersebut dikarenakan ekstrak daun sirih mengandung banyak komponen hidrofilik yang menyebabkan rusaknya hubungan antara rantai polimer dan menurunnya kontinuitas rantai yang berdampak pada penurunan nilai kekuatan tarik *film*. Di sisi lain, nilai *elongation at break* menunjukkan peningkatan seiring penambahan ekstrak daun sirih pada spesimen. Mereka menyatakan hal itu dikarenakan ekstrak daun sirih memberikan keuntungan sebagai komponen *plasticizing* pada *film* yang mana berdampak pada meningkatnya kemampuan pertambahan panjang material saat menerima beban tarik.

Ramli et al. (2016) melakukan penelitian dengan menggunakan serat daun nanas sebagai penguat biokomposit PLA. Pada studi tersebut, mereka membuat 4 sampel dengan variasi panjang serat (30 mm dan 100 mm) dan perlakuan alkali yang diberikan pada serat sebelum proses pencampuran. Masing-masing sampel memiliki kandungan 30% serat dan 70% matriks PLA. Sampel dicetak dengan dimensi 74 mm x 15 mm x 3 mm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh panjang serat dan perlakuan alkali pada serat terhadap nilai lentur dan morfologi biokomposit tersebut. Berikut di bawah ini grafik yang menunjukkan nilai hasil pengujian lentur pada masing-masing sampel.

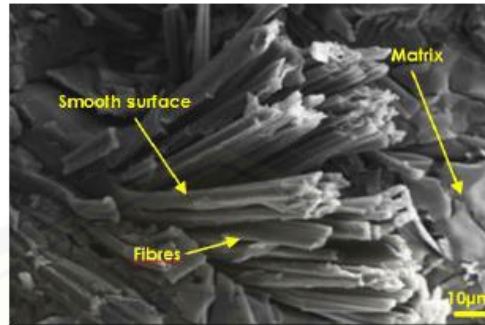


PALFS (Serat pendek tanpa perlakuan alkali); PALFSNA (Serat pendek dengan perlakuan alkali); PALFLO (Serat panjang tanpa perlakuan alkali); PALFLONA (Serat panjang dengan perlakuan alkali)

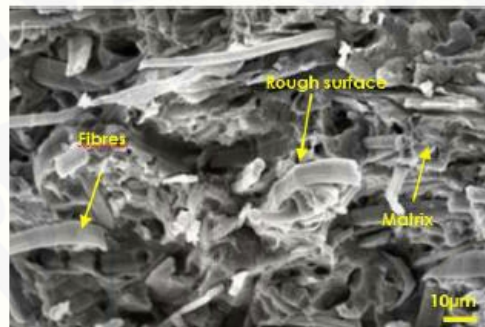
Gambar 2.1 Diagram hasil pengujian lentur biokomposit PLA serat daun nanas (Sumber: Ramli et al., 2016)

Dari grafik tersebut didapatkan kesimpulan bahwa nilai lentur tertinggi dimiliki biokomposit PALFLONA dengan 114,03 MPa (kekuatan lentur) dan 5,70 GPa (modulus lentur). Sedangkan nilai lentur terendah dimiliki biokomposit PALFS dengan 33,64 MPa dan 0,22 GPa. Secara umum, biokomposit dengan serat panjang menunjukkan hasil nilai kekuatan dan modulus lentur yang tinggi terlepas dari perlakuan alkali atau tidak. Setelah pengujian lentur, dilakukan pengujian SEM pada sampel. Pada pengujian SEM, peneliti melaporkan bahwa perlakuan alkali pada serat dapat membersihkan serat dari zat pengotor, memperkasar permukaan serat sehingga dapat membentuk ikatan yang baik antar serat dengan matriks yang

mana dapat meningkatkan sifat lentur biokomposit. Di bawah ini merupakan hasil pengujian SEM biokomposit PLA serat daun nanas.



(a)

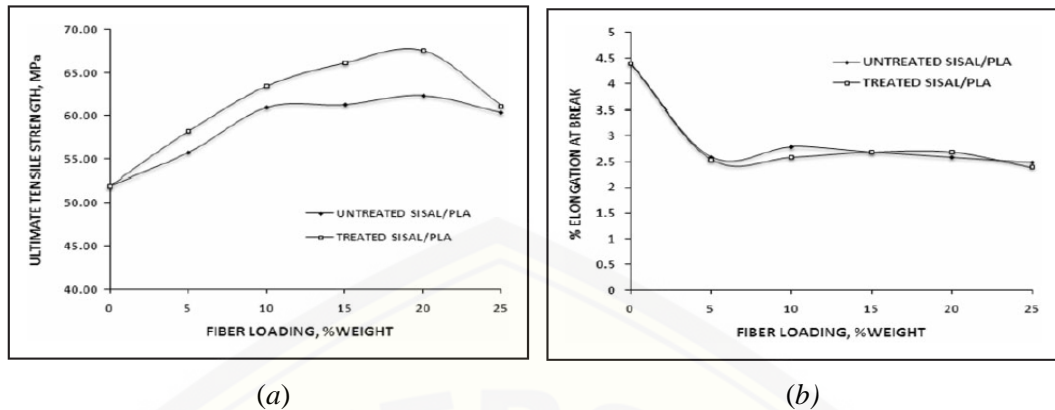


(b)

(a) biokomposit PLA dengan serat tanpa perlakuan alkali; (b) Biokomposit PLA dengan serat yang diberi perlakuan alkali

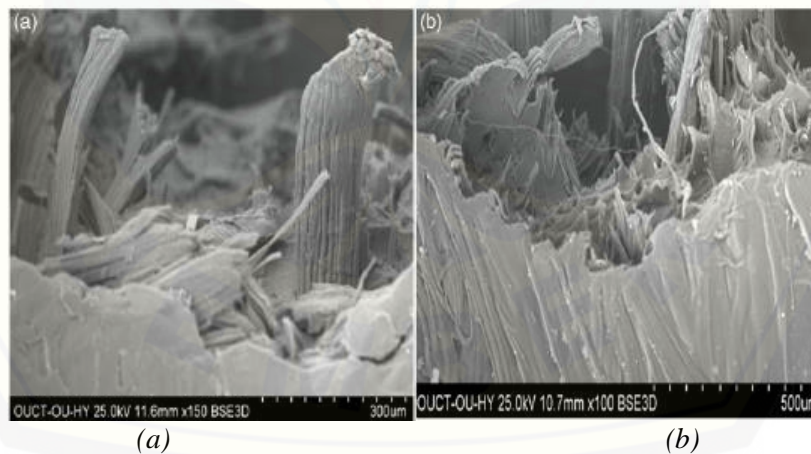
Gambar 2.2 Hasil pengujian SEM biokomposit PLA serat daun nanas pada sampel yang telah dilakukan uji lentur (Sumber: Ramli et al., 2016)

Rajesh et al. (2015) melakukan penelitian dengan menggunakan serat sisal sebagai penguat biokomposit PLA. Pada studi tersebut, mereka membuat sampel dengan variasi masing-masing sampel memiliki kandungan serat 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% (serat dengan perlakuan alkali dan pemutihan (*pre-treatment*), dan serat tanpa *pre-treatment*). Panjang serat sisal yang digunakan adalah 3 mm. Sampel dicetak sesuai dengan dimensi yang diatur dalam ASTM D638 tentang *Test Method for Tensile Properties of Plastics*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh kandungan dan *pre-treatment* serat terhadap sifat mekanik biokomposit PLA serat sisal. Berikut di bawah ini grafik yang menunjukkan nilai hasil pengujian tarik pada masing-masing sampel.



(a) Pengaruh kandungan dan *pre-treatment* serat pada kekuatan tarik komposit;
 (b) Pengaruh kandungan dan *pre-treatment* serat pada % *elongation at break* komposit;
 Gambar 2.3 Grafik hasil pengujian tarik komposit PLA serat sisal (Sumber: Rajesh et al., 2015)

Dari grafik tersebut didapatkan kesimpulan bahwa *pre-treatment* pada serat sisal dapat meningkatkan sifat tarik komposit. Hal tersebut juga terbukti pada gambar SEM (lihat gambar 2.4) bahwa serat dengan *pre-treatment* mengalami kerusakan (serat tidak terlepas dari matriks) yang berarti terjadi transfer tegangan yang baik antara serat dan matriks.



(a) Tanpa *pre-treatment* pada serat; (b) Dengan *pre-treatment* pada serat
 Gambar 2.4 Hasil pengujian SEM komposit PLA serat sisal yang telah dilakukan uji tarik
 (Sumber: Rajesh et al., 2015)

Atiqah et al. (2017) melakukan penelitian dengan menggunakan serat gula palm (SPF) sebagai penguat *Thermoplastic Polyurethane* (TPU). Mereka

melakukan penelitian mengenai pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat tarik dan ikatan antar matriks dan serat yang terbentuk. Mereka menggunakan NaOH 6% sebagai larutan alkalisasi. Pada penelitian tersebut, hasil yang didapatkan yaitu alkalisasi pada serat mampu meningkatkan nilai kekuatan tarik biokomposit. Biokomposit dengan perlakuan alkalisasi pada serat mendapatkan nilai kekuatan tarik sebesar 156,79 MPa. Sedangkan biokomposit tanpa perlakuan alkalisasi pada serat mendapatkan nilai kekuatan tarik sebesar 133,28 MPa. Hal tersebut juga dibuktikan pada pengujian SEM bahwa biokomposit tanpa perlakuan alkalisasi pada serat memperlihatkan adanya zat pengotor yang menyebabkan ikatan antar matriks dan serat tidak sempurna. Sedangkan biokomposit dengan perlakuan alkalisasi pada serat, zat pengotor hampir tidak ditemukan.

Rokbi et al. (2011) melakukan penelitian dengan menggunakan serat Alfa dari tanaman *Stipa tenacissima* sebagai penguat poliester tak jenuh (UP). Mereka melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi konsentrasi NaOH, lama proses perendaman serat, dan serat tanpa perlakuan alkali sebagai variasi terkontrol terhadap sifat lentur komposit. Secara detail, spesimen yang mereka buat yakni komposit 1 (tanpa perlakuan alkali), komposit 2 (1% NaOH, 24 jam), komposit 3 (5% NaOH, 24 jam), komposit 4 (10% NaOH, 24 jam), dan komposit 5 (5% NaOH, 48 jam). Setelah dilakukan uji lentur pada komposit, spesimen komposit 4 memiliki nilai lentur tertinggi dengan kekuatan lentur dan modulus lentur secara berturut-turut yaitu 57 MPa dan 3,04 GPa. Sedangkan pada komposit 1 nilai kekuatan lentur dan modulus lentur yang didapatkan yaitu 23 MPa dan 1,16 GPa. Berdasarkan hal tersebut, perlakuan alkalisasi dapat meningkatkan $\pm 60\%$ sifat lentur komposit.

Wang et al. (2018) melakukan penelitian dengan menggunakan serat bambu sebagai penguat *Polylactic Acid* (PLA). Mereka melakukan penelitian mengenai pengaruh alkalisasi pada serat bambu terhadap sifat tarik komposit. Pada penelitian tersebut, mereka menggunakan NaOH 4% sebagai larutan alkali. Proses alkalisasi dilakukan pada suhu ruangan selama satu jam. Mereka melaporkan bahwa komposit dengan serat yang diberi perlakuan alkali memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 16 MPa, sedangkan komposit dengan serat yang tidak diberi perlakuan alkali memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 10,7 MPa. Hal tersebut juga dibuktikan pada

pengamatan SEM bahwa permukaan komposit dengan perlakuan alkali terjadi penyusutan serat akibat pengujian tarik yang dilakukan. Adanya penyusutan serat mengindikasikan ikatan yang baik antara matriks dengan serat. Pengamatan SEM pada permukaan komposit tanpa perlakuan alkali terlihat banyak lubang-lubang yang terbentuk akibat tertariknya serat dari matriks saat pengujian tarik. Hal tersebut mengindikasikan serat tidak terikat secara sempurna dengan matriks.

Ng et al. (2018) melakukan penelitian dengan menggunakan sabut kelapa (*coir*) sebagai penguat *Polypropylene* (PP). Mereka melakukan penelitian mengenai pengaruh alkalisasi serat terhadap sifat tarik biokomposit. Proses alkalisasi dilakukan selama 6 jam pada suhu ruangan. Variasi penelitian yang digunakan yaitu fraksi massa (10% dan 30% serat) dan konsentrasi NaOH yang digunakan untuk alkalisasi (*untreated*, NaOH 3%, dan NaOH 5%). Mereka melaporkan bahwa kekuatan tarik biokomposit secara signifikan meningkat pada serat yang dialkalisasi dengan larutan NaOH 5%. Pada pengamatan SEM, serat dengan perlakuan alkali memiliki permukaan yang lebih kasar dibanding serat tanpa perlakuan alkali. Gambar SEM juga memperlihatkan bahwa NaOH 5% dapat menghilangkan zat pengotor lebih banyak dibanding NaOH 3%, hal tersebut yang menyebabkan biokomposit dengan alkalisasi NaOH 5% menghasilkan nilai tarik yang lebih besar.

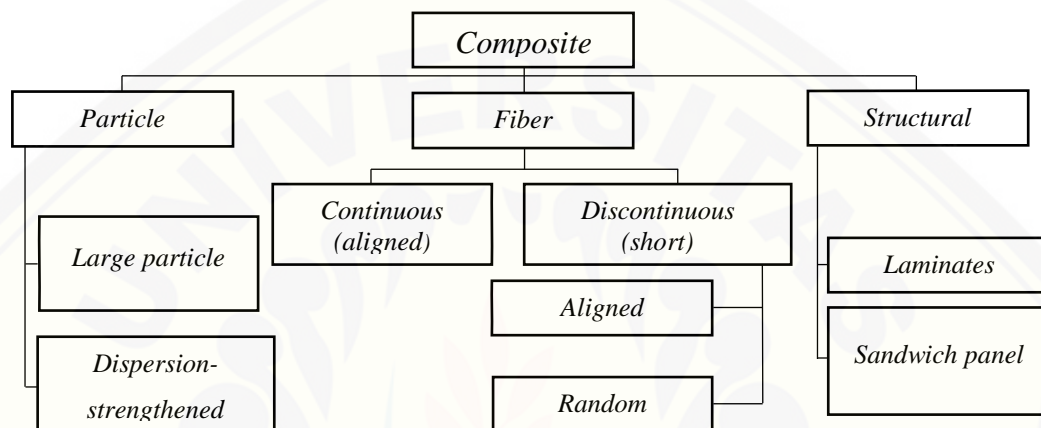
2.2 Komposit

Komposit merupakan gabungan dari komponen penguat (seperti serat/*fibers*) dan komponen pengikat (*matrix*). Penggabungan kedua bahan tersebut memiliki tujuan untuk memperoleh sifat baru, sehingga memiliki perbedaan dengan material penyusunnya. Komponen matriks memiliki peran sebagai distributor beban ke seluruh komponen penguat, sedangkan komponen penguat memiliki peran sebagai penahan beban yang diterima matriks (Septiyanto dan Abdullah, 2016). Penguat komposit yang umum digunakan berupa serat atau serbuk, baik itu sintesis maupun dari alam. Menurut Yudhyadi dan Sari (2013), keunggulan serat sintesis (misalnya *fiber glass*) terletak pada kekuatan, kontinuitas serat, dan tidak dapat menyerap air, sedangkan keunggulan serat alam terletak pada densitas yang rendah,

renewable, harga yang murah, mudah terurai dan memerlukan energi yang rendah saat proses produksi.

2.2.1 Komposit Berdasarkan Bentuk Penguat

Dalam buku *Materials Science and Engineering (7th Edition)* (2007), Callister dan Rethwisch menyebutkan bentuk bahan penguat komposit terdiri dari 3 (tiga) jenis, yaitu:



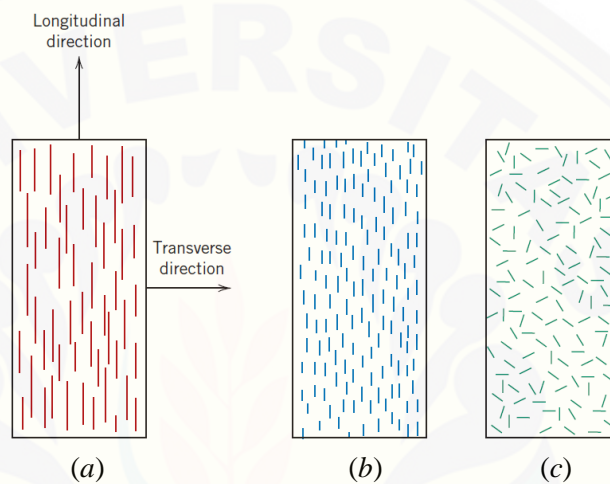
Gambar 2.5 Diagram klasifikasi komposit berdasarkan bentuk penguatnya (Sumber: Callister dan Retchwisch, 2007)

1) *Particle Composite*

Berdasarkan gambar 2.5, *large-particle* dan *dispersion-strengthened* komposit merupakan 2 (dua) sub-klasifikasi dari komposit berpenguat partikel. *Large particle* berarti interaksi antara partikel dengan matriks tidak dapat dilakukan pada tingkat atom atau molekul. Penguat partikel ini cenderung menahan pergerakan fase matriks di sekitar masing-masing partikulat. Pada intinya matriks mentransfer beberapa tekanan yang diberikan ke penguat partikel, sehingga matriks menanggung sebagian kecil dari beban. Sedangkan untuk komposit *dipersion-strengthened*, partikel biasanya jauh lebih kecil dengan diameter antara 10 nm – 100 nm. Pada jenis ini, matriks menjadi bagian utama untuk menanggung beban yang diberikan.

2) *Fiber Composite*

Komposit berpenguat serat dibedakan berdasarkan ukuran panjang serat yang digunakan yaitu *continuous* (serat panjang) dan *discontinuous* (serat pendek). Komposit berpenguat serat dapat disusun dengan orientasi teratur ataupun secara acak. Beberapa tahun terakhir, serat alam banyak digunakan sebagai penguat komposit (misalnya serat tebu, serat rami dan serat abaka). Serat alam menawarkan beberapa keunggulan seperti biaya produksi lebih murah dan ramah lingkungan.



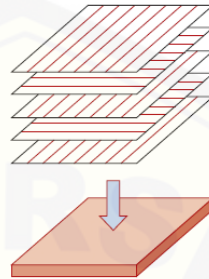
(a) *Continuous aligned*; (b) *discontinuous aligned*; (c) *discontinuous and randomly oriented*

Gambar 2.6 Struktur komposit berpenguat serat (Sumber: Callister dan Retchwisch, 2007)

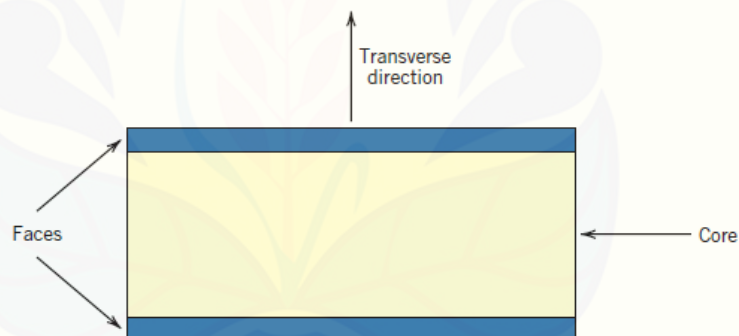
3) *Structural Composite*

Komposit struktural sifatnya tidak hanya bergantung pada sifat-sifat bahan penyusunnya, tetapi juga pada desain geometris dari berbagai komponen strukturalnya. Komposit struktural dibedakan menjadi 2 (dua) yakni *laminated* dan *sandwich*. *Laminated* merupakan gabungan dua atau lebih lapisan yang berbentuk elemen struktur pada komposit. Arah kekuatan bervariasi pada tiap-tiap lapisannya. Sedangkan *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite* sebagai kulit permukaan serta material inti di bagian tengahnya. Lembaran terluar terbuat dari bahan yang relatif kaku dan kuat, biasanya paduan

aluminium, plastik berpenguat serat, titanium, baja, atau kayu lapis. Bahan inti biasanya memiliki modulus elastisitas yang rendah dan memiliki bobot yang ringan.



Gambar 2.7 Skema struktural komposit lamina (Sumber: Callister dan Retchwisch, 2007)



Gambar 2.8 Skema struktural komposit *sandwich* (Sumber: Callister dan Retchwisch, 2007)

2.2.2 Komposit Berdasarkan Fasa Matriks

Dalam buku *Materials Science and Engineering (8th Edition)* (2010), Callister dan Rethwisch menyebutkan bahwa bahan komposit dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) berdasarkan fasa matriksnya, yaitu:

1. *Polymer Matrix Composite* (PMC)

Komposit polimer merupakan komposit dengan matriks yang berasal dari polimer, komposit jenis ini dapat diproduksi dalam jumlah besar karena biaya

produksi yang relatif lebih murah. Aplikasi dari komposit jenis ini antara lain digunakan sebagai komponen *body* pada industri otomotif. Hal tersebut bertujuan untuk menurunkan beban kendaraan.

2. *Metal Matrix Composite* (MMC)

Komposit jenis ini merupakan gabungan dari 2 bahan, logam sebagai matriks dan bahan yang lainnya sebagai penguat. Komposit jenis ini memiliki kelebihan yakni ketahanan terhadap suhu tinggi dan tidak mudah terbakar. Dibandingkan dengan material PMC, material jenis ini memiliki daya tahan degradasi yang lebih baik terhadap cairan organik. Komposit jenis ini juga memiliki kelemahan yaitu biaya produksi yang relatif mahal dan memiliki berat yang cukup tinggi karena matriksnya berasal dari material logam.

3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC)

Komposit jenis ini merupakan kombinasi dari dua jenis bahan, keramik sebagai matriks dan bahan yang lainnya sebagai penguat. Kelebihan dari komposit jenis ini adalah tahan pada suhu tinggi dan tahan terhadap korosi. Kekurangan komposit jenis ini yaitu sulit diproduksi dalam jumlah besar.

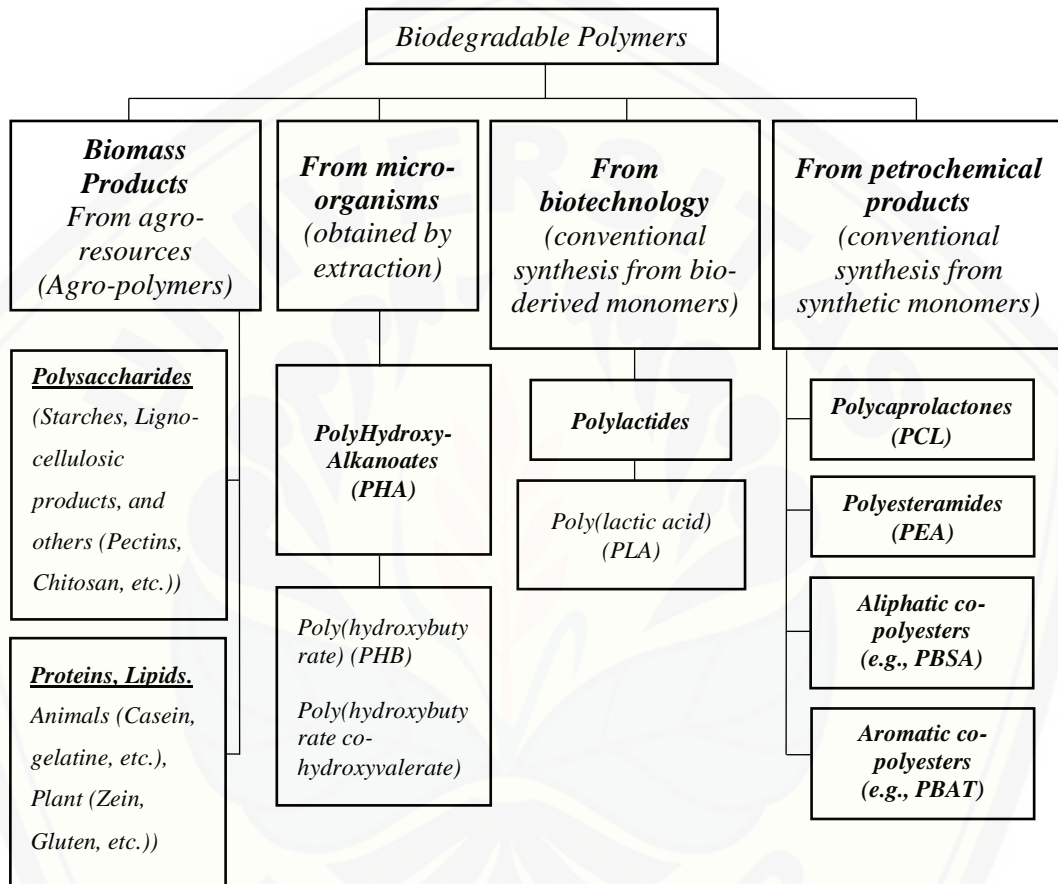
2.3 Polimer *Biodegradable*

Mengacu pada ASTM D-5488-94d, *biodegradable* berarti kemampuan material untuk mengalami dekomposisi menjadi karbon dioksida, metana, senyawa anorganik atau biomassa dimana hal tersebut disebabkan oleh aksi enzimatik dari mikroorganisme, laju dekomposisi juga dapat diukur dengan tes standar selama periode waktu tertentu. Menurut Avérous (2004), dengan mengumpulkan dan mengompos limbah plastik *biodegradable* maka senyawa karbon akan dihasilkan lebih banyak lagi sebagai salah satu unsur hara tanah, dengan demikian siklus karbon juga dapat terjaga. Selain itu, pengomposan plastik *biodegradable* merupakan hal penting untuk menjaga keberlanjutan sistem pertanian dengan mengurangi konsumsi pupuk kimia.

2.3.1 Klasifikasi Polimer *Biodegradable*

Polimer *biodegradable* merupakan salah satu material yang saat ini sedang populer untuk dikembangkan. Sebagian besar polimer *biodegradable* disintesis

atau terbentuk dari siklus pertumbuhan organisme (Avérous, 2004). Berdasarkan proses sintesisnya, Avérous (2004) mengklasifikasikan polimer *biodegradable* menjadi 4 kategori. Berikut di bawah ini adalah diagram klasifikasi polimer *biodegradable* oleh Avérous dalam artikel ilmiahnya berjudul *Biodegradable Multiphase System Based on Plasticized Strach: A Review* (2004).



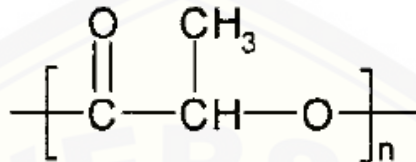
Gambar 2.9 Klasifikasi polimer *biodegradable* (Sumber: Avérous, 2004)

Avérous (2004) mengatakan hanya 3 (tiga) jenis polimer *biodegradable* yang berasal dari sumber terbarukan yaitu jenis polimer yang berasal dari biomassa (seperti pati dan selulosa), *microbial production* (seperti PHA), dan polimer yang berasal dari sintesis kimiawi hasil pertanian (seperti PLA).

2.3.2 *Poly(lactic Acid)* (PLA)

Carothers (Dupont) pada tahun 1932 berhasil memproduksi PLA (dengan massa molekul rendah) untuk pertama kali dengan cara memanaskan asam laktat

pada kondisi vakum, namun pada saat itu Carothers hanya memfokuskan untuk kemasan obat (Sari, 2018). Asam laktat bisa diproduksi dengan proses kimiawi atau biologis, misalnya dengan fermentasi karbohidrat dari *lactobacillus* (Avérous, 2004).



Gambar 2.10 Struktur kimia *Poly(lactic Acid)* (Sumber: Avérous, 2004)

Dibandingkan dengan polimer *biodegradable* lainnya, PLA merupakan salah satu bioplastik yang memiliki potensi tinggi karena ketersediaannya di pasaran dan harga yang relatif murah (Avérous, 2004). Pengaplikasian PLA saat ini sudah mulai beragam. Pada dunia medis, PLA digunakan untuk aplikasi implan medis, jahitan bedah, dan peralatan medis lainnya (Lasprilla et al., 2012; Pawar et al., 2014). Selain itu, PLA telah banyak diaplikasikan pada tekstil, plastik, peralatan, dan wadah kemasan (contohnya kemasan makanan untuk produk yang berumur pendek). PLA merupakan jenis polimer termoplastik dengan titik leleh yaitu 165-180 °C dan densitasnya sebesar 1,08 g/cm³ (Ramli et al., 2016). Berikut adalah sifat mekanik yang dimiliki PLA:

Tabel 2.2 Sifat mekanik PLA

Sifat Mekanik	Nilai (Standar Pengujian)
Kekuatan Tarik (MPa)	54,36 ± 1,10 (ASTM D638-08)
<i>Elongation at Break</i> (%)	4,85 ± 0,22 (ASTM D638-08)
Modulus Tarik (GPa)	3,23 ± 0,07 (ASTM D638-08)
Kekuatan Lentur (MPa)	113,55 ± 1,52 (ASTM D790)
Modulus Lentur (GPa)	3,92 ± 0,13 (ASTM D790)
Ketahanan Impak (kJ/m ²)	17,04 ± 1,38 (ASTM D256-06)

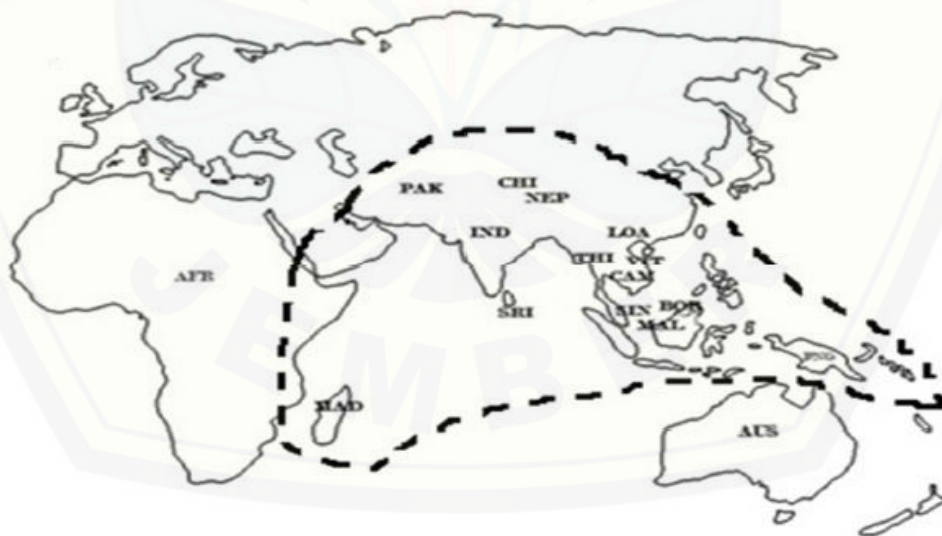
(Sumber: Porras et al., 2016)

2.4 Sirih Hijau

Tanaman sirih hijau merupakan jenis tanaman dari keluarga *Piperaceae* yang tumbuh merambat dengan bentuk daun menyerupai hati. Selain di kenal sebagai tanaman obat, tanaman dengan nama latin *Piper betle* Linn ini juga bersifat

antibakteri. Jenis bakteri yang dapat dihambat pertumbuhannya oleh daun sirih diantaranya yaitu *Streptococcus pyrogen*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus vulgaris*, *E. coli*, dan *Pseudomonas aeruginosa*. Molekul bioaktif pada daun sirih yang berperan untuk aktivitas anti-bakteri tersebut yaitu sterol. Pada setiap daun sirih mengandung serat (2,3%), air (85%), *essential oil* (0,08%), karbohidrat (0,5%), protein (3%) dan mineral lainnya (Pradhan et al., 2013). Menurut Pradhan et al. (2013), klasifikasi taksonomi tanaman sirih hijau adalah sebagai berikut:

- kingdom : *Plantae*
- divisi : *Magnoliophyta*
- kelas : *Magnolipsida*
- ordo : *Piperales*
- famili : *Piperaceae*
- genus : *Piper*
- spesies : *betle*
- nama binomial : *Piper betle* Linn



AFR: Africa; MAD: Madagascar; PAK: Pakistan; IND: India; NEP: Nepal; SRI: Sri Lanka; THI: Thailand; CAM: Cambodia; MAL: Malaysia; PNG: Papua New Guinea; BOR: Borneo; SIN: Singapore; LOA: Laos; VIT: Vietnam

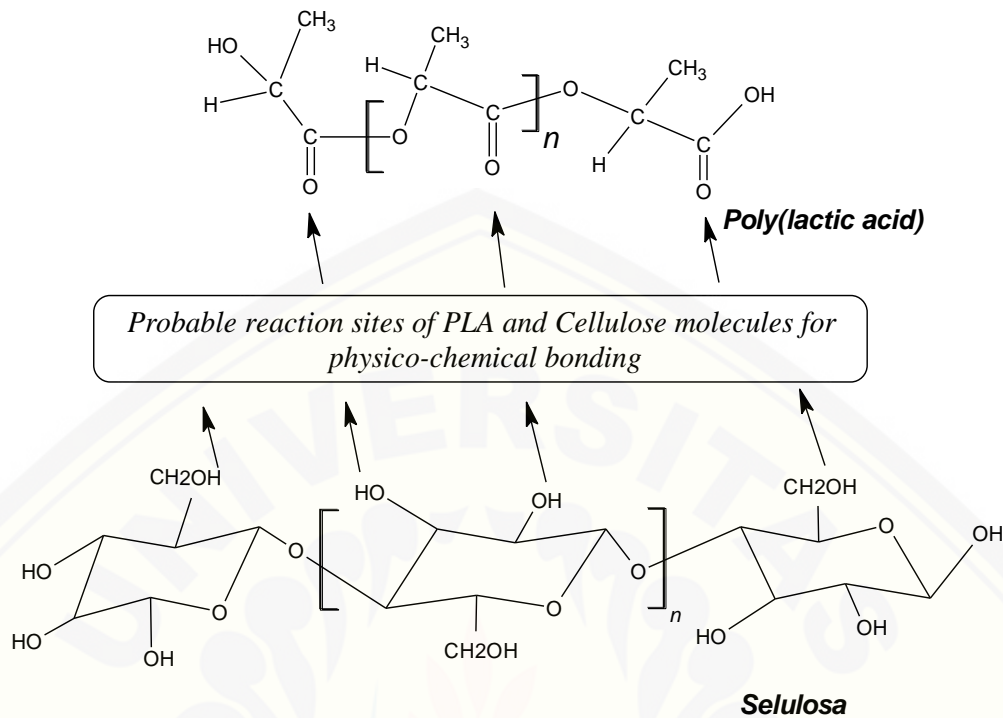
Gambar 2.11 Distribusi geografis tanaman sirih (Sumber: Pradhan et al., 2013)

Tanaman obat tradisional ini berasal dari Asia Selatan serta tumbuh luas di kawasan Taiwan, Thailand, Malaysia dan Indonesia (Pratiwi dan Muderawan, 2016). Karena tanaman ini tersebar luas di Indonesia dan negara sekitarnya, permintaan tanaman sirih hijau di Indonesia sebagai simplisia jamu gendong pada tahun 2008 mencapai 671 ton (Pribadi, 2009). Nama tanaman sirih berbeda-beda pada tiap negara, misalnya: *Pan* (India), *betel* (Inggris), *Tambool* (UEA) dan *Pelu* (Thailand) (Pradhan et al., 2013).

2.5 Serat Alam Sebagai Penguat *Poly(lactic acid)*

Tujuan utama pada proses pembuatan komposit yaitu untuk meningkatkan sifat mekanik yang dimiliki komponen penyusunnya. Berdasarkan hal tersebut, komponen pengisi dan matriks harus mampu berikatan dengan baik. Namun, pada beberapa kasus komponen pengisi digunakan untuk memperbaiki sifat material seperti sifat konduktivitas listrik, sifat magnetik, mengubah warna atau transparansi dan sifat anti-bakteri (Budtova dan Navard, 2016).

Pemanfaatan serat alam sebagai bahan pengisi komposit telah menarik perhatian banyak peneliti karena ketersediannya yang melimpah dan tergolong sumber terbarukan. Di samping itu, kandungan selulosa yang ada pada serat alam juga menjadi alasan utama para peneliti untuk dijadikan *reinforcement* komposit. Umumnya selulosa ditambahkan pada polimer berbasis bio (*bio-based*) sebagai komposit untuk mempertahankan sifat *biodegradable*-nya. Penambahan selulosa ke dalam matriks komposit menawarkan keuntungan pada peningkatan sifat mekanik material (Budtova dan Navard, 2016). Pada kasus meningkatnya sifat mekanik komposit, hal tersebut disebabkan karena adanya mekanisme interaksi kimia pada rantai polimer penyusunnya. Gerakan rantai polimer dari matriks menjadi lebih terbatas ketika selulosa ditambahkan ke dalam matriks. Hal ini diindikasikan akibat rantai polimer selulosa berikatan dengan rantai polimer matriks. Fenomena tersebut menyebabkan kemampuan memanjang matriks menjadi berkurang. Berikut dibawah ini adalah skematik ilustrasi probabilitas reaksi ikatan antara molekul selulosa dengan matriks PLA.

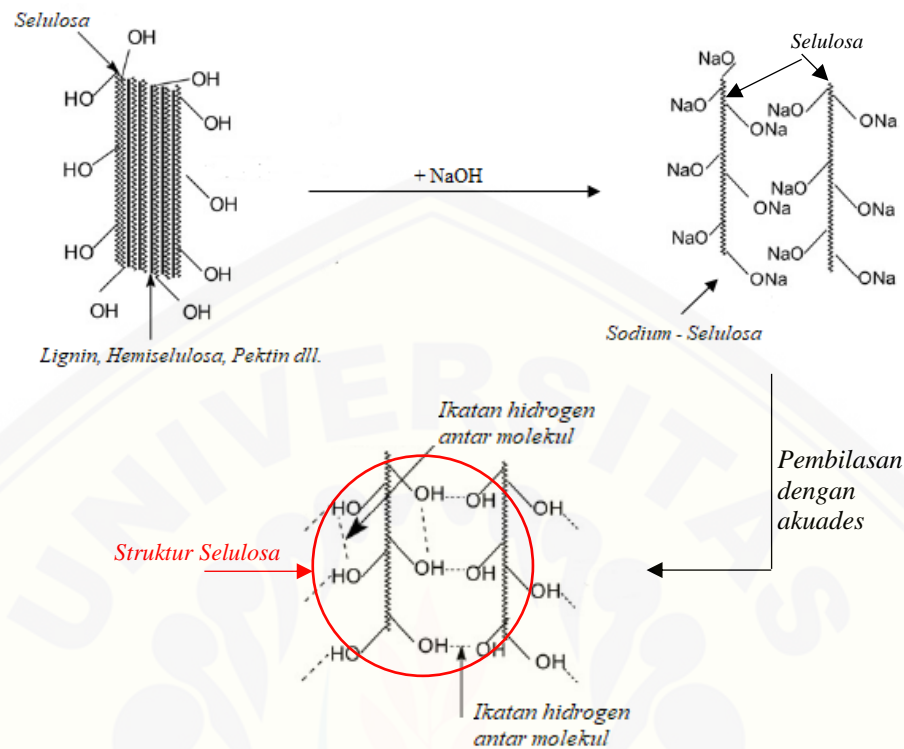


Gambar 2.12 Skematik ilustrasi probabilitas reaksi ikatan antara molekul PLA-selulosa
(Sumber: Alam et al., 2012)

2.5.1 Alkali Treatment (Isolasi Selulosa Serat Alam: Metode Kimia)

Perlakuan alkali sebagai proses isolasi selulosa serat alam telah dikenal sejak abad 19 dengan istilah *Mercerization* (merserisasi). Istilah ini dipakai berdasarkan nama penemu proses tersebut, yaitu John Mercer pada tahun 1850. Merserisasi merupakan metode perendaman serat alam menggunakan larutan NaOH pada temperatur dan periode waktu tertentu. Setelah proses tersebut sifat-sifat serat akan mengalami peningkatan, seperti pada kehalusan, sifat mekanik dan kestabilan dimensi (Budtova dan Navard, 2016).

Merserisasi bukan merupakan proses pemutusan ikatan serat, akan tetapi merupakan proses perubahan morfologi dan struktur kristalin yang terjadi selama proses perendaman sehingga terbentuk ikatan selulosa-alkali yang kompleks. Saat proses perendaman komponen pada serat alam seperti lignin, hemiselulosa, pektin dan lainnya akan larut dengan sendirinya (Budtova dan Navard, 2016).



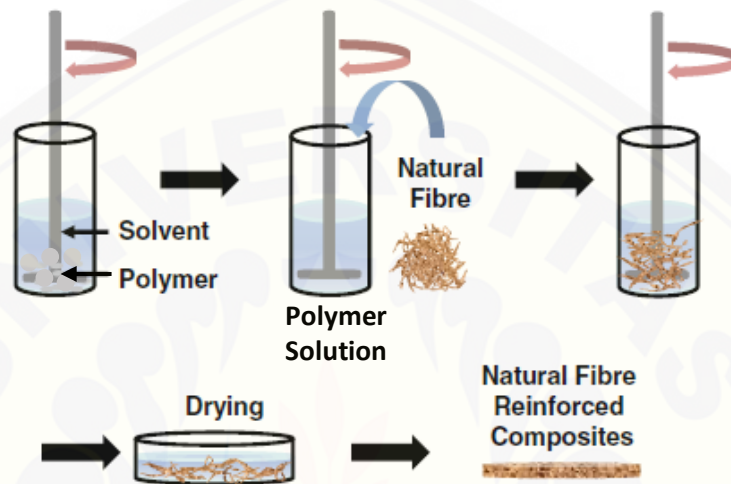
Gambar 2.13 Skema reaksi proses alkalisasi pada serat alam (Sumber: Alam et al., 2012)

Gambar 2.13 memperlihatkan skema pengaruh perlakuan alkali terhadap serat alam. Adanya proses pembilasan dengan akuades dimaksudkan untuk melepaskan ikatan sodium – selulosa sehingga menyisakan kelompok –OH pada strukturnya. Kelompok –OH yang ada pada struktur selulosa berperan penting untuk berikatan dengan matriks PLA (lihat gambar 2.12). Ketika serat alam mengandung banyak zat pengotor, dapat diasumsikan hanya sedikit –OH yang berikatan dengan kelompok C = O pada –COOH *Poly(lactic acid)* (Alam et al., 2012).

2.6 Solvent Cast-Film

Solvent casting merupakan suatu metode proses pembuatan komposit yang telah populer sejak lama sebagai metode dengan teknik sederhana dan tidak membutuhkan peralatan khusus pada prosesnya. Secara umum, *solvent casting* merupakan proses pencampuran matriks polimer terlarut (larutan polimer) dan

pengisi diikuti dengan pengadukan mekanis, dilanjutkan penuangan campuran ke atas cetakan, kemudian diikuti proses penguapan zat pelarut (pengeringan) (Kong et al., 2015). Berikut di bawah ini merupakan skema proses *solvent casting* yang umumnya digunakan pada pembuatan material lembaran tipis (*film*) yang menggunakan serat alam sebagai pengisi.



Gambar 2.14 Skema proses *solvent cast-film* (Sumber: Kong et al., 2015)

Pada skema di atas, tahap pertama merupakan proses pelarutan polimer menggunakan pelarut (sesuai dengan jenis polimer yang dilarutkan). Dalam buku “Handbook of Polymer” Wypych (2012) menyebutkan pelarut terbaik untuk PLA yaitu *acetone*, *benzene*, ***chloroform***, *m-cresol*, *dichloromethane*, *dioxane*, *DMF*, *ethyl acetate*, *isoamyl alcohol*, *toluene* dan *xylene*. Kong et al. (2015) mengatakan, pemilihan rasio antara polimer dan zat pelarut menjadi salah satu faktor awal yang menentukan kualitas *film* yang dihasilkan.

Keuntungan dari metode *solvent casting* yaitu dalam prosesnya tidak membutuhkan peralatan khusus seperti misalnya pada proses *extrusion* atau *injection molding*. Selain itu, metode ini juga dapat menghindari kerusakan pada serat yang biasanya terjadi pada proses *melt-mixing*. Pencampuran serat alam ke dalam larutan polimer pada metode *solvent casting* juga dapat menyebabkan dispersi serat pada matriks yang lebih merata. Sehingga hal tersebut berdampak pada meningkatnya kompatibilitas antara serat dengan matriks karena keadaan serat yang terbasahi (*pre-wetted*) oleh zat pelarut yang sama (Kong et al., 2015).

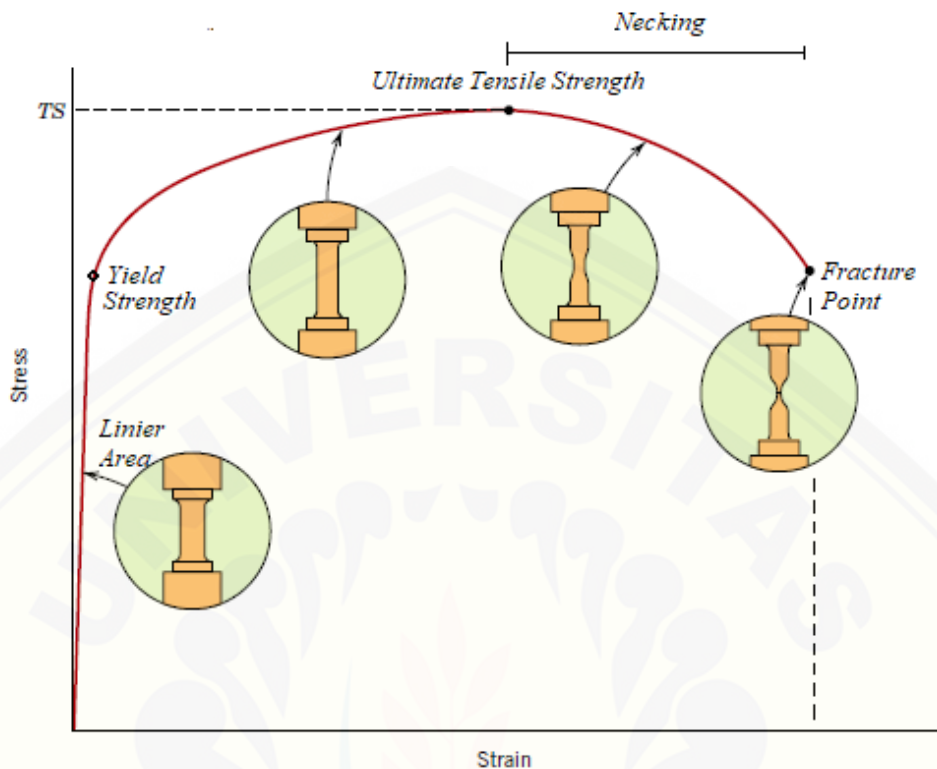
Ketergantungan dengan besarnya jumlah pelarut yang dibutuhkan untuk melarutkan polimer pada metode *solvent cast* menjadi salah satu permasalahan yang menyebabkan metode tersebut tidak ideal untuk digunakan pada skala industri. Selain itu, toksisitas zat pelarut juga menjadi suatu permasalahan penting pada teknik ini. Meskipun dapat diatasi dengan menguapkan sisa pelarut pada campuran polimer dalam keadaan vakum, akan tetapi proses tersebut dianggap tidak efisien. Terlepas dari kekurangannya, metode *solvent cast* masih menjadi metode yang diminati di kalangan peneliti karena mudahnya teknik yang digunakan, tidak membutuhkan peralatan khusus dan kualitas *film* yang dihasilkan tidak dapat diperoleh dengan metode lain (Kong et al, 2015).

2.7 Karakterisasi Material Biokomposit

Pada penelitian ini karakterisasi biokomposit dilakukan pada pengujian tarik dan morfologi dengan menggunakan teknik SEM.

2.7.1 Pengujian Tarik

Sifat mekanik dari suatu material menjadi hal yang perlu diperhitungkan dalam dunia desain teknik, oleh karena itu diperlukan adanya pengujian pada material tersebut. Pengujian tarik merupakan salah satu karakterisasi material yang penting untuk material jenis bioplastik. Uji tarik digunakan untuk mengetahui seberapa besar respon yang diterima oleh material saat diberikan beban, misalnya gaya yang menyebabkan suatu material mengalami perubahan struktur. Kekuatan tarik merupakan suatu nilai tegangan maksimum atau *Ultimate Tensile Strength* (UTS) pada kurva tegangan-regangan dari suatu bahan (Callister dan Rethwisch, 2010). Kurva tegangan-regangan yang dihasilkan setiap material umumnya sama yakni mula-mula linier sampai pada titik luluhnya (material kehilangan sifat elastis atau terjadi deformasi plastis), kemudian menjadi tidak linier seiring dengan bertambahnya tegangan lalu grafik mengalami penurunan (setelah mencapai titik UTS) sampai material patah. Daerah linier (lihat gambar 2.15) merupakan daerah di mana bahan masih mampu kembali ke keadaan semula setelah tegangan dihilangkan.



Gambar 2.15 Kurva tegangan-regangan (Sumber: Callister dan Rethwisch, 2010)

Secara matematis, nilai tegangan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1:

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

dimana: σ = tegangan (MPa)
 F = gaya tarik (N)
 A_0 = luas penampang awal bahan (m²)

(Callister dan Rethwisch, 2010)

Data pertambahan panjang saat pengujian, selanjutnya digunakan untuk menentukan regangan. Secara matematis, nilai regangan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2:

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

dimana: ε = regangan (%)
 Δl = perubahan panjang (m)

l_0 = panjang mula-mula (m)

(Callister dan Retchwisch, 2010)

Selanjutnya data tegangan dan regangan dapat digunakan untuk mencari modulus elastisitas. Secara matematis, nilai modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3:

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

dimana: E = modulus elastisitas (GPa)

σ = tegangan (MPa)

ε = regangan (%)

(Callister dan Retchwisch, 2010)

Ultimate Tensile Strength (UTS) merupakan tegangan tarik maksimum sebelum material uji putus dan menandakan akhir dari pertambahan panjang serta awal dari patahan. Secara matematis, nilai UTS dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.4:

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

dimana: σ_u = kekuatan tarik maksimum (MPa)

F_{maks} = beban maksimum (N)

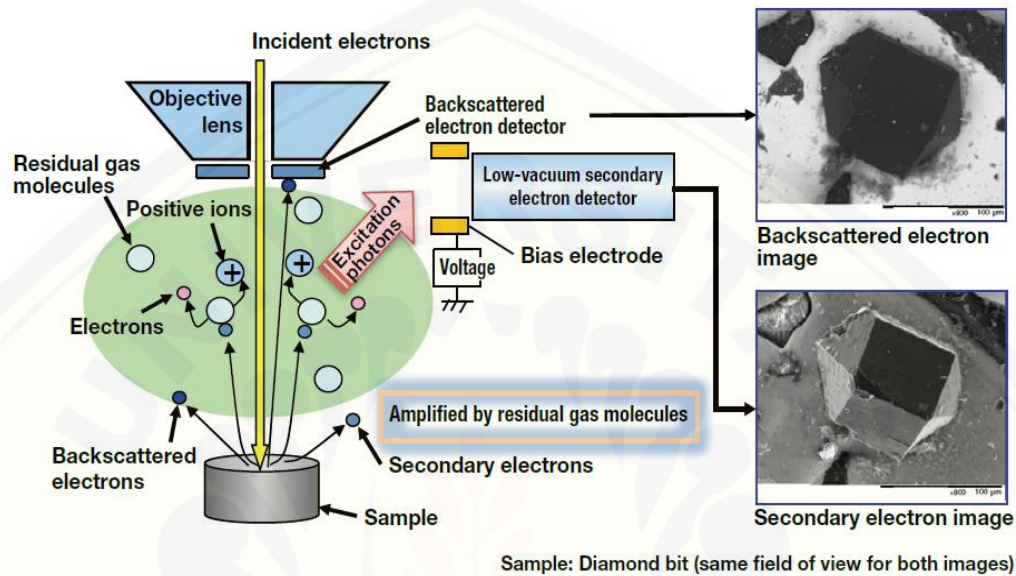
A_0 = luas penampang (m^2)

(Sari, 2018)

2.7.2 Pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Scanning Electron Microscopy merupakan sebuah mikroskop elektron yang memiliki tujuan untuk menganalisa kondisi suatu permukaan material. Pada kasus menganalisa kegagalan pada suatu material, umumnya pengamatan dengan menggunakan SEM lebih dipilih karena memiliki resolusi dan *depth of field* yang jauh lebih baik daripada mikroskop optik. Menurut Callister dan Rethwisch (2010), SEM dapat menampilkan informasi lebih detail mengenai terjadinya perubahan struktural permukaan suatu material yang mengalami perpatahan (*fracture*) setelah dilakukan pengujian mekanik, sehingga penyebab perpatahan material dapat diidentifikasi. Pengujian SEM pada komposit dilakukan untuk menganalisa

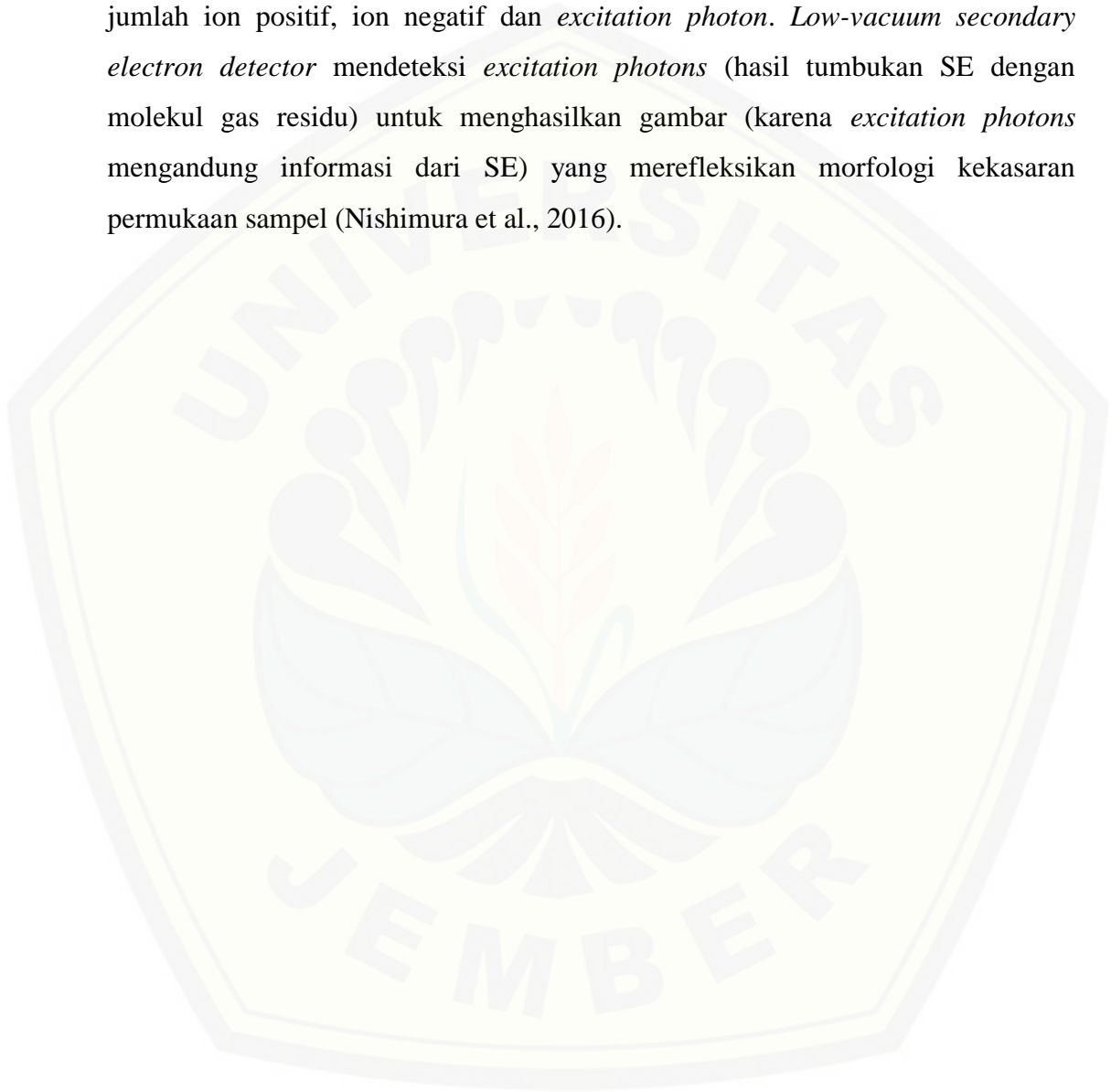
hubungan antar molekul (matriks dengan serat) dan mengetahui penyebab kegagalan saat dilakukan uji material (Porras et al., 2016). 2010). Pada penelitian ini alat SEM yang digunakan yaitu merek Hitachi model TM3030Plus dengan diagram skematik kerja sebagai berikut:



Gambar 2.16 Diagram skematik pencitraan dan deteksi SEM Hitachi model TM3030Plus (Sumber: Nishimura et al., 2016)

SEM Hitachi TM3030Plus merupakan mikroskop elektron yang memungkinkan kemudahan pada proses pengamatan dan analisa tanpa melakukan preparasi spesimen uji karena dapat bekerja dalam keadaan *low-vacuum* dengan elektron sekunder (SE) (Nishimura et al., 2016). Pada *high-vacuum* SEM konvensional, kondisi *low-vacuum* mengakibatkan energi dari SE sangat kecil (~ 10 eV atau kurang), SE dengan mudah kehilangan energi melalui tumbukan dengan molekul gas residu dan gagal mencapai *detector*. Sehingga pengamatan dalam kondisi *low-vacuum*, *backscattered electron* (BSE) terdeteksi sebagai sinyal yang digunakan untuk membentuk gambar. Dengan fitur *low-vacuum secondary electron detector* pada SEM Hitachi TM3030Plus, hal ini memungkinkan pengamatan elektron sekunder berlangsung dalam keadaan *low-vacuum*. Elektron sekunder yang dipancarkan dari sampel dipercepat (*accelerated*) oleh medan listrik dari *bias electrode* yang ditempatkan dekat dengan *detector*; kemudian elektron sekunder

tersebut bertumbukan dengan molekul gas residu, memisahkan molekul-molekul tersebut menjadi ion positif dan negatif dan memancarkan *excitation photons*. Karena adanya percepatan, proses pemisahan molekul-molekul tersebut terjadi secara berulang-ulang sehingga menghasilkan peningkatan eksponensial pada jumlah ion positif, ion negatif dan *excitation photon*. *Low-vacuum secondary electron detector* mendeteksi *excitation photons* (hasil tumbukan SE dengan molekul gas residu) untuk menghasilkan gambar (karena *excitation photons* mengandung informasi dari SE) yang merefleksikan morfologi kekasaran permukaan sampel (Nishimura et al., 2016).



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode eksperimental. Eksperimen yang dilakukan meliputi proses pembuatan dan pengujian spesimen biokomposit PLA dengan pengaruh perlakuan alkalisasi dengan penambahan fraksi massa 1%, 2% dan 3%. Penelitian ini dimulai dari studi literatur, *trial and error*, pembuatan spesimen dan pengujian spesimen.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian yang dilakukan meliputi 2 (dua) kegiatan utama yaitu, proses pembuatan dan pengujian biokomposit. Proses pembuatan biokomposit dilakukan di Laboratorium Uji Material, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Untuk proses pengujian biokomposit dilakukan di 2 (dua) lokasi berbeda. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Fisika Bahan, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jember. Pengamatan SEM dilakukan di Laboratorium Biosains, Politeknik Negeri Jember. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Januari 2020 sampai dengan bulan Juni 2020. Berikut rincian kegiatan penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
Studi Literatur	■	■				
Persiapan Alat Bahan dan <i>Trial Error</i>		■	■	■		
Pembuatan Spesimen				■	■	
Pengujian Spesimen					■	■

3.3 Sumber Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer karena data tersebut diperoleh langsung dari hasil eksperimen. Jenis data yang diperoleh ada 2 (dua) yaitu, data kuantitatif berupa data uji tarik dan data kualitatif berupa

visualisasi hasil pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada biokomposit.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini yaitu fraksi massa serbuk daun sirih dengan dan tanpa perlakuan alkalisasi. Variasi fraksi massa serbuk yang digunakan sebagai bahan pengisi biokomposit pada penelitian ini adalah 1%, 2% dan 3%.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah kekuatan tarik dan morfologi. Kekuatan tarik dalam penelitian ini didefinisikan sebagai kemampuan maksimum biokomposit dalam mempertahankan kondisinya terhadap gaya tarik yang diberikan hingga biokomposit mengalami deformasi. Pengamatan morfologi dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dalam penelitian ini digunakan untuk menganalisa kondisi bahan setelah dilakukan pengujian tarik.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan. Variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- a) Durasi alkalisasi selama 3 jam pada temperatur ruangan;
- b) Durasi pengeringan daun selama 24 jam menggunakan oven dengan temperatur 40 °C;
- c) Durasi pelarutan PLA di dalam kloroform selama 120 menit-0 rpm;
- d) Durasi pengadukan campuran biokomposit selama 15 menit-150 rpm;
dan
- e) Durasi pelepasan gelembung pada campuran selama 5 menit.

3.5 Alat dan Bahan

Pada bagian ini akan dijelaskan tentang alat dan bahan yang dibutuhkan selama penelitian.

3.5.1 Alat

a. Peralatan yang digunakan pada proses pembuatan biokomposit

1) *Hotplate and Magnetic Stirrer*

Spesifikasi *hotplate and magnetic stirrer* yang digunakan adalah sebagai berikut:

merek	: Max Blend seri Vape Vapor 100% VG
daya	:50 W dan 34 W
temperatur maksimum	: 110 °C
tegangan	: 220 V – 50/60 Hz
kapasitas maksimum	: 5 L (air)



Gambar 3.1 Max Blend seri Vape Vapor 100% VG

2) Neraca Digital

Neraca Digital ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

merek	: DSC
model	: 107
ketelitian	: 0,01 g
kapasitas timbangan	:500 g
dimensi	: 10 x 12 x 2 cm



Gambar 3.2 Neraca digital DSC-107

3) *Hand Grinder-Blender*

Hand grinder-blender yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Merek	: Oxone
Model	: OX-853
Kapasitas maksimum	: 300 mL
Konsumsi daya	: 250 W
Level pengatur kecepatan	: -



Gambar 3.3 *Hand grinder-blender* Oxone OX-853

4) *Mesh*

Mesh digunakan untuk menyeleksi ukuran partikel serbuk daun sirih. *Mesh* yang digunakan memiliki ukuran 80 atau 177 μm .



Gambar 3.4 Saringan dengan ukuran *Mesh* 80 (177 μm)

5) *pH-Fix Indicator Strips*

pH-Fix indicator strips digunakan untuk mengukur derajat keasaman daun sirih setelah proses alkalisasi. *pH-Fix indicator strips* yang digunakan produksi Macherey-Nagel model MN 1911.



Gambar 3.5 *pH-Fix Indicator Strips* MN 1911

6) Plastik *Ziplock*

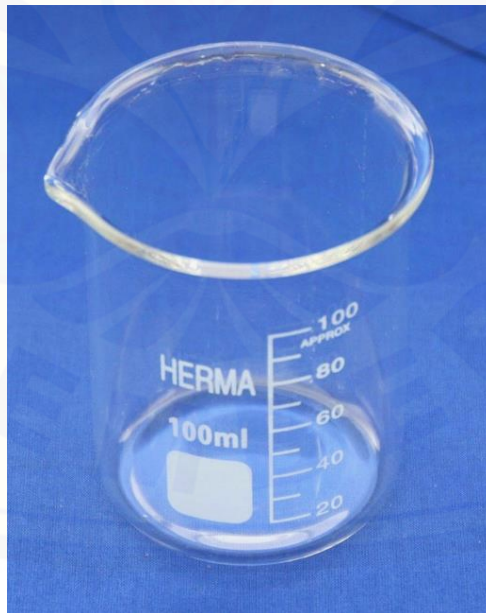
Plastik *ziplock* dengan ukuran 30 x 40 cm digunakan sebagai media pengeringan biokomposit setelah proses *casting*. Plastik *ziplock* digunakan untuk memperlambat laju penguapan kloroform saat proses pengeringan. Dengan melambatnya laju penguapan tersebut, permukaan biokomposit yang terbentuk akan lebih halus.



Gambar 3.6 Plastik ziplock 30 x 40 cm

7) *Beaker Glass*

Beaker Glass merek Herma dengan kapasitas 100 mL digunakan sebagai wadah dalam proses pembuatan biokomposit.



Gambar 3.7 *Beaker glass* Herma 100 mL

8) Cetakan Biokomposit

Kaca dengan dimensi 160 x 75 x 3 mm digunakan sebagai cetakan biokomposit.



Gambar 3.8 Cetakan biokomposit

9) *Digital Photo Tachometer*

Tachometer model DT-2234C⁺ digunakan untuk mengontrol putaran/menit stirrer saat proses pengadukan campuran biokomposit.



Gambar 3.9 *Digital photo tachometer* DT-2234C⁺

10) Aluminium Foil

Aluminium foil digunakan sebagai penutup *beaker glass* pada saat proses pelarutan PLA dan pengadukan biokomposit untuk menghambat penguapan kloroform.

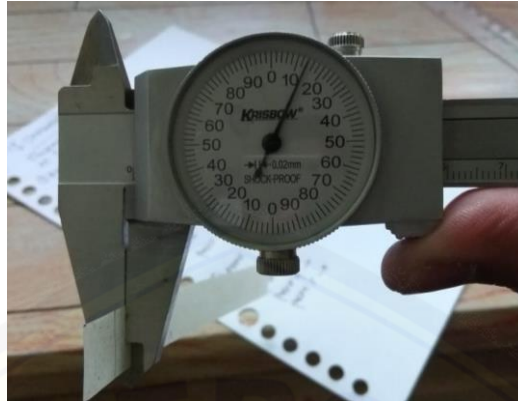
11) Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur ketebalan dan lebar pada 5 titik berbeda dari setiap spesimen setelah dilakukan pemotongan per-ASTM D-882.

Jangka sorong yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

merek : Krisbow

ketelitian : 0,02 mm



Gambar 3.10 Jangka sorong

12) *Oven Toaster*

Oven toaster digunakan untuk mengeringkan daun yang telah dialkalisasi.

Oven toaster yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

merek	: KLAZ
temperatur maksimum	: 230 °C
pengatur waktu	: <i>stay on</i> dan 0 – 15 menit
kapasitas	: 9 L
dimensi	: 35,8 x 28,4 x 20,4cm
daya	: 1200 W

Gambar 3.11 *Oven toaster KLAZ red series*

b. Peralatan yang digunakan pada proses pengujian biokomposit

1) Mesin Uji Tarik (*Tensile Testing Machine HT-2328*)

Alat ini berfungsi untuk mengetahui kekuatan tarik suatu bahan. Alat uji tarik yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

merek	: Hung Ta tipe 2328
-------	---------------------

kapasitas maksimal : 2 kN
range kecepatan : 0,005 ~ 500 atau 1000 mm/menit
dimensi : 56 x 50 x 126 cm



Gambar 3.12 *Tensile Testing Machine* HT-2328

2) SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Alat ini berfungsi untuk mengamati ikatan, dispersi serbuk pada matriks dan ada tidaknya rongga yang terbentuk. Mikroskop elektron yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

merek : SEM Hitachi model TM3030Plus
pembesaran : 15 – 120000 kali
kondisi pengamatan : 5 kV – 15 kV
mode pengamatan : BSE / SE / Mix



Gambar 3.13 *Scanning electron microscopy* Hitachi model TM3030Plus

3.5.2 Bahan

a. Bahan-bahan yang digunakan pada proses pembuatan biokomposit

1) *Poly(lactic acid)* (PLA)

PLA yang digunakan pada penelitian ini yaitu PLA produksi Miyoshi Oil & Fat Co., Ltd.; PL-2000 dengan densitas 1,26 g/cm³.



Gambar 3.14 Biji *Poly(lactic acid)* PL-2000

2) Serbuk daun sirih

Serbuk daun sirih diperoleh dari daun sirih yang berada di sekitar wilayah Kabupaten Jember, Jawa Timur. Daun sirih yang digunakan memiliki deskripsi sebagai berikut:

asal tanaman : Jember, Jawa Timur
genus : *Piper*
spesies : *betle*
nama binomial : *Piper betle* Linn.



Gambar 3.15 Serbuk daun sirih (*treated* dan *untreated*)

3) Natrium Hidroksida (NaOH)

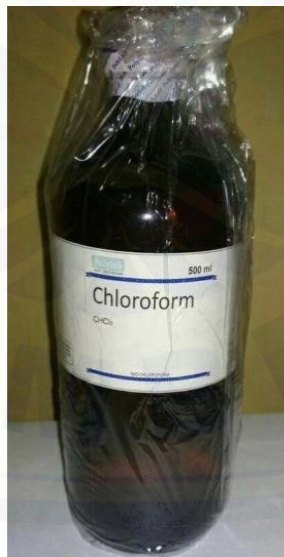
NaOH digunakan untuk proses alkalisasi daun sirih. Natrium hidroksida yang digunakan memiliki kelas *pro analys*, diperoleh dari CV. Makmur Sejati.



Gambar 3.16 NaOH

4) Kloroform (CHCl_3 - 99%)

Kloroform digunakan sebagai pelarut (*solvent*) PLA. Kloroform yang digunakan memiliki kelas *pro analys*, diperoleh dari CV. Makmur Sejati.



Gambar 3.17 Kloroform

5) Akuades

Akuades digunakan untuk membuat larutan NaOH 7% (35 g NaOH, 500 mL akuades). Akuades yang digunakan diperoleh dari CV. Makmur Sejati.



Gambar 3.18 Akuades

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Langkah Pembuatan Spesimen

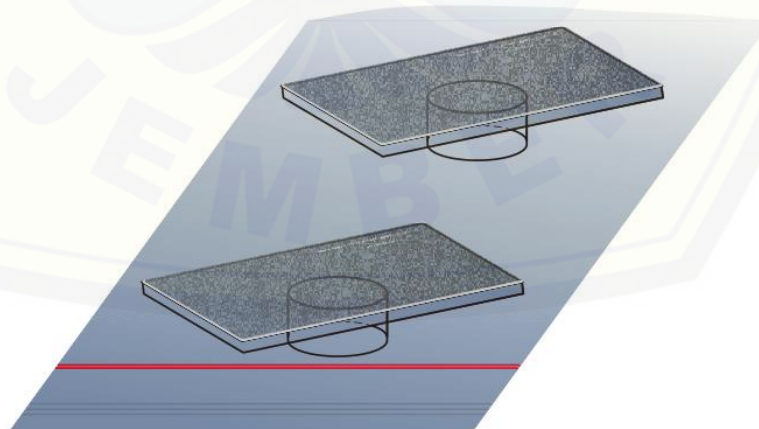
a. Persiapan Serbuk Daun Sirih (*Piper betle* L.)

- 1) Bersihkan daun sirih menggunakan air mengalir.
- 2) Keringkan daun sirih yang telah bersih di bawah sinar matahari langsung selama 3-5 hari (sampai daun terlihat kering).
- 3) Sebanyak 10 g daun sirih kering dialkalisasi dengan larutan NaOH 7% (campuran 35 g NaOH dan 500 mL akuades) selama 3 jam pada temperatur ruangan. Setelah 3 jam, bilas menggunakan air mengalir untuk meneteralkan derajat keasaman daun (sampai pH 7). Setelah proses pembilasan, daun dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam dengan temperatur 40 °C.
- 4) Selanjutnya dilakukan proses penggilingan menggunakan *hand grinder-blender* untuk memperoleh bentuk serbuk (daun sirih yang tidak dialkalisasi langsung ke tahap ini).
- 5) Kemudian seleksi serbuk menggunakan *mesh* 80 untuk mendapatkan ukuran serbuk yang tidak lebih dari 177 μm .

b. Proses Pembuatan Biokomposit

- 1) Metode yang digunakan yaitu metode *solvent cast-film*. Kloroform digunakan sebagai zat pelarut PLA sebelum proses pencampuran (*blending*) serbuk daun sirih. Gunakan 25 mL kloroform untuk semua jenis variasi biokomposit.

- 2) Variasi fraksi massa serbuk yang digunakan yaitu 1%, 2% dan 3% dari massa total campuran PLA dengan serbuk daun sirih sebesar 5 g.
- 3) Persiapkan serbuk tanpa perlakuan alkalisasi untuk digunakan sebagai perbandingan nilai kekuatan tarik dan morfologi patahan biokomposit.
- 4) Larutkan bijih PLA menggunakan kloroform di dalam *beaker glass* selama 120 menit. Gunakan alumunium foil sebagai penutup untuk menghambat penguapan kloroform. Proses pelarutan dilakukan pada temperatur ruangan.
- 5) Setelah 120 menit, masukkan serbuk daun sirih yang telah dialkalisasi dengan fraksi massa yang telah ditentukan. Lakukan proses pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit dengan kecepatan putar pengaduk 150 rpm. Proses pengadukan dilakukan pada temperatur ruangan.
- 6) Setelah 15 menit, buka tutup alumunium foil dan diamkan campuran biokomposit selama 5 menit untuk melepaskan gelembung udara yang terbentuk selama proses pengadukan (gelembung udara terangkat bersamaan dengan proses penguapan kloroform).
- 7) Lakukan pengulangan pada langkah 4, 5 dan 6 menggunakan serbuk tanpa perlakuan alkalisasi.
- 8) Tuangkan (*casting*) campuran biokomposit ke cetakan.
- 9) Keringkan biokomposit pada suhu ruangan selama 24 jam di dalam plastik *ziplock*.



Gambar 3.19 Ilustrasi proses pengeringan biokomposit

- 10) Potong spesimen sesuai standar ASTM D-882.
- 11) Spesimen biokomposit siap untuk dianalisis.

Tabel 3.2 Komposisi spesimen biokomposit

No.	Nama Spesimen	<i>Solvent</i> (kloroform (mL))	PLA (g)	Serbuk (g)	Alkalisasi
1	BK0%	25	5,00	-	-
2	BK1%-U	25	4,95	0,05	<i>Untreated</i>
3	BK2%-U	25	4,90	0,10	<i>Untreated</i>
4	BK3%-U	25	4,85	0,15	<i>Untreated</i>
5	BK1%-T	25	4,95	0,05	<i>Treated</i>
6	BK2%-T	25	4,90	0,10	<i>Treated</i>
7	BK3%-T	25	4,85	0,15	<i>Treated</i>

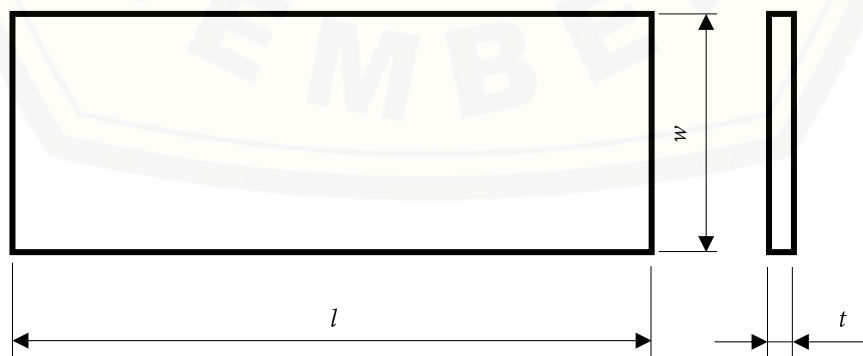
3.6.2 Karakterisasi Spesimen Biokomposit

Ada 2 (dua) metode pengujian untuk biokomposit PLA berpenguat serbuk daun sirih pada penelitian ini, yaitu:

1) Pengujian Tarik

Uji tarik yang dilakukan menggunakan standar ASTM D-882. Dimana dalam proses pengujiannya menggunakan mesin uji tarik merek Hung Ta tipe 2328 yang sudah otomatis mengeluarkan nilai pembebanan dan elongasi di setiap bahannya. Pengujian tarik ini bertujuan untuk mengetahui seberapa kuat spesimen biokomposit menerima beban maksimum yang diberikan. Spesimen biokomposit yang telah dipotong sesuai standar ASTM D-882 kemudian dilakukan uji tarik dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

a) Siapkan spesimen sesuai standar ASTM D-882.



Gambar 3.20 Spesimen uji tarik per-ASTM D-882 (Sumber: ASTM D-882, 2002)

Tabel 3.3 Perencanaan dimensi spesimen

Ketentuan ASTM D-882	Dimensi Spesimen (mm)
Ketebalan, $t < 1$ mm	< 1
Lebar, $5 \text{ mm} \leq w \leq 25 \text{ mm}$	12
<i>Gauge length</i> , $l = 100 \text{ mm}$ atau 250 mm	Panjang = 130

(Sumber: ASTM D-882, 2002)

- b) Letakkan spesimen pada *grip* mesin uji tarik untuk dilakukan pengujian tarik.
- c) Masukkan data dimensi spesimen pada komputer.
- d) Lakukan pengujian tarik sampai biokomposit patah.
- e) Lakukan 5 kali pengulangan pada setiap jenis spesimen yang sama
- f) Catat dan plot data pengujian tarik dalam bentuk grafik.

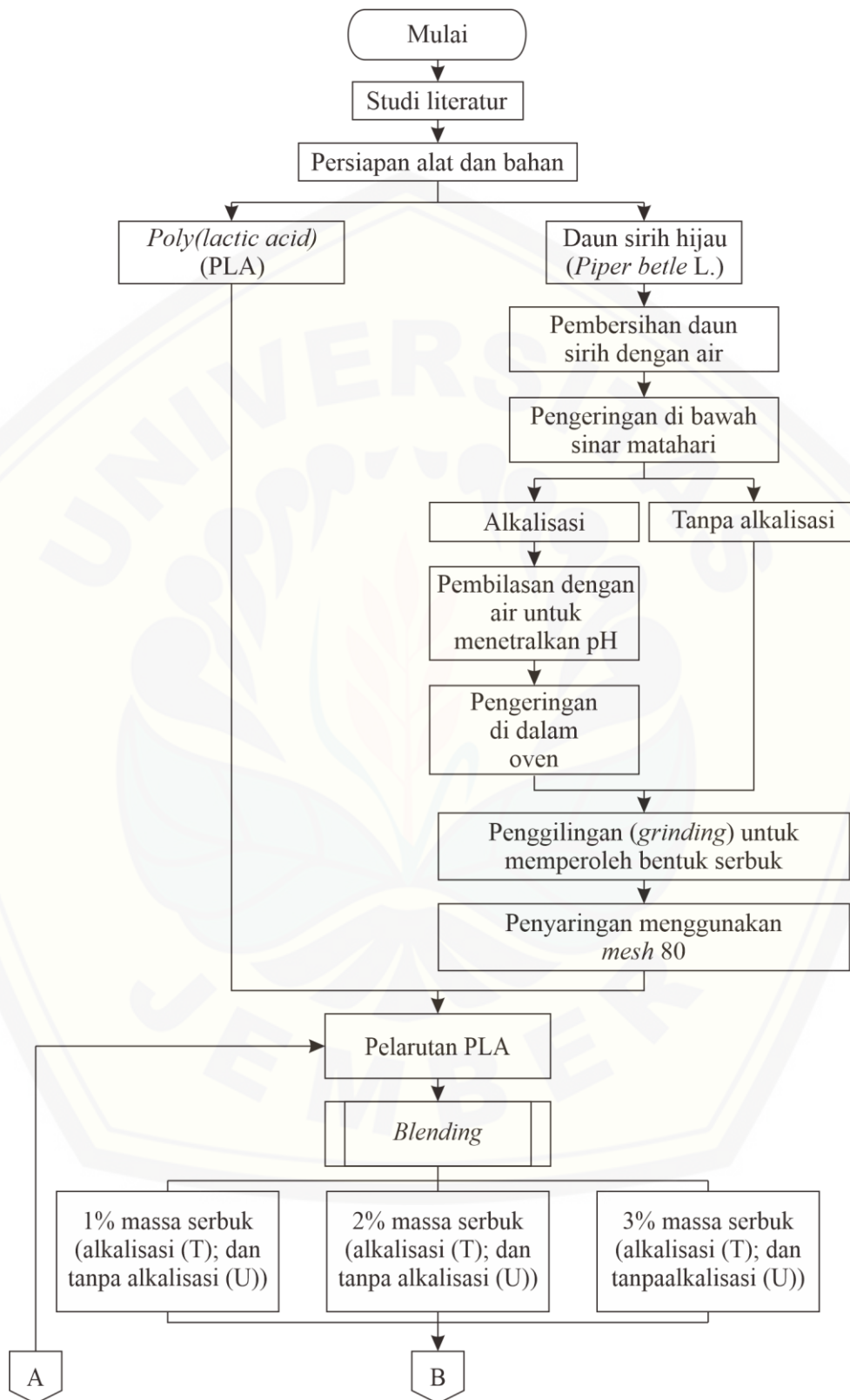
2) Pengamatan Morfologi

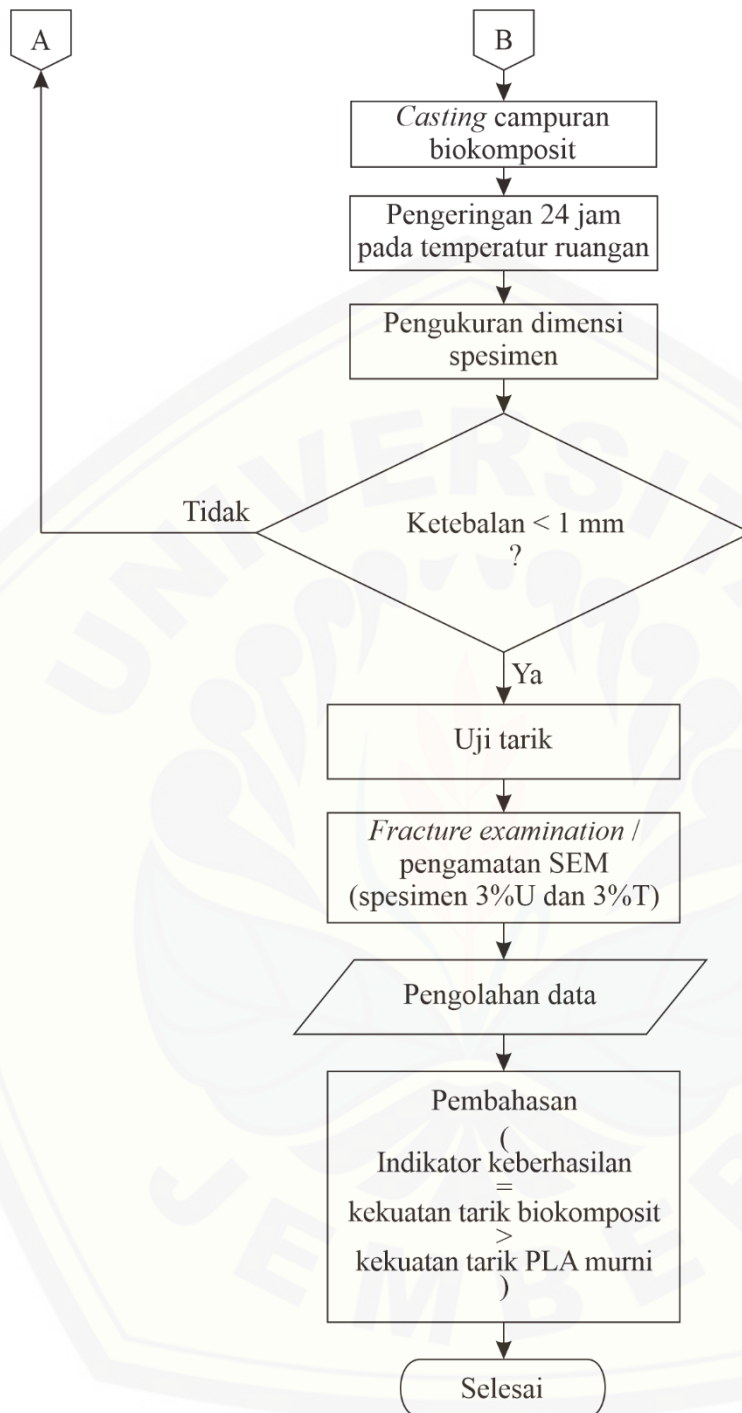
Pengamatan morfologi biokomposit menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) Hitachi model TM3030Plus pada tegangan 5kV, keadaan *low vacuum* dan menggunakan sinyal *secondary electron* untuk proses pencitraan. Pengamatan SEM dilakukan pada spesimen BK3%-U dan BK3%-T. Pengamatan SEM ini dilakukan untuk melihat visualisasi kondisi internal bahan setelah dilakukan pengujian tarik (*fracture examination*) dan mengamati hubungan antara matriks dengan pengisi pada biokomposit dengan dan tanpa perlakuan alkalisasi. Spesimen biokomposit yang telah dilakukan pengujian tarik kemudian dilakukan pengamatan SEM dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a) Proses pengamatan dimulai dengan pemotongan pada lokasi patahan biokomposit setelah pengujian tarik dengan dimensi 5 mm x 12 mm.
- b) Letakkan sampel di atas *stage* (meja pengamatan).
- c) Masukkan *stage* ke dalam SEM Hitachi model TM3030Plus.
- d) Sampel siap diamati dengan perbesaran yang diinginkan.
- e) Tangkap gambar pada lokasi yang diamati.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan urutan kerja seperti pada diagram alir di bawah ini:





Gambar 3.21 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

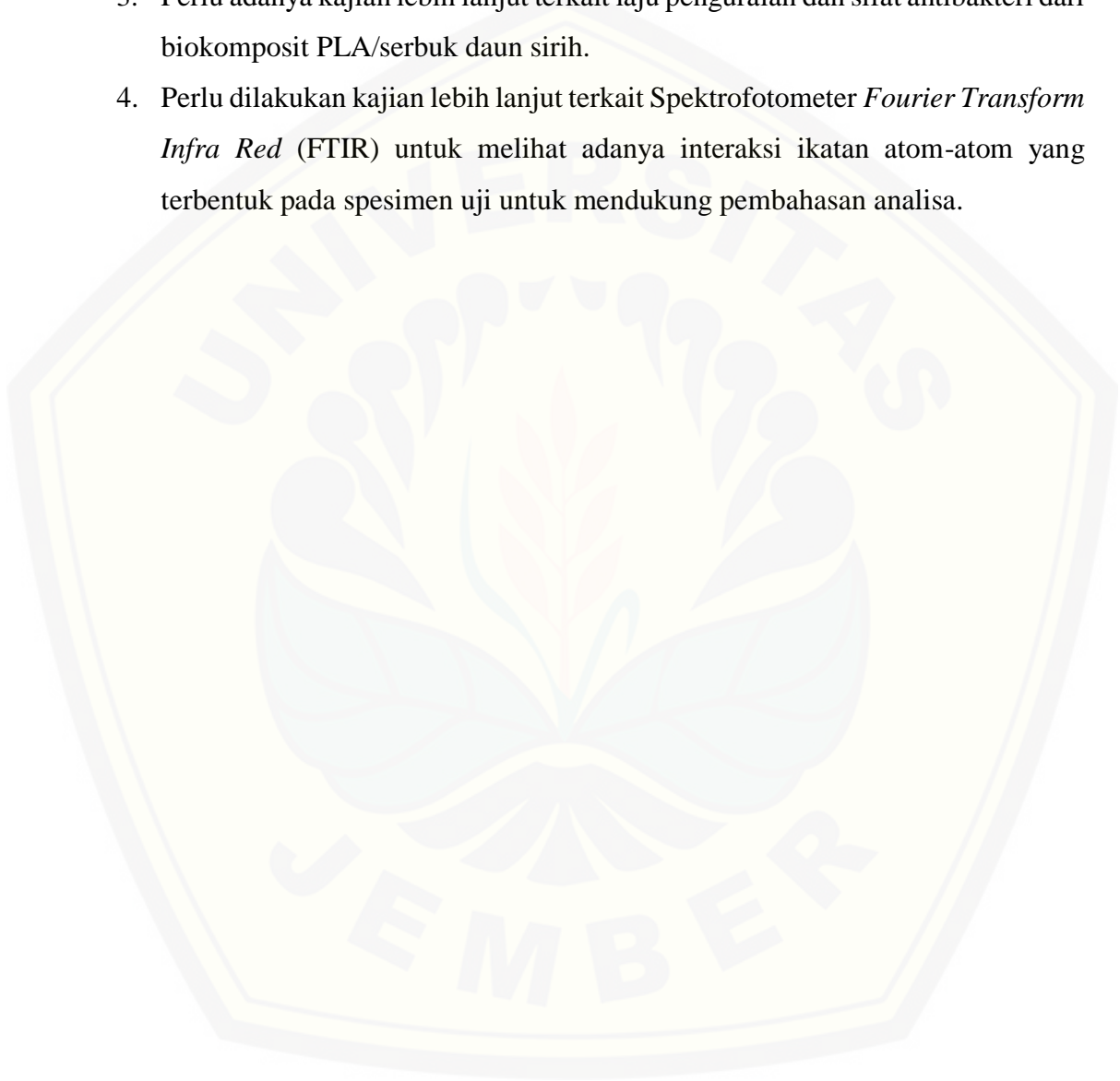
Berdasarkan hasil penelitian pengaruh perlakuan alkalisasi dengan penambahan fraksi massa serbuk daun sirih terhadap karakteristik sifat tarik biokomposit PLA, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Penambahan fraksi massa serbuk (1%, 2% dan 3%) pada matriks PLA berpengaruh terhadap sifat tarik biokomposit. Pada grafik hasil pengujian dapat dilihat kekuatan tarik dan modulus elastisitas biokomposit meningkat seiring penambahan fraksi massa serbuk daun sirih. Di mana nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas tertinggi didapati pada biokomposit dengan fraksi massa serbuk 3%, yakni sebesar 19,48 MPa; 118,51 MPa (serbuk tanpa alkalisasi/*untreated*) dan 26,34 MPa; 166,46 MPa (serbuk alkalisasi/*treated*). Selain itu, perlakuan alkalisasi pada serbuk juga mempengaruhi kekuatan tarik biokomposit. Pada grafik hasil pengujian tarik, biokomposit dengan serbuk alkalisasi memiliki nilai kekuatan tarik 27%, 30%, dan 35% lebih tinggi dibanding nilai kekuatan tarik biokomposit dengan serbuk tanpa alkalisasi. Di sisi lain, *elongation at break* menunjukkan hasil sebaliknya seiring dengan penambahan fraksi massa serbuk daun sirih pada biokomposit. Meskipun demikian, serbuk dengan perlakuan alkalisasi menunjukkan *elongation at break* lebih baik dibandingkan dengan serbuk tanpa perlakuan alkalisasi.
2. Pada pengamatan SEM terlihat bahwa perlakuan alkalisasi menyebabkan ikatan yang terbentuk antara serbuk daun sirih dengan matriks PLA menjadi lebih baik. Hal itu diindikasikan dengan ditemukannya sedikit rongga yang terbentuk dan kekasaran permukaan pada patahan biokomposit PLA dengan serbuk yang diberi perlakuan alkalisasi.

5.2 Saran

Pada penelitian yang telah dilaksanakan, saran yang peneliti sampaikan yang mungkin dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya proses penghalusan daun sirih menggunakan peralatan yang lebih mendukung untuk meningkatkan efisiensi kerja.
2. Saat proses fabrikasi biokomposit, sebaiknya menggunakan masker untuk menghindari uap yang dihasilkan kloroform.
3. Perlu adanya kajian lebih lanjut terkait laju penguraian dan sifat antibakteri dari biokomposit PLA/serbuk daun sirih.
4. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut terkait Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk melihat adanya interaksi ikatan atom-atom yang terbentuk pada spesimen uji untuk mendukung pembahasan analisa.



DAFTAR PUSTAKA

- Abral, H., R. S. Satria, M. Mahardika, F. Hafizulhaq, J. Affi, M. Asrofi, D. Handayani, S. M. Sapuan, I. Stephane, E. Sugiarti, and A. N. Muslimin. 2019. Comparative study of the physical and tensile properties of Jicama (*Pachyrhizus erosus*) starch film prepared using three different methods. *Starch – Stärke*. 71, 1800224.
- Alam, A. K. M. M., M. D. H. Beg, D. M. R. Prasad, M. R. Khan, dan M. F. Mina. 2012. Structures and performances of simultaneous ultrasound and alkali treated oil palm empty fruit bunch fiber reinforced poly(lactic acid) Composites. *Elsevier, Composites: Part A*. 43: 1921 – 1929.
- Ashok, B., S. Naresh, K. O. Reddy, K. Madhukar, J. Cai, L. Zhang, dan A. V. Rajulu. 2014. Tensile and thermal properties of poly(lactic acid)/Egshell powder composite films. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*. 19(3): 245 – 255.
- Asrofi, M., H. Abral, Y. K. Putra, S. M. Sapuan, dan H. Kim. 2018. Effect of duration of sonication during gelatinization on properties of tapioca starch water hyacinth fiber biocomposite. *Elsevier, Internatonal Journal of Biological MACromolecules*. 108: 167 – 176
- ASTM D-5488. 1994. Standard Terminology of Environmental Labeling of Packaging Materials and Packages. United States of America: ASTM International.
- ASTM D-882. 2002. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. United States of America: ASTM International.
- Atiqah, A., M. Jawaid, M. R. Ishak, dan S. M. Sapuan. 2017. Effect of alkali and silane treatments on mechanical and interfacial bonding strength of sugar palm fibers with thermoplastic polyurethane. *Journal of Natural Fibers*.
- Auras, R., B. Harte, dan S. Selke. 2004. An overview of polylactides as packaging materials. *Macromolecular Bioscience*. 4: 835 – 864.

- Avérous, L. 2004. Biodegradable multiphase system based on plasticized starch: A Review. *Journal of Macromolecular Science: Part C – Polymer Review*. C44 (3): 231 – 174.
- Budtova, T., dan P. Navard. 2016. Cellulose in NaOH – Water Based Solvents: a review. *Cellulose, Springer Verlag*. 23 (1), pp.5-55.
- Callister, W. D., dan D. G. Rethwisch. 2007. *Materials Science and Engineering: An Introduction (7th Edition)*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Callister, W. D., dan D. G. Rethwisch. 2010. *Materials Science and Engineering: An Introduction (8th Edition)*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Castro-Aguirre, E., F. Iñiguez-Franco, H. Samsudin, X. Fang, dan R. Auras. 2016. Poly(lactic acid) – Mass production, processing, industrial applications, and end of life. *Elsevier: Advanced Drug Delivery Reviews*. 107: 333 – 366.
- Debeli, D. J., Z. Qin, dan J. Guo. 2017. Study on the pre-treatment, physical and chemical properties of ramie fibers reinforced poly(lactic acid) (PLA) biocomposite. *Journal of Natural Fibers*.
- Dong, Y., A. Ghataura, H. Takagi, H. J. Haroosh, A. N. Nakagaito, dan K. Lau. 2014. Polylactic acid (PLA) biocomposites reinforced with coir fibers: evaluation of mechanical performance and multifungtional properties. *Elsevier, Composites: Part A*. 63: 76 – 84.
- Guan, X. 2012. Fabrication of Poly-lactic acid (PLA) Composite Films and Their Degradation Properties. *Tesis*. Toledo: Bioengineering The University of Toledo.
- Haafiz, M. K. M., A. Hassan, Z. Zakaria, I. M. Inuwa, M. S. Islam, dan M. Jawaid. 2013. Properties of polylactic acid composites reinforced with oil palm biomass microcrystalline cellulose. *Elsevier, Carbohydrate Polymers*. 98: 139 – 145.

- Hutajulu, A.F. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Material Biokomposit Polylactic Acid (PLA) Berpenguat Serbuk Tulang Sapi Sebagai Kandidat Bahan Tulang Buatan. *Skripsi*. Surabaya: Departemen Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Jambeck, J. R., R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, dan K. L. Law. 2015. Marine Pollution: Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science: Research Reports*. 347: 768 – 771.
- Kong, I., K. Y. Tshai, dan M. E. Hoque. 2015. Manufacturing of natural fibre-reinforced polymer composites by solvent casting method. *Springer*. 331 – 349.
- Künkel, A., J. Becker, L. Borger, J. Hamprecht, S. Koltzenburg, R. Loos, M. B. Schick, K. Schlegel, C. Sinkel, G. Skupin, dan M. Yamamoto. 2016. *Polymers, Biodegradable*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- Lasprilla, A. J. R., G. A. R. Martinez, B. H. Lunelli, A. L. Jardini, dan R. M. Filho. 2012. Poly-lactic acid synthesis for application in biomedical devices – A review. *Elsevier: Biotechnology Advances*. 30: 321 – 328.
- Lim, L. –T., R. Auras, dan M. Rubino. 2008. Processing technologies for poly(lactic acid). *Elsevier: Progress in Polymer Science*. 33: 820 – 852.
- Lu, T., S. Liu, M. Jiang, X. Xu, Y. Wang, Z. Wang, J. Gou, D. Hui, dan Z. Zhou. 2014. Effects of modifications of bamboo cellulose fibers on improved mechanical properties of cellulose reinforced poly(lactic acid) composites. *Elsevier, Composites: Part B*. 62: 191 – 197.
- Ng, Y. R., S. N. Shahid, dan N. I. Nordin. 2018. The effect of alkali treatment on tensile properties of coir/polypropylene biocomposite. *Materials Science and Engineering*. 368.
- Nishimura, M., K. Ichikawa, dan M. Ajima. 2016. Features and application of Hitachi tabletop microscope TM3030Plus. *Technical Explanation*. 7.

- Paramawati, R., C. H. Wijaya, S. S. Achmadi, dan Suliantari. 2007. Evaluasi ciri mekanis dan fisis bioplastik dari campuran poli(asam laktat) dengan polisakarida. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 12 (2): 75 – 83.
- Pawar, R. P., S. U. Tekale, S. U. Shisodia, J. T. Totre, dan A. J. Domb. 2014. Biomedical applications of poly(lactic acid). *Bentham Science: Recent Patents on Regenerative Medicine*. 4: 40 – 51.
- Porras, A., A. Maranon, dan I. A. Ashcroft. 2016. Thermo-mechanical characterization of *Manicaria saccifera* natural fabric reinforced poly-lactic acid composite lamina. *Elsevier: Composites Part A*. 81: 105 – 110.
- Pradhan, D., K. A. Suri, D. K. Pradhan, dan P. Biswasroy. 2013. Golden heart of the nature: *Piper betle* L.. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 1 (6): 147 – 167.
- Pratiwi, N. P., dan I. W. Muderawan. 2016. Analisis kandungan ekstrak daun sirih hijau (*Piper betle*) dengan GC – MS. *Prosiding Seminar Nasional MIPA*. 304 – 310.
- Pribadi, E. R. 2009. Pasokan dan permintaan tanaman obat indonesia serta arah penelitian dan pengembangannya. *Jurnal Perspektif*. 8 (1): 52 – 64.
- Qian, S., dan K. Sheng. 2017. PLA toughened by bamboo cellulose nanowishkers: Role of silane compatibilization on the PLA bionanocomposite properties. *Elsevier, Composites Science and Technology*. 148: 59 – 69.
- Rajesh, G., A. V. R. Prasad, dan A. V. Gupta. 2015. Mechanical and degradation properties of successive alkali treated completely biodegradable sisal fiber reinforced poly lactic acid composites. *Reinforced Plastics and Composites*. 34 (12): 951 – 961.
- Ramli, S. N. R., S. H. S. M. Fadzullah, dan Z. Mustafa. 2016. The effect of alkaline treatment and fiber length on pineapple leaf fiber reinforced poly lactic acid biocomposites. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*. 79 (4 – 2): 111 – 115.

- Rokbi, M., H. Osmani, A. Imad, dan N. Benseddiq. 2011. Effect of chemical treatment on flexure properties of natural fiber-reinforced polyester composite. *Procedia Engineering*. 10: 2092 – 2097.
- Sari, N. I. 2018. Fabrikasi dan Karakterisasi Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serbuk Limbah Kayu Sengon dan Matriks Asam Poli Laktat (PLA). *Skripsi*. Jember: Jurusan Fisika Universitas Jember.
- Sarnacke, P., dan S. Wildes. 2008. DISPOSABLE BIOPLASTICS, CONSUMER DISPOSABLES AGRICULTURAL S: A Market Opportunity Study. Midland Michigan: Omni Tech International, LTD.
- Septiyanto, R. F., dan A. H. Abdullah. 2016. Perbandingan komposit serat alam dan serat sintesis melalui uji tarik dengan bahan serat jute dan *e-glass*. *Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*. 2 (1): 1 – 11.
- Syafri, E., Jamaluddin, S. Wahono, Irwan, M. Asrofi, N. H. Sari, and A. Fudholi. 2019. Characterization and properties of cellulose microfibrils from water hyacinth filled sago starch biocomposites. *Elsevier, Int. J. Bio. Macromol.* 137: 119 – 125.
- Thuong, N. T., H. T. N. Bich, C. N. Ha Thuc, B. T. P. Quynh, dan L. Van Minh. 2019. Preparation and characterization of Piper Betle Linn. leaf extract incorporated chitosan films as potential active food packaging materials. *Chemistry Select*. 4: 8150 – 8157.
- Wang, F., S. Zhou, M. Yang, Z. Chen, dan S. Ran. 2018. Thermo-mechanical performance of polylactide composites reinforced with alkali-treated bamboo fibers. *MDPI (Polymers)*. 10 (401).
- Wypych, G. 2012. Handbook of Polymers. United States of America and United Kingdom: ChemTec Publishing.
- Yudhyadi, IGNK., dan N. H. Sari. 2013. Analisa kekuatan impact komposit polyester diperkuat serat pandan wangi dengan pengisi serbuk gergaji kayu. *Jurnal Energi dan Manufaktur*. 6 (2): 129 – 134.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengukuran Tebal dan Lebar Biokomposit

Neat PLA

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
1	100	1	12,0	0,10
		2	12,4	0,08
		3	12,1	0,10
		4	12,1	0,13
		5	12,0	0,13
		\bar{X}		12,1

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
2	100	1	12,0	0,13
		2	12,2	0,10
		3	12,0	0,10
		4	12,4	0,10
		5	12,2	0,13
		\bar{X}		12,1

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
3	100	1	12,0	0,10
		2	12,0	0,11
		3	12,2	0,11
		4	12,2	0,09
		5	12,0	0,10
		\bar{X}		12,1

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
4	100	1	12,0	0,12
		2	12,0	0,11
		3	12,0	0,10
		4	12,0	0,10
		5	12,0	0,10
		\bar{X}		12,0

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
5	100	1	12,0	0,09
		2	12,0	0,08
		3	12,0	0,09
		4	12,2	0,10
		5	12,4	0,12
		\bar{X}		12,1

1% Untreated

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
1	100	1	12,2	0,14
		2	12,2	0,18
		3	12,2	0,20
		4	12,2	0,22
		5	12,2	0,26
		\bar{X}		12,2

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
2	100	1	12,0	0,14
		2	12,0	0,20
		3	12,0	0,20
		4	12,0	0,24
		5	12,0	0,22
		\bar{X}	12,0	0,20

\bar{X}	12,1	0,20
-----------	------	------

2% Untreated

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
1	100	1	12,0	0,20
		2	12,0	0,14
		3	12,2	0,14
		4	12,2	0,16
		5	12,4	0,16
		\bar{X}	12,2	0,16

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
3	100	1	12,2	0,14
		2	12,0	0,18
		3	12,0	0,22
		4	12,2	0,23
		5	12,0	0,24
		\bar{X}	12,1	0,20

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
2	100	1	12,0	0,28
		2	12,0	0,24
		3	12,0	0,22
		4	12,0	0,20
		5	12,0	0,18
		\bar{X}	12,0	0,22

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
4	100	1	12,0	0,14
		2	12,0	0,18
		3	12,0	0,22
		4	12,0	0,24
		5	12,0	0,20
		\bar{X}	12,0	0,20

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
3	100	1	12,2	0,18
		2	12,0	0,20
		3	12,0	0,18
		4	12,0	0,19
		5	12,2	0,16
		\bar{X}	12,1	0,18

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
5	100	1	12,0	0,14
		2	12,0	0,18
		3	12,0	0,22
		4	12,2	0,22
		5	12,4	0,22

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
4	100	1	12,0	0,18

		2	12,0	0,16
		3	12,0	0,18
		4	12,2	0,18
		5	12,2	0,18
		\bar{X}	12,1	0,18

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
5	100	1	12,0	0,18
		2	12,0	0,14
		3	12,0	0,21
		4	12,0	0,18
		5	12,0	0,23
		\bar{X}	12,0	0,19

3% Untreated

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
1	100	1	12,0	0,24
		2	12,0	0,24
		3	12,0	0,28
		4	12,0	0,28
		5	12,0	0,28
		\bar{X}	12,0	0,26

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
2	100	1	12,0	0,26
		2	12,0	0,30
		3	12,0	0,34
		4	12,0	0,34
		5	12,0	0,33
		\bar{X}	12,0	0,31

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
3	100	1	12,0	0,22
		2	12,0	0,22
		3	12,0	0,26
		4	12,0	0,28
		5	12,0	0,28
		\bar{X}	12,0	0,25

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
4	100	1	12,0	0,22
		2	12,0	0,28
		3	12,0	0,32
		4	12,0	0,30
		5	12,0	0,30
		\bar{X}	12,0	0,28

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
5	100	1	12,0	0,22
		2	12,0	0,26
		3	12,0	0,28
		4	12,0	0,30
		5	12,0	0,30
		\bar{X}	12,0	0,27

1% Treated

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
1	100	1	12,0	0,20
		2	12,0	0,20
		3	12,0	0,30

		4	12,2	0,19
		5	12,2	0,19
		\bar{X}	12,1	0,22

		2	12,0	0,18
		3	12,0	0,20
		4	12,0	0,20
		5	12,0	0,20
		\bar{X}	12,0	0,19

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
2	100	1	12,0	0,24
		2	12,0	0,24
		3	12,0	0,30
		4	12,0	0,30
		5	12,0	0,28
		\bar{X}	12,0	0,27

2% Treated

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
1	100	1	12,0	0,18
		2	12,0	0,24
		3	12,0	0,20
		4	12,0	0,18
		5	12,0	0,20
		\bar{X}	12,0	0,20

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
3	100	1	12,0	0,16
		2	12,0	0,20
		3	12,0	0,18
		4	12,2	0,16
		5	12,4	0,18
		\bar{X}	12,1	0,18

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
2	100	1	12,0	0,20
		2	12,0	0,18
		3	12,0	0,20
		4	12,0	0,16
		5	12,0	0,14
		\bar{X}	12,0	0,18

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
4	100	1	12,0	0,26
		2	12,2	0,26
		3	12,2	0,26
		4	12,2	0,26
		5	12,2	0,22
		\bar{X}	12,2	0,25

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
3	100	1	12,0	0,18
		2	12,0	0,22
		3	12,0	0,18
		4	12,0	0,20
		5	12,0	0,14
		\bar{X}	12,0	0,18

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
5	100	1	12,0	0,16

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
4	100	1	12,0	0,24
		2	12,0	0,22
		3	12,0	0,26
		4	12,0	0,26
		5	12,0	0,20
		\bar{X}	12,0	0,24

2	100	1	12,0	0,16
		2	12,0	0,14
		3	12,0	0,12
		4	12,0	0,16
		5	12,0	0,16
		\bar{X}	12,0	0,15

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
5	100	1	12,0	0,30
		2	12,0	0,28
		3	12,0	0,30
		4	12,2	0,30
		5	12,0	0,30
		\bar{X}	12,0	0,30

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
3	100	1	12,0	0,16
		2	12,0	0,16
		3	12,0	0,16
		4	12,0	0,16
		5	12,0	0,16
		\bar{X}	12,0	0,16

3% Treated

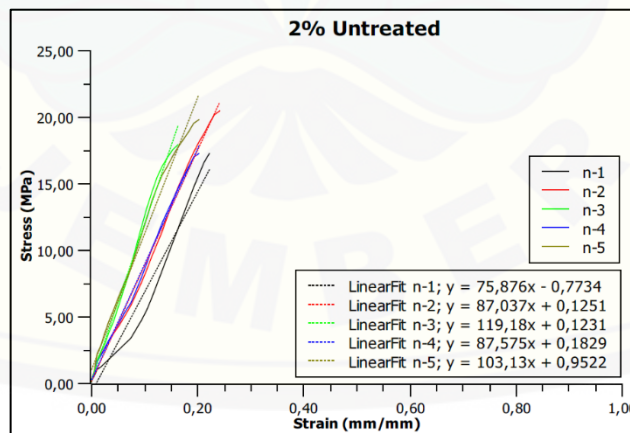
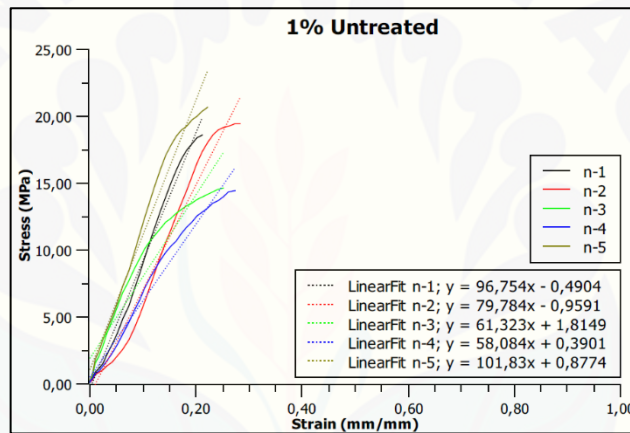
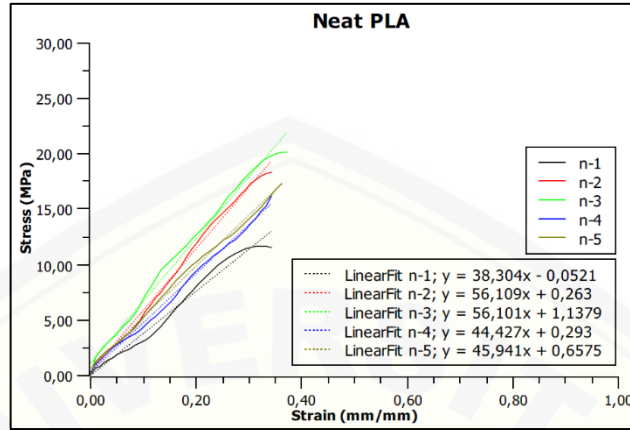
No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
1	100	1	12,0	0,18
		2	12,0	0,20
		3	12,0	0,24
		4	12,0	0,24
		5	12,0	0,19
		\bar{X}	12,0	0,21

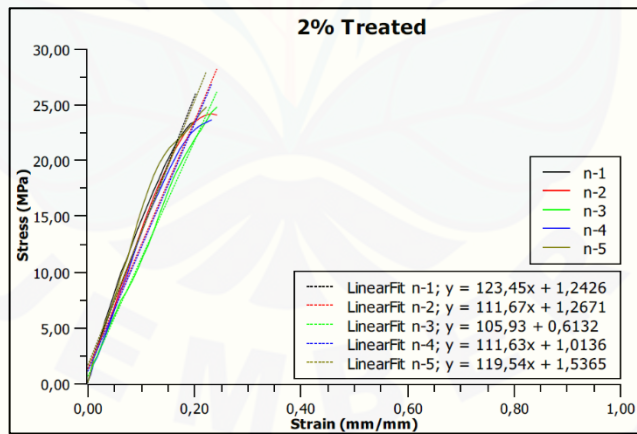
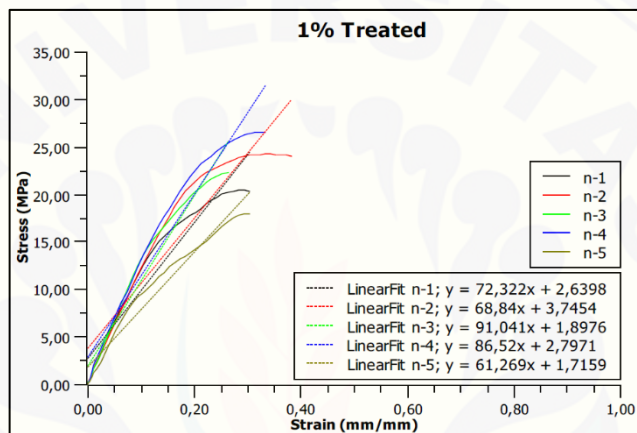
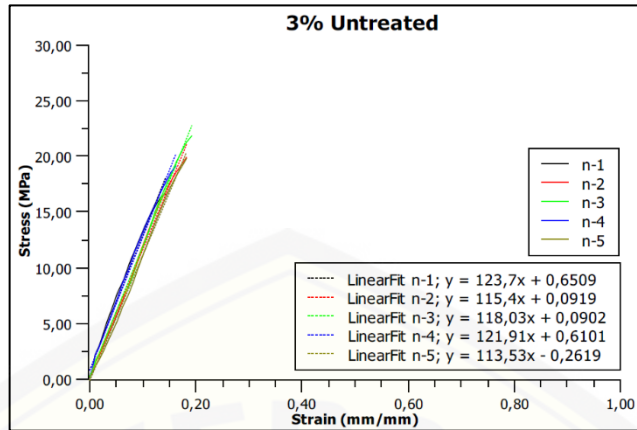
No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
4	100	1	12,0	0,22
		2	12,0	0,16
		3	12,0	0,20
		4	12,4	0,18
		5	12,2	0,20
		\bar{X}	12,1	0,19

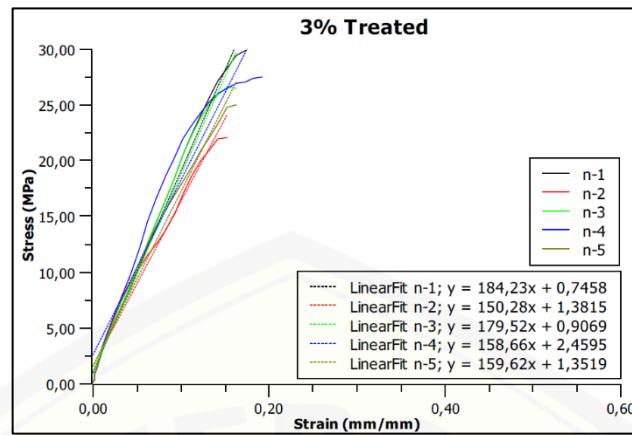
No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
-----	-------------------	-------	------------	----------------

No.	Gauge Length (mm)	Point	Width (mm)	Thickness (mm)
5	100	1	12,0	0,12
		2	12,0	0,12
		3	12,0	0,16
		4	12,0	0,16
		5	12,0	0,12
		\bar{X}	12,0	0,14

Lampiran 2. Grafik Tegangan-Regangan Biokomposit







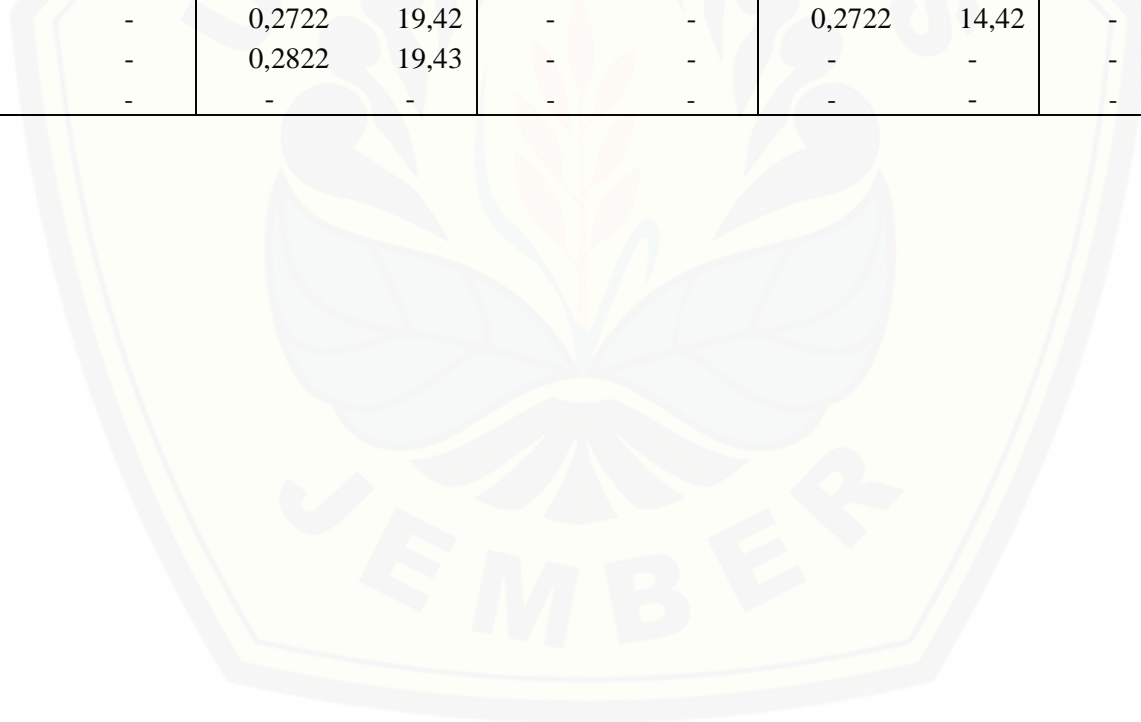
Lampiran 3. Data Nilai Tegangan-Regangan Biokomposit

PLA Murni / Neat PLA									
Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3		Sampel 4		Sampel 5	
Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)
0,0002	0,06	0,0002	0,06	0,0002	0,08	0,0002	0,08	0,0002	0,06
0,0009	0,15	0,0009	0,17	0,0009	0,21	0,0009	0,20	0,0009	0,17
0,0021	0,20	0,0021	0,40	0,0021	0,49	0,0021	0,46	0,0021	0,40
0,0041	0,33	0,0041	0,69	0,0041	0,97	0,0041	0,73	0,0041	0,69
0,0070	0,39	0,0069	1,10	0,0069	1,08	0,0069	0,97	0,0069	1,10
0,0110	0,66	0,0110	1,18	0,0110	1,62	0,0109	1,02	0,0109	1,18
0,0164	0,98	0,0164	1,66	0,0164	2,39	0,0164	1,08	0,0164	1,66
0,0236	1,08	0,0236	1,77	0,0236	2,55	0,0236	1,53	0,0236	1,77
0,0329	1,13	0,0329	2,43	0,0329	2,94	0,0329	2,24	0,0329	2,43
0,0428	1,67	0,0428	2,55	0,0428	3,47	0,0428	2,55	0,0428	2,55
0,0528	1,75	0,0528	2,94	0,0528	3,63	0,0528	2,94	0,0528	2,94
0,0628	2,35	0,0628	3,33	0,0628	4,51	0,0628	3,07	0,0628	3,33
0,0728	2,45	0,0728	3,43	0,0728	4,82	0,0728	3,47	0,0728	3,43
0,0827	2,56	0,0827	4,53	0,0827	5,88	0,0827	3,63	0,0827	4,53
0,0927	2,94	0,0927	4,81	0,0927	6,18	0,0927	4,18	0,0927	4,81
0,1027	3,33	0,1027	5,86	0,1027	6,49	0,1027	4,51	0,1027	5,44
0,1127	3,43	0,1127	6,47	0,1127	8,26	0,1127	4,82	0,1127	5,86
0,1226	3,58	0,1226	7,16	0,1226	9,32	0,1226	5,44	0,1226	6,47
0,1326	4,51	0,1326	7,36	0,1326	9,51	0,1326	5,88	0,1326	7,16
0,1426	4,85	0,1426	8,24	0,1426	9,90	0,1426	6,18	0,1426	7,36

1% Untreated									
Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3		Sampel 4		Sampel 5	
Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)
0,0002	0,07	0,0002	0,05	0,0002	0,05	0,0002	0,06	0,0002	0,07
0,0009	0,13	0,0009	0,10	0,0009	0,13	0,0009	0,11	0,0009	0,14
0,0021	0,26	0,0021	0,19	0,0021	0,29	0,0021	0,23	0,0021	0,30
0,0041	0,51	0,0041	0,31	0,0041	0,58	0,0041	0,41	0,0041	0,60
0,0070	0,63	0,0069	0,46	0,0069	0,93	0,0069	0,55	0,0070	1,05
0,0109	0,77	0,0110	0,58	0,0110	1,34	0,0110	0,67	0,0110	1,77
0,0164	0,95	0,0164	0,80	0,0164	1,91	0,0164	0,87	0,0164	2,48
0,0236	1,23	0,0236	1,03	0,0236	2,65	0,0236	1,13	0,0236	3,14
0,0329	1,88	0,0329	1,25	0,0329	3,62	0,0329	1,57	0,0329	3,99
0,0428	2,80	0,0428	1,46	0,0428	4,73	0,0428	2,13	0,0429	4,91
0,0528	3,79	0,0528	1,83	0,0528	5,82	0,0528	2,81	0,0528	5,92
0,0628	4,83	0,0628	2,46	0,0628	6,86	0,0628	3,65	0,0628	7,10
0,0728	5,77	0,0727	3,20	0,0727	7,81	0,0727	4,48	0,0728	8,43
0,0827	6,89	0,0827	3,94	0,0827	8,69	0,0827	5,41	0,0828	9,81
0,0927	8,19	0,0927	4,91	0,0927	9,47	0,0927	6,55	0,0927	11,15
0,1027	9,49	0,1027	6,02	0,1027	10,13	0,1027	7,10	0,1027	12,43
0,1126	10,71	0,1126	7,23	0,1126	10,72	0,1126	7,75	0,1127	13,70
0,1226	11,85	0,1226	8,44	0,1226	11,30	0,1226	8,97	0,1227	14,95
0,1326	12,92	0,1326	9,57	0,1326	11,62	0,1326	9,47	0,1326	16,15
0,1426	14,00	0,1426	10,66	0,1426	11,87	0,1426	9,81	0,1426	17,28
0,1526	15,02	0,1525	11,62	0,1525	12,47	0,1525	10,14	0,1526	18,28
0,1625	15,99	0,1625	12,47	0,1625	12,92	0,1625	10,71	0,1626	18,50

Digital Repository Universitas Jember

0,1725	16,90	0,1725	13,25	0,1725	13,03	0,1725	11,24	0,1725	19,13
0,1825	17,65	0,1825	14,54	0,1825	13,25	0,1825	11,62	0,1825	19,35
0,1925	18,25	0,1925	15,74	0,1924	13,57	0,1925	12,33	0,1925	19,54
0,2024	18,44	0,2024	16,35	0,2024	13,70	0,2024	12,42	0,2025	19,88
0,2124	18,59	0,2124	17,45	0,2124	14,05	0,2124	12,92	0,2124	20,47
-	-	0,2224	18,36	0,2224	14,24	0,2224	13,25	0,2224	20,65
-	-	0,2323	18,72	0,2323	14,42	0,2323	13,32	-	-
-	-	0,2423	19,01	0,2423	14,54	0,2423	13,59	-	-
-	-	0,2523	19,20	0,2523	14,64	0,2523	14,23	-	-
-	-	0,2623	19,34	-	-	0,2623	14,24	-	-
-	-	0,2722	19,42	-	-	0,2722	14,42	-	-
-	-	0,2822	19,43	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



<i>2% Untreated</i>									
Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3		Sampel 4		Sampel 5	
Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)
0,0002	0,06	0,0002	0,08	0,0002	0,07	0,0002	0,07	0,0002	0,08
0,0009	0,14	0,0009	0,19	0,0009	0,17	0,0009	0,17	0,0009	0,19
0,0021	0,31	0,0021	0,42	0,0021	0,38	0,0021	0,37	0,0021	0,42
0,0041	0,60	0,0041	0,80	0,0041	0,73	0,0041	0,70	0,0041	0,80
0,0069	0,78	0,0069	1,12	0,0070	1,15	0,0069	0,95	0,0069	1,12
0,0109	0,88	0,0110	1,59	0,0110	1,61	0,0110	1,51	0,0110	2,14
0,0164	1,31	0,0164	2,14	0,0164	2,14	0,0164	2,08	0,0164	2,85
0,0235	1,57	0,0236	2,85	0,0236	2,96	0,0236	2,68	0,0236	3,79
0,0328	1,79	0,0328	2,94	0,0329	3,82	0,0329	3,01	0,0328	4,22
0,0428	2,16	0,0428	3,79	0,0428	4,17	0,0428	3,92	0,0428	5,69
0,0528	2,32	0,0528	4,22	0,0528	5,65	0,0528	4,35	0,0528	6,38
0,0627	2,89	0,0628	5,05	0,0628	7,15	0,0628	5,36	0,0628	7,83
0,0727	3,63	0,0727	5,69	0,0728	8,72	0,0728	6,18	0,0727	8,73
0,0827	3,82	0,0827	6,38	0,0827	10,30	0,0827	6,49	0,0827	9,15
0,0927	4,45	0,0927	7,83	0,0927	11,81	0,0927	7,97	0,0927	11,49
0,1026	5,42	0,1027	8,73	0,1027	13,26	0,1027	8,99	0,1027	12,56
0,1126	6,40	0,1126	9,15	0,1127	14,52	0,1127	10,03	0,1126	13,66
0,1226	7,42	0,1226	10,35	0,1226	15,61	0,1226	11,11	0,1226	14,80
0,1326	8,45	0,1326	11,49	0,1326	16,53	0,1326	12,19	0,1326	15,93
0,1425	9,47	0,1426	12,56	0,1426	17,27	0,1426	13,05	0,1426	16,64
0,1525	10,51	0,1525	13,66	0,1526	17,56	0,1526	13,79	0,1525	17,06
0,1625	11,59	0,1625	14,80	0,1626	17,88	0,1625	14,46	0,1625	17,32

Digital Repository Universitas Jember

0,1725	12,65	0,1725	15,93	-	-	0,1725	15,57	0,1725	18,48
0,1825	13,76	0,1825	16,57	-	-	0,1825	16,37	0,1825	18,97
0,1924	14,81	0,1924	17,06	-	-	0,1925	17,28	0,1924	19,76
0,2024	15,77	0,2024	18,08	-	-	0,2024	17,30	0,2024	19,79
0,2124	16,64	0,2124	18,97	-	-	-	-	-	-
0,2224	17,27	0,2224	19,71	-	-	-	-	-	-
-	-	0,2323	20,23	-	-	-	-	-	-
-	-	0,2423	20,49	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



3% Untreated									
Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3		Sampel 4		Sampel 5	
Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)
0,0002	0,09	0,0002	0,07	0,0002	0,08	0,0002	0,09	0,0002	0,07
0,0009	0,19	0,0009	0,33	0,0009	0,18	0,0009	0,21	0,0009	0,18
0,0021	0,39	0,0021	0,36	0,0021	0,41	0,0021	0,44	0,0021	0,36
0,0041	0,73	0,0041	0,67	0,0041	0,57	0,0041	0,86	0,0041	0,40
0,0070	1,28	0,0069	0,85	0,0069	0,89	0,0070	1,41	0,0069	0,70
0,0110	1,95	0,0110	1,16	0,0110	1,53	0,0109	2,01	0,0110	1,05
0,0164	2,83	0,0164	1,84	0,0164	2,07	0,0164	2,73	0,0164	1,57
0,0236	3,80	0,0236	2,69	0,0236	2,97	0,0236	3,55	0,0236	2,21
0,0329	4,93	0,0329	3,65	0,0329	3,92	0,0329	4,57	0,0329	3,07
0,0429	6,37	0,0428	4,60	0,0428	4,95	0,0428	5,81	0,0428	4,05
0,0528	7,74	0,0528	5,75	0,0528	6,06	0,0528	7,18	0,0528	5,12
0,0628	9,06	0,0628	7,01	0,0628	7,32	0,0628	8,63	0,0628	6,33
0,0728	10,31	0,0728	8,30	0,0728	8,74	0,0728	10,07	0,0728	7,65
0,0828	11,50	0,0827	9,51	0,0827	9,51	0,0827	11,39	0,0827	9,03
0,0927	12,70	0,0927	11,67	0,0927	10,10	0,0927	12,59	0,0927	10,14
0,1027	13,80	0,1027	12,81	0,1027	12,55	0,1027	13,67	0,1027	11,46
0,1127	14,79	0,1127	13,80	0,1127	13,93	0,1127	14,72	0,1127	13,01
0,1227	15,62	0,1226	14,75	0,1226	15,10	0,1226	15,80	0,1226	14,15
0,1327	16,60	0,1326	15,67	0,1326	16,18	0,1326	16,84	0,1326	15,22
0,1426	16,68	0,1426	17,33	0,1426	17,36	0,1426	17,80	0,1426	16,23
-	-	0,1526	18,04	0,1526	18,24	0,1526	18,60	0,1526	17,50
-	-	0,1625	18,63	0,1625	19,52	0,1625	19,15	0,1625	18,29

Digital Repository Universitas Jember

-	-	0,1725	19,17	0,1725	20,50	-	-	0,1725	19,10
-	-	0,1825	19,87	0,1825	21,48	-	-	0,1825	19,83
-	-	-	-	0,1925	21,87	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



1% Treated									
Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3		Sampel 4		Sampel 5	
Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)
0,0002	0,05	0,0002	0,06	0,0002	0,06	0,0002	0,04	0,0002	0,05
0,0009	0,15	0,0009	0,17	0,0009	0,18	0,0009	0,09	0,0009	0,15
0,0021	0,35	0,0021	0,41	0,0021	0,41	0,0021	0,36	0,0021	0,17
0,0041	0,65	0,0041	0,69	0,0041	0,60	0,0041	0,60	0,0041	0,38
0,0069	1,03	0,0069	1,09	0,0070	0,98	0,0070	1,20	0,0070	0,64
0,0109	1,56	0,0109	1,60	0,0110	1,48	0,0110	1,95	0,0110	1,01
0,0164	2,28	0,0164	2,28	0,0164	2,13	0,0164	2,74	0,0164	1,52
0,0236	3,19	0,0236	3,10	0,0236	3,01	0,0236	3,71	0,0236	2,20
0,0329	4,32	0,0328	4,13	0,0329	4,25	0,0329	4,82	0,0329	3,10
0,0428	5,59	0,0428	5,30	0,0428	5,77	0,0428	5,98	0,0428	4,29
0,0528	6,81	0,0528	6,51	0,0529	7,24	0,0528	7,27	0,0529	5,68
0,0628	8,06	0,0628	7,83	0,0628	8,70	0,0628	8,56	0,0628	7,03
0,0728	9,27	0,0727	9,15	0,0728	10,12	0,0728	9,81	0,0728	8,38
0,0827	10,42	0,0827	10,42	0,0828	11,45	0,0827	11,13	0,0828	8,70
0,0927	11,56	0,0927	11,66	0,0928	12,71	0,0927	12,38	0,0928	9,27
0,1027	12,59	0,1027	12,78	0,1027	13,79	0,1027	13,64	0,1027	9,69
0,1127	13,54	0,1126	13,80	0,1127	14,69	0,1127	14,80	0,1127	10,12
0,1226	14,38	0,1226	14,77	0,1227	15,41	0,1226	15,84	0,1227	10,42
0,1326	15,09	0,1326	15,74	0,1327	16,01	0,1326	16,81	0,1327	11,45
0,1426	15,71	0,1426	16,79	0,1426	16,63	0,1426	17,65	0,1426	12,13
0,1526	16,25	0,1525	17,82	0,1526	17,28	0,1526	18,50	0,1526	12,38
0,1625	16,71	0,1625	18,78	0,1626	17,96	0,1625	19,44	0,1626	12,71

<i>2% Treated</i>									
Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3		Sampel 4		Sampel 5	
Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)
0,0002	0,08	0,0002	0,08	0,0002	0,08	0,0002	0,08	0,0002	0,08
0,0009	0,22	0,0009	0,20	0,0009	0,21	0,0009	0,21	0,0009	0,20
0,0021	0,51	0,0021	0,47	0,0021	0,48	0,0021	0,47	0,0021	0,46
0,0041	0,81	0,0041	0,80	0,0041	0,80	0,0041	0,70	0,0041	0,88
0,0070	1,34	0,0069	1,23	0,0069	1,15	0,0069	1,11	0,0070	1,35
0,0110	2,03	0,0110	1,73	0,0110	1,83	0,0110	1,58	0,0110	1,97
0,0164	2,96	0,0164	2,28	0,0164	2,25	0,0164	2,24	0,0164	2,83
0,0236	4,02	0,0236	3,00	0,0236	3,20	0,0236	2,97	0,0236	3,87
0,0329	5,46	0,0329	4,18	0,0329	4,16	0,0329	4,04	0,0329	5,16
0,0428	7,06	0,0428	5,69	0,0428	5,36	0,0428	5,32	0,0428	6,58
0,0528	8,58	0,0528	7,19	0,0528	6,78	0,0528	6,80	0,0528	7,88
0,0628	10,08	0,0628	8,73	0,0628	7,19	0,0628	8,41	0,0628	9,15
0,0728	11,43	0,0727	10,25	0,0728	8,25	0,0727	9,99	0,0728	11,65
0,0827	12,70	0,0827	11,64	0,0827	9,64	0,0827	11,45	0,0827	12,92
0,0927	13,92	0,0927	13,02	0,0927	10,25	0,0927	12,83	0,0927	14,16
0,1027	15,08	0,1027	14,32	0,1027	11,03	0,1027	14,07	0,1027	16,59
0,1127	16,22	0,1126	15,56	0,1127	12,41	0,1126	15,19	0,1127	17,71
0,1226	17,33	0,1226	16,76	0,1226	13,74	0,1226	16,25	0,1226	18,78
0,1326	18,41	0,1326	17,89	0,1326	15,10	0,1326	17,25	0,1326	19,73
0,1426	19,50	0,1426	18,99	0,1426	16,38	0,1426	18,26	0,1426	20,53
0,1526	20,51	0,1525	20,03	0,1526	17,62	0,1525	19,23	0,1526	21,61
0,1625	21,44	0,1625	20,99	0,1625	18,82	0,1625	20,16	0,1625	21,87

Digital Repository Universitas Jember

0,1725	22,26	0,1725	21,89	0,1725	19,94	0,1725	21,08	0,1725	21,93
0,1825	22,90	0,1825	22,64	0,1825	20,51	0,1825	21,94	0,1825	22,02
0,1925	23,36	0,1925	23,26	0,1925	21,01	0,1924	22,65	0,1925	22,91
0,2024	23,59	0,2024	23,74	0,2024	22,02	0,2024	22,90	0,2024	23,71
-	-	0,2124	24,06	0,2124	22,91	0,2124	23,26	0,2124	24,66
-	-	0,2224	24,24	0,2224	23,71	0,2224	23,36	0,2224	24,75
-	-	0,2324	24,28	0,2324	24,36	0,2324	23,71	-	-
-	-	0,2423	24,16	0,2423	24,79	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



3% Treated									
Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3		Sampel 4		Sampel 5	
Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)	Strain (mm/mm)	Stress (MPa)
0,0002	0,12	0,0002	0,12	0,0002	0,12	0,0002	0,13	0,0002	0,12
0,0009	0,27	0,0009	0,27	0,0009	0,28	0,0009	0,29	0,0009	0,28
0,0021	0,59	0,0021	0,57	0,0021	0,61	0,0021	0,63	0,0021	0,60
0,0041	1,14	0,0041	1,10	0,0041	1,22	0,0041	1,25	0,0041	1,18
0,0069	1,94	0,0069	1,89	0,0069	1,99	0,0069	2,07	0,0069	1,97
0,0110	2,87	0,0109	2,92	0,0110	2,93	0,0109	3,08	0,0110	2,95
0,0164	3,97	0,0164	4,25	0,0164	3,95	0,0164	4,27	0,0164	4,11
0,0236	5,02	0,0236	5,87	0,0236	4,95	0,0236	5,51	0,0236	5,34
0,0329	6,62	0,0328	7,82	0,0328	6,66	0,0328	7,44	0,0329	7,13
0,0428	8,59	0,0428	9,80	0,0428	8,69	0,0428	9,72	0,0428	9,20
0,0528	10,56	0,0528	10,65	0,0528	10,65	0,0528	12,11	0,0528	11,58
0,0628	12,36	0,0628	11,58	0,0628	12,62	0,0627	14,62	0,0628	12,22
0,0728	14,62	0,0727	12,22	0,0727	14,62	0,0727	17,12	0,0728	14,62
0,0827	16,57	0,0827	13,34	0,0827	16,57	0,0827	19,49	0,0827	15,20
0,0927	18,72	0,0927	15,15	0,0927	18,54	0,0927	20,45	0,0927	17,13
0,1027	20,55	0,1027	17,03	0,1027	20,50	0,1026	21,65	0,1027	18,72
0,1127	22,42	0,1126	18,85	0,1126	22,45	0,1126	23,40	0,1127	19,33
0,1226	24,25	0,1226	20,45	0,1226	24,23	0,1226	24,73	0,1226	20,02
0,1326	26,00	0,1326	21,70	0,1326	25,64	0,1326	25,64	0,1326	22,28
0,1426	27,52	0,1426	22,25	0,1426	26,57	0,1426	26,51	0,1426	24,25
0,1526	28,73	0,1525	22,07	0,1525	26,82	0,1526	26,57	0,1526	25,20
0,1625	29,57	-	-	0,1625	26,51	0,1625	26,82	0,1625	25,03

Digital Repository Universitas Jember

0,1725	29,93	-	-	-	-	0,1725	27,15	-	-
-	-	-	-	-	-	0,1825	27,47	-	-
-	-	-	-	-	-	0,1925	27,52	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Lampiran 4. Modulus Elastisitas Biokomposit

Dari grafik pada Lampiran 2, diperoleh persamaan regresi linear sederhana pada masing-masing spesimen di setiap pengulangannya. Persamaan yang diperoleh yaitu dalam bentuk “ $y = mx + a$ ”, di mana:

- y : variabel tak bebas,
- m : *slope, gradient* atau kemiringan garis,
- x : variabel bebas, dan
- a : *intercept* atau titik potong terhadap sumbu Y.

Karena pada grafik Lampiran 2 dan Gambar 4.3 mengindikasikan material tidak mengalami deformasi plastis, maka metode *offset strain 0,2%* tidak dilakukan. Dengan demikian, kelima nilai *slope* dari masing-masing spesimen diambil untuk dirata-ratakan sebagai nilai modulus elastisitas biokomposit.

Spesimen	Pengulangan	Modulus elastisitas atau <i>Slope</i> (MPa)
PLA murni / <i>neat PLA</i>	n-1	38,30
	n-2	56,11
	n-3	56,10
	n-4	44,43
	n-5	45,94
	<i>Mean</i>	48,17 ± 7,78
1% <i>untreated</i>	n-1	96,75
	n-2	79,78
	n-3	61,32
	n-4	58,08
	n-5	101,83
	<i>Mean</i>	79,55 ± 19,91
2% <i>untreated</i>	n-1	75,88
	n-2	87,04
	n-3	119,18
	n-4	87,58
	n-5	103,13
	<i>Mean</i>	94,56 ± 16,84
3% <i>untreated</i>	n-1	123,70
	n-2	115,40
	n-3	118,03
	n-4	121,91
	n-5	113,53
	<i>Mean</i>	118,51 ± 4,28

1% treated	n-1	72,32
	n-2	68,84
	n-3	91,04
	n-4	86,52
	n-5	61,27
	<i>Mean</i>	76,00 ± 12,44
2% treated	n-1	123,45
	n-2	111,67
	n-3	105,93
	n-4	111,63
	n-5	119,54
	<i>Mean</i>	114,44 ± 6,99
3% treated	n-1	184,23
	n-2	150,28
	n-3	179,52
	n-4	158,66
	n-5	159,62
	<i>Mean</i>	166,46 ± 14,63

Lampiran 5. Penampakan Spesimen Biokomposit

Spesimen	Gambar
PLA murni / <i>Neat PLA</i>	
1% <i>untreated</i>	
2% <i>untreated</i>	

3% untreated



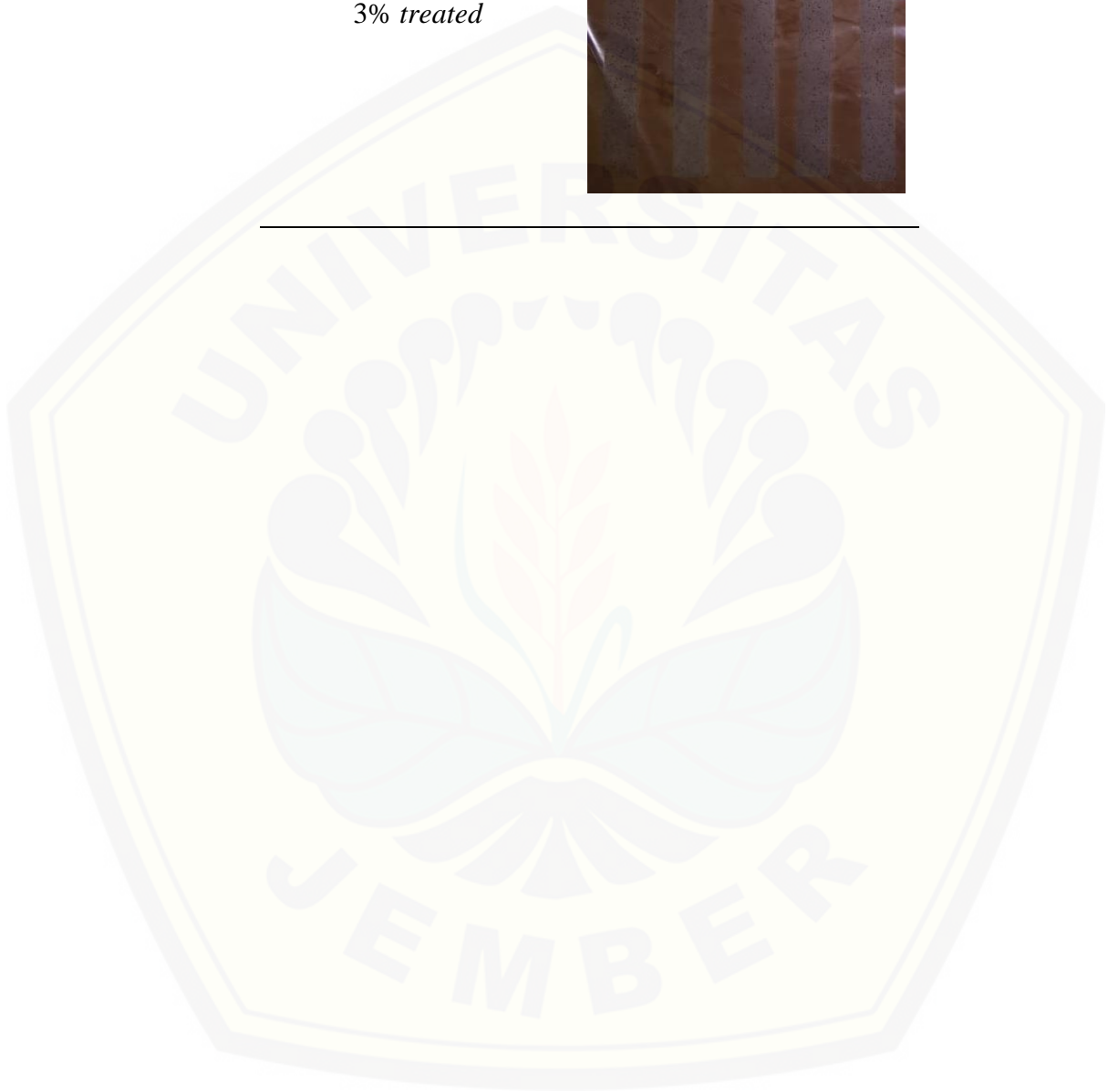
1% treated



2% treated



3% treated



Lampiran 6. DataLog Pengamatan SEM

1. Gambar 4.5 a

[SemImageFile]
Version=01-05
InstructName=TM3030Plus
SerialNumber=156054-02
DataNumber=TM3030Plus0005
SampleName=
Format=JPG
ImageName=Image(x1,5k).jpg
Directory=D:\SEM\Analisa\Asr
ofi\2020\3% U\
SaveMode=1
Date=11/06/2020
Time=08:29:18
DateCheck=Yes
TimeCheck=No
NumberCheck=Yes
CommentCheck=Yes
DigitalZoom=No
Media=Drive_D
DataSize=1280x1040
DPI=185,78
PixelSize=91,15
SignalName=SE
AcceleratingVoltage=5000 Volt
DecelerationVoltage=
Magnification=1500
WorkingDistance=6700 um
EmissionCurrent=11900 nA
FilamentCurrent=1750 mA
ObservationCondition=SurfaceL
ImageEnhance=0
Brightness=2213
Contrast=2048
Rotation=0
LensMode=
PhotoSize=
Vacuum=Low
MicronMarker=50000
SubMagnification=
SubSignalName=
SpecimenBias=
Condencer2=793
ScanSpeed=Slow3
CalibrationScanSpeed=
ColorMode=Grayscale
ColorPalette=
ScreenMode=
Comment=[Politeknik Negeri
Jember]
KeyWord1=
KeyWord2=
Condition=Vacc=5,0kV
Mag=x1,5k WD=6,70mm
DataDisplayCombine=
StageType=0
StagePositionX=0
StagePositionY=0
StagePositionR=
StagePositionZ=
StagePositionT=

2. Gambar 4.5 b

[SemImageFile]
Version=01-05
InstructName=TM3030Plus
SerialNumber=156054-02
DataNumber=TM3030Plus0005
SampleName=
Format=JPG
ImageName=Image(x1,5k)4.jpg
Directory=D:\SEM\Analisa\Asr
ofi\2020\3% U\
SaveMode=1
Date=11/06/2020
Time=08:37:06
DateCheck=Yes
TimeCheck=No
NumberCheck=Yes
CommentCheck=Yes
DigitalZoom=No
Media=Drive_D
DataSize=1280x1040
DPI=185,78
PixelSize=91,15
SignalName=SE
AcceleratingVoltage=5000 Volt
DecelerationVoltage=
Magnification=1500
WorkingDistance=6600 um
EmissionCurrent=11700 nA
FilamentCurrent=1750 mA
ObservationCondition=SurfaceL
ImageEnhance=0
Brightness=2195
Contrast=2048
Rotation=0
LensMode=
PhotoSize=
Vacuum=Low
MicronMarker=50000
SubMagnification=
SubSignalName=
SpecimenBias=
Condencer2=793
ScanSpeed=Slow3
CalibrationScanSpeed=
ColorMode=Grayscale
ColorPalette=
ScreenMode=
Comment=[Politeknik Negeri
Jember]
KeyWord1=
KeyWord2=
Condition=Vacc=5,0kV
Mag=x1,5k WD=6,60mm
DataDisplayCombine=
StageType=0
StagePositionX=0
StagePositionY=0
StagePositionR=
StagePositionZ=
StagePositionT=

3. Gambar 4.5 c

[SemImageFile]
Version=01-05
InstructName=TM3030Plus
SerialNumber=156054-02
DataNumber=TM3030Plus0005
SampleName=
Format=JPG
ImageName=Image(x1,5k)3.jpg
Directory=D:\SEM\Analisa\Asr
ofi\2020\3% T\
SaveMode=1
Date=11/06/2020
Time=08:47:46
DateCheck=Yes
TimeCheck=No
NumberCheck=Yes
CommentCheck=Yes
DigitalZoom=No
Media=Drive_D
DataSize=1280x1040
DPI=185,78
PixelSize=91,15
SignalName=SE
AcceleratingVoltage=5000 Volt
DecelerationVoltage=
Magnification=1500
WorkingDistance=7200 um
EmissionCurrent=11200 nA
FilamentCurrent=1750 mA
ObservationCondition=SurfaceL
ImageEnhance=0
Brightness=2253
Contrast=2048
Rotation=0
LensMode=
PhotoSize=
Vacuum=Low
MicronMarker=50000
SubMagnification=
SubSignalName=
SpecimenBias=
Condencer2=793
ScanSpeed=Slow3
CalibrationScanSpeed=
ColorMode=Grayscale
ColorPalette=
ScreenMode=
Comment=[Politeknik Negeri
Jember]
KeyWord1=
KeyWord2=
Condition=Vacc=5,0kV
Mag=x1,5k WD=7,20mm
DataDisplayCombine=
StageType=0
StagePositionX=0
StagePositionY=0
StagePositionR=
StagePositionZ=
StagePositionT=

4. Gambar 4.5 d

[SemImageFile]
Version=01-05
InstructName=TM3030Plus
SerialNumber=156054-02
DataNumber=TM3030Plus0005
SampleName=
Format=JPG
ImageName=Image(x1,5k)2.jpg
Directory=D:\SEM\Analisa\Asr
ofi\2020\3% T\
SaveMode=1
Date=11/06/2020
Time=08:44:29
DateCheck=Yes
TimeCheck=No
NumberCheck=Yes
CommentCheck=Yes
DigitalZoom=No
Media=Drive_D
DataSize=1280x1040
DPI=185,78
PixelSize=91,15
SignalName=SE
AcceleratingVoltage=5000 Volt
DecelerationVoltage=
Magnification=1500
WorkingDistance=7100 um
EmissionCurrent=11200 nA
FilamentCurrent=1750 mA
ObservationCondition=SurfaceL
ImageEnhance=0
Brightness=2213
Contrast=2048
Rotation=0
LensMode=
PhotoSize=
Vacuum=Low
MicronMarker=50000
SubMagnification=
SubSignalName=
SpecimenBias=
Condencer2=793
ScanSpeed=Slow3
CalibrationScanSpeed=
ColorMode=Grayscale
ColorPalette=
ScreenMode=
Comment=[Politeknik Negeri
Jember]
KeyWord1=
KeyWord2=
Condition=Vacc=5,0kV
Mag=x1,5k WD=7,10mm
DataDisplayCombine=
StageType=0
StagePositionX=0
StagePositionY=0
StagePositionR=
StagePositionZ=
StagePositionT=

Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian

