

LAPORAN TUGAS AKHIR
PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* ZnO TERHADAP
KARAKTERISTIK KIMIA DAN SIFAT TERMAL BIOFILM
***POLYLACTIC ACID* (PLA)**
DI POLITEKNIK STMI JAKARTA
(Agustus 2018 – Mei 2019)



DATA BUKU PERPUSTAKAAN	
Tgl Terima	10/08/22
No Induk Buku	559/TK/SB/TA/22

OLEH:

NAURAH HANUN SALSABILA

1515033

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

SUMBANGAN ALUMNI

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL PENELITIAN

PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* ZnO TERHADAP KARAKTERISTIK
KIMIA DAN SIFAT TERMAL BIOFILM *POLYLACTIC ACID* (PLA)

DISUSUN OLEH :

NAMA : NAURAH HANUN SALSABILA

NIM : 1515033

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

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

Jakarta, 6 Mei 2019

Menyetujui,

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

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 PENELITIAN

PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* ZnO TERHADAP
KARAKTERISTIK KIMIA DAN SIFAT TERMAL BIOFILM *POLYLACTIC
ACID* (PLA)

DISUSUN OLEH :

NAMA : NAURAH HANUN SALSABILA

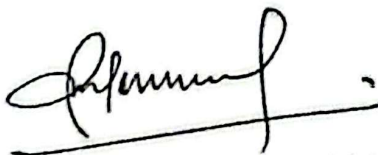
NIM : 1515033

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Program Studi Teknik
Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta pada hari Senin 17 Juni 2019.

Jakarta, Juni 2019

Penguji



Ir. Parulian Leonard Marpaung, MM
NIP. 195702141985031002

Penguji



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

Penguji



Ir. Rochmi Widjajanti, M.Eng
NIP. 1956091019432002

Dosen Pembimbing



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

**LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN LAPORAN TUGAS
AKHIR**















Nama : Naurah Hanun Salsabila

NIM : 1515033

Judul TA Penelitian : Pengaruh Penambahan *Filler ZnO* terhadap Karakteristik Kimia dan Sifat Termal Biofilm *Polylactic Acid (PLA)*

Pembimbing : Syaiful Ahsan, S.T., M.T

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
14/08 2018	-	Pembuatan konsep awal (pembuatan daftar alat dan bahan, proposal penelitian)	
26/09 2018	I	Revisi latar belakang, Rumusan masalah, Tujuan, Batasan masalah	
16/11 2018	ii	Diskusi teori DSC	
11/12 2018	ii	Diskusi ASTM D882-02 mengenai UTM	
12/12 2018	iii	Diskusi tabel perancangan	
14/01 2019	ii, iii	Diskusi jurnal utama dan Tabel Perancangan	
15/01 2019	iii	Diskusi uji pendahuluan, alat dan bahan, dan tabel perancangan	
16/01 2019	iii	Diskusi uji pendahuluan perbandingan 2:20 dengan gliserol dan tanpa Gliserol	
18/01 2019	I, ii, iii	Revisi bab I, ii dan iii dan diskusi hasil uji pendahuluan	

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
21/02 2019	ii	Diskusi hasil uji pendahuluan perbandingan 3:50	
23/01 2019	ii	Diskusi hasil uji pendahuluan, alat dan bahan, serta prosedur penelitian	
31/01 2019	iii	Diskusi alat dan bahan, variabel penelitian dan prosedur penelitian	
9/02 2019	iii	Diskusi hasil uji pendahuluan	
8/02 2019	iv	Diskusi hasil uji pendahuluan dan lembar bimbingan	
22/02 2019	iv	Diskusi hasil FTIR PLA/ZnO 2% - 8%	
23/02 2019	iv	Diskusi hasil DSC kontrol PLA ke 1	
4/03 2019	iv	Diskusi hasil DSC kontrol PLA ke 2	
5/03 2019	iv	Diskusi hasil DSC kontrol PLA ke 3	
10/03 2019	iv	Diskusi hasil DSC ZnO 2%	
25/03 2019	iv	Diskusi laporan hasil uji semua variasi	
1/04 2019	iv	Diskusi perhitungan dan grafik di-excel	
18/04 2019	iv	Diskusi bab iv keseluruhan	
2/05 2019	I - V	Diskusi laporan keseluruhan	

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

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

Nama : Naurah Hanun Salsabila

NIM : 1515033

Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir yang kami buat dengan
judul: Pengaruh Penambahan *Filler ZnO* terhadap Karakteristik Kimia dan Sifat
Termal Biofilm *Polylactic Acid* (PLA)

- 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 digunakan 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 kami.

Jika terbukti kami tidak memenuhi apa yang telah kami nyatakan seperti apa yang di atas, maka karya Tugas Akhir kami ini dibatalkan.

Jakarta, 6 Mei 2019

Yang Membuat Pernyataan



Naurah Hanun Salsabila

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala nikmat dan rahmatnya saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Penulisan Laporan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta. Laporan Tugas Akhir ini mungkin tidak dapat berjalan lancar apabila tanpa bantuan dan dukungan dari beberapa pihak, untuk itu saya ingin berterimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Mustofa, S.T., M.T selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
2. Bapak Ir. Roosmariharso, MBA selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
3. Bapak Syaiful Ahsan, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, pikiran dan tenaga untuk membimbing saya sampai terselesaikannya Laporan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Ida Nur Apriani, S.S.T., M.Si selaku Laboran Lab. Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta yang telah membantu selama pengerjaan penelitian ini.
5. Orang tua, adik-adik, dan seluruh keluarga besar yang selalu menemani dan selalu memberi dukungan secara moral dan material.
6. Oki Anwar, Refani Nabila, Nisrina Putri, Siti Hardiyanti, Retno Bastiyah, Nur Julianis, Tias Azhar, Nila A Husna, Alwinda Destianti, Herda Ravenda dan Prendik Gesang selaku orang-orang terdekat yang selalu menemani dan mendukung saya sampai saat ini.
7. Rizka Amalia, Shalihah Amirah dan Yemima Putri selaku sahabat serta rekan dalam Tugas Akhir ini.
8. Seluruh teman-teman Teknik Kimia Polimer angkatan 2015 yang senantiasa berjuang bersama untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga semua kebaikan pihak yang membantu penulis dapat dibalas oleh Allah SWT dan semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk semua.

Jakarta, April 2019

Penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala nikmat dan rahmatnya saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Penulisan Laporan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta. Laporan Tugas Akhir ini mungkin tidak dapat berjalan lancar apabila tanpa bantuan dan dukungan dari beberapa pihak, untuk itu saya ingin berterimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Mustofa, S.T., M.T selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
2. Bapak Ir. Roosmariharso, MBA selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
3. Bapak Syaiful Ahsan, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, pikiran dan tenaga untuk membimbing saya sampai terselesaikannya Laporan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Ida Nur Apriani, S.S.T., M.Si selaku Laboran Lab. Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta yang telah membantu selama pengerjaan penelitian ini.
5. Orang tua, adik-adik, dan seluruh keluarga besar yang selalu menemani dan selalu memberi dukungan secara moral dan material.
6. Oki Anwar, Refani Nabila, Nisrina Putri, Siti Hardiyanti, Retno Bastiyah, Nur Julianis, Tias Azhar, Nila A Husna, Alwinda Destianti, Herda Ravenda dan Prendik Gesang selaku orang-orang terdekat yang selalu menemani dan mendukung saya sampai saat ini.
7. Rizka Amalia, Shalihah Amirah dan Yemima Putri selaku sahabat serta rekan dalam Tugas Akhir ini.
8. Seluruh teman-teman Teknik Kimia Polimer angkatan 2015 yang senantiasa berjuang bersama untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga semua kebaikan pihak yang membantu penulis dapat dibalas oleh Allah SWT dan semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk semua.

Jakarta, April 2019

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh penambahan *filler* ZnO sebanyak 2%, 4% dan 6% dari basis 3 gram PLA terhadap karakteristik kimia dan sifat termal dari biofilm PLA. Pembuatan biofilm PLA murni dan PLA/ZnO menggunakan metode *solution casting*. *Fourier Transform Infrared* (FTIR) digunakan untuk melihat pengaruh pada karakteristik kimia biofilm. FTIR menghasilkan spektra transmittan untuk masing-masing sampel. *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) digunakan untuk melihat pengaruh sifat termal dari biofilm saat ditambahkan *filler*. Metode yang digunakan untuk alat DSC yaitu dua kali pemanasan yang akan menghasilkan grafik untuk masing-masing sampel. Setelah PLA ditambahkan 2%, 4% dan 6% berat ZnO, karakteristik kimia biofilm tidak terganggu dengan adanya *filler* ZnO. Temperatur transisi kaca (T_g) dan temperatur leleh (T_m) pada *second heating* relatif menurun dengan penambahan ZnO yang semakin banyak. Penambahan *filler* ZnO mulai dari persentase 6% dan selebihnya akan mengganggu kristalisasi dari biofilm PLA sehingga menyebabkan temperatur *cold crystallization* (T_{cc}) relatif menurun.

Kata kunci: Biofilm, PLA, *filler*, ZnO, FTIR, Karakteristik Kimia, Sifat Termal dan DSC.

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
LEMBAR JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI SIDANG.....	iv
LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	v
LEMBAR KEASLIAN LAPORAN TUGAS AKHIR	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Polylactic Acid (PLA)</i>	5
2.2 <i>Filler ZnO</i>	7
2.3 Biofilm PLA	8
2.4 Uji Karakteristik Kimia	10
2.5 Uji Termal	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Variabel Penelitian	15

3.4	Prosedur Pembuatan Film PLA murni dan Film PLA/ZnO	16
3.5	Karakterisasi Sampel	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		20
4.1	Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	20
4.2	Hasil Pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC).....	26
BAB V PENUTUP.....		34
5.1	Kesimpulan.....	34
5.2	Saran	34
DAFTAR PUSTAKA		35
LAMPIRAN A		38
LAMPIRAN B		40
LAMPIRAN C		41
LAMPIRAN D.....		42
LAMPIRAN E		43

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Struktur Kimia dari PLA.....	5
Gambar II.2	Macam-Macam Struktur ZnO: a) <i>Cubic Rocksalt</i> , b) <i>Cubic Zinc Blende</i> , dan c) <i>Hexagonal Wurtzite</i>	8
Gambar II.3	Skema Komponen-Komponen Dasar Spektrometer FTIR.....	11
Gambar II.4	Spektra Transmitan dan Absorban FTIR.....	13
Gambar III.1	Diagram Alir Proses Pembuatan Film PLA murni dan PLA/ZnO.....	17
Gambar IV.1	Spektra Transmitan Inframerah Film PLA Murni.....	20
Gambar IV.2	Spektra Transmitan Inframerah Serbuk ZnO.....	22
Gambar IV.3	Spektra Transmitan Inframerah PLA/ZnO 2%.....	23
Gambar IV.4	Spektra Transmitan Inframerah PLA/ZnO 4%.....	25
Gambar IV.5	Spektra Transmitan Inframerah PLA/ZnO 6%.....	25
Gambar IV.6	Hasil DSC Film PLA Murni.....	27
Gambar IV.7	Hasil DSC film PLA/ZnO 2%.....	29
Gambar IV.8	Penurunan Tg pada <i>Second Heating</i>	30
Gambar IV.9	Penurunan Tcc pada <i>Second Heating</i>	31
Gambar IV.10	Hasil DSC Film PLA/ZnO 4%.....	32
Gambar IV.11	Hasil DSC film PLA/ZnO 6%.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Sifat Fisik dan Kimia PLA Ingeo 7001 D.....	6
Tabel II.2 Sifat Fisik ZnO.....	7
Tabel III.1 Variasi Komposisi Film PLA murni, dan PLA/ZnO.....	16
Tabel IV.1 Perbandingan Hasil FTIR Film PLA Murni.....	21
Tabel IV.2 Perbandingan Hasil FTIR Serbuk ZnO.....	23
Tabel IV.3 Hasil FTIR Film PLA murni, Serbuk ZnO dan PLA/ZnO 2%, PLA/ZnO 4% dan PLA/ZnO 6%.....	24
Tabel IV.4 Hasil Pengujian DSC PLA murni dan variasi PLA/ZnO.....	28

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Polimer merupakan bahan yang banyak digunakan pada zaman sekarang ini, salah satunya adalah plastik. Pada umumnya plastik yang beredar berasal dari minyak bumi dan diolah oleh manusia sampai menjadi plastik. Sifat umum plastik yaitu isolator terhadap panas dan listrik, ringan, mudah dibentuk, dan memiliki karakteristik yang mudah dimodifikasi untuk ditambahkan zat-zat aditif sesuai dengan kebutuhan. Namun di samping itu semua, plastik juga menjadi masalah terbesar pada saat ini karena penggunaannya yang terus bertambah. Sifat lain plastik yaitu sulit terdegradasi, sehingga sampah plastik akan sulit hilang dari lingkungan. Beberapa cara dilakukan untuk memusnahkan limbah plastik yaitu dengan pembakaran dan penimbunan. Memusnahkan plastik dengan pembakaran dapat mencemari dan mengganggu kesehatan lingkungan. Sedangkan menimbun limbah plastik juga bisa merusak estetika lingkungan dan dapat melepaskan bahan-bahan kimia berbahaya ke lingkungan (Wijayanti dkk., 2016).

Kondisi demikian menyebabkan plastik yang terbuat dari minyak bumi tidak dapat digunakan secara terus menerus, karena akan menambah persoalan lingkungan dan kesehatan diwaktu mendatang. Sehingga beberapa peneliti mencoba mencari jalan keluar dari masalah tersebut untuk mengurangi pencemaran lingkungan namun tetap memudahkan masyarakat, yaitu dengan mengembangkan teknologi pembuatan plastik yang bersifat *biodegradable* (Firdaus dkk., 2008).

Salah satu biopolimer yang telah menarik perhatian para kelompok peneliti yaitu *Polylactic Acid* (PLA). Karena PLA terbuat dari bahan alami terbarukan, dan dapat terurai. Meskipun PLA memiliki potensi komersial yang cukup baik, namun PLA memiliki sifat rapuh, suhu distorsi panas yang rendah, dan viskositas leleh yang rendah sehingga dapat membatasi untuk beberapa aplikasi. Baru-baru ini PLA dikembangkan sebagai bahan dasar pembuatan bioplastik. Sifat PLA

mulai ditingkatkan dengan menambahkan *filler* dan dengan kondisi operasi yang tepat (Marra dkk., 2016).

Penambahan *filler* dapat mempengaruhi sifat dan morfologi bioplastik. Untuk mengetahui pengaruh dari penambahan *filler* pada bioplastik tersebut dapat dilakukan beberapa pengujian. Contoh *filler* yang dapat digunakan yaitu Zinc Oxide (ZnO). Nanopartikel ZnO dikenal dengan zat anorganik yang ramah lingkungan. Nanopartikel ZnO memiliki sifat antimikroba, meningkatkan reaktivitas permukaan, sifat termal, mekanik, serta stabil terhadap panas (Pamela dkk., 2016).

Ditemukan bahwa ZnO terdispersi dengan baik dalam matriks PLA, walaupun tidak ada perlakuan sebelumnya yang dilakukan untuk ZnO. Penambahan ZnO sebanyak 1%, 3% dan 5% kedalam matriks PLA untuk menentukan sifat mekanik, sifat penghalang dan antimikroba (terhadap *Escherichia coli*) (Marra dkk., 2016). Sedangkan untuk penambahan 0,1 phr dan 1 phr ZnO yang sudah didispersi dengan kloroform selama 2 jam kedalam PLA yang sudah dilarutkan dengan kloroform, tidak menunjukkan puncak adanya ZnO pada spektra hasil FTIR PLA/ZnO dan dapat mempercepat degradasi termal dari biofilm PLA/ZnO (Ghozali dkk., 2018).

Berdasarkan beberapa penelitian tentang biofilm yang sudah ada, dapat digunakan pengujian karakteristik kimia dan pengujian termal untuk PLA yang sudah ditambahkan *filler* ZnO agar dapat terbukti bahwa penambahan *filler* dapat menutupi kekurangan dari biofilm PLA sehingga biofilm yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik namun tetap ramah lingkungan (Khalistyawati dkk., 2016).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, rumusan masalah yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan *filler* ZnO terhadap karakteristik kimia dari PLA?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *filler* ZnO terhadap sifat termal dari PLA?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan baku yang digunakan yaitu PLA dan ZnO. PLA dan ZnO yang digunakan merupakan bahan yang komersil.
2. PLA yang digunakan yaitu sebanyak 3 gram.
3. Komposisi ZnO yang digunakan sebanyak 2%, 4% dan 6% dari 3 gram PLA.
4. Karakteristik kimia biofilm diuji dengan menggunakan alat FTIR dan sifat termal biofilm diuji dengan menggunakan alat DSC.
5. Karakteristik kimia yang akan dilihat yaitu gugus fungsi dari biofilm PLA dan biofilm PLA/ZnO.
6. Sifat termal yang akan dilihat yaitu temperatur transisi kaca (T_g), temperatur *cold crystallization* (T_{cc}), entalpi *cold crystallization* (ΔH_{cc}), temperatur leleh (T_m) dan entalpi leleh (ΔH_m).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *filler* ZnO terhadap karakteristik kimia film PLA.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *filler* ZnO terhadap terhadap sifat termal film PLA

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini memberikan informasi mengenai pengaruh penambahan ZnO terhadap *biodegradable* film PLA.
2. Penelitian ini memberikan informasi mengenai pembuatan *biodegradable* film.

1.6 Sistematika Penulisan

Bagian ini merupakan bagian keseluruhan yang terdiri dari lima bab yang saling berkaitan, yaitu:

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 PLA dan ZnO dari beberapa penelitian yang pernah ada, serta beberapa pengujian yang akan dilakukan.

BAB III: METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, variabel penelitian, prosedur penelitian, tahapan pembuatan film PLA/ZnO 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.

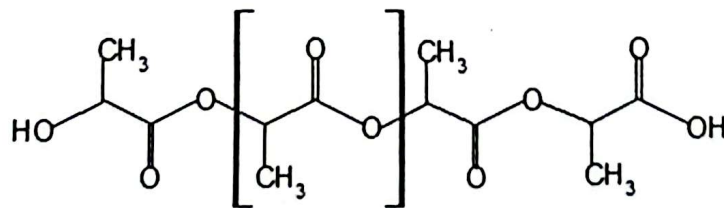
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polylactic Acid (PLA)

Polylactic Acid (PLA) merupakan polimer dari golongan poliester alifatik yang umumnya terbuat dari *Lactic Acid*. PLA adalah termoplastik yang memiliki kekuatan yang cukup baik dan juga modulus yang tinggi, serta terbuat dari bahan baku yang terbarukan. PLA mudah diproses untuk menghasilkan suatu komponen, film, atau *fiber*. PLA dihidrolisis dari ikatan ester dan tidak memerlukan enzim untuk mengkatalisis proses ini. PLA mengalami degradasi termal pada suhu di atas 200 °C oleh hidrolisis, reformasi laktida, oksidatif pemotongan rantai utama, dan reaksi transesterifikasi intramolekul interor. Degradasi PLA tergantung pada waktu, suhu, dan konsentrasi katalis (Garlotta, 2002).

Dalam penelitian Farrington dkk. (2005), metode pembuatan PLA umumnya dengan Polimerisasi kondensasi langsung dan *Ring Open Polymerization* (ROP). Metode Polimerisasi langsung dan metode ROP sama-sama dilakukan pada kondisi vakum dan tekanan tinggi (Khalistyawati, 2016). Metode polimerisasi langsung ditambahkan *coupling agent* untuk menaikkan berat molekul PLA. Sedangkan pada metode ROP, *lactic acid* dibentuk menjadi *lactide* terlebih dahulu tanpa menambahkan *coupling agent*, setelah itu dilakukan metode ROP untuk mengubah *lactide* menjadi *polylactide*. Secara umum banyak yang menyebutkan PLA yang dipolimerisasi langsung dari *lactic acid* (Sin dkk., 2012). Gambar II.1 menunjukkan struktur kimia dari PLA.



Gambar II.1 Struktur Kimia dari PLA.

Sumber: Sin dkk. (2012)

Homopolimer PLA memiliki temperatur transisi kaca dan temperature leleh masing-masing 55 °C dan 175 °C. PLA membutuhkan suhu pemrosesan melebihi 185 °C-190 °C. Di temperatur ini terjadi reaksi pemutusan rantai yang menyebabkan hilangnya berat molekul dan degradasi termal (Garlotta, 2002).

Menurut Xiao dkk. (2012), PLA memiliki berat molekul yang tinggi, tidak berwarna, mengkilap dan kaku. Tabel II.1 menunjukkan sifat fisik dan kimia PLA Ingeo 7001 D.

Tabel II.1 Sifat Fisik dan Kimia PLA Ingeo 7001 D

Sifat Fisik dan Kimia	Nilai	Satuan
<i>Specific Gravity</i>	1.24	-
Temperatur Transisi Kaca (Tg)	55-60	°C
Temperatur leleh (Tm)	145-160	°C

Sumber: Chariyachotilert dkk. (2011)

Menurut Dorgan dkk. (2000), PLA memiliki beberapa kelebihan untuk bioplastik yaitu:

1. Bahan baku produksi monomernya berasal dari fermentasi biomassa (jagung).
2. Fiksasi CO₂ yang signifikan melalui produksi jagung.
3. Penghematan energi yang efisien.
4. Kemampuan untuk pendauran ulang melalui hidrolisis atau alkoholisis.
5. Kemampuan untuk memproduksi plastik yang bisa menjadi kompos.
6. Mengurangi pemakaian *landfill* untuk limbah plastik.
7. Kemampuan penyesuaian sifat fisik melalui modifikasi materialnya.

Menurut Rogers (2015), di samping kelebihan yang dimiliki PLA, juga ada kekurangan yang dimiliki PLA, yaitu pengomposan PLA dalam jumlah yang banyak akan merusak pengomposan konvensional karena polimer yang kandungannya berbasis jagung akan membuat kompos biasa menjadi lebih asam. Selain itu, PLA juga cenderung rentan terhadap deformasi ketika terpapar temperatur yang tinggi (Wijayanti dkk, 2016).

2.2 Filler ZnO

Filler atau bahan pengisi digunakan untuk meningkatkan kekuatan mekanis dan *barrier properties* pada bioplastik. *Filler* yang ditambahkan ke dalam bioplastik atau biofilm dapat berupa senyawa organik maupun senyawa anorganik. Beberapa senyawa anorganik pada ukuran nano menyajikan aktivitas antibakteri yang kuat karena luas permukaan yang tinggi terhadap rasio volume. Beberapa bahan anorganik antibakteri adalah nanopartikel logam dan nanopartikel logam oksida seperti perak, tembaga, titanium oksida, seng oksida, magnesium, kalsium oksida, dll. (Vasile dkk., 2017). Seng oksida (ZnO) merupakan oksida konduktif transparan yang banyak diteliti. Kelebihan dari ZnO adalah ZnO terbentuk dari unsur-unsur yang melimpah, murah, tidak beracun, memiliki stabilitas yang tinggi dalam plasma hidrogen dan siklus panas serta tahan terhadap radiasi (Sinaga, 2009). Tabel II.2 menunjukkan sifat fisik dan kimia dari ZnO.

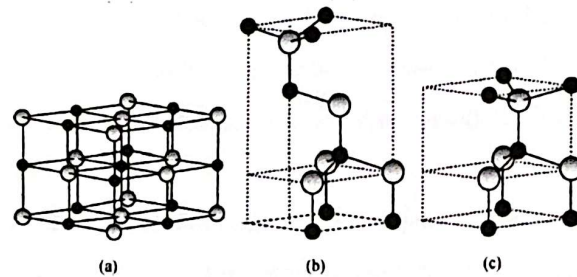
Tabel II.2 Sifat Fisik ZnO

Sifat Fisik dan Kimia	Nilai	Satuan
<i>Density</i>	5,6	g/cm ³
Temperatur leleh (T _m)	1975	°C

(Sumber: Wypych, 2000)

ZnO merupakan senyawa semikonduktor dengan memiliki beberapa macam struktur, yaitu struktur *rocksalt*, *zinc blende*, dan *wurtzite* yang ditunjukkan pada gambar II.2. Dari semua struktur tersebut, struktur *wurtzite* adalah struktur yang stabil secara termodinamik dalam kondisi sekitar. Struktur *zinc blende* hanya distabilkan dengan pertumbuhan pada struktur kubik, sedangkan struktur *rocksalt* dapat diperoleh hanya pada tekanan tinggi (Nagar & Chakrabarti, 2017). Ukuran dari ZnO juga mempengaruhi sifat dari material yang akan dibuat, Kanmani dan Rhim (2014) menyimpulkan bahwa ZnO yang ukurannya nano, memiliki nilai rasio luas permukaan dan volume yang lebih besar sehingga secara kimia dapat mengubah sifat fisik, meningkatkan reaktivitas permukaan, sifat termal, mekanik, dan elektrik yang unik, stabil terhadap panas. Sifat termal semikonduktor pada

ZnO menentukan respon material terhadap perubahan suhu. Sifat-sifat material yang menentukan hubungan linear antara variabel mekanik, listrik, dan termal antara lain ekspansi termal, panas spesifik, dan piroelektrik. Sifat termal dan konduktivitas termal ini tergantung pada suhu sekitar. ZnO banyak digunakan dalam bentuk film tipis yang diendapkan pada substrat lain, maka sifat-sifat film ZnO juga sangat tergantung pada sifat-sifat yang melekat pada substrat (Markoç & Özgür, 2009). Menurut Vijayakumar (2003), struktur kristal ZnO memiliki efek antimikroba terhadap bakteri, serta dapat menjadi inhibitor potensi mikroba dalam makanan dengan menggunakan pendekatan sistem dengan antimikroba lain (Khalistyawati, 2016). Gambar II.2 menunjukkan macam-macam struktur dari ZnO.



Gambar II.2 Macam-Macam Struktur ZnO: a) *Cubic Rocksalt*, b) *Cubic Zinc Blende*, dan c) *Hexagonal Wurtzite*.

Sumber: Markoç & Özgür (2009)

Seng oksida (ZnO) telah menarik perhatian peneliti karena dianggap sebagai bahan yang sangat menjanjikan untuk berbagai aplikasi. Terlepas dari sifat optik dan sifat kelistrikannya, ZnO diketahui mempengaruhi sifat termal dan mekanik komposit polimer (Anžlovar dkk, 2018).

2.3 Biofilm PLA

Menurut Faizin (2012), Biofilm merupakan biopolimer yang bahan bakunya mudah ditemukan di alam dan memiliki struktur molekul yang mudah terdegradasi secara biologis sehingga dapat membantu mengurangi jumlah limbah plastik di lingkungan (Khalistyawati, 2016). Biopolimer terbagi menjadi dua, biopolimer yang berasal dari minyak bumi dan biopolimer yang berasal dari mikroorganisme. Biopolimer yang berasal dari minyak bumi membutuhkan biaya

produksi yang cukup besar dan fluktuatif, sedangkan biopolimer yang berasal dari mikroorganisme memanfaatkan aktivitas bakteri untuk mengubah produk tanaman, seperti pati, menjadi produk awal untuk polimerisasi (Sin dkk., 2012). Contoh biopolimer yang dapat digunakan untuk biofilm yaitu *polylactic acid* (PLA).

Marra dkk. (2016) membuat film biokomposit untuk aplikasi pembungkus makanan. Bahan yang digunakan yaitu *masterbatch* PLA/ZnO yang ditambahkan dengan matriks PLA/ZnO dengan variasi ZnO masing-masing 1%, 3%, dan 5%. Lalu melakukan pencampuran dilakukan dengan menggunakan ekstruder *twin-screw*. Pengaruh penambahan ZnO pada penelitian ini yaitu meningkatkan *modulus young* dan nilai tegangan sampai *yield point*. PLA dengan penambahan ZnO sebanyak 5% paling cocok digunakan untuk pembungkus makanan, karena memiliki sifat tarik yang baik, menurunkan permeabilitas O₂ dan CO₂, hanya sedikit meningkatkan permeabilitas uap air, dan memiliki aktivitas antimikroba yang baik.

Pantani dkk. (2013) fokus terhadap produksi dan karakterisasi PLA/ZnO yang diproduksi dengan pelelehan lalu menggabungkan PLA dengan ZnO dengan variasi 0,5-3%. Nilai energi aktivasi paling besar ada di film yang mengandung 3% ZnO. Dengan mempertimbangkan sifat multi fungsional dari PLA-ZnO (anti UV, anti bakteri, sifat mekanik, dll), film nano komposit yang diproduksi dengan ekstruksi ini dapat dianggap sebagai barang yang ramah lingkungan.

Vasile dkk. (2017) menggunakan PLA/ZnO:Cu/Ag untuk membuat bionanokomposit pembungkus makanan. Pengaruh penggunaan PLA/ZnO:Cu/Ag ini dianalisis dengan menggunakan FTIR untuk analisis struktural, SEM dan TEM untuk analisis morfologi, serta DSC untuk analisis termal. ZnO, Cu dan Ag juga dapat menambah sifat antimikroba. Ditemukan bahwa peningkatan nanopartikel ZnO, Cu dan Ag (0,5-1,5% dari berat formulasi PLA) dapat meningkatkan derajat kristalinitas PLA. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa komposisi optimal adalah PLA/ZnO:Cu/Ag 0,5, bionanokomposit ini menghasilkan sifat mekanik dan termal yang baik, sifat penghalang yang baik untuk cahaya UV, uap air, oksigen, karbon dioksida, aktivitas antibakteri.

Nonato dkk. (2019) telah membuat Nanokomposit PLA dengan menambahkan nanofibers ZnO yang dibuat oleh pencetakan 3D *solution cast*. Dengan penambahan 1% nanofibers ZnO dapat menurunkan stabilitas termal dari PLA menjadi lebih rendah, namun morfologi ZnO meningkatkan kristalinitas nanokomposit yang terkait dengan pembentukan kristal yang lebih sempurna. Dari penelitian ini membuka bidang untuk pengembangan dalam bidang medis dan kemasan karena nanokomposit PLA/ZnO ini memiliki sifat antimikroba sehingga bisa dikembangkan lagi untuk masa depan.

Keuntungan di bidang lingkungan yang diperoleh apabila menggunakan *biodegradable* plastik jika dibandingkan dengan plastik konvensional adalah sebagai berikut :

1. Dapat dijadikan sebagai kompos, kompos diperoleh dari plastik yang bisa terdegradasi bersama dengan produk organik lainnya, dapat meningkatkan air dan penyimpanan nutrisi dalam tanah, mengurangi pemasukan pupuk dan mencegah penyakit tanaman.
2. Penggunaan *biodegradable* plastik dapat memperpanjang usia tempat pembuangan akhir karena dapat terdegradasi dalam waktu tertentu.
3. Energi yang digunakan untuk memproduksi bioplastik relatif rendah.
4. Emisi gas rumah kaca

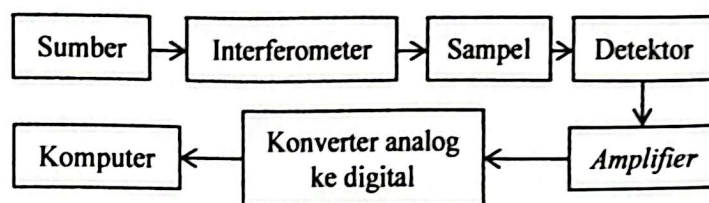
Pembuatan biofilm PLA murni dan PLA/ZnO dengan mencampurkan PLA yang sudah dilarutkan dan ZnO yang sudah didispersi, kemudian dicetak dan dikeringkan. Pelarutan yaitu memasukkan zat terlarut yang digunakan (PLA) kedalam zat pelarut yang digunakan (kloroform) sampai membentuk suatu larutan. Sedangkan pendispersian yaitu penebaran suatu zat pendispersi (ZnO) kedalam suatu media pendispersi (kloroform) sampai tidak dapat dibedakan antara partikel zat pendispersi (ZnO) dan media pendispersi (kloroform) dalam suatu larutan.

2.4 Uji Karakteristik Kimia

Alat yang digunakan untuk menguji karakteristik kimia yaitu *Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy*. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsi yang terdapat pada PLA sebagai hasil dari

polimerisasi. Analisis ini juga bertujuan untuk melihat kemungkinan terjadinya reaksi pada tahap pengolahan yang ditandai dengan adanya gugus-gugus fungsi baru yang sebelumnya tidak terdeteksi atau sebaliknya (Rahmah dkk, 2014).

FTIR merupakan metode spektroskopi *infrared* (IR). Radiasi yang muncul dari sumber dilewatkan melalui interferometer ke sampel sebelum mencapai detektor. Saat sinyal amplifikasi, di mana kontribusi frekuensi yang tinggi telah dihilangkan oleh filter, data akan dikonversi ke bentuk digital oleh konverter analog ke digital dan ditransfer ke komputer untuk hasil FTIR seperti yang ditunjukkan pada gambar II.3 (Stuart, 2004).



Gambar II.3 Skema Komponen-Komponen Dasar Spektrometer FTIR

Interferometer yang paling umum digunakan dalam spektrometri FTIR adalah interferometer *Michelson*, yang terdiri dari dua bidang cermin tegak lurus, salah satunya dapat bergerak ke arah tegak lurus terhadap bidang. Interferogram adalah sinyal analog pada detektor yang harus didigitalkan agar dapat dilakukan transformasi *fourier* menjadi spektrum konvensional (Stuart, 2004).

Spektra yang dihasilkan menggambarkan absorpsi dan transmisi molekular, yang membentuk sidik jari molekular suatu sampel. Sistem optik spektrofotometer FTIR dilengkapi dengan cermin yang bergerak tegak lurus dan cermin diam. Dengan demikian radiasi IR akan menimbulkan perbedaan jarak yang ditempuh menuju cermin yang bergerak dan jarak cermin yang diam. Perbedaan jarak tempuh radiasi tersebut selanjutnya disebut sebagai retardasi (δ). Hubungan antara intensitas radiasi IR yang diterima detektor terhadap retardasi disebut sebagai interferogram. Sedangkan sistem optik dari spektrofotometer IR yang didasarkan atas bekerjanya interferometer disebut sistem optik. Spektrofotometer inframerah pada umumnya digunakan untuk:

1. Menentukan gugus fungsi suatu senyawa organik.

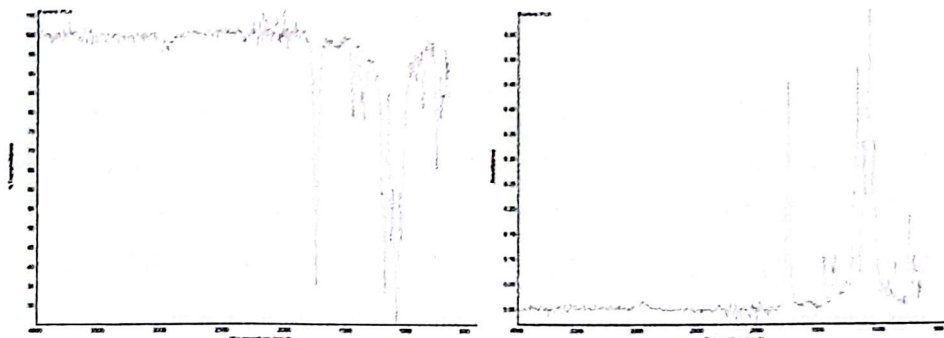
2. Mengetahui informasi struktur suatu senyawa organik dengan membandingkan daerah sidik jarinya.

Attenuated total reflectance (ATR) spectroscopy menggunakan fenomena refleksi internal total. Sinar akan menembus sebagian kecil dari panjang gelombang di luar permukaan pantulan. Ketika suatu bahan menyerap sinar radiasi, sinar akan kehilangan energi pada panjang gelombang tempat di mana material itu menyerap sinar. Hasil radiasi yang dilemahkan akan diukur dan diplot sebagai fungsi panjang gelombang oleh spektrometer dan menimbulkan karakteristik spektral serapan sampel (Stuart, 2014).

Gambar II.4 menunjukkan perbedaan antara spektra transmitan dan absorban. Instrumen IR mencatat persentase transmisi pada rentang panjang gelombang linier. *Output* dari instrumen IR disebut sebagai spektrum. Sebagian besar instrumen komersial memperlihatkan spektrum dengan bilangan gelombang yang menurun dari kiri ke kanan. Spektrum inframerah dapat dibagi menjadi tiga wilayah utama yaitu, *Far-Infrared* ($<400\text{ cm}^{-1}$), *Mid-Infrared* ($4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$) dan *Near-Infrared* ($13.000\text{--}4.000\text{ cm}^{-1}$). Skala ordinat dapat disajikan dalam % transmitan dengan 100% di bagian atas spektra dan dapat pula disajikan dalam absorban sesuai dengan kebutuhan. Masing-masing bilangan gelombang dapat melakukan deformasi tertentu dari molekul, pergerakan sekelompok atom baik *bending* atau *stretch* pada molekul tertentu. *Stretch* dapat dikatakan sebagai peregangan dari suatu gugus, *bend* dapat dijelaskan saat molekul menekuk, saat struktur molekul berubah atau rusak dapat dikatakan *deformation*, sedangkan *rocking modes* bisa diartikan sebagai mode saat oleng atau goyang. Peregangan (*stretch*) dapat terjadi dalam *symmetric* atau *asymmetric*. Bilangan gelombang *symmetric* akan memiliki lebih sedikit getaran inframerah aktif daripada bilangan gelombang *asymmetric*. Bilangan gelombang *symmetric* umumnya akan lebih lemah daripada bilangan gelombang *asymmetric*, karena Bilangan gelombang *symmetric* tidak akan mengarah pada perubahan momen dipol (Stuart, 2004). (Stuart, 2004).

Instrumen FTIR memiliki beberapa keunggulan signifikan dibandingkan dispersif instrumen yang lama. Diantaranya adalah keuntungan multiplex

(*Fellgett*) dan keuntungan hasil (*Jacquinot*). Keuntungan *Fellgett* adalah peningkatan rasio sinyal-ke-suara (SNR) per unit waktu, sebanding dengan akar kuadrat dari jumlah elemen resolusi yang dipantau. Ini hasil dari banyak elemen resolusi yang dipantau secara bersamaan. Selain itu, keunggulan *Jacquinot* adalah saat spektrometri FTIR tidak memerlukan penggunaan celah atau perangkat pembatas lainnya, maka total sumber *output* dapat dilewatkan melalui sampel secara terus menerus akan menghasilkan peningkatan energi yang kuat pada detektor, oleh sebab itu penerjemahan ke sinyal menjadi lebih tinggi dan meningkatkan SNR. Kekuatan lain spektrometri FTIR adalah keunggulan kecepatannya. Cermin memiliki kemampuan untuk bergerak jarak pendek dengan cukup cepat, dan dengan peningkatan SNR karena keuntungan *Fellgett* dan *Jacquinot*, dapat memungkinkan untuk memperoleh spektrum pada skala waktu milidetik. Dalam interferometri, faktor yang menentukan ketepatan posisi pita IR adalah saat ketelitian posisi cermin pemindaian diketahui (Stuart, 2004).



Gambar II.4 Spektra Transmitan dan Absorban FTIR

2.5 Uji Termal

Analisis termal memberikan metode cepat untuk mengukur transisi karena perubahan morfologis atau kimia, dalam polimer karena dipanaskan atau didinginkan melalui kisaran suhu yang ditentukan. Transisi ditandai dengan penyerapan atau pelepasan energi oleh sampel yang menghasilkan puncak endotermik, eksotermik atau perubahan garis dasar pada kurva pemanasan atau pendinginan (ASTM D3418-12).

Alat yang digunakan untuk uji termal yaitu *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui sifat termal suatu polimer. Sifat termal polimer meliputi *Transition Glass Temperature* (T_g), *Melting Temperature* (T_m), *Cold Crystallization Temperature* (T_{cc}), *Enthalpy of Melting* (ΔH_m), *Enthalpy of Cold Crystallization* (ΔH_{cc}) dan *Degree of Crystallinity* (X_c). Suhu transisi kaca (T_g) terdeteksi ketika variasi dalam panas spesifik terjadi tanpa perubahan suhu yang signifikan. Perubahan entalpi tidak terjadi dalam transisi kaca. Suhu leleh (T_m) terkait dengan pergerakan rantai molekul karena struktur kristal yang terganggu ketika suhu meningkat. Transisi kaca dan titik leleh dapat menunjukkan perubahan morfologis pada polimer serta pemrosesan polimer. Sedangkan transisi kristalinitas merupakan derajat yang digunakan untuk memisahkan struktur kristalit (Rahmah dkk, 2014). Tujuan dari *first heating* yaitu menganalisis kristalinitas asli dari sampel. Derajat kristalinitas asli sampel dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$X_c (\%) = \frac{\Delta H_m}{\Delta H^{\circ m}} \times \frac{100\%}{w}$$

Pada *second heating*, tujuannya untuk mengukur total kristalinitas yang dapat dicapai pada kondisi DSC. Dengan demikian, perhitungan derajat kristalinitas (X_c) dari sampel dapat dicari dengan mengurangi entalpi leleh sampel (ΔH_m) dengan entalpi *cold crystallization* (ΔH_{cc}) sampel lalu dibagi dengan nilai entalpi leleh untuk 100% kristalisasi PLA secara teoretis ($\Delta H^{\circ m} = 93 \text{ J/g}$) (Nonato dkk, 2019).

$$X_c (\%) = \frac{\Delta H_m - \Delta H_{cc}}{\Delta H^{\circ m}} \times \frac{100\%}{w}$$

Keterangan :

X_c = Derajat kristalinitas sampel (%) ΔH_{cc} = Entalpi *cold crystallization* sampel (J/g)
 ΔH_m = Entalpi leleh sampel (J/g) $\Delta H^{\circ m}$ = entalpi leleh untuk 100% kristalisasi PLA
 w = fraksi berat PLA (J/g)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2018 sampai bulan Mei 2019, dan dilakukan di Politeknik STMI Jakarta.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

- | | |
|----------------------------|--|
| 1. Gelas kimia | 9. Cawan petri |
| 2. Spatula | 10. Perforator |
| 3. Kaca arloji | 11. Plastik <i>zip lock</i> |
| 4. Pipet tetes | 12. Sarung Tangan |
| 5. Batang pengaduk | 13. Masker |
| 6. <i>Magnetic stirrer</i> | 14. FTIR Nicolet iS10 ThermoScientific |
| 7. Neraca Digital | 15. DSC 214 set MFC IC 70 230V Netzch |
| 8. <i>Hot plate</i> | 16. Aluminium foil |

Gambar beberapa alat yang digunakan dapat dilihat pada lampiran A.

3.2.2 Bahan

- | | |
|----------------------|---------------------------|
| 1. PLA (Toko Pedia) | 3. ZnO (Toko Harum Kimia) |
| 2. Kloroform (Merck) | |

Gambar bahan yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B.

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Tetap

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

- Waktu untuk melarutkan PLA yaitu selama 1 jam 30 menit
- Waktu untuk mendispersikan ZnO yaitu selama 30 menit
- Waktu untuk melarutkan PLA/ZnO yaitu selama 1 jam
- Massa PLA yang digunakan yaitu 3 gram

- e. Massa kloroform yang digunakan yaitu 50 gram
- f. Diameter cawan petri yang digunakan yaitu 15 cm

3.3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang divariasikan pada tiap penelitian agar memperoleh hasil yang diinginkan. Variabel bebas ini menjadi acuan untuk dilihat pengaruhnya terhadap variabel lain. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi ZnO. Tabel III.1 menunjukkan variasi penambahan ZnO terhadap PLA.

Tabel III.1 Variasi Komposisi Film PLA murni, dan PLA/ZnO.

Sampel	PLA	Kloroform	ZnO	
	Massa (gram)	Massa (gram)	Persentase dari basis 3 gram PLA (%)	Massa (gram)
1	3	50	-	-
2	3	50	2%	0,06
3	3	50	4%	0,12
4	3	50	6%	0,18

3.4 Prosedur Pembuatan Film PLA murni dan Film PLA/ZnO

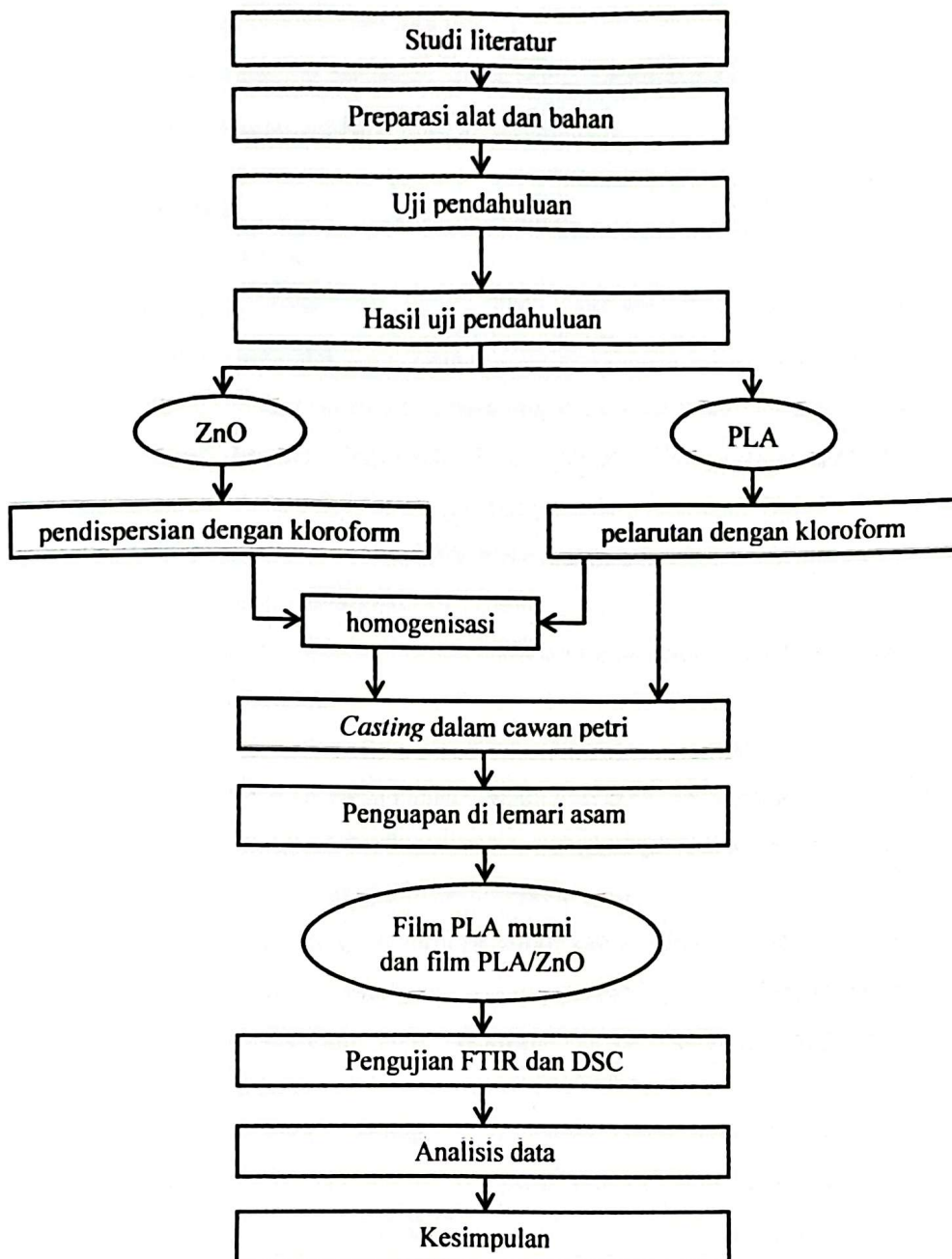
Prosedur pembuatan film PLA dan waktu dari masing-masing prosedur adalah hasil dari uji pendahuluan dan mengacu dari penelitian Sandika, S. & Firdaus, R. (2018). Gambar proses pembuatan film PLA murni dan PLA/ZnO dapat dilihat pada lampiran C.

1. Pelarutan PLA dan Pendispersian ZnO

PLA dilarutkan dengan kloroform di atas *hot plate* dengan suhu kamar selama 1 jam 30 menit, sedangkan ZnO didispersi dengan kloroform di atas *hot plate* dengan suhu kamar selama 30 menit.

2. Pencampuran

PLA yang sudah dilarutkan dicampurkan dengan ZnO yang sudah didispersi dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* di atas *hot plate* dengan suhu kamar selama 1 jam. Gambar III.1 menunjukkan diagram alir proses pembuatan film PLA murni dan PLA/ZnO.



Gambar III.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Film PLA murni dan PLA/ZnO

3. *Casting* dalam Cawan Petri

Proses *casting* yaitu proses penuangan PLA/ZnO yang sudah dicampurkan ke dalam cawan petri sekaligus pencetakan film PLA/ZnO di cawan petri tersebut.

4. Penguapan dalam Lemari Asam

Proses penguapan ini bertujuan untuk menguapkan kloroform. Waktu untuk proses penguapan yaitu 3-4 hari.

3.5 Karakterisasi Sampel

3.5.1 Pengujian FTIR

Fourier Transform Infrared (FTIR) Nicolet iS10 dengan merek Thermoscientific yaitu alat yang digunakan untuk menguji karakteristik film PLA dan film PLA/ZnO, instrumen FTIR ini terdapat pada laboratorium instrumentasi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta. Penggunaan alat FTIR berdasarkan pada ASTM E 1421-99 dan menggunakan metode ATR.

Prosedur penggunaan FTIR adalah sebagai berikut:

1. Hubungkan kabel dengan sumber listrik.
2. Nyalakan instrument FTIR dengan menekan tombol *power on*, tunggu hingga proses inisiasi selesai.
3. Hidupkan FTIR, buka software FTIR yang terdapat dikomputer.
4. Sebelum melakukan pemindaian sampel, lakukan pemindaian *background* untuk menghilangkan hasil pemindaian lingkungan pada saat pemindaian sampel dengan cara mengklik *Collect Background*.
5. Letakkan sampel yang sudah dipreparasi pada tempat sampel, kemudian lakukan pemindaian sampel dengan cara mengklik *Collect Sample*, pastikan parameter pemindaian yang dilakukan benar, tunggu hingga proses pemindaian selesai.
6. Apabila diperlukan, lakukan perbandingan yang diperoleh dari hasil pemindaian sampel dengan polimer standar yang ada pada basis data (*library*) dan lakukan interpretasi pada hasil pemindaian untuk mengetahui analisa gugus yang terkandung pada sampel.
7. Simpan hasil pemindaian yang didapat.

3.5.2 Pengujian DSC

Differential Scanning Calorimetry (DSC) 214 set MFC IC 70 230V merek Netzch digunakan untuk pengujian termal dari film PLA murni dan film

PLA/ZnO. Alat ini terdapat pada laboratorium instrumentasi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta. Penggunaan alat DSC berdasarkan pada ASTM D 3418-12.

Pengujian Termal ini menggunakan metode dua kali pemanasan yaitu *first heating* dan *second heating*. Pemanasan dimulai dari suhu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada saat di suhu $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ditahan selama 5 menit. Kemudian didinginkan sampai suhu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, lalu ditahan selama 5 menit dan dipanaskan lagi sampai suhu $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Laju pemanasan dan pendinginan yaitu $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Prosedur penggunaan DSC adalah sebagai berikut:

1. Hubungkan kabel dengan sumber listrik.
2. Nyalakan DSC dan pastikan saluran gas nitrogen terhubung dengan benar.
3. Nyalakan tombol power on pada alat DSC, buka saluran nitrogen dan biarkan alat melakukan pemanasan selama 30 detik.
4. Jalankan program *Software Expert Mode* pada layar utama.
5. Pada layar pilih standart mode dan isikan Sample Info.
6. Masukkan sampel yang telah berbentuk lembaran tipis dan potong sampel sesuai ukuran pada wadah sampel aluminium.
7. Masukkan wadah sampel aluminium ke dalam alat DSC dengan menggunakan pinset, masukkan wadah aluminium kosong sebagai referensi.
8. Atur parameter pengujian yaitu laju pemanasan pertama dan kedua serta laju pendinginan pada DSC.
9. Klik tombol start untuk menjalankan sesuai parameter tersebut,.
10. Tunggu hingga proses pengujian selesai, biarkan DSC melakukan pendinginan secara otomatis.
11. Lakukan pencetakan data hasil pengujian yang diperoleh.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

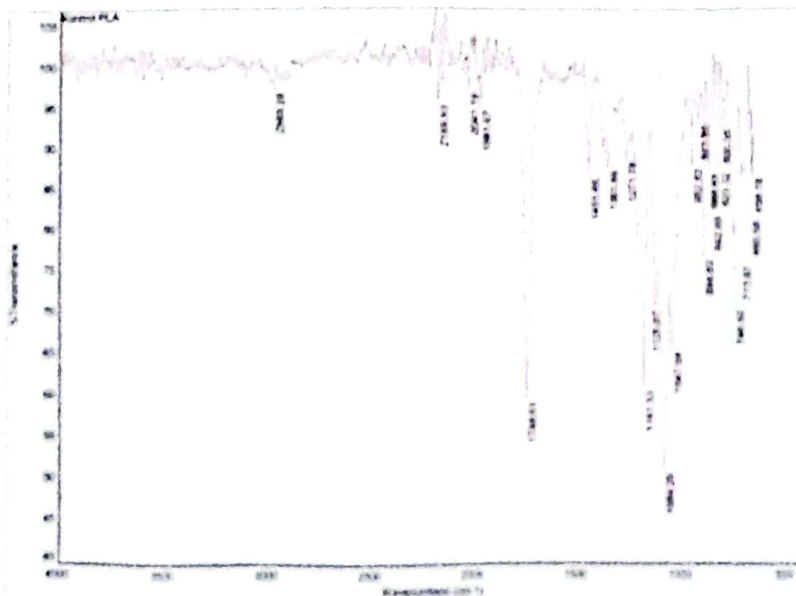
Bab ini membahas mengenai hasil karakterisasi sampel film PLA murni dan film PLA yang ditambahkan *filler* ZnO dengan menggunakan alat uji *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Gambar biofilm PLA murni dan biofilm PLA/ZnO dapat dilihat pada lampiran D.

4.1 Hasil Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

FTIR dilakukan untuk menganalisis gugus fungsi yang diperoleh pada biofilm PLA murni dan film PLA yang sudah ditambahkan *filler* ZnO (Ghozali dkk., 2018) dan untuk menyelidiki interaksi antara PLA dengan *filler* ZnO yang diselidiki oleh spektroskopi FTIR (Rahman dkk., 2018).

4.1.1 Hasil Pengujian Film PLA Murni

Berdasarkan hasil pengujian FTIR film PLA murni yang sudah dilakukan, didapatkan gugus-gugus fungsi yang nilainya tidak jauh berbeda dengan hasil FTIR film PLA Ghozali dkk. (2018).



Gambar IV.1 Spektra Transmittan Inframerah Film PLA Murni

Gambar IV.1 adalah hasil dari spektra transmittan inframerah film PLA murni dan sudah dirangkum dalam Tabel IV.1. Getaran mendasar yang terjadi pada wilayah bilangan gelombang 4000 – 2500 cm^{-1} disebabkan oleh peregangan O–H dan C–H. Regangan gugus O–H menghasilkan pita lebar yang terjadi pada kisaran 3700 – 3600 cm^{-1} . Pita regangan (*stretch*) gugus C–H oleh senyawa alifatik terjadi pada kisaran 3000 – 2850 cm^{-1} . Getaran pada kisaran 1500 – 650 cm^{-1} dapat dikatakan wilayah sidik jari untuk membedakan satu senyawa dan senyawa lainnya.

Tabel IV.1 menunjukkan perbandingan antara bilangan gelombang A yaitu hasil FTIR dari Ghozali dkk (2018) dan bilangan gelombang B yaitu hasil pengujian FTIR penelitian ini.

Tabel IV.1 Perbandingan Hasil FTIR Film PLA Murni

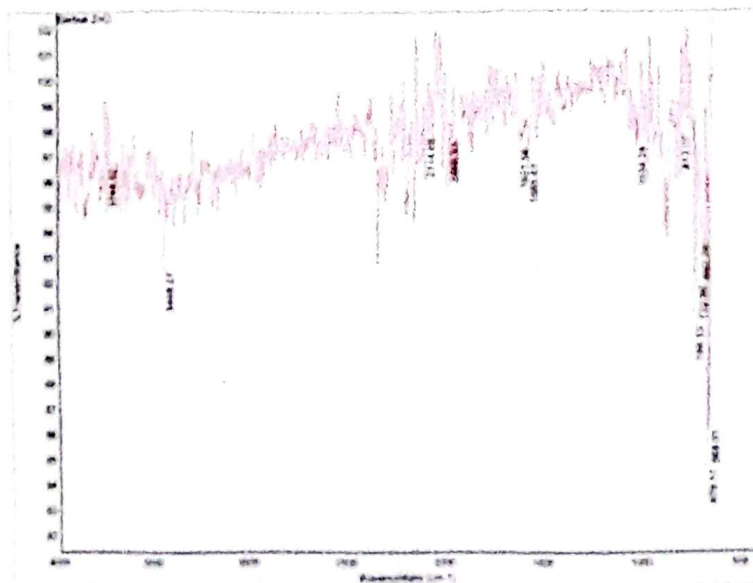
Jenis ikatan	Bilangan gelombang A (cm^{-1}) Sumber: Ghozali dkk (2018)	Bilangan gelombang B (cm^{-1}) Sumber: Penelitian ini
-C-H- <i>stretch</i>	2995 (<i>asymmetric</i>) 2945 (<i>symmetric</i>)	2989,28
-C=O <i>stretch</i>	1747	1748,61
-CH ₃ <i>deformation</i>	1452 (<i>asymmetric</i>) 1382 (<i>symmetric</i>)	1451,65 1361,66
C-O-C <i>stretch</i>	1266 (<i>symmetric</i>) 1180 (<i>asymmetric</i>) 1080	1271,78 1181,53 1084,26
-CH ₃ <i>rocking modes</i>	1127	1126,67
-C-CH ₃ <i>stretch</i>	1043	1047,04
-C-C- <i>stretch</i>	956	952,83
-C-COO <i>stretch</i>	868	869,83

Pada hasil yang didapat untuk film PLA murni didapatkan gugus fungsi dasar PLA pada 2989,28 cm^{-1} dan 1748,61 cm^{-1} serta gugus yang menunjukkan sidik jari PLA pada 1451,65 cm^{-1} sampai 869,83 cm^{-1} . Hasil FTIR film PLA murni

pada penelitian ini akan dibandingkan dengan hasil FTIR film PLA yang sudah ditambah *filler* ZnO. Gambar IV.1 menunjukkan spektra transmittan inframerah dari hasil FTIR film PLA murni.

4.1.2 Hasil Pengujian Serbuk ZnO

Dari uji FTIR serbuk ZnO, didapatkan spektra transmittan inframerah yang tampak pada gambar IV.2. Tabel IV.2 sudah merangkum bilangan gelombang yang didapat dari gambar IV.2. Logam oksida biasanya memberikan pita serapan pada wilayah bilangan gelombang 1000 cm^{-1} yang timbul dari getaran antar atom (Kumar & Rani, 2013). Adsorpsi air pada permukaan logam terjadi saat puncak $3448,27\text{ cm}^{-1}$ dan $1034,24\text{ cm}^{-1}$, masing-masing sebagai regangan -OH dan tekukan (*bend*) -OH . Sedangkan bilangan gelombang $1621,54\text{ cm}^{-1}$ sebagai regangan ZnO. Gambar IV.2 menunjukkan hasil FTIR serbuk ZnO. Berdasarkan hasil pengujian FTIR yang dilakukan didapatkan bilangan gelombang yang tidak jauh berbeda dengan (Kumar & Rani, 2013).



Gambar IV.2 Spektra Transmittan Inframerah Serbuk ZnO

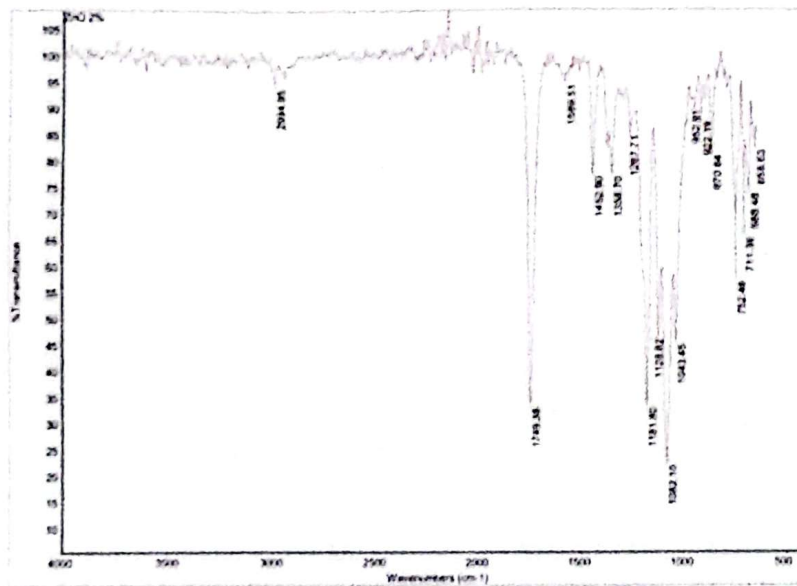
Tabel IV.2 menunjukkan perbandingan antara bilangan gelombang A yaitu hasil FTIR Kumar & Rani (2013) dan bilangan gelombang B yaitu hasil FTIR serbuk ZnO penelitian ini.

Tabel IV.2 Perbandingan Hasil FTIR Serbuk ZnO

Jenis ikatan	Bilangan gelombang A (cm^{-1})	Bilangan gelombang B (cm^{-1})
	Sumber: Kumar & Rani (2013)	Sumber: Penelitian ini
-OH stretch	3452,30	3448,27
-OH bend	1119,15	1034,24
Zn-O stretch	1634	1621,54
Zn-O deformation	620,93	Tidak Terlihat

4.1.3 Hasil pengujian film PLA/ZnO

Hasil pengujian film PLA murni, PLA/ZnO 2%, PLA/ZnO 4% dan PLA/ZnO 6% sudah dirangkum pada tabel IV.3. Dari uji FTIR film PLA/ZnO 2% didapatkan spektra transmittan inframerah yang tampak pada gambar IV.3.



Gambar IV.3 Spektra Transmittan Inframerah PLA/ZnO 2%

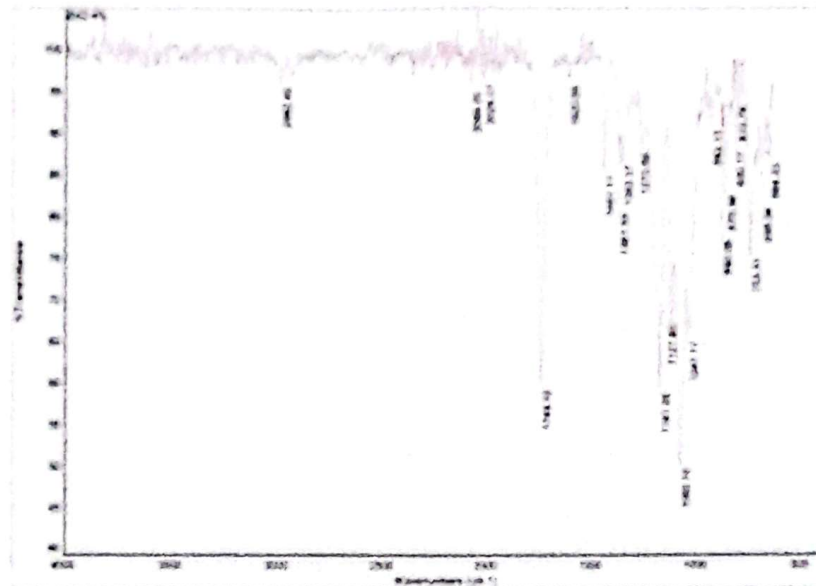
Berdasarkan hasil pengujian FTIR yang dilakukan didapatkan gugus fungsi dan bilangan gelombang yang tampak tidak jauh berbeda dengan hasil FTIR film PLA murni, dan didapatkan bilangan gelombang 1589,51 cm^{-1} sebagai regangan ZnO yang nilainya tidak terlalu jauh dengan hasil serbuk ZnO pada Kumar & Rani (2013).

Tabel IV.3 Hasil FTIR Film PLA murni, Serbuk ZnO dan PLA/ZnO 2%, PLA/ZnO 4% dan PLA/ZnO 6%.

Jenis ikatan PLA	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
	Film PLA murni	Film PLA/ZnO 2%	Film PLA/ZnO 4%	Film PLA/ZnO 6%
-C-H- <i>stretch</i>	2989,28	2994,95	2992,4	2995,9
-C=O <i>stretch</i>	1748,61	1749,38	1749,1	1749,86
-CH ₃ <i>deformation</i>	1451,65	1452,9	1451,11	1452,98
	1361,66	1358,7	1363,37	1359,89
C-O-C <i>stretch</i>	1271,78	1267,71	1270,59	1267,27
	1181,53	1181,8	1181,35	1181,85
	1084,26	1082,1	1082,1	1082,42
-CH ₃ <i>rocking mode</i>	1126,67	1128,82	1127,8	1129,81
-C-CH ₃ <i>stretch</i>	1047,04	1043,45	1047,17	1043,79
-C-C- <i>stretch</i>	952,83	952,91	942,13	961,07
-C-COO <i>stretch</i>	869,83	870,84	870,36	870,37
Jenis ikatan ZnO	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
	Serbuk ZnO	Film PLA/ZnO 2%	Film PLA/ZnO 4%	Film PLA/ZnO 6%
-OH <i>stretch</i>	3448,27	Tidak terlihat	Tidak terlihat	Tidak terlihat
-OH <i>bend</i>	1034,24	Tidak terlihat	Tidak terlihat	Tidak terlihat
Zn-O <i>stretch</i>	1621,54	1589,51	1620,85	1646,24
Zn-O <i>deformation</i>	Tidak Terlihat	Tidak Terlihat	Tidak Terlihat	Tidak Terlihat

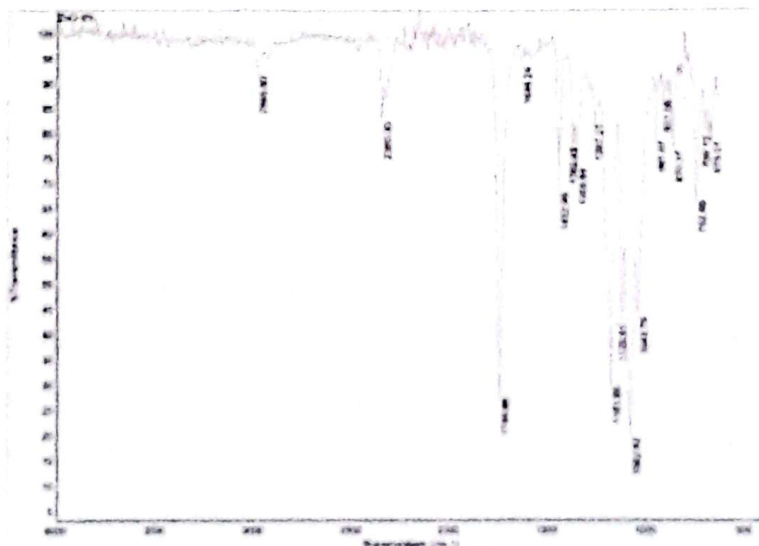
Dari uji FTIR film PLA/ZnO 4% didapatkan spektra transmittan inframerah yang tampak pada gambar IV.4. Hasil dari spektra transmittan inframerah PLA/ZnO 4% sudah dirangkum dalam tabel IV.3. Berdasarkan hasil pengujian FTIR yang dilakukan didapatkan gugus fungsi dan bilangan gelombang yang

tampak tidak jauh berbeda dengan hasil FTIR film PLA murni, dan didapatkan bilangan gelombang $1620,85 \text{ cm}^{-1}$ sebagai regangan ZnO yang nilainya hampir sama dengan hasil serbuk ZnO pada Kumar dan Rani (2013). Gambar IV.4 menunjukkan hasil FTIR PLA/ZnO 4%.



Gambar IV.4 Spektra Transmitan Inframerah PLA/ZnO 4%

Dari uji FTIR film PLA/ZnO 6% didapatkan spektra transmitan inframerah yang tampak pada gambar IV.5.



Gambar IV.5 Spektra Transmitan Inframerah PLA/ZnO 6%

Hasil dari spektra transmitan inframerah PLA/ZnO 6% sudah dirangkum dalam tabel IV.3. Berdasarkan hasil pengujian FTIR yang dilakukan didapatkan gugus fungsi dan bilangan gelombang yang tampak tidak jauh berbeda dengan hasil FTIR film PLA murni, dan didapatkan bilangan gelombang $1646,24 \text{ cm}^{-1}$ sebagai regangan ZnO yang mirip dengan hasil serbuk ZnO pada Kumar dan Rani (2013). Bilangan gelombang untuk regangan ZnO pada PLA/ZnO 6% mengalami peningkatan dari PLA/ZnO 2% dan 4%. Gambar IV.5 menunjukkan hasil FTIR PLA/ZnO 6%.

Dari hasil FTIR PLA murni dan PLA yang sudah ditambahkan *filler* ZnO sebanyak 2%, 4% dan 6%, terdapat peningkatan bilangan gelombang pada regangan ZnO, namun tidak mempengaruhi gugus-gugus fungsi yang terdapat pada PLA.

4.2 Hasil Pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

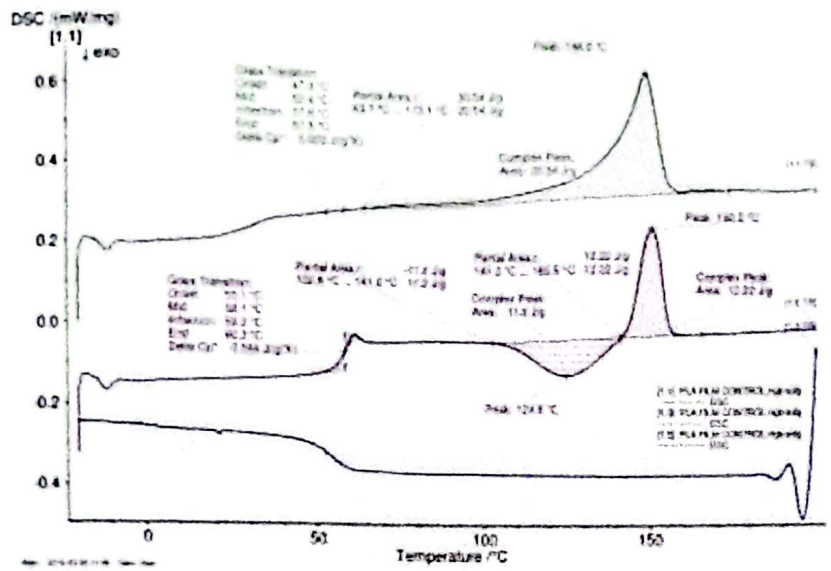
Pengujian termal untuk sampel PLA dan PLA/ZnO dengan variasi 2%, 4%, dan 6% ZnO menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) yang menghasilkan grafik dengan proses endoterm dan eksoterm. Proses endoterm ditandai dengan adanya puncak yang menunjukkan nilai Tg dan Tm, sedangkan proses eksoterm ditandai dengan adanya lembah yang menunjukkan nilai Tcc. Nilai entalpi leleh (ΔH_m) dan nilai entalpi *cold crystallization* (ΔH_{cc}) dapat dilihat di luas area dari masing-masing puncak ataupun lembah pada grafik DSC.

Hasil grafik DSC sampel film PLA murni dan film PLA/ZnO untuk masing-masing variasi dapat dilihat pada gambar IV.6 sampai gambar IV.11. Untuk hasil pengujian DSC sampel film PLA murni dan film PLA/ZnO dirangkum pada tabel IV.4.

4.2.1 Hasil pengujian DSC film PLA murni

Berdasarkan gambar IV.6, hasil pengujian DSC film PLA murni didapat puncak endotermik pada *first heating* dan *second heating* yang menunjukkan temperatur transisi kaca (Tg) masing-masing pada suhu $52,4 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $58,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pada *second heating* didapat satu lembah eksotermik yang menunjukkan temperatur *cold crystallization* (T_{cc}) pada suhu 124,8 °C dan terdapat ΔH_{cc} sebesar 11,2 J/g pada *second heating*.



Gambar IV.6 Hasil DSC Film PLA Murni

Dapat dilihat pada gambar IV.6, temperatur leleh (T_m) dapat dilihat pada puncak endotermik di *first heating* dan *second heating*. T_m yang diperoleh saat *first heating* yaitu pada suhu 148,0 °C sedangkan untuk T_m di *second heating* pada suhu 150,2 °C. Nilai ΔH_m pada *first heating* sebesar 30,54 J/g sedangkan pada *second heating* sebesar 12,22 J/g.

Berdasarkan tabel IV.4, derajat kristalinitas (X_c) pada *first heating* dapat dihitung dengan ΔH_m pada *first heating*. Tujuannya untuk mengetahui total kristalinitas yang dapat dicapai oleh material hasil dari proses pelarutan dan penguapan yang membutuhkan waktu 3-4 hari untuk menjadi film (Nonato dkk., 2019). Perhitungan X_c pada *first heating* film PLA murni adalah sebagai berikut:

$$X_c (\%) = \frac{\Delta H_m}{\Delta H^{\circ}m} \times \frac{100\%}{w}$$

$$X_c (\%) = \frac{30,54 \text{ J/g}}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100\%}{1,00}$$

$$X_c (\%) = 32,84 \%$$

Untuk derajat kristalinitas (X_c) dapat dihitung dari pengurangan ΔH_m dan ΔH_{cc} pada *second heating*. Tujuannya untuk mengetahui total kristalinitas yang dapat dicapai pada kondisi DSC. Perhitungan X_c pada *second heating* film PLA murni adalah sebagai berikut:

$$X_c (\%) = \frac{\Delta H_m - \Delta H_c}{\Delta H^{\circ}_m} \times \frac{100\%}{w}$$

$$X_c (\%) = \frac{(12,22 - 11,2) \text{ J/g}}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100\%}{1,00}$$

$$X_c (\%) = 1,10 \%$$

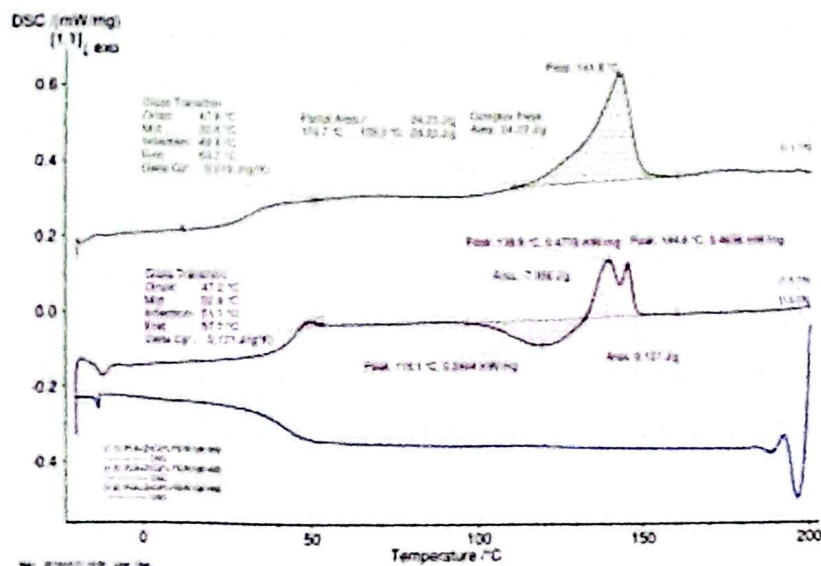
Tabel IV.4 Hasil Pengujian DSC PLA murni dan variasi PLA/ZnO

Material	First heating					Fraksi massa PLA	
	T _g (°C)	T _m (°C)		ΔH _m (J/g)	X _c (%)		
		Peak 1	Peak 2				
PLA murni	52,4	148		30,54	32,84	1,00	
PLA/ZnO 2%	50,8	141,8		24,23	26,57	0,98	
PLA/ZnO 4%	57,7	140,7		22,56	25,23	0,96	
PLA/ZnO 6%	51,6	140,6		23,77	27,09	0,94	
Material	Second heating						
	T _g (°C)	T _{cc} (°C)	ΔH _{cc} (J/g)	T _m (°C)		ΔH _m (J/g)	X _c (%)
				Peak 1	Peak 2		
PLA murni	58,1	124,8	11,2	150,2		12,22	1,10
PLA/ZnO 2%	52,4	119,1	7,98	138,8	144,6	9,13	1,26
PLA/ZnO 4%	36	108	2,52	126,7	132,6	2,25	0,30
PLA/ZnO 6%	29,9	-	-	-	-	-	-

Derajat kristalinitas (X_c) pada film PLA murni setelah pendinginan yaitu 1,10%. Perhitungan X_c pada *first heating* dan *second heating* untuk sampel PLA/ZnO 2%, 4% dan 6% dicantumkan di lampiran E.

4.2.2 Hasil pengujian DSC film PLA/ZnO 2%

Dapat dilihat dari tabel IV.4, penambahan ZnO dapat menurunkan nilai T_g . Semakin meningkat jumlah ZnO yang ditambahkan ke dalam biofilm PLA maka akan mempengaruhi nilai T_g menjadi semakin rendah (Ghozali dkk, 2018). Dari hasil pengujian, penambahan ZnO sebanyak 2% akan menurunkan T_g di *first heating* yaitu dari 52,4 °C menjadi 50,8 °C sedangkan pada *second heating* yaitu dari 58,1 °C menjadi 52,4 °C.



Gambar IV.7 Hasil DSC film PLA/ZnO 2%

Penambahan ZnO pada biofilm PLA dapat mengganggu kristalisasi dari PLA. Dengan bertambahnya jumlah ZnO, maka temperatur *cold crystallization* (T_{cc}) akan menurun (Ghozali dkk, 2018). T_{cc} yang didapat pada *second heating* mengalami penurunan dari 124,8 °C menjadi 119,1 °C. Nilai ΔH_{cc} pada *second heating* juga menurun dari 11,2 J/g menjadi 7,98 J/g.

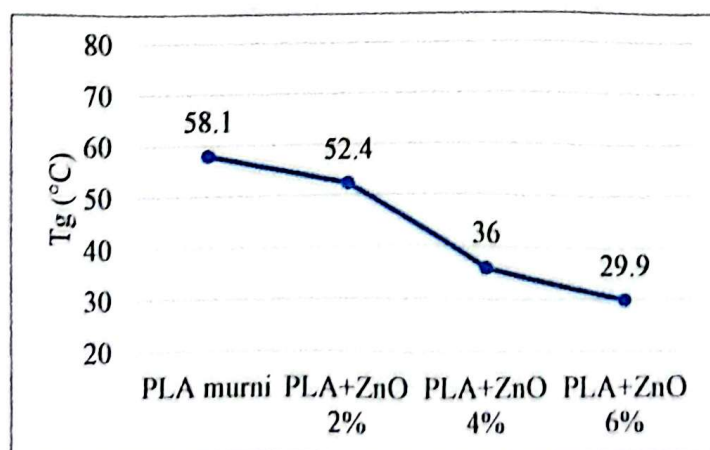
Nilai T_m pada *first heating* yang didapatkan setelah ditambahkan ZnO sebanyak 2% ke dalam biofilm PLA mengalami penurunan dari 148,0 °C ke 141,8 °C. Sedangkan pada *second heating* didapatkan dua puncak dari 150,2 °C menjadi

138,8 °C dan 144,6 °C. Munculnya dua puncak T_m di *second heating* dikarenakan: (a) pembentukkan fase alfa yang tidak teratur; (b) keberadaan lebih dari satu struktur kristal; (c) morfologi yang berbeda yang terbentuk diproses pemanasan dan pendinginan (Nonato dkk, 2019). Dua puncak T_m menunjukkan adanya dua populasi kristal dalam satu dimensi dan konsentrasi yang cacat akibat dari fenomena pelelehan-pengkristalan kembali-pelelehan (Anžlovar dkk, 2017). Nilai ΔH_m pada *first heating* yaitu dari 30,54 J/g menjadi 24,23 J/g sedangkan pada *second heating* menurun dari 12,22 J/g menjadi 9,127 J/g. Gambar IV.7 menunjukkan hasil pengujian DSC film PLA dengan penambahan ZnO sebanyak 2%.

Untuk nilai derajat kristalinitas (X_c) PLA/ZnO 2% pada *first heating* yang dihitung dari nilai ΔH_m mengalami penurunan dari 32,84% menjadi 26,57%, sedangkan derajat kristalinitas (X_c) pada *second heating* yang dihitung dari nilai ΔH_m dan ΔH_{cc} , mengalami peningkatan dari sampel PLA yaitu dari 1,10% menjadi 1,26%.

4.2.3 Hasil pengujian DSC film PLA/ZnO 4%

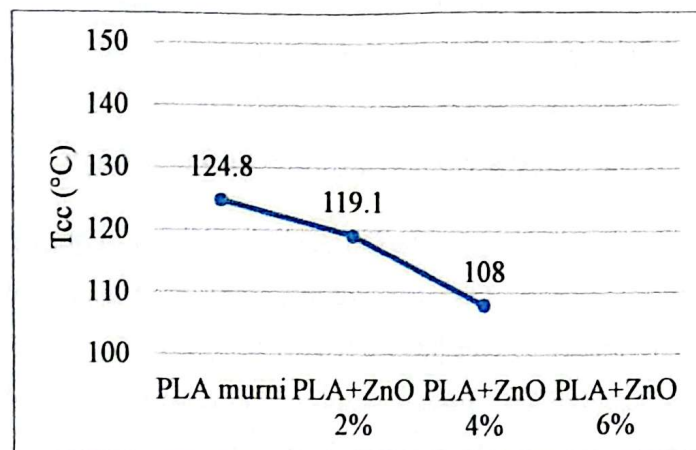
Berdasarkan tabel IV.4, nilai T_g yang didapat pada *first heating* mengalami kenaikan dari 50,8 °C menjadi 57,7 °C, sedangkan nilai T_g pada *second heating* mengalami penurunan dari 52,4 °C menjadi 36 °C. Penurunan T_g pada *second heating* dapat terlihat pada gambar IV.8.



Gambar IV.8 Penurunan T_g pada *Second Heating*

Penambahan ZnO sebanyak 4% ke dalam biofilm PLA membuat T_g menurun cukup signifikan dari PLA murni dan PLA/ZnO 2%. Dapat dijelaskan karena degradasi PLA selama pemrosesan lebur pada *first heating*, lebih tepatnya karena efek plastisasi dari produk degradasi PLA (Anžlovar dkk, 2017).

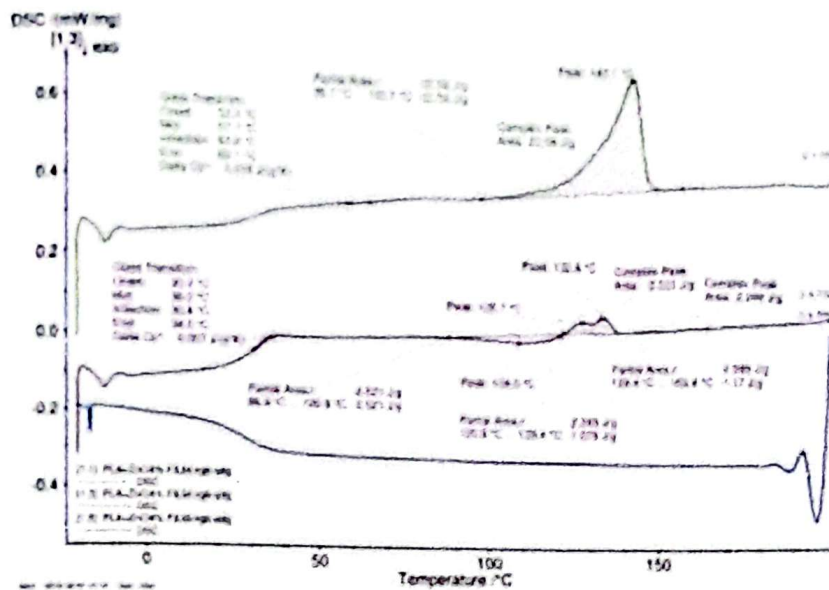
Berdasarkan tabel IV.4, nilai T_{cc} yang didapat pada *second heating* mengalami penurunan dari 119,1 °C menjadi 108,0 °C. ΔH_{cc} pada *second heating* juga mengalami penurunan dari 7,98 J/g menjadi 2,52 J/g. Gambar IV.9 berikut menunjukkan penurunan T_{cc} film PLA murni, PLA/ZnO 2%, PLA/ZnO 4% dan PLA/ZnO 6%.



Gambar IV.9 Penurunan T_{cc} pada *Second Heating*

Nilai T_m pada *first heating* dan *second heating* juga berkurang. T_m pada *first heating* yaitu dari 141,8 °C menjadi 140,7 °C, sedangkan pada *second heating* juga terdapat dua puncak temperatur leleh dan mengalami penurunan yaitu dari 138,8 °C dan 144,6 °C menjadi 126,7 °C dan 132,6 °C. Nilai ΔH_m pada *first heating* yaitu dari 24,23 J/g menjadi 22,56 J/g. Sedangkan pada *second heating* menurun dari 9,123 J/g menjadi 2,249 J/g.

Dilihat dari tabel IV.4, hasil perhitungan nilai derajat kristalisasi (X_c) pada *first heating* yaitu mengalami penurunan dari 26,57% menjadi 25,23%, sedangkan X_c pada *second heating* mengalami penurunan dari 1,26% menjadi 0,30%. Gambar IV.10 menunjukkan hasil pengujian DSC film PLA dengan penambahan ZnO sebanyak 4%.



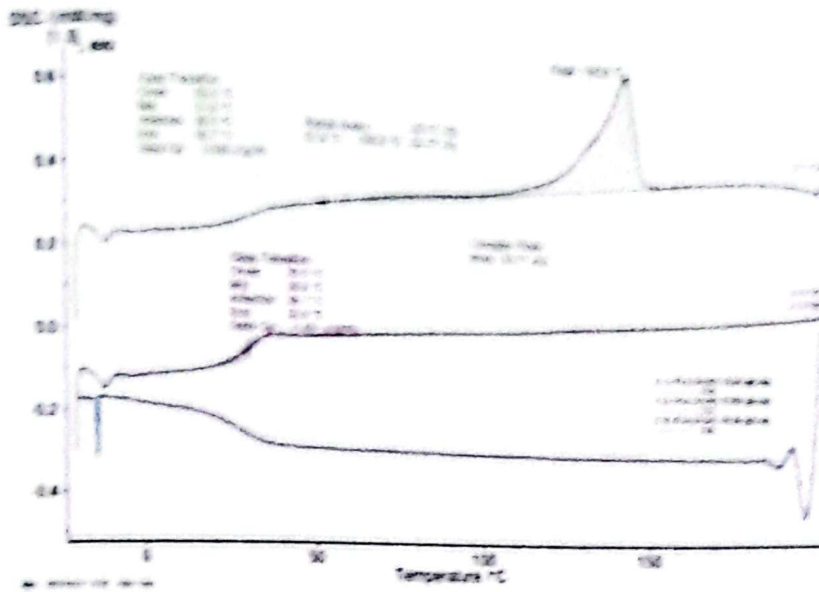
Gambar IV.10 Hasil DSC Film PLA/ZnO 4%

4.2.4 Hasil Pengujian DSC Film PLA/ZnO 6%

Dapat dilihat pada tabel IV.4, penambahan ZnO sebanyak 6% ke dalam biofilm PLA membuat T_g pada *first heating* mengalami penurunan yaitu dari 57,7 °C menjadi 51,6 °C, sedangkan T_g pada *second heating* juga mengalami penurunan dari PLA/ZnO 4% yaitu 36 °C menjadi 29,9 °C. Penurunan T_g pada *second heating* dapat dilihat pada gambar IV.8.

Nilai T_m pada *first heating* mengalami penurunan yang tidak signifikan yaitu dari 140,7 °C menjadi 140,6 °C. Pada PLA/ZnO 6% tidak terdapat T_{cc} pada *second heating*. Dapat dilihat dengan penambahan jumlah ZnO yang semakin banyak akan mengganggu struktur pada PLA sehingga PLA tidak dapat membentuk kristal dan pelelehan pada *second heating*. Dari hasil penelitian ini, dapat dikatakan bahwa penambahan jumlah ZnO mulai dari 6% (dari basis berat PLA yang digunakan) bisa mengganggu kristalisasi dari PLA.

Nilai X_c yang dapat dihitung hanya pada *first heating* dan mengalami kenaikan dari 25,23% menjadi 27,09%. Gambar IV.11 menunjukkan hasil DSC PLA/ZnO 6%.



Gambar IV.11 Hasil DSC film PLA/ZnO 6%

BAB V

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian dan pengujian yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan *filler* ZnO sebanyak 2%, 4% dan 6% ke dalam biofilm PLA tidak mempengaruhi karakteristik kimia dari PLA.
2. Pengaruh penambahan *filler* ZnO terhadap sifat termal dari biofilm PLA yaitu:
 - a. Temperatur transisi kaca (T_g) pada *first heating* mengalami naik dan turun namun tidak signifikan, sedangkan T_g pada *second heating* relatif menurun dengan penambahan jumlah ZnO yang semakin banyak.
 - b. Temperatur *cold crystallization* (T_{cc}) pada *second heating* relatif mengalami penurunan dan mulai dari penambahan ZnO sebanyak 6% dari banyak PLA dapat mengganggu kristalisasi PLA.
 - c. Entalpi *cold crystallization* (ΔH_{cc}) mengalami penurunan karena T_{cc} menurun.
 - d. Temperatur leleh (T_m) pada *first heating* mengalami penurunan namun tidak signifikan, sedangkan T_m pada *second heating* mengalami penurunan yang cukup signifikan.
 - e. Entalpi leleh (ΔH_m) pada *first heating* mengalami naik dan turun tapi tidak signifikan, sedangkan ΔH_m pada *second heating* mengalami penurunan yang signifikan.

6.2 Saran

1. Perlu dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) agar terlihat distribusi penyebaran *filler* ZnO dan ukuran dari ZnO.
2. Perlu dilakukan uji antimikrobal pada biofilm PLA/ZnO.
3. Perlu dilakukan pengujian *Universal Testing Machine* (UTM) untuk melihat tegangan tarik dari biofilm PLA dan biofilm PLA/ZnO.

DAFTAR PUSTAKA

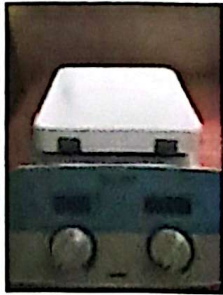
- Anžlovar, A., Kržan, A., & Žagar, E., "Degradation of PLA/ZnO and PHBV/ZnO Composites Prepared by Melt Processing", *Arabian Journal of Chemistry*, p. 343–352, 2018.
- Chariyachotilert, C., "Assessment of The Properties of Poly (Lactic Acid) Sheets with Different Amounts of Post-Consumer Recycled Poly (Lactic Acid)", Michigan State University, 2011.
- Firdaus, F., Mulyaningsih, S., & Anshory, H., "Sintesis Film Kemasan Ramah Lingkungan dari Komposit Pati, Khitosan dan Asam Polilaktat dengan Pemplastik Gliserol: Studi Morfologi dan Studi Mekanik", *Jurnal Logika*, 2008.
- Garlotta, D., "A Literature Review of Poly(Lactic Acid)", *Journal of Polymers and the Environment*, Vol. 9, No. 2, 2002.
- Ghozali, M., Triwulandari, E., Meliana, Y., Fahmiati, S., Fatriasari, W., Laksana, P. R., Masruchin, N., & Suryanegara, L., "Thermal Properties of Polylactic Acid/Zinc Oxide Biocomposite Films", *Proceedings of the 4th International Symposium on Applied Chemistry 2018*, 2018.
- Khalistyawati, S., "Optimasi Bioplastik Kelobot Jagung (*Zea mays* L.) Ditinjau dari Nisbah Biokomposit, Penambahan ZnO dan Plasticizer Gliserol", Universitas Kristen Satya Wacana, 2016.
- Kumar, H., & Rani, R., "Structural and Optical Characterization of ZnO Nanoparticles Synthesized by Microemulsion Route", *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, p. 26-36, 2013.
- Nagar, S., & Chakrabarti, S., "Optimization of ZnO Thin Films", India: Springer, 2017.
- Markoç, H., & Özgür, Ü., "Zinc Oxide Fundamentals, Materials and Device Technology", WILEY-VCH, 2009.
- Marra, A., Silvestre, C., Duraccio, D., & Cimmino, S., "Polylactic Acid/Zinc Oxide Biocomposite Films for Food Packaging Application", *International Journal of Biological Macromolecules*, p. 254-262, 2016.
- Maryanti, E., Pasaribu, C., Adfa, M., Yudha S, S. P., & Fitriani, D., "Pembuatan Bioplastik Berbahan Pati Ubi Jalar (*Ipomoea batatas* L.), Gliserin dan Penambahan Nanopartikel ZnO dengan Menggunakan Metode Melt-Intercalation", *Jurnal Gradien*, Vol. 12 No. 2, p. 1175-1180, 2016.
- Murariu, M., Paint, Y., Murariu, O., Raquez, J. M., Bonnaud, L., & Dubois, P., "Current Progress in The Production of PLA-ZnO Nanocomposites: Beneficial Effects of Chain Extender Addition on Key Properties", 2015.

- Nonato, R., Mei, L., Bonse, B., Chinaglia, E., & Morales, A., "Nanocomposites of PLA Containing ZnO Nanofibers Made by Solvent Cast 3D Printing: Production and Characterization", *European Polymer Journal*, 2019.
- Pamela, V. Y., Syarief, R., Iriani, E. S., & Suyatma, N. E., "Karakteristik Mekanik, Termal dan Morfologi Film Polivinil Alkohol dengan Penambahan Nanopartikel ZnO dan Asam Stearat untuk Kemasan Multilayer", *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, Volume 13 No.2, p. 63-73, 2016.
- Pantani, R., Gorrasi, G., Vigliotta, G., Murariu, M., & Dubois, P., "PLA-ZnO Nanocomposite Films: Water Vapor Barrier Properties and Specific Enduse Characteristics", *European Polymer Journal*, 2013.
- Rahman, M. M., Islam, S. M., & Li, S. G. "Development of PLA/CS/ZnO Nanocomposites and Optimization its Mechanical, Thermal and Water Absorption Properties", *Polymer Testing*, p. 302-308, 2018.
- Sandika, S. & Firdaus, R., "Sifat Termal dan Karakteristik Kimia Film PLA Murni dan Film PLA dengan Penambahan *Filler* ZnO dan Kitosan", Politeknik STMI Jakarta, 2018.
- Sin, L. T., Rahmat, A. R., & Rahman, W., "Polylactic Acid (PLA) Biopolymer Technology and Application", USA: Matthew Deans, Senior Publisher, 2012.
- Sinaga. P., "Pengaruh Temperatur Annealing Terhadap Struktur Mikro, Sifat Listrik dan Sifat Optik dari Film Tipis Oksida Konduktif Transparan ZnO:Al yang Dibuat dengan Teknik Screen Printing", *Jurnal Pengajaran MIPA*, Vol. 14 No. 2, 2009.
- Stuart, B., "Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications", Wiley, 2004.
- "Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry", ASTM International, United State: Universidad Del Valle pursuant to License Agreement, 2013.
- Syaputra, A. F., Bahruddin, & Irdoni, H., "Pengaruh Kadar *Filler* ZnO, Plasticizer Gliserol dan Nisbah Air terhadap Sifat dan Morfologi Bioplastik Berbasis Pati Sagu", *Jom Fteknik*, 2017.
- Vasile, C., Răpă, M., Ștefan, M., Stan, M., Macavei, S., Darie-Niță, R. N., Barbu-Tudoran, L., Vodnar, D.C., Popa, E. E., Ștefan, R., Borodi, G., Brebu, M., "New PLA/ZnO:Cu/Ag Bionanocomposites for Food Packaging", *eXPRESS Polymer Letters* Vol.11, 531-544, 2017.

Wijayanti, K. P., Dermawan, N., Faisah, S. N., Prayogi, V., Judiawan, W., Nugraha, T., Listyorini, N. T., "Bio-Degradable Bioplastics Sebagai Plastik Ramah Lingkungan", *Surya Octagon Interdisciplinary Journal of Technology*, p. 131-153, 2016.

Wypych, G., "Handbook of *Fillers*", New York: ChemTec Publishing, 2000.

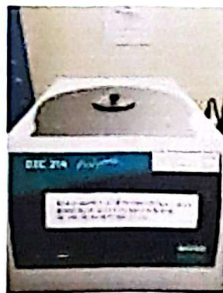
LAMPIRAN A
GAMBAR ALAT



Hot Plate



FTIR



DSC



Neraca Digital

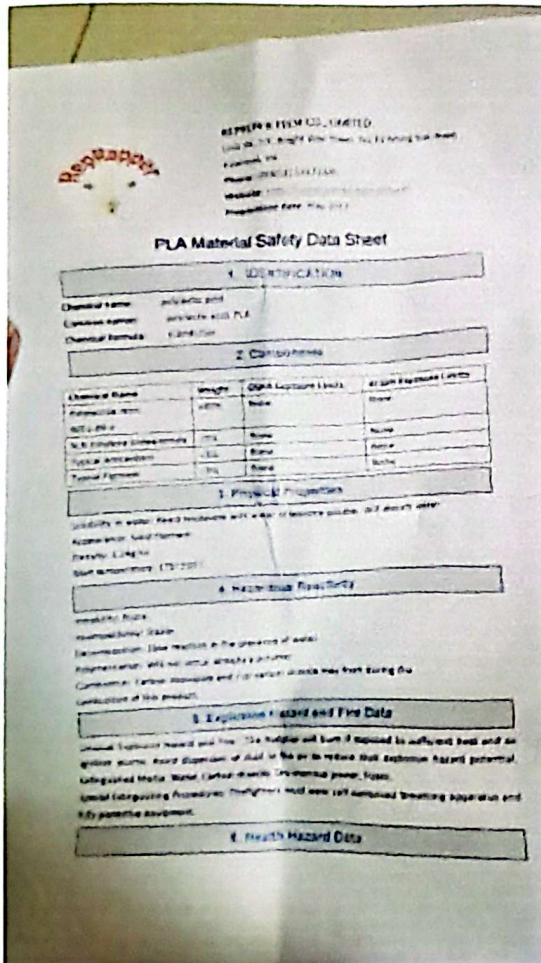
LAMPIRAN B GAMBAR BAHAN



Pellet PLA



Serbuk ZnO



Kloroform

Spesifikasi *pellet* PLA yang digunakan

LAMPIRAN
GAMBAR PROSES



Pelarutan dan Pendispersian Bahan



Pencampuran



Casting dalam Cawan Petri



Penguapan dalam Lemari Asam

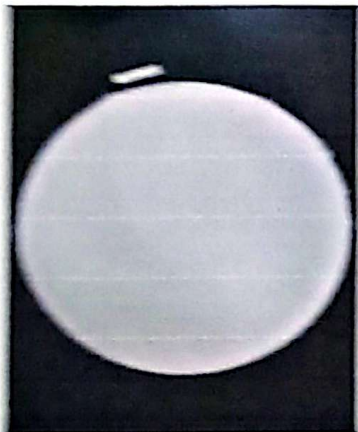
LAMPIRAN D
GAMBAR PRODUK



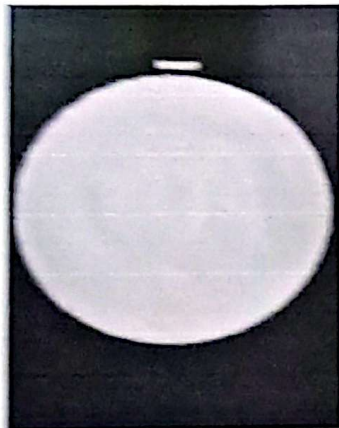
Film PLA murni



Film PLA ZnO 2%



Film PLA ZnO 4%



Film PLA ZnO 6%

LAMPIRAN E PERHITUNGAN

1. Konversi persentase ZnO ke dalam massa dengan basis 3 gram PLA

a. $\text{ZnO } 2\% = \frac{2}{100} \times 3 \text{ gram} = 0,06 \text{ gram}$

b. $\text{ZnO } 4\% = \frac{4}{100} \times 3 \text{ gram} = 0,12 \text{ gram}$

c. $\text{ZnO } 6\% = \frac{6}{100} \times 3 \text{ gram} = 0,18 \text{ gram}$

2. Fraksi massa PLA

a. Fraksi massa PLA murni $= \frac{\text{massa PLA}}{\text{massa PLA}}$
 $= \frac{3 \text{ gram}}{3 \text{ gram}}$
 $= 1$

b. Fraksi massa PLA/ZnO 2% $= \frac{\text{massa PLA}}{\text{massa PLA} + \text{massa ZnO } 2\%}$
 $= \frac{3 \text{ gram}}{3 \text{ gram} + 0,06 \text{ gram}}$
 $= 0,98$

c. Fraksi massa PLA/ZnO 4% $= \frac{\text{massa PLA}}{\text{massa PLA} + \text{massa ZnO } 4\%}$
 $= \frac{3 \text{ gram}}{3 \text{ gram} + 0,12 \text{ gram}}$
 $= 0,96$

d. Fraksi massa PLA/ZnO 6% $= \frac{\text{massa PLA}}{\text{massa PLA} + \text{massa ZnO } 6\%}$
 $= \frac{3 \text{ gram}}{3 \text{ gram} + 0,18 \text{ gram}}$
 $= 0,94$

3. Perhitungan derajat kristalinitas (X_c)

a. X_c PLA/ZnO 2% pada *first heating* $= \frac{\Delta H_m}{\Delta H^{\circ m}} \times \frac{100\%}{w}$
 $= \frac{24,23 \text{ J/g}}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100\%}{0,98}$
 $= 26,57\%$

b. X_c PLA/ZnO 2% pada *second heating* $= \frac{\Delta H_m - \Delta H_{cc}}{\Delta H^{\circ m}} \times \frac{100\%}{w}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(12,17 - 11,2) \text{ l/g}}{93 \text{ l/g}} \times \frac{100\%}{0,98} \\
 &= 1,26 \%
 \end{aligned}$$

c. X_c PLA/ZnO 4% pada *first heating*

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times \frac{100\%}{w} \\
 &= \frac{22,56 \text{ l/g}}{93 \text{ l/g}} \times \frac{100\%}{0,96} \\
 &= 25,23 \%
 \end{aligned}$$

d. X_c PLA/ZnO 4% pada *second heating*

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\Delta H_m - \Delta H_{cr}}{\Delta H_m^0} \times \frac{100\%}{w} \\
 &= \frac{(2,25 - 2,52) \text{ l/g}}{93 \text{ l/g}} \times \frac{100\%}{0,96} \\
 &= 0,30 \%
 \end{aligned}$$

e. X_c PLA/ZnO 6% pada *first heating*

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times \frac{100\%}{w} \\
 &= \frac{23,77 \text{ l/g}}{93 \text{ l/g}} \times \frac{100\%}{0,94} \\
 &= 27,09 \%
 \end{aligned}$$