

No. Dok: sy66

Copy : 1

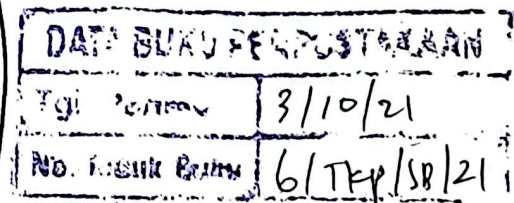
D
608-g-
Rer
P

LAPORAN TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN TRIASETIN DAN SERAT SELULOSA TERHADAP SIFAT TERMAL KOMPOSIT PLA SEMIKRISTALIN

DI LEMBAGA PUSAT ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
(LIPI) BIOMATERIAL CIBINONG

(Januari – Juli 2019)



OLEH:

DINDA REZEKI 1515042

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I
2019

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS
AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN TRIASETIN DAN SERAT SELULOSA
TERHADAP SIFAT TERMAL KOMPOSIT PLA SEMIKRISTALIN

DISUSUN OLEH :

NAMA : DINDA REZEKI

NIM : 1515042

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diperiksa dan disetujui sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik
Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta.

Jakarta, Juli 2019

Menyetujui

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA
NIDK. 8873590019

Dosen Pembimbing



Syaiful Ahsan, S.T. M.T
NIP. 198407162014021001

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS
AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR
PENGARUH PENAMBAHAN TRIASETIN DAN SERAT SELULOSA
TERHADAP SIFAT TERMAL KOMPOSIT PLA SEMIKRISTALIN
DISUSUN OLEH :
NAMA : DINDA REZEKI
NIM : 1515042
PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta pada hari Selasa, 6 Agustus 2019.

Jakarta, Agustus 2019

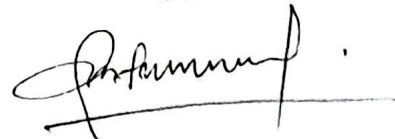
Penguji



Dr. Ir. Lintong Sopandi H, M.S. ChE

NIP. 19580322198631002

Penguji



Ir. Parulian Leonard M, M.M

NIP. 195702141985031002

Penguji



Ir. Roosmariharso, MBA

NIDK. 8873590019

Dosen Pembimbing



Syaiful Ahsah, S.T. M.T

NIP. 198407162014021001

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN TRIASETIN DAN SERAT SELULOSA
TERHADAP SIFAT TERMAL KOMPOSIT PLA SEMIKRISTALIN

DISUSUN OLEH :

NAMA : DINDA REZEKI

NIM : 1515042

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diperiksa dan disetujui sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik
Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta.

Cibinong, Juli 2019

Telah diperiksa dan disetujui oleh:
Pembimbing



Dr. Lisman Suryanegara, M.Agr

NIP. 197502092000121002



Nomor : 1/6 /SJ-IND.7.2/X/2018
Lampiran :
Perihal : **Permohonan Penelitian**

Jakarta, 25 Oktober 2018

Kepada
Yth. Bapak/Ibu Pimpinan
Pusat Penelitian Biomaterial LIPI
Kawasan Cibinong Science Center Jl. Raya
Bogor KM 46 Cibinong Bogor

Dalam rangka menambah wawasan dan mengaplikasikan teori yang didapat Mahasiswa/i di Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian RI, dengan ini memohon bantuan Bapak/Ibu agar bersedia menerima mereka yang namanya tersebut di bawah ini untuk melakukan Penelitian di Perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu pimpin selama kurang lebih 6 (enam) bulan.

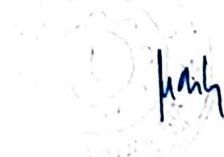
Adapun nama mahasiswa/i yang akan melakukan Penelitian adalah:

No.	Nama	NIM	Kompetensi yang diharapkan
1.	Dinda Rezeki	1515042	Proses Produksi

Dalam pelaksanaannya kami mengharapkan bantuan bimbingan Bapak/Ibu agar mahasiswa/i kami dapat melakukannya dengan baik. Untuk selanjutnya kompetensi yang diperoleh dari hasil bimbingan Bapak/Ibu akan dipresentasikan dan mudah-mudahan dapat bermanfaat bagi perusahaan

Demikian atas bantuan dan kerjasama Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih.

Pembantu Direktur I,



Dr. Ridzky Kramanandita, S.Kom, M.T

NIP : 19740302 200212 1 001

Tembusan:

1. Direktur STMI;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Peringgal



No. : B-2019/IPH.4/KS.02.03/XII/2018
Lampiran : -
Perihal : Perizinan Penelitian

Cibinong, 11 Desember 2018

Yth. Politeknik STMI Jakarta
d.h Sekolah Tinggi Manajemen Industri
Jl. Letjen Suprpto No. 26 Cempaka Putih, Jakarta.

Menjawab surat Saudara No. 116/SJ-IND.7.2/X/2018 tanggal 25 Oktober 2018, perihal Permohonan Pembimbingan Mahasiswa, dengan ini kami sampaikan, bahwa pada prinsipnya Pusat Penelitian Biomaterial - LIPI tidak berkeberatan dan dapat menerima Mahasiswa sebagai berikut:

No	Nama	NIM
1.	Dinda Rezeki	1515042

untuk menambah wawasan dan mengaplikasikan teori yang ada di Pusat Penelitian Biomaterial - LIPI yang akan dibimbing oleh Dr. Lisman Suryanegara, M.Agr, pada periode 2 Januari 2019 – 2 Juni 2019.

Adapun informasi mengenai ketentuan yang wajib dipenuhi oleh mahasiswa yang akan melakukan Praktek Lapangan/Magang/Penelitian di instansi kami, dapat diperoleh di bagian kerjasama Pusat Penelitian Biomaterial - LIPI.

Demikian kami sampaikan, atas perhatian yang diberikan kami ucapkan terimakasih.



Pt Kepala,











Dr. Dede Heri Yuli Yanto, S. Si, M.Agr





Tembusan:

1. Kepala Bidang PDHP Puslit Biomaterial - LIPI
2. Kepala Bagian Tata Usaha Puslit Biomaterial - LIPI

LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR

Nama : Dinda Rezeki 1515042
 Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penambahan Triasetin dan Serat Selulosa Terhadap Sifat Termal Komposit PLA Semikristalin
 Dosen Pembimbing : Syaiful Ahsan, S.T, M.T

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
6 Juni 2018		Pembahasan topik dan tema yang akan dipilih untuk penelitian	
13 Juli 2018		Pembahasan topik lanjutan serta bahan yang akan digunakan	
26 September 2018	I	Pendahuluan - Latar belakang - Rumusan masalah - Batasan masalah - Tujuan penelitian - Manfaat penelitian - Sistematika penulisan	
18 Oktober 2018		Pembahasan tema dan topik baru serta pergantian bahan	
16 November 2018	II IV	Pembahasan serat selulosa Diskusi data hasil percobaan DSC	 
23 Januari 2019	IV	Pembahasan hasil percobaan Pendahuluan	
11 April 2019	IV	Pembahasan hasil uji DSC dan UTM	
20 Mei 2019	I I	Pembahasan judul Revisi rumusan masalah Revisi tujuan penelitian	
11 Juni 2019	I	Pembahasan daftar isi Revisi penulisan / typo Revisi batasan masalah	

	II	Revisi tinjauan pustaka α -selulosa	
	III	Revisi prosedur penelitian dan pembuatan bagan alir	
18 Juni 2019	II	Revisi daftar pustaka	
	III	Tinjauan pustaka α -selulosa	
		Revisi diagram alir	
		Presentasi	
25 Juni 2019		Presentasi	
		Revisi daftar pustaka	
	I	Revisi latar belakang	
	II	Revisi tinjauan pustaka	
1 Juli 2019		Presentasi	
9 Juli 2019	IV	Revisi pembahasan Dsc	

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA

NIP. 195450231980031004

Dosen Pembimbing



Syaiful Ahsan, S.T. M.T

NIP. 198407162014021001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta,
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia:

Nama : Dinda Rezeki

NIM : 1515042

Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir yang saya buat dengan
judul: PENGARUH PENAMBAHAN TRIASETIN DAN SERAT SELULOSA
TERHADAP KOMPOSIT PLA SEMIKRISTALIN, maka:

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing penelitian melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya tulis Tugas Akhir ini
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu yang digunakan sebagai referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya
- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya Tugas Akhir ini

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah dinyatakan seperti yang tertulis di atas, maka karya tulis Tugas Akhir saya ini dibatalkan,

Jakarta, Juli 2019

METERAI
TEMPEL
35AFF692279165
5000
RUPIAH
Dinda Rezeki

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan karena atas berkah dan rahmat-Nya penulis dapat melaksanakan kegiatan dan penulisan laporan penelitian. Penelitian ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat penyelesaian program Diploma IV pada program studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta. Laporan ini disusun sebagai wujud nyata tertulis penelitian di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Biomaterial Cibinong yang dilaksanakan pada bulan Januari sampai Juli 2019.

Dalam proses pengumpulan data dan penulisan, penyusun telah mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir:

1. Dr. Mustofa, ST, MT, selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
2. Ir. Roosmarharso, MBA selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
3. Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
4. Syaiful Ahsan, ST, MT. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu dan pikiran untuk mengarahkan dalam penyusunan laporan ini.
5. Dr. Lisman Suryanegara selaku pembimbing lapangan yang telah menyediakan waktu dan pikiran untuk mengarahkan dalam menjalankan penelitian ini.
6. Wida Banar selaku penanggung jawab penggunaan alat DSC dan TGA yang telah mengarahkan pada proses pengujian.
7. Seluruh staf Laboratorium Biokomposit LIPI Cibinong (Sudarmanto, Saepuloh dan Fazhar) yang telah membantu untuk menyediakan bahan baku dan alat-alat yang dibutuhkan selama proses penelitian.
8. Bapak Taufik Hidayat dan Ibu Sri Rezeki selaku orang tua dari penulis.
9. Teman-teman Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta angkatan 2015 selaku kawan seperjuangan.

10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah memberi dukungan dan bantuan atas Tugas Akhir ini.

Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dalam mengkaji kaidah ilmu pengetahuan Teknik Kimia Polimer (TKP). Penyusun menyadari keterbatasan dan kemampuan dalam menyusun laporan ini. Oleh karena itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga berguna bagi penyusun untuk menyempurnakan laporan Tugas Akhir ini.

Jakarta, Juli 2019

Penyusun

ABSTRAK

Poliasam Laktat (PLA) merupakan polimer *biodegradable* yang tersusun dari monomer asam laktat yang mempunyai kekuatan tarik dan kekakuan yang baik, sehingga berpotensi menggantikan polimer konvensional seperti polipropilena (PP) dalam industri otomotif. Salah satu kelemahan PLA adalah proses kristalisasi yang lambat, hal tersebut menyebabkan menurunnya produktivitas PLA. Penambahan PLA dengan triasetin dan serat selulosa berguna untuk mempercepat proses kristalisasi. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu ekstraksi selulosa dari serat Sorgum, pengujian kadar α -selulosa, homogenisasi serat selulosa, pelarutan PLA dengan diklorometan, pencampuran PLA yang telah dilarutkan dengan serat selulosa 10 %wt dan triasetin 10 %wt dari campuran, pengeringan komposit di ruang asam selama 12 jam dilanjutkan dengan pengeringan pada oven dengan suhu 105 °C selama 2 jam. Komposit yang telah dikeringkan dilanjutkan dengan proses pencetakan menggunakan mesin kempa dengan tekanan 1 MPa dan suhu serta waktu yang optimum, dimensi cetakan yang digunakan 5,5 × 6 cm. Hasil dari proses pengempaan akan berbentuk lembaran yang kemudian dijadikan sebagai sampel uji. Pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) dan *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dilakukan guna mengetahui pengaruh penambahan serat selulosa dan triasetin terhadap proses kristalisasi dan suhu dekomposisi komposit PLA. Dengan adanya penambahan triasetin dan serat selulosa terhadap PLA dapat menurunkan suhu transisi kaca dan mempercepat proses kristalisasi. Derajat kristalisasi (X_c) PLA mengalami kenaikan dengan adanya penambahan serat selulosa yang semula PLA murni 9,6% menjadi 18,3%. Adanya penambahan serat selulosa pada PLA menyebabkan suhu dekomposisi yang lebih rendah dibandingkan PLA murni. Sedangkan gabungan dari adanya penambahan triasetin dan serat selulosa pada PLA menunjukkan adanya peningkatan suhu dekomposisi jika dibandingkan dengan PLA/serat selulosa 10 %wt.

Kata kunci: Poliasam laktat, PLA, Komposit, Selulosa, Sorgum, Triasetin.

DAFTAR ISI

	Halaman
LAPORAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR.....	iv
LEMBAR PERMOHONAN TUGAS AKHIR	v
LEMBAR KETERANGAN DITERIMANYA TUGAS AKHIR.....	vi
LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR	vii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ix
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
ABSTRAK	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR SIMBOL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Komposit.....	6
2.1.1 Klasifikasi Komposit.....	7
2.1.2 Penyusun Material Komposit.....	11
2.2 Poliasam Laktat (PLA)	11

2.3	Serat Sorgum.....	14
2.4	Selulosa.....	16
2.5	Pemlastis.....	18
2.6	Sifat Termal.....	19
BAB III METODE PENELITIAN.....		22
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
3.2	Alat dan Bahan.....	22
3.3	Variabel.....	22
3.3.1	Variabel Tetap.....	22
3.3.2	Variabel Bebas.....	23
3.4	Prosedur.....	23
3.4.1	Ekstraksi Serat Selulosa.....	24
3.4.2	Pengujian α -selulosa.....	25
3.4.3	Homogenisasi Serat.....	25
3.4.4	Preparasi Komposit.....	27
3.4.5	<i>Differential Scanning Calorimetry (DSC)</i>	28
3.4.6	<i>Termogravimetric Analysis (TGA)</i>	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Ekstraksi Serat Selulosa.....	29
4.2	<i>Differential Scanning Calorimetry (DSC)</i>	30
4.3	<i>Termogravimetric Analysis (TGA)</i>	34
BAB V PENUTUP.....		37
5.1	Kesimpulan.....	37
5.2	Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....		38

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Kandungan Kimia pada Serat Alam.....	9
Tabel 2. 2 Sifat Mekanik Serat Alam.....	9
Tabel 2. 3 Sifat Fisis PLA (Ingeo 3001D).....	12
Tabel 2. 4 Komposisi Kimia Serat Sorgum.....	15
Tabel 3. 1 Variasi Massa Komposit.....	23
Tabel 3. 2 Komposisi Bahan	27
Tabel 3. 3 Suhu dan Waktu Optimum Proses Pengempaan	28
Tabel 4. 1 Hasil Uji Kadar α -selulosa.....	30
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian DSC Pemanasan Pertama.....	32
Tabel 4. 3 Hasil pengujian DSC Pemanasan Kedua.....	32

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Geometrikal Pengisi	10
Gambar 2. 2 Proses Sintesis PLA	13
Gambar 2. 3 Tanaman Sorgum.....	15
Gambar 2. 4 Struktur Selulosa.....	16
Gambar 2. 5 Struktur Triasetin	19
Gambar 3. 1 Skema Prosedur Penelitian	26
Gambar 4. 1 Proses Pemutihan dan Delignifikasi Serat.....	29
Gambar 4. 2 Proses Penghilangan Hemiselulosa	29
Gambar 4. 3 Termogram Hasil Uji DSC.....	31
Gambar 4. 4 Termogram Hasil Uji TGA.....	35

DAFTAR SIMBOL

1. °C	= derajat Celsius
2. wt %	= persentase berat
3. PLA	= Poliasam Laktat
4. DCM	= Diklorometan
5. %	= persentase
6. MPa	= Mega paskal
7. ΔH_m	= entalpi endotermis
8. ΔH_{ref}	= entalpi PLA dengan kristalinitas 100%
9. X_c	= derajat kristalinitas
10. w	= fraksi massa
11. mL	= Mililiter
12. g	= Gram
13. min	= <i>minute</i> (menit)
14. mg	= Miligram
15. T_g	= Suhu transisi kaca
16. T_{cc}	= Suhu <i>cold crystallization</i>
17. T_c	= Suhu kristalisasi
18. T_m	= Suhu pelelehan
19. FTIR	= <i>Fourier transform infrared spectroscopy</i>
20. ΔH_{cc}	= entalpi <i>cold crystallization</i>
21. $\Delta H_{re-crys}$	= entalpi <i>re-crystallization</i>
22. KOH	= Kalium hidroksida
23. NaOH	= Natrium hidroksida

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A GAMBAR ALAT.....	
LAMPIRAN B GAMBAR BAHAN	
LAMPIRAN C GAMBAR PRODUK	
LAMPIRAN D PERHITUNGAN.....	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik memiliki sifat-sifat umum seperti tahan terhadap bahan kimia, isolator terhadap panas dan listrik, ringan, mudah dibentuk, elastis, dan serbaguna karena karakteristiknya dapat diatur dan dimodifikasi sesuai kebutuhan dengan penambahan zat-zat aditif pada proses pembuatannya. Berbagai macam sifat inilah yang membuat plastik banyak diproduksi dan dimanfaatkan oleh manusia baik dalam rumah tangga, industri, maupun dalam bidang-bidang lainnya seperti konstruksi, otomotif, penerbangan, telekomunikasi, dan elektronik. Pemakaian plastik dalam kehidupan sehari-hari dapat menghemat biaya, bahan mentah, dan energi karena sifatnya yang ringan dan mudah diproduksi, namun sampah plastik dapat membawa dampak negatif bagi lingkungan.

Salah satu permasalahan lingkungan di Indonesia maupun di dunia adalah limbah plastik. Limbah plastik merupakan tantangan terbesar saat ini terutama untuk Indonesia. Secara statistik Indonesia adalah penyumbang terbesar kedua di dunia. Potensi sampah plastik yang ada di lautan Indonesia pada tahun 2015 mencapai 187,2 juta ton/tahun (Puteri dkk., 2018). Guna mengatasi permasalahan limbah plastik yang tidak dapat terdegradasi dan bahan baku plastik yang tidak dapat diperbaharui, perlu adanya plastik dari bahan baku yang dapat diperbaharui (*bioplastic*) dan dapat terdegradasi secara alami (*biodegradable*) sehingga permasalahan sampah mudah untuk diatasi. Salah satu polimer yang memiliki sifat tersebut yaitu poliasam laktat (PLA).

Poliasam laktat atau *polylactic acid* (PLA) merupakan salah satu polimer yang sedang hangat diperbincangkan oleh para peneliti karena merupakan salah satu alternatif polimer *biodegradable*. PLA merupakan alifatik termoplastik poliester terbuat dari *ring opening polymerization* (ROP) asam laktat, yang mana merupakan bahan alam yang dapat diperbarui (Averous, 2008). PLA digadagadag dapat menjadi pengganti dari plastik konvensional lainnya yang berbahan

dasar gas alam seperti polipropilena (PP), polietilena (PE), polistirena (PS) dll. Selain memiliki sifat dapat didaur ulang serta ramah lingkungan PLA juga memiliki kekakuan dan kekuatan yang setara dengan polistirena (Suryanegara dkk., 2009). Penggunaan dari PLA sendiri sudah semakin luas yaitu pada bidang kesehatan, otomotif dan kemasan. Namun pemanfaatan PLA belum seluas polimer sintesis lainnya karena sifatnya yang kurang tagguh, tidak tahan terhadap panas, getas dan proses kristalisasinya yang lambat menyebabkan menurunnya produktivitas dari PLA (Xiao dkk., 2008; Suryanegara dkk., 2010).

Guna memperbaiki sifat dari PLA maka diperlukan adanya peningkatan kualitas. Menurut penelitian sebelumnya, Suryanegara dkk (2009) menyatakan dengan adanya penambahan *microfibrillated cellulose (MFC)* dapat mempercepat proses kristalisasi dan meningkatkan sifat mekanik dari PLA. Selulosa merupakan polisakarida berantai panjang yang tersusun atas glukosa. Selulosa merupakan salah satu komponen penyusun dari serat alam. Serat alam sendiri terdapat dalam jumlah yang banyak pada lingkungan. Selain terbuat dari bahan terbarukan, serat alam juga memiliki kelebihan lainnya seperti densitasnya rendah, cenderung memiliki kekuatan tarik dan kekakuan yang baik (Yu dkk., 2014). Namun serat alam sendiri masih memiliki kelemahan yaitu sifatnya yang hidrofilik menyebabkan lemahnya adhesi dengan polimer yang memiliki sifat hirofobik. Lemahnya adhesi antara serat alam dan matriks polimer dapat menyebabkan terjadinya penurunan sifat mekanik dari matriks (Murariu dan Dubois, 2016).

Sorgum merupakan salah satu tanaman yang merajai industri makanan. Proses pengolahan tanaman Sorgum dapat menghasilkan produk samping yang terdiri dari lignin, hemiselulosa dan selulosa. Produk samping tersebut dapat dijadikan serat alam yang berpotensi sebagai penguat pada proses pembuatan komposit (Reddy dan Yang, 2007). Selain menambahkan serat, penambahan pemlastis juga dapat memperbaiki sifat PLA. Pemlastis pada industri plastik dapat berguna untuk menaikkan elastisitas, meningkatkan ketangguhan dan kuat sobek serta menurunkan suhu transisi kaca (Mustapa dkk., 2016). Ljungberg dkk (2002) melakukan penelitian dengan menggunakan triasetin (TAc) dan tributil sitrat (TbC) sebagai pemlastis PLA dan didapat kesimpulan bahwa dengan adanya

penambahan TAc dan TbC sebagai pemlastis PLA dapat menurunkan suhu transisi kaca dan menaikkan kristalinitas PLA. Triasetin merupakan salah satu jenis pemlastis yang memiliki titik didih yang tinggi yaitu 258 °C. Dengan titik didih yang tinggi triasetin diharapkan tidak akan rusak atau menghilang pada saat pemrosesan, selain itu juga karena sama-sama mengandung gugus ester sehingga memiliki sifat yang sama sehingga PLA diharapkan dapat bercampur secara homogen dengan triasetin.

Pada penelitian ini PLA semikristalin akan digunakan sebagai matriks komposit yang akan digabungkan dengan triasetin dan serat selulosa. Hasil dari proses pencampuran akan dicetak menggunakan mesin kempa guna menghasilkan sampel uji berbentuk lembaran. Selanjutnya akan dilakukan pengujian sifat termal dari komposit menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetry (DSC)* dan *Thermogravimetric Analysis (TGA)*.

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa permasalahan pada penelitian ini berdasarkan uraian di atas, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh penambahan serat selulosa terhadap sifat termal komposit PLA semikristalin?
2. Bagaimana pengaruh penambahan triasetin terhadap sifat termal komposit PLA semikristalin?
3. Bagaimana pengaruh penambahan gabungan dari triasetin dan serat selulosa terhadap sifat termal komposit PLA semikristalin?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat terfokus dan terarah sesuai dengan tujuan penelitian maka diberi batasan-batasan masalah antara lain :

1. Bahan baku PLA semikristalin tipe Ingeo 3001D diproduksi oleh NatureWorks, US.
2. Sumber serat selulosa berasal dari serat Sorgum varietas Lepeng dengan serbuk lolos 40 mesh tertahan 20 mesh.
3. Triasetin digunakan sebagai pemlastis, merupakan bahan baku komersil.
4. Komposisi serat selulosa yang digunakan hanya 10 %wt dari campuran.

5. Komposisi triasetin yang digunakan hanya 10 %wt dari campuran.
6. Homogenisasi serat selulosa menggunakan alat ultrasonic merk *Omni International* tipe *Sonic Ruptor 400*.
7. Pengujian *Differential Scanning Calorimetry (DSC)* dilakukan dengan alat DSC4000 PerkinElmer.
8. Pengujian *Termogravimetric Analysis (TGA)* dilakukan dengan alat TGA4000 PerkinElmer.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh penambahan serat selulosa terhadap sifat termal PLA semikristalin.
2. Mengetahui pengaruh penambahan triasetin terhadap sifat termal PLA semikristalin.
3. Mengetahui pengaruh penambahan gabungan dari triasetin dan serat selulosa terhadap sifat termal komposit PLA semikristalin.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini memberikan informasi tambahan dasar teori tentang sifat komposit PLA.
2. Penelitian ini memberikan informasi tambahan dasar teori tentang sifat komposit PLA dengan pemlastis.
3. Penelitian ini memberikan informasi pengaruh penambahan gabungan dari triasetin dan serat selulosa terhadap proses kristalisasi PLA.

1.6 Sistematika Penulisan

Bagian ini merupakan gambaran secara keseluruhan. Didalamnya terdapat lima bab yang masing-masing berkaitan erat. Adapun susunan ke lima bab tersebut sebagai berikut :

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang diadakannya penelitian, rumusan masalah yang akan dibahas, batasan masalah dari penelitian yang akan

dilakukan, tujuan dan manfaat dari dilakukannya penelitian ini, serta penjelasan mengenai sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan umum mengenai komposit, PLA, serat sorgum, selulosa, pemlastis, sifat termal dan beberapa penelitian yang pernah ada.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, variabel penelitian, prosedur penelitian, tahapan pembuatan komposit PLA, homogenisasi serat dan karakterisasi sampel.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data hasil pengujian, analisis data berdasarkan grafik hasil pengujian, dan pembahasan terhadap hasil pengujian dan analisis data.

BAB V: PENUTUP

Bab ini berisi dua bagian, kesimpulan dan saran yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang telah didapat pada bab sebelumnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang memiliki sifat dan struktur yang berbeda. Pencampuran bahan dilakukan secara fisik hingga menjadi satu dan membentuk ikatan mekanik dengan struktur homogen. Material komposit merupakan bahan gabungan secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik (Sulistijono, 2012). Material tersebut akan menghasilkan material yang baru dengan sifat unggul dari material-material pembentuknya. Menurut Sulistijono (2012) sifat mekanik dan sifat fisik yang dapat dikembangkan pada komposit yakni:

- Kekuatan
- Kekakuan
- Ketahanan korosi
- Ketahanan gesek
- Konduktivitas termal
- Insulasi listrik
- Ketahanan fatik
- Berat
- Tampilan
- Insulasi panas

Komposit umumnya terdiri atas lebih dari satu unsur yaitu serat sebagai penguat dan bahan pengikat serat sebagai matriks. Serat merupakan bahan utama penyusun komposit, karena serat dapat menentukan karakteristik bahan komposit. Matriks berguna untuk melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja secara baik. Penggunaan serat sebagai bahan penguat didasari karna sifatnya yang kuat. Sedangkan bahan matriks dipilih dari bahan-bahan yang lunak (Balgacem dan Gandini, 2008). Polimer merupakan salah satu bahan yang dapat

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang memiliki sifat dan struktur yang berbeda. Pencampuran bahan dilakukan secara fisik hingga menjadi satu dan membentuk ikatan mekanik dengan struktur homogen. Material komposit merupakan bahan gabungan secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik (Sulistijono, 2012). Material tersebut akan menghasilkan material yang baru dengan sifat unggul dari material-material pembentuknya. Menurut Sulistijono (2012) sifat mekanik dan sifat fisik yang dapat dikembangkan pada komposit yakni:

- Kekuatan
- Kekakuan
- Ketahanan korosi
- Ketahanan gesek
- Konduktivitas termal
- Insulasi listrik
- Ketahanan fatik
- Berat
- Tampilan
- Insulasi panas

Komposit umumnya terdiri atas lebih dari satu unsur yaitu serat sebagai penguat dan bahan pengikat serat sebagai matriks. Serat merupakan bahan utama penyusun komposit, karena serat dapat menentukan karakteristik bahan komposit. Matriks berguna untuk melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja secara baik. Penggunaan serat sebagai bahan penguat didasari karena sifatnya yang kuat. Sedangkan bahan matriks dipilih dari bahan-bahan yang lunak (Balgacem dan Gandini, 2008). Polimer merupakan salah satu bahan yang dapat

digunakan sebagai matriks dalam komposit karena memiliki sifat yang lunak.

Sifat utama dari komposit terletak pada ikatan antar matriks dengan penguat. Ikatan kuat antar matriks dan penguat didapat melalui penyebaran penguat yang rata pada matriks (homogen), sehingga menambah jumlah ikatan pada penyusun komposit. Ikatan antar matriks dengan penguat inilah yang akan menjadi media penahan beban akibat adanya tegangan yang terjadi pada permukaan komposit. Ketika permukaan komposit diberi beban, maka beban akan terdistribusi ke dalam setiap komponen penyusun komposit. Ikatan antar matriks dan penguat inilah yang jika tersusun dengan baik, maka distribusi beban akibat tegangan pada permukaan suatu komposit tersebut dapat berlangsung dengan baik pula (Franco dan Gonzalez, 2005). Efisiensi dari komposit dapat dilihat dari seberapa banyak tegangan yang di pindahkan dari matriks terhadap penguat (Dufresne, 2008)

2.1.1 Klasifikasi Komposit

Kebanyakan material komposit dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan dan memperbaiki sifat mekaniknya. Bahan komposit dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis, bergantung pada jenis dan geometri serat. Hal ini didasari karena serat merupakan penyusun utama pada bahan komposit (Surdia dan Saito, 1985). Geometri material penguat dibedakan atas partikel dan serat. Partikel dapat berbentuk bola, kubus, kotak tetragonal, batang, wishkers, lembar pipih atau bentuk yang tidak beraturan. Komposit yang memiliki penguat jenis ini maka disebut komposit berpenguat partikel. Sedangkan penguat serat dimana serat memiliki rasio panjang terhadap diameter yang nilainya besar disebut sebagai komposit berpenguat serat. Penggabungan dari lapisan/lamina yang terbuat dari komposit partikel dengan komposit serat atau kombinasi keduanya disebut komposit lamina (Sulistijono, 2012). Sifat-sifat mekanik bahan komposit seperti kekuatan, kekakuan, keuletan dan ketahanan tergantung pada geometri dan jenis serat (Surdia dan Saito, 1985).

Komposit polimer yang umumnya sering digunakan pada beberapa tahun belakangan merupakan gabungan dari polimer dengan penguat serat sintetis. Serat sintetis yaitu berupa serat kaca, serat karbon dll. Namun hal tersebut menimbulkan banyak permasalahan dalam lingkungan dikarenakan limbah hasil

penggunaan yang tidak dapat didaur ulang, sehingga menimbulkan penumpukan limbah. Limbah hasil pemakaian dari komposit non-*biodegradable* sebagian besar dikubur dan dibakar. Namun proses pembakarannya membutuhkan dana yang lumayan mahal. Serta pada saat proses pembakaran akan mengeluarkan emisi gas yang membawa polusi udara. Hal tersebut mendorong para peneliti untuk mengembangkan komposit menggunakan energi terbarukan. Perkembangan yang telah dilakukan beberapa tahun belakangan yaitu berupa komposit dengan matriks biopolimer berpenguat serat alam, komposit alam berpenguat serat pendek, dan komposit alam serat searah. Pengembangan ini didasari karena biaya produksi yang lebih murah, berbahan dasar energi terbarukan serta *biodegradable* (Hubbe dkk., 2008).

Komposit terbarukan yang sangat menarik perhatian akhir-akhir ini adalah komposit dengan matriks biopolimer berpenguat serat alam yang disebut dengan *fully green composite*. Serat alam yang sering digunakan sebagai penguat yaitu serat rami, jute, linen, sisal dll sedangkan resin polimer yang sering digunakan sebagai matriks yaitu pati, asam laktat dll. Kelebihan dari penggunaan serat alam sebagai penguat dibandingkan dengan serat sintetis lainnya adalah densitasnya yang rendah, biaya produksi lebih murah, dapat terdegradasi pada suhu tinggi dan *biodegradable*. Namun salah satu kekurangan serat alam sebagai penguat adalah sifatnya yang hidrofilik, sehingga sukar menyatu dengan polimer yang memiliki sifat hidrofobik. Kekurangan lainnya yaitu serat dapat terdegradasi secara termal. Hal-hal tersebut dapat menimbulkan kurang baiknya adhesi antara serat dengan matriks dan mengakibatkan menurunnya sifat fisik dari komposit (Goda dan Cao, 2007).

2.1.1.1 Komposit Hijau (*Fully Green Composites*)

Pada tahun 1980-an, telah dilakukan pembuatan komposit terbarukan terbuat dari matriks resin termoset dengan berpenguat serat selulosa, kemudian pada tahun 1990-an mulai dikembangkan komposit menggunakan matriks resin termoplastik yang diperkuat dengan serbuk kayu yang menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi. Komposisi kimia dan sifat mekanik dari serat alam ditunjukkan pada tabel 2.1 dan tabel 2.2. Sifat mekanik dari serat alam bergantung pada

banyaknya jumlah mikrofibril yang terkandung di dalamnya, semakin banyak mikrofibrilar maka akan memiliki sifat yang baik. Namun serat alam tidak memiliki kekuatan yang setara dengan serat kaca yang sering digunakan (Goda dan Cao, 2007).

Tabel 2. 1 Kandungan Kimia pada Serat Alam

Serat	Selulosa (%wt)	Hemiselulosa (%wt)	Lignin (%wt)	Pektin (%wt)	Lilin (%wt)	Mikrofibrilar (Deg)	Kadar air (%wt)
Linen	71	2,2	18,6-20,6	2,3	1,7	10	10
Jute	61-71,5	12-13	13,6-20,4	0,2	0,5	8,0	12,6
Rami	68,6-76,2	0,6-0,7	13,1-16,7	1,9	0,3	7,5	8
Hemp	70,2-74,4	3,7-5,7	17,9-22,4	0,9	0,8	6,2	10,8
Kenaf	31-39	15-19	21,5	-	-	-	12
Sisal	67-78	8-11	10-14,2	10	2	20	11
Henequen	77,6	13,1	4-8	-	-	-	-

Sumber: Goda & Cao (2007)

Tabel 2. 2 Sifat Mekanik Serat

Serat	Berat Jenis	Diameter rata-rata (mm)	Kekuatan tarik (MPa)	Modulus Young's (GPa)
Bambu	0,80	0,187	465	18,0-55,0
Jute	1,30	0,01	394	55,00
Manila hemp	1,30	0,20	792	26,6
Rami	1,16	0,034	560	24,5
Kenaf	1,04	0,078	448	24,6
E-glass	2,56	0,008-0,014	1400-2500	55,8-99,6

Sumber: Goda & Cao (2007)

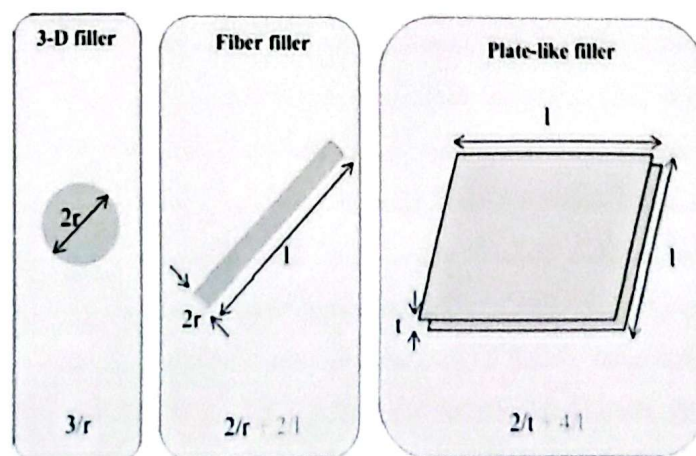
Secara garis besar komposit hijau merupakan komposit yang tersusun atas serat alam dan polimer *biodegradable*. Keunggulan utama dari komposit hijau merupakan kemampuannya untuk didaur ulang. Ketika komposit hijau telah selesai dipakai maka dapat terurai menjadi air dan karbon dioksida dengan proses degradasi oleh mikroorganisme. Oleh karena itu, komposit hijau adalah sebuah hal yang terbarukan, ramah lingkungan, dan merupakan bahan *biodegradable*. Namun sifat hidrofilik, penyerapan air yang baik, dapat terdegradasi secara termal merupakan kekurangan dari serat alam dapat mempengaruhi sifat komposit karena adhesi antar serat dan matriks yang kurang baik (Yu dkk., 2014).

2.1.1.2 Nanokomposit Selulosa

Nanokomposit berarti dimana salah satu material berukuran minimal berskala nano (<100 nm) dan akan memiliki fungsi yang berbeda dengan material

berukuran lebih besar (Raquez dkk., 2013). Strukturnya dan ukurannya yang sangat kecil memberikan kekuatan tarik, optikal, elektrikal, dan sifat kimia yang unik dibandingkan dengan struktur makrokomposit atau serat selulosa panjang (Raquez dkk., 2013; Hubbe dkk., 2008). Karena sifat itulah yang menarik perhatian para peneliti untuk mengembangkan nanokomposit. Menurut Raquez (2013) nanofillers memiliki banyak bentuk dan ukuran (gambar 2.1) yang dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu:

1. *Plate-like nanofillers* tipikal material memiliki ketebalan antara lain 1 nm, dengan aspek rasio sekurang-kurangnya 25. Bahan pengisi yang paling sering digunakan yaitu silikat berlapis.
2. *Nanofibers or whiskers (2D)* memiliki diameter dibawah 100 nm dan memiliki aspek rasio sekitar 100. Yang termasuk dalam kategori ini berupa karbon nanotube, nanoselulosa dll
3. *Nanoparticles (3D)* memiliki dimensi dibawah 100 nm. Bahan yang sering digunakan adalah partikel silika, *metal oxides* dan *polyhedral oligomeric silsesquioxane*.



Gambar 2. 1 Geometrikal Pengisi

Sumber: Raquez dkk (2013)

Nanoselulosa adalah selulosa yang berukuran nano. Nanoselulosa yang memiliki selulosa kristal yang panjang dan lurus biasanya disebut *wishkers*. Kemudian mulai muncul material yang mengandung banyak nanoselulosa atau *fibrils* yang melekat bersama setidaknya dengan ukuran sebagian dari panjangnya,

biasanya material ini disebut dengan nanofibrillar selulosa (NFC). Selain itu ada pula nanokristal selulosa (NCC). Nanokristal selulosa memiliki tingkat kekakuan yang tinggi sehingga dapat memberikan sifat impact yang baik terhadap komposit polimer (Hubbe dkk., 2008).

2.1.2 Penyusun Material Komposit

Komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang memiliki sifat dan struktur yang berbeda. Material tersebut akan menghasilkan material yang baru dengan sifat unggul dari material-material pembentuknya. Komposit biasanya terdiri dari dua fase yaitu matriks dan penguat.

Matriks memiliki fungsi sebagai pengikat atau penyangga untuk penguat serta mentransfer tegangan agar dapat disangga penguat. Selain itu matriks juga memiliki fungsi lain seperti memberikan bentuk kepada struktur komposit serta sebagai pelindung penguat terhadap kerusakan-kerusakan yang diakibatkan oleh lingkungan maupun kerusakan secara mekanis dalam batasan tertentu. Karakteristik yang umumnya dimiliki matriks yaitu memiliki kekuatan dan rigiditas yang rendah dibanding penguatnya serta ulet (Sulistijono, 2012).

Penguat tidak hanya dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik komposit tetapi juga digunakan untuk mengubah sifat-sifat fisik seperti tahan aus, koefisien friksi atau konduktivitas termal. Serat-serat dapat terbuat dari serat sintetis maupun serat alam. Serat polimer dapat diubah menjadi beberapa macam serat seperti serat kevlar atau serat grafit yang disebut dengan serat karbon (Sulistijono, 2012). Serat alam dapat berupa serat rami, jute, kenaf, linen, sisal dll. Penambahan serat pada matriks dapat meningkatkan ikatan yang kuat sehingga dapat memberikan modulus yang sangat tinggi (Murariu dan Dubois, 2016).

2.2 Poliasam Laktat (PLA)

Poliasam laktat atau yang biasa disebut dengan *polylactic acid (PLA)* merupakan linier alifatik poliester yang tersusun dari monomer asam laktat. PLA berasal dari bahan terbarukan serta dapat terdegradasi dengan mudah (Martin & Averous, 2001). PLA ditemukan pada tahun 1932 oleh Crothers (DuPont) dengan berat molekul yang rendah dengan cara memanaskan asam laktat pada kondisi

vakum (Sari, 2018). Monomer asam laktat dapat diperoleh dari pati jagung, singkong, kentang, gula dll (Raquez dkk., 2013; Martin & Averous, 2001; Madival dkk., 2009; Murariu & Dubois, 2016). Oleh karena itu PLA dikategorikan sebagai biopolimer terbuat dari energi terbarukan serta *biodegradable*. PLA dapat terlarut pada pelarut klorofoam, diklorometan, aseton, xilen dan etil asetat (Averous, 2008; Suryanegara dkk., 2009)

Menurut Averous (2008) PLA dapat produksi dengan tiga metode yaitu (gambar 2.2):

1. Kondensasi asam laktat dan *coupling agent* akan menghasilkan poliasam laktat dengan berat molekul yang rendah dan rapuh sehingga tidak dapat digunakan. Untuk memperbaiki hal tersebut maka dilakukan penambahan *coupling agent* atau *esterification-promoting agent* agar dapat bereaksi dengan gugus hidroksil (OH) atau gugus karboksil, sehingga dapat menaikkan berat molekul dari PLA.
2. Kondensasi dehidrasi azeotropik asam laktat menggunakan katalis azeotropik guna menghasilkan PLA dengan berat melekul ≥ 300000 .
3. *Ring opening polymerization* (ROP) dilakukan dengan tiga tahap yaitu polikondensasi asam laktat, depolimerisasi hingga terjadinya pembentukan *lactide* yang dilanjutkan dengan ROP. PLA yang akan terbentuk memiliki berat molekul ≥ 100000 .

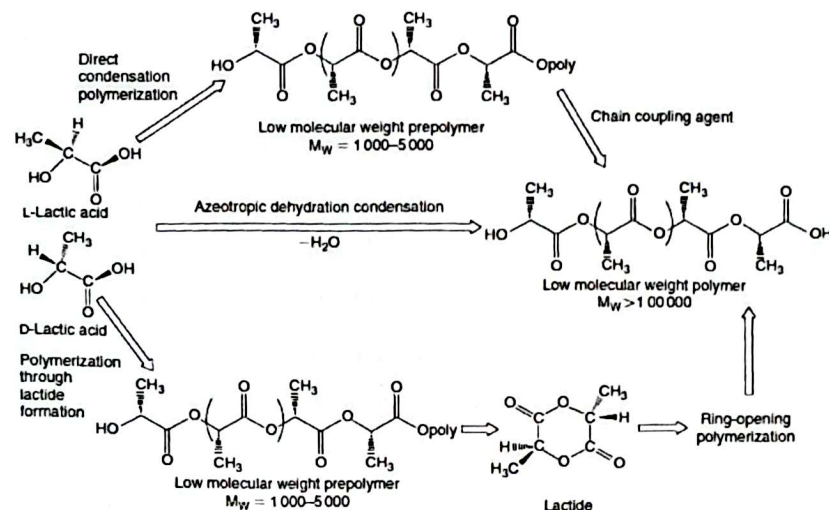
Tabel 2. 3 Sifat Fisis PLA (Ingeo 3001D)

Parameter	Nilai
Titik Leleh (°C)	175
Suhu transisi kaca (°C)	55
<i>Specific Gravity</i>	1,24
Elastisitas (%)	3,5
Kuat Tarik (MPa)	62
Modulus (MPa)	3600

Sumber: NatureWorks

PLA memiliki kegunaan yang cukup luas terutama pada bidang kesehatan, tekstil, otomotif serta kemasan (Huda dkk., 2005; Suryanegara dkk., 2010). Tabel 2.3 menunjukkan sifat fisis PLA. Jika dibandingkan dengan kekuatan tarik ($32,9 \pm 3,6$ MPa) dan modulus ($1,5 \pm 0,2$ GPa) dari PP, PLA memiliki kekuatan yang lebih baik. Namun PP lebih tangguh dibandingkan dengan PLA. Oleh sebab itu penggunaan PLA dapat semakin luas karena memiliki sifat fisis yang sama atau

sebanding dengan polimer sintetis lainnya serta pemrosesannya juga dapat dilakukan dengan mudah (Huda dkk., 2005). PLA juga memiliki kelebihan lainnya seperti transparansi yang tinggi dan kemudahan untuk terdegradasi secara alami (Xiao dkk., 2008; Suryanegara dkk., 2010).



Gambar 2. 2 Proses Sintesis PLA

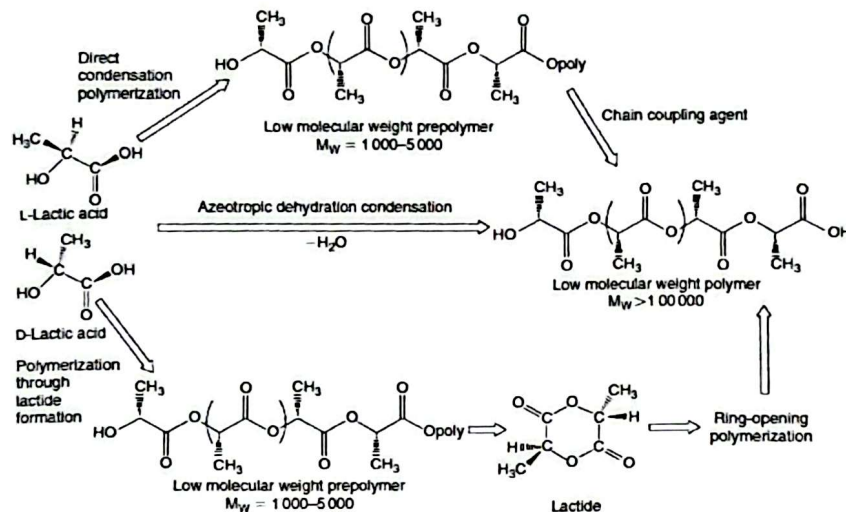
Sumber: Aveorous (2008)

Menurut Botelho dkk (2004) kelebihan PLA dibandingkan dengan polimer sintetis lainnya adalah:

1. *Biodegradable*, dapat diuraikan secara alami dengan mikroorganisme
2. *Biocompatible*, pada kondisi normal, jenis plastik ini dapat diterima oleh sel atau jaringan biologi
3. Dihasilkan dari bahan yang dapat diperharui
4. Dapat didaur ulang melalui hidrolisis asam laktat dapat diperoleh dan digunakan kembali untuk aplikasi yang berbeda atau menghasilkan produk lain
5. Tidak menggunakan pelarut organik dalam proses produksi
6. Dapat dibakar sempurna dan tidak menghasilkan gas CO_2 dan air

Kekurangan dari PLA adalah masih tingginya harga penjualan, ketersediaan bahan masih sedikit, getas, ketangguhan yang rendah, ketahanan panas yang rendah sehingga sulit di proses pada suhu tinggi, kekakuan yang tinggi dan proses kristalisasi yang lambat (Suryanegara dkk., 2010; Xiao dkk., 2008). Proses

sebanding dengan polimer sintetis lainnya serta pemrosesannya juga dapat dilakukan dengan mudah (Huda dkk., 2005). PLA juga memiliki kelebihan lainnya seperti transparansi yang tinggi dan kemudahan untuk terdegradasi secara alami (Xiao dkk., 2008; Suryanegara dkk., 2010).



Gambar 2. 2 Proses Sintesis PLA

Sumber: Aveorous (2008)

Menurut Botelho dkk (2004) kelebihan PLA dibandingkan dengan polimer sintetis lainnya adalah:

1. *Biodegradable*, dapat diuraikan secara alami dengan mikroorganisme
2. *Biocompatible*, pada kondisi normal, jenis plastik ini dapat diterima oleh sel atau jaringan biologi
3. Dihasilkan dari bahan yang dapat diperharui
4. Dapat didaur ulang melalui hidrolisis asam laktat dapat diperoleh dan digunakan kembali untuk aplikasi yang berbeda atau menghasilkan produk lain
5. Tidak menggunakan pelarut organik dalam proses produksi
6. Dapat dibakar sempurna dan tidak menghasilkan gas CO_2 dan air

Kekurangan dari PLA adalah masih tingginya harga penjualan, ketersediaan bahan masih sedikit, getas, ketangguhan yang rendah, ketahanan panas yang rendah sehingga sulit di proses pada suhu tinggi, kekakuan yang tinggi dan proses kristalisasi yang lambat (Suryanegara dkk., 2010; Xiao dkk., 2008). Proses

kristalisasi yang lambat serta derajat kristalisasi yang rendah merupakan salah satu penyebab terbatasnya penggunaan PLA dalam berbagai aplikasi industri, salah satunya pada industri otomotif dan elektronik (Raquez dkk., 2013). Proses kristalisasi dapat mempengaruhi sifat fisik, mekanik serta *barrier properties* dari PLA. Peningkatan kristalinitas akan berguna untuk barang yang akan dicetak menggunakan mesin *injection molding* karena salah satu sifat yang terpenting adalah memiliki stabilitas termal yang baik.

Pada saat ini telah dilakukan banyak penelitian guna meningkatkan kualitas dari PLA. Beberapa cara dalam meningkatkan kualitas dari PLA bisa dilakukan dengan cara menambahkan pemlastis serta serat sebagai penguat. Penambahan pemlastis berupa tributil sitrat, trietil sitrat, polietilen glikol dan triasetin berguna untuk mengurangi sifat getas, meningkatkan ketangguhan dan menaikkan kristalinitas dari PLA (Ljungberg dkk., 2002; Ljungberg dan Wesslen, 2003; Labrecque dkk., 1997). Penambahan selulosa maupun serat alam sebagai bahan penguat komposit PLA juga telah banyak dilakukan (Suryanegara dkk., 2009; Raquez dkk., 2013; Andinie, 2013). Pembuatan komposit PLA yang diperkuat dengan serat alam maupun selulosa dapat menaikkan nilai ketangguhan serta sifat mekanik lainnya dari PLA

2.3 Serat Sorgum

Sorgum (*Sorghum sp*) merupakan tanaman sereal yang termasuk dalam tanaman rumput-rumputan yang merupakan salah satu tanaman asli dari wilayah tropis. Tanaman Sorgum berasal dari Afrika. Sorgum dikenal sebagai tanaman sereal yang memiliki keunggulan tahan terhadap kekeringan, karena ia mempunyai lapisan lilin baik pada batang dan daun sehingga dapat menahan penguapan air. Masa panen tanaman Sorgum 3-4 bulan. Batang tanaman Sorgum berbentuk silindris, tegak, lurus, beruas-ruas dan berbuku-buku (Amrizal, 2015).



Gambar 2. 3 Tanaman Sorgum

Sumber: Firmansyah dkk (2013)

Perkembangan tanaman Sorgum di Indonesia memiliki potensi untuk digunakan sebagai sumber pangan, pakan dan energi (Subagio dan Aqil, 2014). Pengolahan Sorgum sebagai bahan pangan dan pakan akan menimbulkan produk samping berupa serat, hal tersebut berpotensi untuk menjadikan serat selulosa sebagai serat pakaian, komposit dan aplikasi lainnya yang tengah dikembangkan. Serat selulosa sendiri memiliki kandungan komponen kimia seperti yang dicantumkan pada tabel 2.4, besarnya kandungan selulosa pada batang Sorgum dapat berpotensi untuk menjadikan serat batang Sorgum sebagai penguat komposit.

Tabel 2. 4 Komposisi Kimia Serat Sorgum

Material	Selulosa	Lignin	Abu
Daun Sorgum	64,8 ± 1,7	9,0 ± 0,7	2,9 ± 0,7
Batang Sorgum	65,1 ± 2,1	6,5 ± 1,1	1,2 ± 0,4

Sumber: Reddy dan Yang (2007)

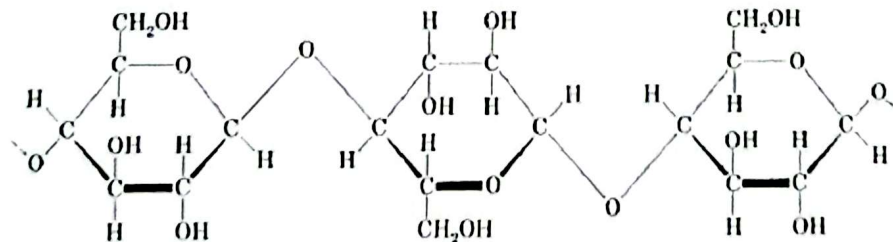
Sorgum merupakan salah satu serat alam. Serat alam tersusun atas komponen lignoselulosa, yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Penemuan yang sedang dikembangkan beberapa tahun belakangan ini yaitu menggabungkan antara polimer berbasis bahan terbarukan dengan penguat serat alam, dengan penggabungan kedua bahan tersebut akan menghasilkan komposit hijau berbasis bahan terbarukan (*bio-based*). Penguat serat alam dipilih karna memiliki densitas yang rendah, biaya dan energi pemrosesan murah, memiliki kekuatan yang baik, tidak mengandung racun, dan dapat didaur ulang (Wambua dkk., 2003).

Namun penggunaan serat alam sebagai penguat juga memiliki kekurangan. Sifat serat yang hidrofilik sukar menyatu dengan sifat beberapa polimer yang hidrofobik, hal tersebut menyebabkan tidak menyatunya/menyebarnya serat

secara rata pada matriks polimer (Murariu dan Dubois, 2016). Selain itu sifat serat yang hidrofilik membuat serat memiliki kadar air yang cukup tinggi sehingga dapat menurunkan kekuatan dari serat (Belgacem dan Gandini, 2008). Selulosa merupakan salah satu jenis serat alam yang melimpah keberadaannya..

2.4 Selulosa

Selulosa merupakan senyawa organik polisakarida yang tersusun atas monomer glukosa dengan panjang rantai hingga ratusan ribu. Serat selulosa memiliki ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen yang sangat kuat inilah yang menjadikan serat selulosa sukar larut dalam air. Selulosa memiliki kegunaan yang sangat luas yaitu sebagai penguat pada komposit, benang dan pakaian. Gambar 2.4 menunjukkan struktur selulosa. Sumber utama selulosa terdapat dari tumbuhan dan bakteri. Selain itu selulosa juga sudah dikembangkan sehingga menjadi komponen utama dalam pembuatan kertas dan sedang melalui proses pengembangan lagi untuk dijadikan *cellophane*/kertas kaca dan rayon. Kualitas dari serat yang digunakan tergantung pada jenis tanaman yang digunakan serta kondisi yang diterapkan (Belgacem dan Gandini, 2008).



Gambar 2. 4 Struktur Selulosa

Sumber: Yunita (2018)

Serat selulosa pada tumbuhan terdapat pada bagian batang dan daun tumbuhan. Bagian tumbuhan umumnya tidak hanya terdiri dari selulosa tetapi juga lignin dan hemiselulosa. Serat selulosa pada tumbuhan memiliki keunggulan yaitu mudah didapat dan jumlah bahan baku yang melimpah. Serat selulosa pada tumbuhan diambil dengan melalui proses ekstraksi serat alam. Karakteristik selulosa muncul karena adanya struktur kristalin dan amorf serta beberapa mikrofibril yang membentuk fibril yang bergabung membentuk serat selulosa. Perbedaan derajat polimerisasi dari selulosa tergantung terhadap panjang rantai

serta jenis dari serat alam. Parameter yang sering digunakan untuk mengukur sifat mekanik dari selulosa yaitu berdasarkan jenis selulosa yang terkandung didalamnya.

Berdasarkan derajat polimerisasinya selulosa dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu:

1. α -selulosa (*Alpha Cellulose*) adalah selulosa berantai panjang yang tidak dapat larut dalam larutan NaOH 17,5% atau larutan basa kuat dengan DP 600-15000. α -selulosa dipakai sebagai pengukur tingkat kemurnian selulosa. α -selulosa dengan DP > 92% dapat dijadikan sebagai bahan peledak sedangkan DP < 92% dapat digunakan sebagai bahan baku industri.
2. β -selulosa (*Beta Cellulose*) adalah selulosa berantai pendek dan dapat larut dalam NaOH 17,5% atau basa kuat dengan DP 15-90 dan dapat mengendap bila dinetralkan.
3. γ -selulosa (*Gamma Cellulose*) sama seperti β -selulosa namun DP dari γ -selulosa kurang dari 15, biasanya dapat disebut dengan holoselulosa dan hemiselulosa (Yunita, 2018; Bodhlyera dkk., 2015).

Dalam beberapa penelitian telah dilakukan penambahan selulosa berupa *micro fibrill cellulose* (MFC), *nano fibrill cellulose* (NFC), *microcrystal cellulose* (MCC) dan *nanocrystal cellulose* atau bisa disebut dengan *wishkers*. Fibril dapat digambarkan dengan selulosa yang memiliki ukuran yang panjang dengan ketebalan yang sangat tipis, sedangkan selulosa yang memiliki struktur kristal yang panjang dapat dikatakan selulosa kristal (Hubbe dkk., 2008). Suryanegara dkk (2009) melakukan penelitian pembuatan komposit PLA yang diperkuat MFC dengan rasio sebesar 3, 5, 10, 20 %wt. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan dengan adanya penambahan MFC hingga 20 %wt dapat menghasilkan sifat mekanik dan sifat termal yang lebih baik dibandingkan PLA murni. Andinie (2013) juga melakukan penambahan MFC yang telah terasetilasi sebagai penguat pada komposit PLA dengan rasio 10%. Penggunaan rasio sebesar 10% dilakukan guna menjaga kualitas dari komposit yang dihasilkan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan MFC-asetilasi dapat meningkatkan sifat termal dan sifat mekanik dari komposit serta dapat

membentuk penyebaran yang lebih merata pada matriks. Kemudian Yu dkk (2014) melakukan penambahan berupa serat rami dan *compatibilizer* berupa *maleic anhydride (MA)*. Penambahan serat rami dilakukan dengan rasio sebesar 30 %wt. Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan serat rami dapat menaikkan suhu transisi kaca (Tg) dan menurunkan stabilitas termal dari PLA, hal ini menunjukkan bahwa serat rami dapat menurunkan mobilitas rantai dari PLA dan serat rami dapat terdegradasi secara termal. Sedangkan dengan adanya penambahan MA dapat menurunkan suhu transisi kaca (Tg) dan mempertahankan stabilitas termal dari PLA.

2.5 Pemlastis

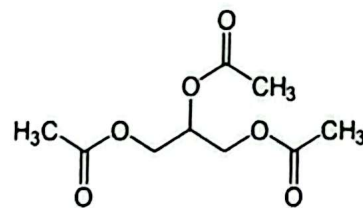
Pemlastis merupakan bahan kimia tambahan yang dapat meningkatkan elastisitas, menurunkan viskositas bahan, menurunkan suhu transisi kaca (Tg) dan menaikkan kristalinitas dari polimer (Ljungberg dkk., 2002). Pemlastis merupakan bagian penting untuk pembuatan plastik dengan cara *coating*, *extrusions*, *moldings*, *adhesives*, dan *film* (Lokensgard, 2008). Sifat-sifat yang diperlukan untuk menentukan jenis pemlastis yang akan digunakan yaitu

1. Mudah untuk larut dalam matriks dan tidak mudah menghilang
2. Memiliki tekanan uap yang rendah
3. Tidak rapuh pada suhu rendah dan tidak mudah mendidih jika dipanaskan
4. Tidak berwarna, tak berbau dan tak beracun suatu keharusan untuk pemrosesan makanan (Surdia dan Saito, 1985).

Penambahan pemlastis pada PLA sudah dilakukan dalam banyak penelitian. Beberapa pemlastis seperti tributil sitrat, polietilen glikol (PEG), loxiol, triasetin dan gliserol sudah banyak digunakan dalam penelitian, karena dapat terlarut dengan baik serta dapat meningkatkan sifat-sifat PLA seperti elastisitas, ketangguhan, menurunkan suhu transisi kaca (Tg) dan mempercepat proses kristalisasi (Martin dan Averous, 2001; Ljungberg dan Wesslen, 2003; Ljungberg dkk., 2002; Labrecque dkk., 1997). Namun dengan adanya penambahan pemlastis dapat menyebabkan penurunan kekuatan tarik. Penggunaan pemlastis dalam campuran komposit dibatasi sebanyak 10% karena dapat menunjukkan sifat mekanik yang baik, sedangkan penambahan pemlastis diatas 20% terhadap

komposit dapat menurunkan sifat impak dari komposit (Murariu dan Dubois, 2016).

Triasetin merupakan salah satu pemlastis *biodegradable* dan tidak beracun. Triasetin memiliki ciri tidak berbau, memiliki berat molekul 218 g/mol dan memiliki titik didih 259°C (Ljungberg dkk., 2002). Triasetin memiliki tekanan uap 0,003306 kPa pada suhu 25 °C. Triasetin sering digunakan sebagai pemlastis, pelarut, dan bahan bakar. Pemlastis ini tidak dapat menguap dalam air namun dapat larut dalam air (Yunita, 2018). Gambar 2.5 menunjukkan struktur kimia triasetin. Triasetin dapat dengan mudah tercampur bersama PLA karena adanya interaksi polar antara gugus ester pada triasetin dan PLA. Selain itu triasetin dapat menurunkan suhu transisi kaca dari PLA karena memiliki berat molekul yang rendah sehingga dapat mudah tercampur serta dapat menghasilkan material yang fleksibel (Ljungberg dan Wesslen, 2003).



Gambar 2. 5 Struktur Triasetin

Sumber: Yunita (2018)

2.6 Sifat Termal

Sifat termal merupakan respon material terhadap panas maupun dingin. Tujuan dari dilakukannya pengujian termal agar mengetahui pengaruh antara suhu dengan sifat fisik dari sampel. alat yang biasa digunakan dua diantaranya adalah *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) dan *Thermogravimetric Analysis* (TGA).

Pengujian DSC merupakan salah satu pengujian termal guna menghitung laju penyerapan panas atau energi yang dibutuhkan sampel seiring dengan kenaikan suhu. Pengujian DSC dapat berguna untuk mengukur suhu transisi kaca (T_g), suhu pelelehan (T_m), suhu kristalisasi (T_c), kapasitas panas dari suhu transisi kaca (C_p) dan entalpi pemanasan (ΔH_m) dari material (Menczel dan Prime, 2009).

Persentase kristalinitas dari sampel dapat dihitung menggunakan persamaan 1. DSC dapat sangat menguntungkan jika kita hanya memiliki sampel yang sedikit, karena pada pengujian ini hanya membutuhkan sampel dibawah 25 mg (Dostal dan Reinhart, 1988).

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_{ref}} \times 100/w \quad (1)$$

Dimana ΔH_m merupakan entalpi endotermis dari sampel dikurangi dengan entalpi eksotermis total dari penjumlahan entalpi kristalisasi dan entalpi kristalisasi sebelum pelelehan yaitu entalpi *cold crystallization* (ΔH_{cc}) dan entalpi *re-crystallization* ($\Delta H_{re-crys}$), ΔH_{ref} merupakan entalpi pelelehan untuk PLA dengan kristalinitas 100% yang dianggap sebesar 93 J/g dan w merupakan fraksi massa dari PLA (Suryanegara dkk., 2010).

Suhu pelelehan (T_m) merupakan suhu dimana *crystalline solid* berubah menjadi cairan isotropik. Untuk polimer semikristalin akan menunjukkan rentang pelelehan yang cukup lebar. Dalam beberapa kasus *melting poin* dapat menunjukkan suhu paling tinggi dari proses endoterm, karena suhu ini merupakan suhu dimana polimer semikristalin mengalami pelelehan secara sempurna. Entalpi pemanasan (ΔH_m) merupakan jumlah dari panas yang diberikan terhadap sampel dari sampel *crystalline solid* hingga berubah menjadi cairan isotropik (Menczel dan Prime, 2009).

Suhu transisi kaca (T_g) merupakan perubahan dimana bahan yang semula seperti kaca berubah menjadi seperti karet, karena adanya perbedaan dalam kapasitas panas dari kondisi kaca dan karet (Dostal dan Reinhart, 1988). Suhu kristalisasi (T_c) merupakan suhu dimana cairan isotropik menjadi *crystalline solid* pada saat pendinginan. Untuk polimer semikristalin suhu kristalisasi merupakan suhu paling tinggi pada saat proses eksoterm kristalisasi. Kecepatan laju pendinginan dan pemanasan pada saat pengolahan data harus dicantumkan (Menczel dan Prime, 2009)

Selain itu sifat termal dari bahan juga dapat di uji menggunakan alat TGA. Pengujian TGA berguna untuk menghitung berat sampel yang hilang seiring dengan penambahan suhu. Selain itu TGA juga dapat berfungsi untuk menentukan

kandungan zat aditif atau komponen lainnya yang terdapat pada sampel uji. Penurunan berat dapat disebabkan karena menghilangnya suatu zat tambahan yang terdapat pada sampel (Yunita, 2018). Biasanya suhu pengujian TGA dilakukan dari suhu lingkungan hingga mencapai suhu 1000 °C atau lebih. Gas yang digunakan dapat berupa gas inert seperti nitrogen, argon atau helium. Kadar kelembapan dari gas dapat bermacam-macam dari yang kering hingga jenuh (Menczel dan Prime, 2009).

Kehilangan massa dapat dikategorikan seperti komponen yang mudah menguap seperti *absorbed moisture*, sisa-sisa pelarut, atau aditif dengan berat molekul rendah atau oligomer yang mudah menguap diantara suhu lingkungan hingga 300 °C, reaksi dari produk seperti air dan formaldehid dari penghilangan fenol dan resin amino yang terjadi pada suhu 100 °C dan 250 °C. Semua proses kehilangan masa yang terjadi dapat dikarakteristikan menggunakan TGA untuk mengetahui informasi mengenai komposisi, tingkat kehilangan massa serta stabilitas termal (Menczel dan Prime, 2009). Data yang didapat berupa termogram berat versus suhu. Informasi yang didapat dari termogram merupakan deformasi sampel secara kualitatif (Dostal dan Reinhart, 1988).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Biomaterial, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Cibinong. Penelitian ini dilaksanakan selama 5 bulan yaitu pada bulan Januari-Juli 2019.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu water bath, oven, pengaduk magnet, *hot press*, *differential scanning calorimetry* (DSC), *thermogravimetric analysis* (TGA), ayakan, corong pemisah, *beaker glass*, gelas ukur, termometer, batang pengaduk, nampan (cetakan), teflon, indikator *universal*, timbangan analitik.

Penelitian ini menggunakan bahan PLA semikristalin tipe Indigeo 3001D diproduksi oleh *Natureworks*, USA sebagai matriks komposit. Penguat yang digunakan yaitu serat selulosa yang diekstraksi dari serat batang Sorgum varietas Lepeng diperoleh dari Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI, Cibinong. Pelarut organik yang digunakan yaitu diklorometan (DCM), aseton, etanol, asam asetat glasial, natrium klorit (NaClO_2), akuades. Larutan lain yang digunakan yaitu kalium hidroksida (KOH) dan natrium hidroksida (NaOH). Pemlastis yang digunakan yaitu triasetin.

3.3 Variabel

3.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang tidak berubah selama penelitian berlangsung. Variabel tetap dalam penelitian ini yaitu

Volume : - Larutan DCM 300 mL
- Larutan serat yang akan dihomogenisasi 150 mL

- Suhu : - Pengeringan sampel di oven 105 °C
- Waktu : - Proses pengeringan ruang asam 12 jam
- Proses homogenisasi 2 × 15 menit
 - Proses pengeringan sampel di oven 2 jam
 - Proses bleaching menggunakan suhu 80 °C
 - Proses pemanasan setelah perendaman KOH menggunakan suhu 90 °C.

3.3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang divariasikan pada tiap penelitian agar didapat hasil yang diinginkan. Pada penelitian ini variabel bebas yang ditetapkan berupa massa PLA seperti tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Variasi Massa Komposit

Sampel	Persentase Massa PLA (%wt)	Persentase Massa Serat Selulosa (%wt)	Persentase Massa Triasetin (%wt)
PLA Murni	100	0	0
PLA/serat selulosa 10 %wt	90	10	0
PLA/triasetin 10 %wt	90	0	10
PLA/serat selulosa 10 %wt /triasetin 10 %wt	80	20	20

3.4 Prosedur

Prosedur penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu preparasi bahan baku, pelarutan PLA, ekstraksi serat selulosa dari serat Sorgum, proses pencucian serat selulosa dengan metode *solvent exchange*, proses homogenisasi serat selulosa, pengujian kandungan α -selulosa, proses pencampuran, penambahan triasetin, serta pengujian termal menggunakan alat DSC4000 PerkinElmer dan TGA 4000 PerkinElmer. Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan adalah PLA, serat selulosa hasil ekstraksi dan triasetin.

Untuk mendapatkan serat selulosa dari serat Sorgum, serat harus di ekstraksi terlebih dahulu guna menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa. Setelah menjadi serat selulosa homogen barulah dicampurkan dengan PLA yang telah

dilarutkan, kemudian ditambahkan triasetin dan dilakukan pengadukan hingga tercampur sempurna.

Tahap selanjutnya mencetak komposit pada nampan yang telah dilapisi dengan teflon dan didiamkan selama 12 jam. Sebelum proses pengempaan, sampel dikeringkan dalam oven terlebih dahulu selama 2 jam dengan suhu 105 °C. Kemudian komposit baru bisa dikempa dan dilanjutkan dengan proses pengujian. Skema prosedur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.

3.4.1 Ekstraksi Serat Selulosa

Proses ekstraksi serat selulosa merujuk pada penelitian Abe dkk (2007) yaitu berupa proses penghilangan lignin (*delignifikasi*) yang dibarengi dengan proses pemutihan dan proses penghilangan hemiselulosa.

Proses penghilangan lignin atau yang biasa disebut dengan *delignifikasi*. Proses *delignifikasi* dibarengi dengan dilakukannya proses pemutihan dari serat. Serat selulosa diekstraksi dari batang Sorgum yang sudah dikeringkan dan dihaluskan menjadi serbuk Sorgum yang lolos 20 mesh tertahan 40 mesh. Kemudian dilakukan penimbangan serbuk Sorgum sebanyak 25 g, lalu tambahkan dengan akuades sebanyak 750 mL. Panaskan campuran menggunakan *water bath* hingga suhu 80 °C. Setelah suhu mencapai 80 °C kemudian ditambahkan 1 mL asam asetat glasial dan 26-28 mL natrium klorit, lalu sampel ditutup menggunakan *aluminium foil*. Penambahan asam setat glasial dan natrium klorit dilakukan setiap 1 jam sekali dengan proses pengulangan sebanyak 5 kali. Kemudian dilakukan proses penyaringan dan pencucian serat hingga bersih dan memiliki pH larutan netral (minimal 3 kali pencucian).

Penghilangan hemiselulosa dilakukan dengan menambahkan KOH 5 %wt. Pelet KOH ditimbang sebanyak 44,643 g kemudian dilarutkan dengan 500 mL akuades. Selanjutnya masukkan larutan KOH ke dalam sampel yang telah melalui proses *delignifikasi* dan tambahkan akuades hingga 750 mL. Tutup sampel menggunakan *plastic wrap*, kemudian simpan selama semalaman dalam suhu ruang. Setelah didiamkan semalaman dilanjutkan dengan proses pemanasan selama 2 jam pada suhu 90 °C. Saring dan cuci sampel hingga bersih sampai

memiliki pH larutan netral. Serat selulosa yang dihasilkan dijadikan bahan penguat komposit PLA.

3.4.2 Pengujian α -selulosa

Serat selulosa hasil ekstraksi diuji kandungan komponen kimia di dalamnya untuk mengetahui kadar α -selulosa. Pengujiannya merujuk pada Rowell (2013).

Selulosa harus dikeringkan terlebih dahulu sampai mendapat berat kering tetap. Pengeringan dilakukan dengan memasukkan selulosa ke dalam oven selama 2 jam dengan suhu 105 °C. Berat kering tetap selulosa ditimbang sebanyak 0,5 g dan diukur kadar airnya. Tambahkan NaOH 17,5% sebanyak 6,25 mL. Tutup sampel dan aduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dalam suhu ruang. Pastikan seluruh sampel terbasahi oleh reagen, diamkan selama 30 menit. Tambahkan akuades sebanyak 8,25 mL ke dalam selulosa dan aduk menggunakan pengaduk magnet selama 5 menit dalam suhu ruang. Kemudian diamkan selama 1 jam sebelum dilakukan proses penyaringan.

Saring selulosa dengan corong pemisah dan bilas menggunakan NaOH 8,3% sebanyak 25 mL. Lanjutkan pencucian menggunakan 100 mL akuades. Tuangkan 10 mL asam asetat 10%, biarkan selulosa terendam selama 3 menit. Setelah itu saring selulosa dan bilas hingga bersih. Keringkan sampel dengan oven selama 24 jam dengan suhu 105 °C. Timbang berat kering tetap sampel. Maka akan didapat persen berat α -selulosa dengan rumus:

$$\text{percent } \alpha - \text{ selulosa} = \frac{W_2}{W_1} \times 100\% \quad (2)$$

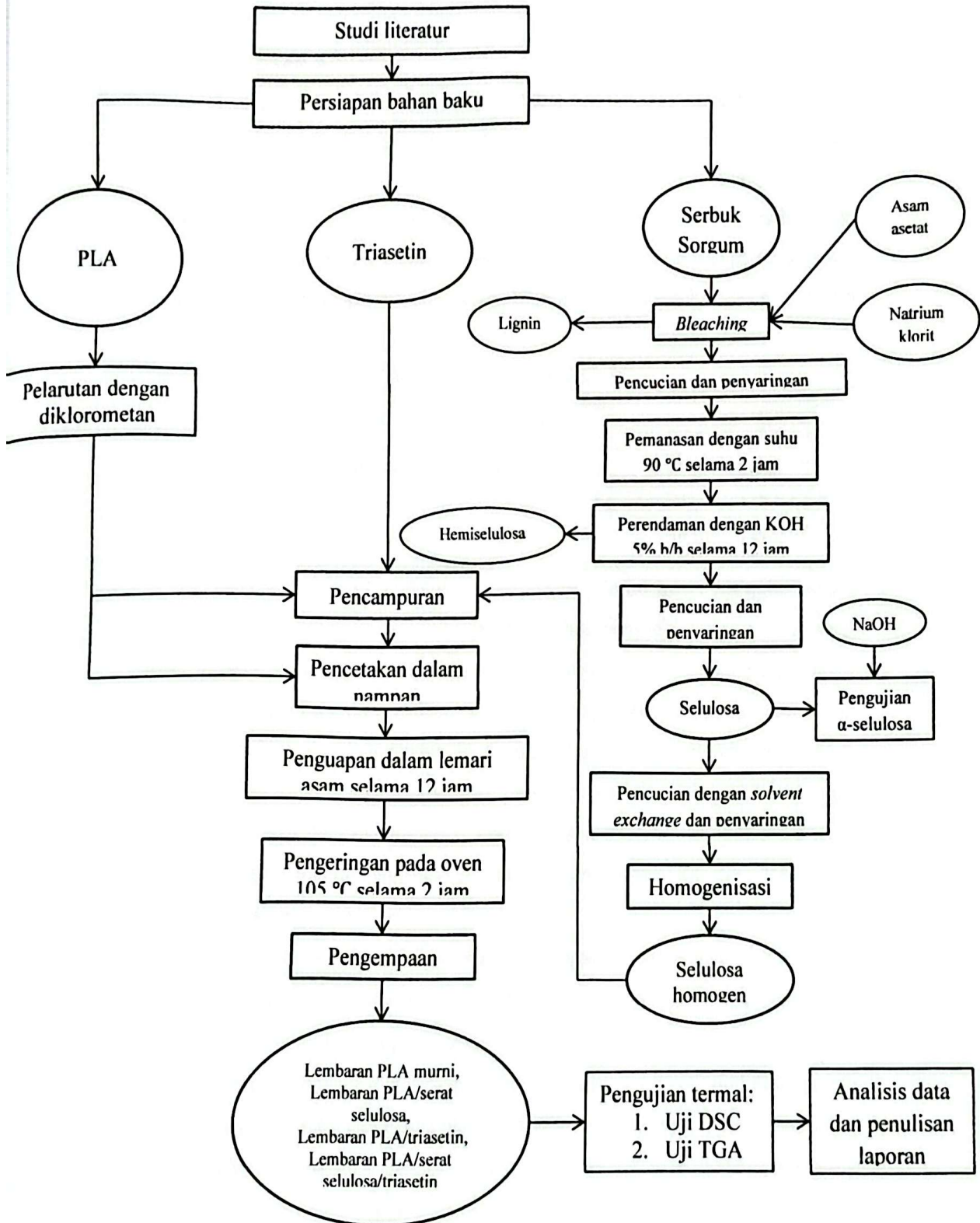
Keterangan:

W_2 = berat kering tetap α -selulosa

W_1 = berat kering tetap holoselulosa

3.4.3 Homogenisasi Serat

Proses homogenisasi serat dilakukan menggunakan alat ultrasonic merk *Omni International* tipe *Sonic Ruptor 400*. Homogenisasi serat dilakukan selama 2×15 menit setiap 150 mL serat. Kondisi operasi yang digunakan yaitu *power* 40% dan *pulse* 20%.



Gambar 3. 1 Skema Prosedur Penelitian

3.4.4 Preparasi Komposit

Komposit disiapkan merujuk pada tabel 3.2. Serat selulosa hasil ekstraksi dihilangkan airnya dengan cara *solvent exchange*. Proses penghilangan air dilakukan dengan cara mencuci selulosa menggunakan etanol sebanyak 4 kali. Kemudian lakukan proses yang sama dengan mengganti etanol menjadi aseton dan diklorometan. Proses pencucian dengan diklorometan dilakukan sebanyak 2 kali. Setelah melalui proses pencucian, timbang selulosa sebanyak 6 g dalam keadaan kering.

Tabel 3. 2 Komposisi Bahan

Bahan	Selulosa	Triasetin	PLA	Diklorometan
PLA	-	-	60 g	300 mL
PLA/serat selulosa 10 %wt	6 g	-	54 g	300 mL
PLA/triasetin 10 %wt	-	6 g	54 g	300 mL
PLA/serat selulosa 10 %wt/ triasetin 10 %wt	6 g	6 g	48 g	300 mL

Sebanyak 48 g PLA ditimbang kemudian dilarutkan sedikit demi sedikit kedalam 300 mL diklorometan, aduk menggunakan pengaduk magnet. PLA yang telah terlarut sempurna ditambahkan serat selulosa 10 %wt sedikit demi sedikit diikuti dengan proses pengadukan. Setelah tercampur secara merata tambahkan triasetin 10 %wt kedalam larutan PLA dan selulosa. Jika seluruh bahan telah tercampur secara fisik maka dilakukan proses pengadukan hingga 2 jam, agar larutan tercampur dengan sempurna. Tuang larutan kedalam nampan yang telah dilapisi dengan teflon. Diamkan di ruang asam selama 12 jam. Keringkan komposit pada oven 105 °C selama 2 jam.

Ukuran cetakan yang digunakan pada proses pengempaan 5,5 × 6 cm. Komposit ditimbang sesuai ukuran cetakan atau sebanyak 5,3 g. Nyalakan mesin *hotpress*, atur suhu pengempaan sesuai dengan tabel 3.3. Guna menghasilkan komposit yang baik maka dibutuhkan waktu dan suhu yang optimum pada proses pengempaan. Jika suhu dan waktu tidak optimum maka komposit yang dihasilkan akan terdapat kerusakan seperti adanya gelembung atau permukaan yang bergelombang. Setelah melakukan proses pengempaan cetakan didinginkan dengan cara menumpuk cetakan dengan besi dingin agar terjadi proses

perpindahan panas dan proses pendinginan terjadi lebih cepat. Keluarkan komposit dari cetakan.

Tabel 3. 3 Suhu dan Waktu Optimum Proses Pengempaan

Substansi	Suhu (°C)	Waktu (menit)
PLA murni	176	4
PLA/serat selulosa 10 %wt	178	4
PLA/triasetin 10 %wt	174	3
PLA/serat selulosa 10 %wt/triasetin 10 %wt	178	4

3.4.5 *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*

Pengujian DSC dilakukan menggunakan mesin DSC4000 PerkinElmer dengan menggunakan 4-6 mg sampel. Sampel diuji sebanyak tiga siklus. Siklus pertama sampel dipanaskan dari suhu -10 °C hingga 190 °C dengan laju pemanasan 5 °C/menit. Siklus kedua sampel didinginkan dengan laju pendinginan 5 °C/menit hingga suhu -10 °C. Siklus ketiga sampel dipanaskan kembali hingga mencapai suhu 190 °C dengan laju pemanasan 5 °C/menit.

3.4.6 *Termogravimetric Analysis (TGA)*

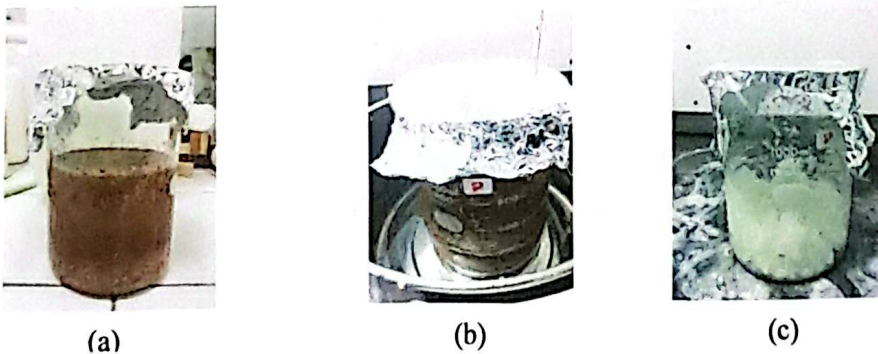
Pengujian TGA dilakukan menggunakan mesin TGA4000 PerkinElmer dengan kecepatan pemanasan 10 °C/min. Sampel dipanaskan dari suhu ruang hingga suhu 500 °C dengan laju gas nitrogen 20 mL/min. Berat sampel yang digunakan sebesar 10 mg.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

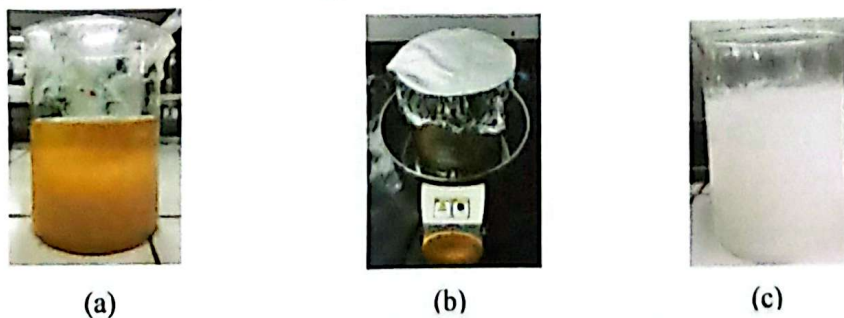
4.1 Ekstraksi Serat Selulosa

Serat batang Sorgum memiliki kandungan selulosa sebesar 65,1% (Reddy dan Yang, 2007). Proses pemutihan dan delignifikasi menggunakan sodium klorida dan asam asetat mengakibatkan serat yang semula berwarna coklat berubah menjadi putih serta menghilangkan sebagian besar kandungan lignin, seperti ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4. 1 Proses Pemutihan dan Delignifikasi Serat
(a) Serat sebelum *bleaching* (b) Proses *bleaching* (c) Serat setelah dicuci

Setelah melalui proses penghilangan lignin dan pemutihan dilanjutkan dengan proses penghilangan sebagian kandungan hemiselulosa (gambar 4.2) dengan merendam selulosa menggunakan KOH 5 %wt.



Gambar 4. 2 Proses Penghilangan Hemiselulosa
(a) Serat setelah perendaman KOH 5 %wt (b) Proses pemasakan (c) Serat setelah dicuci

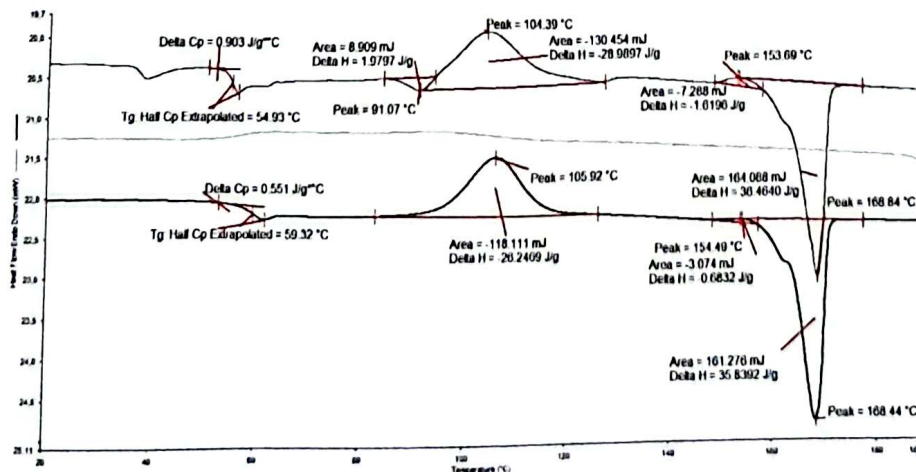
Selulosa memiliki kelebihan yaitu kekuatannya yang tinggi, sehingga banyak digunakan sebagai penguat dalam pembuatan material komposit. Kandungan kadar α -selulosa dapat menentukan kekuatan dan kemurnian selulosa. Dari hasil pengujian α -selulosa terhadap serat hasil ekstraksi didapat rata-rata sebesar 73,45%. Kadar α -selulosa dibawah 92% menunjukkan bahwa selulosa tersebut dapat dikatakan cukup untuk digunakan sebagai bahan baku industri (Yunita, 2018).

Tabel 4. 1 Hasil Uji Kadar α -selulosa

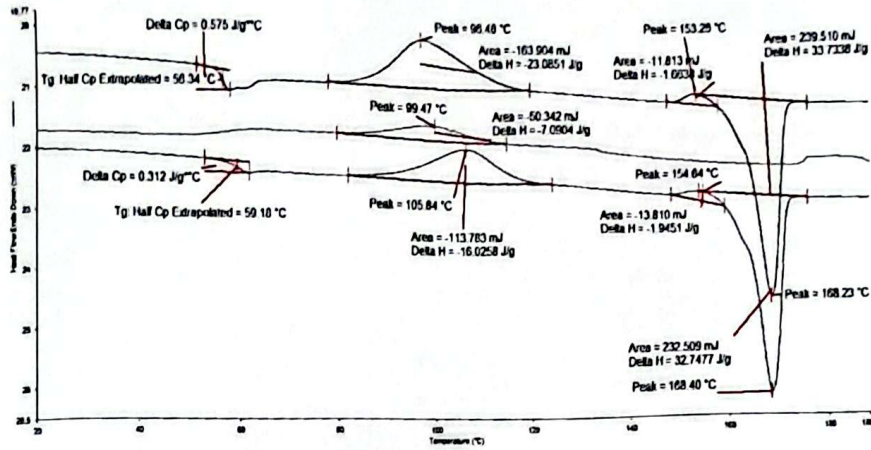
No	Serat selulosa + 20 # - 40 #	Kadar α -selulosa (%)
1	Simplo	74,8%
2	Duplo	72,4%

4.2 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

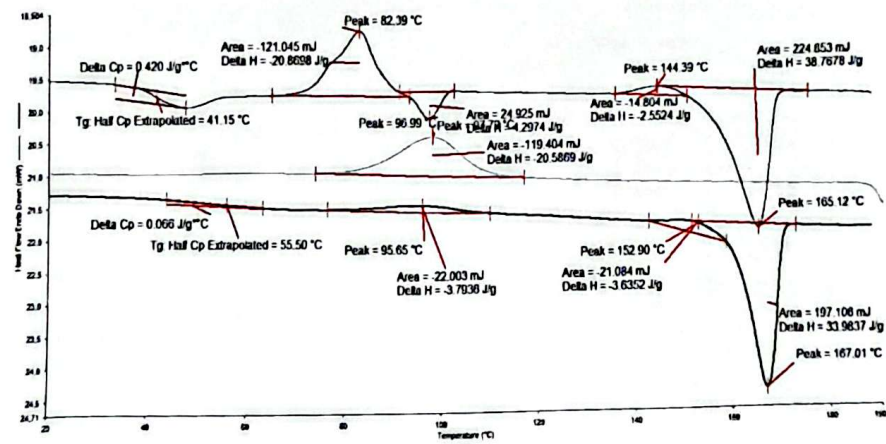
Pengujian termal menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) untuk mengetahui nilai temperatur transisi kaca (Tg), temperatur kristalisasi (Tc) dan temperatur leleh (Tm) dari suatu bahan atau produk yang akan diuji (Suryanegara dkk., 2009). Termogram DSC menampilkan proses eksoterm dan proses endoterm.



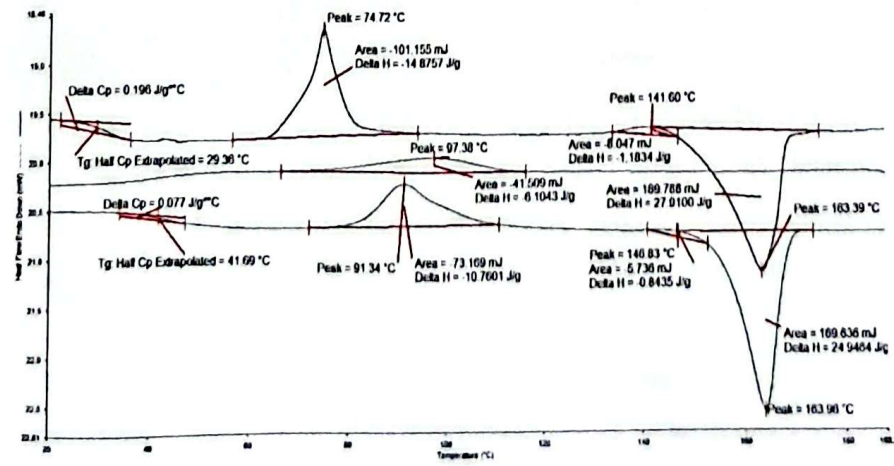
a.



b.



c.



d.

Gambar 4.3 Termogram Hasil Uji DSC
 a) PLA murni b) PLA/serat selulosa 10 %wt c) PLA/triasetin 10 %wt d)
 PLA/serat selulosa 10 %wt/triasetin 10 %wt

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian DSC Pemanasan Pertama

Sampel	Pemanasan Pertama				
	Tg (°C)	Tcc (°C)	Tm (°C)	ΔH_m (J/g)	Xc (%)
PLA murni	54,93	104,39	168,84	36,46	6,31
PLA/serat selulosa 10 %wt	56,34	96,48	168,23	33,73	10,73
PLA/triasetin 10 %wt	41,15	82,39	165,12	38,77	18,34
PLA/serat selulosa 10 %wt/triasetin 10 %wt	29,36	74,72	163,39	27,91	14,99

Tabel 4. 3 Hasil pengujian DSC Pemanasan Kedua

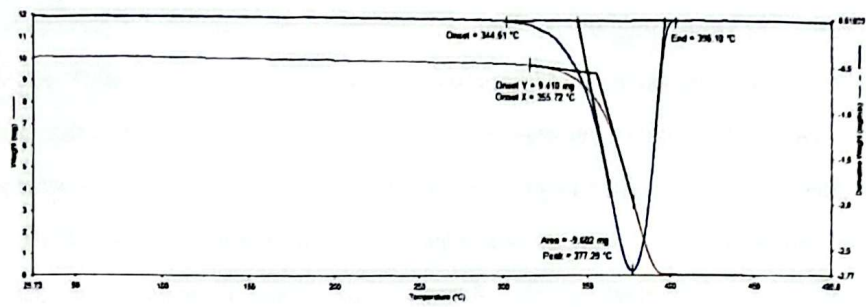
Sampel	Pemanasan Kedua				
	Tg (°C)	Tcc (°C)	Tm (°C)	ΔH_m (J/g)	Xc (%)
PLA murni	59,32	105,92	168,44	35,84	9,56
PLA/serat selulosa 10 %wt	59,18	105,84	168,40	32,75	17,67
PLA/triasetin 10 %wt	55,50	95,65	167,01	33,98	31,73
PLA/serat selulosa 10 %wt/triasetin 10 %wt	41,69	91,34	163,96	24,95	17,94

Proses eksoterm ditandai dengan adanya puncak dan proses endoterm ditandai dengan adanya lembah. Gambar 4.3 menunjukkan hasil pengujian DSC secara tiga tahap yaitu proses pemanasan pertama, pendinginan dan pemanasan kedua. Pada proses pemanasan menunjukkan suhu transisi kaca (T_g), suhu *cold crystallization* (T_{cc}) dan suhu pelelehan (T_m) hal tersebut merupakan ciri dari tipe polimer semikristalin. Sedangkan pada proses pendinginan menunjukkan suhu kristalisasi (T_c) namun puncak yang ditunjukkan lebih rendah dibandingkan dengan suhu kristalisasi pada proses pemanasan. Pada proses pemanasan kedua menunjukkan hal yang sama seperti yang ditunjukkan pada proses pemanasan pertama.

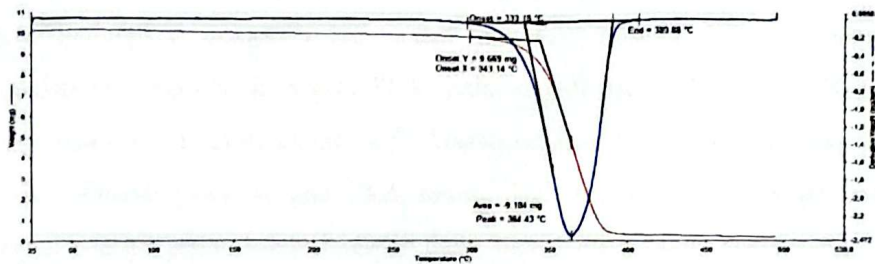
Gambar 4.3 (a,b) menunjukkan adanya perbedaan antara PLA murni dengan komposit PLA/serat selulosa 10 %wt. Untuk suhu transisi kaca pada proses pemanasan pertama (Tabel 4.2) terjadi kenaikan suhu sedangkan pada pemanasan kedua (Tabel 4.2) tidak terlihat adanya perubahan suhu yang signifikan. Adanya kenaikan suhu transisi kaca dikarenakan peningkatan

mobilitas rantai antara PLA dengan serat selulosa (Frone dkk., 2012). Pada pemanasan pertama, PLA/serat selulosa 10 %wt menunjukkan Tcc (96,48 °C) lebih rendah dibandingkan dengan PLA murni (104,39 °C). Pada proses pendinginan, termogram PLA murni tidak menunjukkan adanya puncak sedangkan pada PLA/serat selulosa 10 %wt terdapat puncak yang menunjukkan Tc sebesar 99,47 °C. Pada pemanasan kedua juga menunjukkan Tcc PLA/serat selulosa 10 %wt (105,84 °C) lebih rendah dibandingkan dengan PLA murni (105,92 °C). Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan serat selulosa 10 %wt dapat mempercepat terjadinya proses kristalisasi. Hal yang sama ditunjukkan pada penelitian yang telah dilakukan Suryanegara dkk (2009). Penambahan serat selulosa 10 %wt tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap suhu pelelehan.

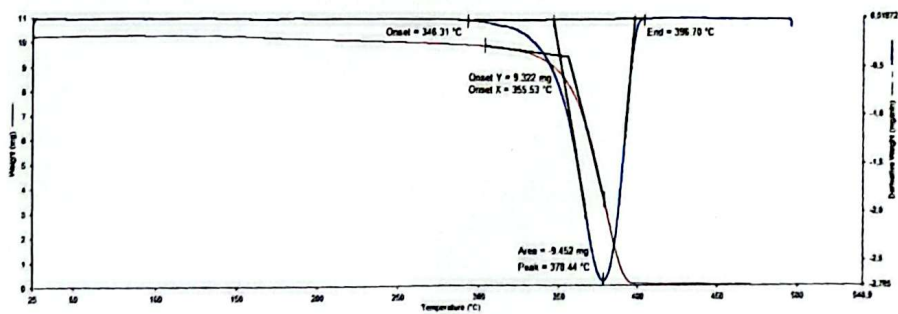
Pada gambar 4.3c pada pemanasan pertama menunjukkan bahwa Tg dari PLA/triasetin 10 %wt (41,15 °C) lebih rendah dibandingkan dengan PLA murni (54,93 °C). Sedangkan pada pemanasan kedua juga menunjukkan hal yang sama, yaitu Tg PLA/triasetin 10 %wt (55,50 °C) lebih rendah dibandingkan PLA murni (59,32 °C). Penurunan Tg dapat disebabkan karena pmlastis triasetin yang memiliki berat molekul rendah (Ljungberg & Wesslen, 2003). Selain menurunkan Tg ternyata triasetin 10 %wt juga dapat mempercepat proses kristalisasi PLA. Hal tersebut ditunjukkan pada proses pemanasan pertama dan kedua PLA/triasetin 10 %wt memiliki Tcc sebesar 82,39 °C dan 95,65 °C sedangkan PLA murni memiliki Tcc sebesar 104,39 °C dan 105,92 °C. Pada proses pendinginan PLA/triasetin 10 %wt menunjukkan adanya puncak sedangkan PLA murni tidak menunjukkan adanya puncak. Proses kristalisasi terjadi lebih cepat karena dengan adanya penurunan Tg menyebabkan terjadinya proses kristalisasi seiring dengan adanya kenaikan suhu. Adanya penurunan Tg dan proses kristalisasi yang terjadi lebih cepat sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ljungberg dkk (2002). Selain itu penambahan triasetin 10 %wt juga dapat menurunkan Tm dari PLA yang semula 168,84 °C menjadi 165,12 °C pada pemanasan pertama. Pada pemanasan kedua juga menunjukkan hal yang sama yaitu adanya penurunan suhu pelelehan.



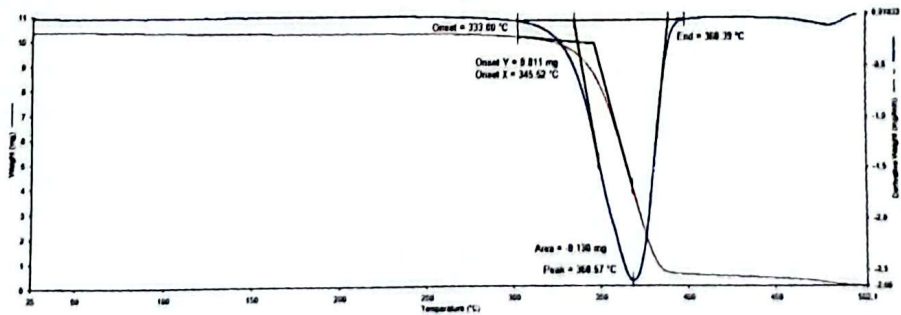
a.



b.



c.



d.

Gambar 4. 4 Termogram Hasil Uji TGA

- a) PLA murni b) PLA/serat selulosa 10 %wt c) PLA/triasetin 10 %wt d)
PLA/serat selulosa 10 %wt/triasetin 10 %wt

Gambar 4.4 menunjukkan adanya dekomposisi tunggal yang terjadi terhadap sampel. Pada PLA murni (gambar 4.4a) menunjukkan proses dekomposisi dimulai pada suhu 355,72 °C. Untuk komposit PLA/serat selulosa 10 %wt proses dekomposisi terjadi lebih dulu dibandingkan dengan PLA murni, yaitu pada suhu 343,14 °C. Dekomposisi terjadi lebih cepat karena sifat serat yang dapat dengan mudah terdegradasi secara termal (Yu dkk., 2014). Penambahan triasetin pada PLA tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap suhu dekomposisi PLA. Sedangkan dengan penambahan gabungan triasetin dan serat selulosa terhadap dekomposisi komposit PLA mulai terjadi pada suhu 345,52 °C lebih tinggi jika dibandingkan komposit PLA/serat selulosa 10 %wt namun tetap lebih rendah dibandingkan dengan PLA murni. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan triasetin dapat menstabilkan suhu dekomposisi dari komposit PLA (Yu dkk., 2014).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian pengaruh penambahan triasetin dan serat selulosa terhadap sifat termal komposit PLA semikristalin telah berhasil dilakukan guna mengetahui pengaruh terhadap sifat termal dari PLA. Hasil pengujian DSC menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan triasetin dan serat selulosa dapat mempercepat proses kristalisasi dan menaikkan derajat kristalisasi. Selain mempercepat proses kristalisasi, triasetin juga menurunkan suhu transisi kaca (T_g), suhu *cold crystallization* (T_{cc}) dan suhu pelelehan (T_m) dari komposit. Adanya penurunan T_g , T_{cc} dan T_m disebabkan karena berat molekul dari pmlastis triasetin yang rendah (Ljungberg & Wesslen, 2003). Pengujian dekomposisi komposit PLA menggunakan TGA menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan serat selulosa dapat mempercepat proses dekomposisi karena sifat serat yang mudah terdegradasi secara termal. Namun dengan adanya penambahan gabungan dari triasetin dan serat selulosa dapat menaikkan suhu dekomposisi dari komposit PLA jika dibandingkan dengan PLA/serat selulosa 10%wt.

5.2 Saran

Perlu adanya dilakukan pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) guna mengetahui gugus fungsi pada komposit. Perlu juga dilakukan pengujian morfologi dari komposit guna mengetahui penyebaran dari triasetin dan serat selulosa terhadap matriks PLA serta perlu dilakukan pengujian kuat tarik komposit agar dapat mengetahui sifat mekanik komposit PLA.

DAFTAR PUSTAKA

- Abe, K., Iwamoto, s., & Yano, H. (2007). Obtaining cellulose nanofibers with a uniform width of 15 nm from wood. *Biomacromolecules*, 3276-3278.
- Amrizal, A. (2015). Pengaruh pemberian Pupuk Urea terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Sorgum Manis (*Sorghum bicolor* L. Moench) Pada Lahan Gambut. *Skripsi*, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Andinie, R. D. (2013). Perbaikan Sifat Termal dan Mekanik Komposit Poliasam Laktat-Nanoselulosa melalui Asetilasi. *Skripsi*, Institut Pertanian Bogor.
- Averous, L. (2008). Polylactic acid: Synthesis, properties and application. Dalam M. N. Belgacem, & A. Gandini, *Monomers, polymers and composites from renewable resources* (hal. 433-450). Amsterdam: Elsevier.
- Balgacem, M. N., & Gandini, A. (2008). *Monomer, Polymers and Cmposites*. Amsterdam: Elsevier.
- Bodhlyera, O., Zewotir, T., Ramroop, S., & Chunilall, V. (2015). Analysys of the changes in chemical properties of dissolving pulp during the bleaching process using piecewise linear regression models. *Cellulose Chemistry and Technology*, 317-332.
- Botelho, T., Teixeira, N., & Aguiar, F. (2004). *Paten No. WO 57008, A1*. International Patent.
- Debeli, D. K., Qin, Z., & Guo, J. (2017). Study on the pre-treatment, physical and chemical properties of ramie fibers reinforced Poly (Lactic Acid) (PLA) biocomposite. *Natural Fibers*.
- Dostal, C. A., & Reinhart, T. J. (1988). *Engineered Materials Handbook Volume 2. Metals* Park, Ohio, United States: ASM International.
- Dufresne, A. (2008). Cellulose-based composites and nanocomposites. Dalam M. N. Belgacem, & A. Gandini, *Monomer, polymers and composites from renewable resource* (hal. 401-418). Amsterdam: Elsevier.

- Firmansyah, I. U., Aqil, M., & Suami. (2013). Penanganan pascapanen Sorgum. Dalam Sumarno, D. S. Damrdjati, M. Syam, & Hermanto, *Sorgum: Inovasi Teknologi dan Pengembangan* (hal. 242). Jakarta: IAARD Press.
- Franco, H. P., & Gonzalez, V. A. (2005). A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites. *Composites : Part B*, 597-608.
- Frone, A. N., Berloiz, S., Chailan, J. F., & Panaitescu, D. M. (2012). Morphology and Thermal Properties of PLA-Cellulose Nanofibers Composites. *Carbohydrate Polymers*, 377-384.
- Goda, K., & Cao, Y. (2007). Research and development of fully green composites reinforced with natural fibers. *Solid Mechanics and Materials Engineering*, 1073-1084.
- Hubbe, M. A., Rojas, O. J., Lucia, L. A., & Sain, M. (2008). Cellulosic nanocomposites: A Review. *BioResources*, 929-980.
- Huda, M. S., Drzal, T. L., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2005). Chopped glass and recycled newspaper as reinforcement fibers in injection molded poly(lactic acid) (PLA) composites: A comparative study. *Composites Science and Technology*, 1813-1824.
- Labrecque, L. V., Kumar, R. A., Dave, V., Gross, R. A., & McCarthy, S. P. (1997). Citrate esters as plasticizer for poly(lactic acid). *Applied Polymer science*, 1507-1513.
- Ljungberg, N., & Wesslen, B. (2003). Tributyl citrate oligomers as plasticizers for poly (lactic acid): thermo-mechanical film properties and aging. *Polymer*, 7679-7688.
- Ljungberg, N., Andersson, T., & Wesslen, B. (2002). Film extrusion and film weldability of poly(lactic acid) plasticized with triacetine and tributyl citrate. *Applied Polymer Science*, 3239-3247.
- Lokensgard, E. (2008). *Industrial Plastics: Theory and Applications*. Cengage Learning.
- Martin, O., & Averous, L. (2001). Poly(lactic acid): plasticization and properties of biodegradable multiphase systems. *Polymer* 42, 6209-6219.

- Menczel, J. D., & Prime, R. B. (2009). *Thermal analysis of polymer*. Canada: John Wiley & Son Inc.
- Murariu, M., & Dubois, P. (2016). PLA composites: From production to properties. *Advance Drug Delivery Review*, 17-46.
- NatureWorks. Dipetik Desember 2018, dari naturewoekslc: https://www.natureworksllc.com/~media/Files/NatureWorks/Technical-Documents/Technical-Data-Sheets/TechnicalDataSheet_3001D_injection-molding_pdf.pdf
- Puteri, I., Aliya, R., & Muhammad, S. A. (2018). Penerapan plastic deposit refund system sebagai instrumen penanggulangan pencemaran limbah plastik di wilayah perairan Indonesia. *Jurnal Hukum Lingkungan Vol.4 Issue 2*, 129-150.
- Raquez, J. M., Habibi, Y., Murariu, M., & Dubois, P. (2013). Polylactide (PLA)-based nanocomposites. *Progress in Polymer Science*, 1504-1542.
- Reddy, N., & Yang, Y. (2007). Structure and properties of natural cellulose fibers obtained from sorghum leaves and stem. *Agricultural and Food Chemistry*, 5569-5574.
- Rowell, R. M. (2013). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC Press.
- Sari, N. I. (2018). Fabrikasi dan karakterisasi bahan komposit ramah lingkungan berpenguat serbuk limbah kayu sengon dan matriks Asam Poli Laktat (PLA). *Skripsi*, Universitas Jember.
- Soleimani, M., Tabil, L. G., Oguocha, I., & Fung, J. (2017). Interactive influence of biofiber composition and elastomer on physico-mechanical properties of PLA green composites. *Polymer Environment*.
- Subagio, H., & Aqil, M. (2014). Perakitan dan pengembangan varietas unggul sorgum untuk pangan, pakan, dan bioenergi. *IPTEK Tanaman Pangan*, 39-50.
- Sulistijono. (2012). *Mekanika Material Komposit*. Surabaya: ITS Press.
- Surdia, T., & Saito, S. (1985). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

LAMPIRAN A
GAMBAR ALAT



Ultrasonik Homogenizer



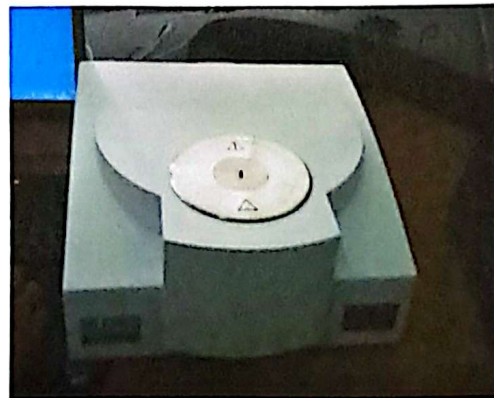
Timbangan analitik



Hotpress



Termogravimetry Analisis
(TGA)



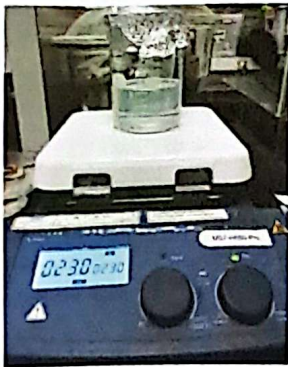
Differential Scanning
Calorimetry (DSC)



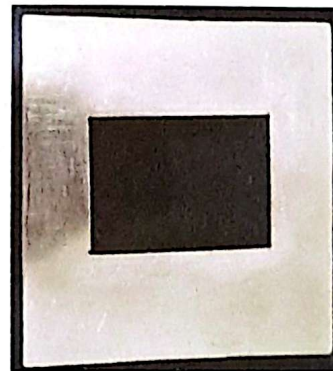
Oven



Water Bath



Alat pengaduk magnet



Cetakan



Corong pemisah



Beaker glass



Erlenmeyer

LAMPIRAN B
GAMBAR BAHAN



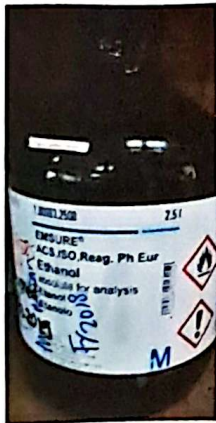
PLA



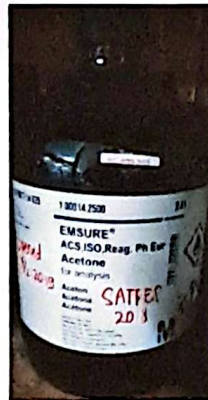
Serbuk Sorgum



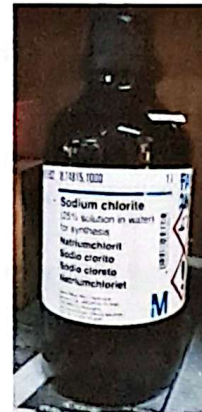
Triasetin



Etanol



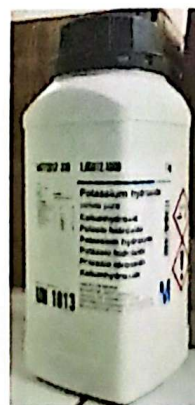
Aseton



Natrium Klorit



Serat selulosa



Kalium hidroksida



Asam asetat

LAMPIRAN C
GAMBAR PRODUK



Pelat PLA Murni



Pelat PLA/serat selulosa
10 %wt



Pelat PLA/triasetin
10 %wt



Pelat PLA/serat selulosa
10 %wt/triasetin 10 %wt

LAMPIRAN D

PERHITUNGAN

Hasil pengujian kadar α -selulosa pada serat selulosa varietas Lepeng lolos 20 mesh tertahan 40 mesh

Sampel	Berat kering tetap sampel (g)	Berat cawan (g)	Berat cawan + sampel setelah oven (g)	Berat kering sampel setelah pengujian (g)
Simplo	0,500	30,310	30,684	0,374
Duplo	0,5000	29,519	29,881	0,362

$$1. \alpha\text{-selulosa } \% = \frac{\text{Berat kering tetap sampel}}{\text{Berat kering sampel setelah uji}} = \frac{0,374}{0,500} \times 100\% = 74,8\%$$

$$2. \alpha\text{-selulosa } \% = \frac{\text{Berat kering tetap sampel}}{\text{Berat kering sampel setelah uji}} = \frac{0,362}{0,500} \times 100\% = 72,4\%$$

Fraksi massa PLA

- Fraksi massa PLA = $\frac{\text{Massa PLA}}{\text{Massa Campuran}} = \frac{60 \text{ g}}{60 \text{ g}} = 1$
- Fraksi massa PLA/serat selulosa 10 %wt = $\frac{\text{Massa PLA}}{\text{Massa Campuran}} = \frac{54 \text{ g}}{60 \text{ g}} = 0,9$
- Fraksi massa PLA/triasetin 10 %wt = $\frac{\text{Massa PLA}}{\text{Massa Campuran}} = \frac{54 \text{ g}}{60 \text{ g}} = 0,9$
- Fraksi massa PLA/serat selulosa 10 %wt/triasetin 10%wt = $\frac{\text{Massa PLA}}{\text{Massa Campuran}} = \frac{48 \text{ g}}{60 \text{ g}} = 0,8$

Derajat kristalisasi

Rumus derajat kristalisasi

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_{ref}} \times 100/w$$

dimana

$$\Delta H_m = \Delta H_m - (\Delta H_{cc} + \Delta H_{re-crys})$$

Keterangan:

$$\Delta H_m = \text{Entalpi endotermis}$$

- ΔH_{cc} = Entalpi cold crystallization
 $\Delta H_{re-crys}$ = Entalpi re-crystallization
 ΔH_{ref} = Entalpi PLA dengan kristalinitas 100% (93 J/g)
 w = Fraksi massa PLA

Sampel	Pemanasan Pertama						
	Tg (°C)	Tcc (°C)	ΔH_c (J/g)	Tm (°C)	ΔH_m (J/g)	Tre-crys (°C)	$\Delta H_{re-crys}$ (J/g)
PLA murni	54,93	104,39	28,97	168,84	36,46	153,69	1,62
PLA/serat selulosa 10 %wt	56,34	96,48	23,09	168,23	33,73	153,26	1,66
PLA/triasetin 10 %wt	41,15	82,39	20,87	165,12	38,77	144,39	2,55
PLA/serat selulosa 10 %wt/triasetin 10 %wt	29,36	74,72	14,88	163,39	27,91	141,60	1,18

- $$X_C = \frac{(\Delta H_m - (\Delta H_{cc} + \Delta H_{re-crys}))}{\Delta H_{ref}} \times \frac{100}{w} = \frac{(36,46 - (28,97 + 1,62))}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100}{1} = 6,31\%$$
- $$X_C = \frac{(\Delta H_m - (\Delta H_{cc} + \Delta H_{re-crys}))}{\Delta H_{ref}} \times \frac{100}{w} = \frac{(33,73 - (23,09 + 1,66))}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100}{0,9} = 10,73\%$$
- $$X_C = \frac{(\Delta H_m - (\Delta H_{cc} + \Delta H_{re-crys}))}{\Delta H_{ref}} \times \frac{100}{w} = \frac{(38,77 - (20,87 + 2,55))}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100}{0,9} = 18,34\%$$
- $$X_C = \frac{(\Delta H_m - (\Delta H_{cc} + \Delta H_{re-crys}))}{\Delta H_{ref}} \times \frac{100}{w} = \frac{(27,91 - (14,88 + 1,18))}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100}{0,8} = 14,99\%$$

Sampel	Pemanasan Kedua						
	Tg (°C)	Tcc (°C)	ΔH_c (J/g)	Tm (°C)	ΔH_m (J/g)	Tre-crys (°C)	$\Delta H_{re-crys}$ (J/g)
PLA murni	59,32	105,92	26,27	168,44	35,84	154,49	0,68
PLA/serat selulosa 10 %wt	59,18	105,84	16,02	168,40	32,75	154,64	1,95
PLA/triasetin 10 %wt	55,50	95,65	3,79	167,01	33,98	152,90	3,63
PLA/serat selulosa 10 %wt/triasetin 10 %wt	41,69	91,34	10,76	163,96	24,95	146,83	0,84

- $$X_C = \frac{(\Delta H_m - (\Delta H_{cc} + \Delta H_{re-crys}))}{\Delta H_{ref}} \times \frac{100}{w} = \frac{(35,84 - (26,27 + 0,68))}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100}{1} = 9,56\%$$
- $$X_C = \frac{(\Delta H_m - (\Delta H_{cc} + \Delta H_{re-crys}))}{\Delta H_{ref}} \times \frac{100}{w} = \frac{(32,75 - (16,02 + 1,95))}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100}{0,9} = 17,66\%$$
- $$X_C = \frac{(\Delta H_m - (\Delta H_{cc} + \Delta H_{re-crys}))}{\Delta H_{ref}} \times \frac{100}{w} = \frac{(33,98 - (3,79 + 3,63))}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100}{0,9} = 31,73\%$$
- $$X_C = \frac{(\Delta H_m - (\Delta H_{cc} + \Delta H_{re-crys}))}{\Delta H_{ref}} \times \frac{100}{w} = \frac{(24,95 - (10,76 + 0,84))}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100}{0,8} = 17,94\%$$