

LAPORAN TUGAS AKHIR
PENGARUH PENAMBAHAN *POLYVINYL ALCOHOL* (PVOH)
TERHADAP GUGUS FUNGSI DAN SIFAT TERMAL
BIOFILM *POLYLACTIC ACID* (PLA)
DI POLITEKNIK STMI JAKARTA
(Agustus 2018 – Juni 2019)



OLEH:

SHALIHAH AMIRAH

1515034

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

POLITEKNIK STMI JAKARTA

KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS
AKHIR**

JUDUL TUGAS AKHIR:

Pengaruh Penambahan *Polyvinyl Alcohol* (PVOH) terhadap Gugus Fungsi dan Sifat Termal Biofilm *Polylactic Acid* (PLA)

DISUSUN OLEH:

NAMA : Shalihah Amirah
NIM : 1515034
PROGRAM STUDI : Teknik Kimia Polimer

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

Jakarta, ..21 Juni.. 2019

Menyetujui,
Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

Dosen Pembimbing



Syaiful Ansan, 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 *POLYVINYL ALCOHOL* (PVOH)
TERHADAP GUGUS FUNGSI DAN SIFAT TERMAL BIOFILM
POLYLACTIC ACID (PLA)

DISUSUN OLEH:

NAMA : SHALIHAH AMIRAH

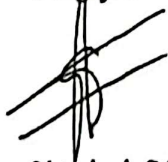
NIM : 1515034

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta pada hari Senin, 15 Juli 2019.

Jakarta, 29 Juli 2019

Penguji 1



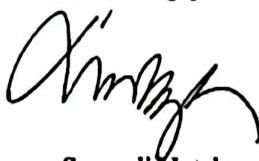
Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T.
NIP. 198210012014022001

Penguji 2



Ir. Rochmi Widjayanti, M. Eng
NIP. 195702141985031002

Dosen Penguji 3



Dr. Ir. Lintong Sopandi Hutahaean, M. Che
NIP. 195803221986031002








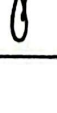

Dosen Pembimbing




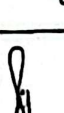
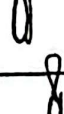












Syaiful Ahsani, S.T., M.T.
NIP. 198407162014021001

LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : Shalihah Amirah
 NIM : 1515034
 Judul TA : Pengaruh Penambahan *Poliviny Alcohol (PVOH)* terhadap Gugus Fungsi dan Sifat Termal Biofilm *Polylactic Acid (PLA)*
 Pembimbing : Syaiful Ahsan, S.T., M.T.

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
14/08/18		Pembuatan konsep awal dan perencanaan penelitian	
26/09/18	I	Diskusi Bab I Proposal Penelitian (latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian)	
16/11/18		Diskusi grafik DSC film PLA	
11/12/18		Diskusi ASTM D882-02	
12/12/18		Diskusi ASTM D882-02 dan tabel perancangan	
16/01/19		Diskusi jurnal utama pembuatan film PLA/PVOH	
18/01/19	II dan III	Diskusi Bab II proposal penelitian dan jurnal pembuatan film PLA/PVOH	
21/01/19	III	Diskusi hasil uji pendahuluan film PLA/PVOH dengan melarutkan PVOH-Akuades terlebih dahulu sebelum dicampurkan dalam larutan PLA-kloroform pada suhu kamar	
28/01/19	III	Diskusi laporan Bab III (prosedur pembuatan film) dan diskusi hasil uji pendahuluan film	

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
		PLA/PVOH dengan pendispersian PVOH ke dalam kloroform pada suhu kamar	
31/01/19	III	Diskusi laporan Bab III (pembuatan tabel dan diagram)	
04/02/19	III	Diskusi hasil uji pendahuluan film PLA kontrol dan PLA/PVOH dengan suhu pencampuran 60°C	
08/02/19	III	Diskusi hasil uji pendahuluan film PLA/PVOH dengan suhu pencampuran 90°C dan penulisan lembar bimbingan	
22/02/19	IV	Diskusi hasil pengujian FTIR PLA 100%, PLA/PVOH 15%, PLA/PVOH 25% dan PVOH 100%	
28/02/19	IV	Diskusi hasil DSC film PLA 100% pertama	
05/03/19	IV	Diskusi hasil DSC film PLA 100% kedua dan film PVOH 100%	
11/03/19	IV	Diskusi hasil DSC film PLA 100% ketiga	
18/03/19	IV	Diskusi hasil DSC film PLA/PVOH 25%	
25/03/19	IV	Diskusi mengenai hasil DSC film PLA, film PLA/PVOH 15%, film PLA/PVOH 25% dan film PVOH	
01/04/19	IV	Diskusi mengenai hasil DSC film PLA, film PLA/PVOH 15%, film PLA/PVOH 25% dan film PVOH menggunakan tabel dan grafik excel	
29/04/19	IV	Diskusi dengan laporan Bab IV (penggunaan kalimat pada pembahasan tentang FTIR dan DSC)	
06/05/19	V	Diskusi laporan Bab V (kesimpulan dan saran), penggantian judul tugas akhir, abstrak, dan lampiran	

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
17/05/19		Bimbingan presentasi	
20/05/19	I dan IV	Diskusi Bab I (batasan masalah) dan Bab IV (pembahasan tentang DSC)	
18/06/19		Bimbingan laporan tugas akhir 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 TUGAS AKHIR

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

Nama : Shalihah Amirah

NIM : 1515034

Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir yang saya buat dengan judul: Pengaruh Penambahan *Polyvinyl Alcohol* (PVOH) terhadap gugus fungsi dan Sifat Termal Biofilm *Polylactic Acid* (PLA)

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing Tugas Akhir, 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 saya.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti apa yang diatas, maka karya Tugas Akhir saya ini dibatalkan.

Jakarta, 21 Juni 2019

Yang membuat pernyataan



Shalihah Amirah

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penyusun panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas segala rahmat dan karunia-Nya, penyusun dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir di Politeknik STMI Jakarta. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa jurusan Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta untuk menyelesaikan jenjang studi Diploma-4 (D4).

Pada kesempatan bahagia ini, penyusun mengucapkan banyak terima kasih atas dukungan, doa, bimbingan, serta bantuan yang diberikan kepada penyusun selama menjalani Tugas Akhir dan penyusunan Laporan ini kepada:

1. Dr. Mustofa, S.T., M.T., selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta,
2. Bapak Ir. Roosmariharso, MBA, selaku Ketua Program Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta,
3. Ibu Fitria Ika Aryanti, S.T., M. Eng, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta,
4. Bapak Syaiful Ahsan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran yang diberikan kepada penyusun selama pengerjaan laporan ini,
5. 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,
6. Abi, Ummi, serta keluarga besar yang selalu mendoakan dan memberi dukungan tiada henti kepada penyusun untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini,
7. Naurah Hanun Salsabila, Rizka Amalia, dan Yemima Putri Herlina selaku sahabat serta rekan dalam Tugas Akhir ini,
8. Teman-teman TKP angkatan 2015 yang telah memberi dukungan serta bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir,
9. Semua pihak yang telah membantu selama pelaksanaan Tugas Akhir dan yang telah memberikan perhatian yang tidak dapat penyusun sebutkan satu per satu.

Semoga semua bantuan yang telah diberikan kepada penyusun, mendapatkan imbalan yang setimpal dari Allah SWT. Penyusun menyadari banyak kesalahan dan kekurangan penyusun dalam laporan Tugas Akhir ini, oleh karena itu penyusun

mengharapkan kritik dan saran yang membangun, sehingga penyusun dapat memperbaiki dan menyempurnakan laporan Tugas Akhir ini. Mohon maaf atas segala kesalahan yang penyusun perbuat baik saat pelaksanaan Tugas Akhir maupun saat penulisan laporan Tugas Akhir ini. Akhir kata penyusun berharap laporan Tugas Akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Jakarta, Juni 2019
Hormat saya,

Penyusun

ABSTRAK

Pembuatan biofilm *polymer blend* antara *polylactic acid* (PLA) dengan *polyvinyl alcohol* (PVOH) dilakukan dengan metode *solution casting* bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi dan sifat termal dari biofilm PLA/PVOH dengan rasio 100/0, 87/13, 80/20 dan 0/100. Alat *Fourier Transform Infrared* (FTIR) digunakan untuk mengetahui gugus fungsi pada masing-masing rasio biofilm yang menunjukkan hasil bahwa tidak ada perubahan signifikan yang terjadi setelah penambahan PVOH. Sifat termal biofilm dari masing-masing rasio dapat diketahui dengan pengujian menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) yang akan menghasilkan grafik termogram. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa penambahan PVOH relatif mengalami penurunan pada temperatur transisi kaca, temperatur *cold crystallization*, entalpi *cold crystallization*, temperatur leleh, entalpi leleh dan derajat kristalisasi ini terjadi karena keberadaan PVOH yang mengganggu kristalisasi biofilm PLA.

Kata kunci: Biofilm, *Polymer Blend*, PLA, PVOH, *Solution Casting*.

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER.....	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR.....	iii
LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan 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	
2.1 <i>Polymer</i>	5
2.2 <i>Biodegradable Polymer</i>	9
2.3 <i>Polylactic Acid (PLA)</i>	12
2.4 <i>Polyvinyl Alcohol (PVOH)</i>	14
2.5 <i>Polymer Blend Film</i>	16
2.6 Pengujian Gugus Fungsi.....	17
2.7 Pengujian Sifat Termal.....	20
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.2.1 Alat.....	22

3.2.2	Bahan.....	22
3.3	Variabel Penelitian	22
3.3.1	Variabel Tetap	22
3.3.2	Variabel Bebas	23
3.4	Prosedur Proses Pembuatan Film.....	23
3.5	Karakterisasi Sampel.....	25
3.5.1	Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	25
3.5.2	Pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC)	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	28
4.2	Hasil Pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC).....	30
4.2.1	Temperatur Transisi Kaca (T_g).....	33
4.2.2	Temperatur <i>Cold Crystallization</i> (T_{cc})	34
4.2.3	Temperatur Pelelehan (T_m)	35
4.2.4	Derajat Kristalisasi (X_c).....	36
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	38
5.2	Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA		39
LAMPIRAN A GAMBAR ALAT		
LAMPIRAN B GAMBAR BAHAN		
LAMPIRAN C GAMBAR PROSES DAN HASIL		
LAMPIRAN D GAMBAR PRODUK		
LAMPIRAN E PERHITUNGAN		

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar II. 1 Jenis Struktur Rantai Polimer	6
Gambar II. 2 Susunan Struktur Homopolimer dan Kopolimer	7
Gambar II. 3 Bagan Pengembangan Polimer	11
Gambar II. 4 Reaksi Polimerisasi Kondensasi PLA	12
Gambar II. 5 Struktur <i>Polylactic Acid</i> (PLA)	13
Gambar II. 6 Reaksi Pembentukan <i>Polyvinyl Alcohol</i>	14
Gambar II. 7 Struktur <i>Polyvinyl Alcohol</i> (PVOH)	15
Gambar II. 8 Komponen Dasar Spektrometer FTIR	18
Gambar II. 9 Perbedaan Spektra Transmitan dan Absorban	19
Gambar II. 10 Jenis-Jenis <i>Stretching</i>	19
Gambar III.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Film dan karakterisasi film PLA/PVOH.....	24
Gambar III.2 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	25
Gambar III.3 <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC)	26
Gambar IV.1 Hasil Pengujian FTIR film PLA/PVOH dengan rasio 100/0, 87/13, 80/20 dan 0/100.....	28
Gambar IV. 2 Grafik DSC Film PLA/PVOH dengan Rasio 100/0	31
Gambar IV. 3 Grafik DSC Film PLA/PVOH dengan Rasio 87/13	31
Gambar IV. 4 Grafik DSC Film PLA/PVOH dengan Rasio 80/20	32
Gambar IV. 5 Grafik DSC Film PLA/PVOH dengan Rasio 0/100	32
Gambar IV. 6 Pengaruh Penambahan PVOH terhadap Temperatur Transisi Kaca (T_g).....	33
Gambar IV. 7 Pengaruh Penambahan PVOH terhadap Temperatur <i>Cold</i> <i>Crystallization</i> (T_{cc}) dan <i>Entalpi Cold Crystallization</i> (ΔH_{cc}).....	34
Gambar IV. 8 Pengaruh Penambahan PVOH terhadap Temperatur leleh (T_m) dan Entalpi Pelelehan (ΔH_m)	35
Gambar IV. 9 Pengaruh Penambahan PVOH terhadap Derajat Kristalisasi PLA (X_c).....	36

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel II. 1 Perbedaan Reaksi Polimerisasi Kondensasi dan Adisi.....	8
Tabel II. 2 Sifat Fisik dan Kimia Asam Laktat	13
Tabel II. 3 Sifat Fisik dan Kimia <i>Polylactic Acid</i> (PLA) Ingeo 7001 D.....	13
Tabel II. 4 Sifat Fisik dan Kimia <i>Polyvinyl Alcohol</i> (PVOH).....	15
Tabel III.1 Variasi Rasio Film PLA/PVOH.....	23
Tabel IV.1 Perbandingan Hasil FTIR PLA/PVOH Literatur dan FTIR Film PLA/PVOH yang Dilakukan.....	29
Tabel IV.2 Hasil Pengujian DSC Film PLA, PLA/PVOH dan PVOH	33

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan lingkungan di Indonesia maupun di dunia salah satunya adalah limbah plastik. Karena kebutuhan plastik sebagai kantong plastik kemasan pangan atau barang semakin lama semakin meningkat. Ini disebabkan plastik mempunyai keunggulan dibandingkan dengan media lain seperti logam atau gelas. Saat ini yang masih sering digunakan adalah plastik konvensional yang berasal dari bahan polimer sintetis yang terbuat dari petroleum, atau gas alam yang sulit didaur ulang dan diuraikan oleh pengurai. Ini dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan berupa pencemaran tanah, air, dan udara, serta penumpukan sampah plastik. (Avella dkk, 2009).

Kemajuan teknologi polimer berupa kantong plastik kemasan maupun barang mengarah pada sifat *biodegradable* contohnya biofilm sebagai pengganti plastik konvensional yang sulit untuk terdegradasi, sehingga menyebabkan dampak lingkungan yang serius di Indonesia maupun dunia. Untuk menguranginya dikembangkan biofilm yang disintesis dengan bahan alami yang mana sumber dayanya melimpah di alam, seperti jagung, kentang dan pati aren. Dalam hal ini PLA cocok digunakan untuk memproduksi biofilm karena memiliki sifat *biodegradable* dan bahan baku pembuatannya melimpah di alam (Purnavita dkk, 2014). Selain itu, PLA juga belakangan ini banyak diteliti sebagai bahan baku pembuatan biofilm.

PLA merupakan poliester alifatik termoplastik yang ramah lingkungan karena dapat terdegradasi secara alami dan berasal dari sumber daya terbarukan, sehingga dapat dijadikan alternatif pengganti hidrokarbon seperti polistirena, polietilena atau polietilena tereftalat (Grigale dkk, 2010). Asam laktat dapat diproduksi dengan bahan baku yang mengandung pati atau selulosa yang difermentasi atau dengan sintesis kimia lalu dipolimerisasi dengan metode *ring opening polymerization* (ROP). Di bawah kondisi lingkungan tertentu, PLA murni dapat terdegradasi

menjadi karbon dioksida, air, dan metana selama beberapa bulan hingga dua tahun, suatu keuntungan tersendiri dibandingkan dengan plastik petroleum lainnya yang membutuhkan periode yang lebih lama (Avella dkk, 2009). Namun, menurut Shuai dkk (2000) sifat PLA belum memenuhi sifat yang dibutuhkan untuk aplikasi praktis, karena PLA memiliki sifat rapuh dan tidak fleksibel, terlepas dari struktur kristalin PLA yang tinggi. Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan sifat suatu polimer adalah dengan mencampurnya dengan polimer lain atau *polymer blend*.

Polyvinyl alcohol (PVOH) merupakan polimer semikristalin yang diproduksi dengan hidrolisis polivinil asetat dengan alkohol. PVOH memiliki sifat hidrofilik, *biodegradable*, *biocompatible*, fleksibel, tidak beracun dan memiliki sifat termal yang baik (Lipsa dkk, 2008). Menurut Grande dan Carvalho (2013) PVOH juga dapat menstabilkan emulsi atau biasa disebut sebagai pengemulsi dan manstabilkan emulsi selama pencampuran emulsi. Hal ini menyebabkan PVOH banyak digunakan sebagai bahan kemasan alternatif, sehingga diharapkan campuran PLA/PVOH dapat meningkatkan potensi pembentukan biofilm. Selain itu, menurut Shuai dkk (2001) penambahan PVOH yang bersifat hidrofilik dapat meningkatkan kemampuan degradasi PLA yang diketahui memiliki kemampuan degradasi yang lambat. Menurut Jen-Taut Yeh, dkk (2008) dari rasio PLA/PVOH sebesar 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/50 dengan metode ekstrusi diketahui bahwa PLA dan PVOH dapat bercampur dan menurut Restrepo (2018) campuran film PLA/PVOH dengan rasio 97/3, 90/10, 80/20 dengan metode ekstrusi dapat mempercepat degradasi termal film.

Dengan demikian peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang karakterisasi pencampuran *biodegradable film* PLA/PVOH menggunakan alat FTIR dan DSC.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan diangkat pada penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan PVOH terhadap gugus fungsi film PLA?
2. Bagaimana pengaruh penambahan PVOH terhadap sifat termal film PLA?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan baku berupa PLA, PVOH dan bahan-bahan lain yang digunakan merupakan bahan komersil.
2. Spesifikasi PLA yang digunakan yaitu grade 2002D dari Nature Works, Amerika.
3. PLA yang digunakan sebanyak 3 gram.
4. Rasio massa film PLA/PVOH yang dipakai adalah 100/0, 87/13, 80/20 dan 0/100.
5. Proses produksi menggunakan metode *solution casting*.
6. Karakterisasi gugus fungsi film dilakukan dengan FTIR.
7. Karakterisasi sifat termal film dilakukan dengan DSC.
8. Sifat termal yang diamati yaitu pada pemanasan kedua.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui pengaruh penambahan PVOH terhadap gugus fungsi film PLA.
2. Mengetahui pengaruh penambahan PVOH terhadap sifat termal film PLA.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini memberikan prosedur pembuatan *biodegradable* film dengan metode *solution casting*.
2. Penelitian ini memberikan informasi alternatif bahan kemasan dengan bahan baku yang dapat terus diperbaharui.
3. Penelitian ini memberikan informasi pengaruh penambahan PVOH pada *biodegradable* film berbahan material 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 PLA, PVOH, dan beberapa penelitian yang pernah ada.

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/PVOH dan karakterisasi sampel.

BAB IV: HASIL PENELITIAN 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 *Polymer*

Polimer (*polymer*) berasal dari dua kata, yaitu *poly* (banyak) dan *meros* (bagian-bagian). Polimer merupakan molekul yang besar atau makro molekul terdiri satuan yang berulang-ulang. Polimer ini telah mengambil peran teknologi yang penting. Hal ini disebabkan karena sifat ringan, mudah dibentuk serta memiliki sifat-sifat yang diinginkan dengan energi dan kerja minimum (Mundiyono, 2016).

Untuk memudahkan pemahaman, penggolongan produk polimer dapat dibagi menjadi:

1. Polimer termoplastik

Polimer termoplastik adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika polimer jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan didinginkan akan mengeras. Proses tersebut dapat terjadi berulang kali, sehingga dapat dibentuk ulang dalam berbagai bentuk melalui cetakan yang berbeda untuk mendapatkan produk polimer yang baru. Karena polimer jenis ini memiliki struktur molekul linear atau bercabang. Contohnya adalah polietilena, polivinil alkohol, poliasam laktat dan lain sebagainya.

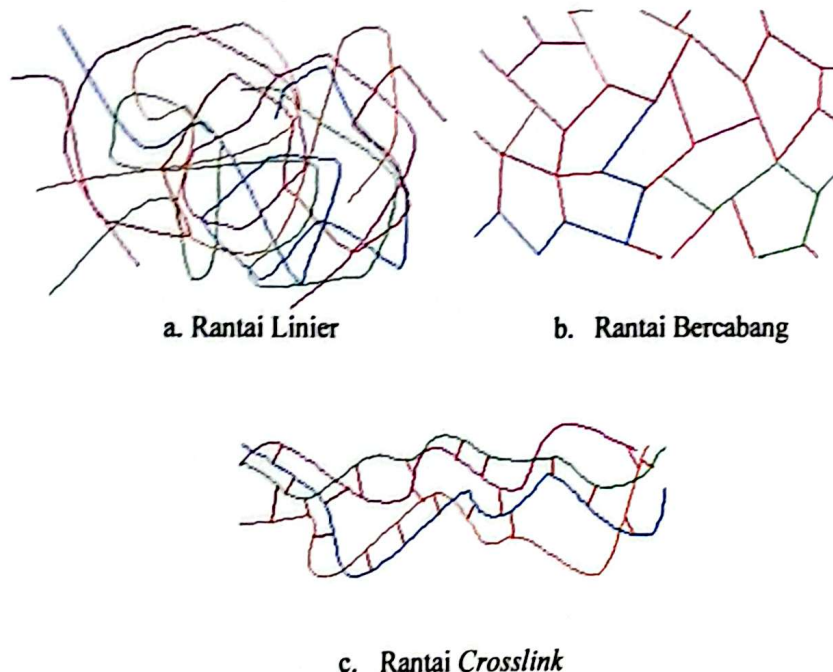
2. Polimer *thermosetting*

Polimer *thermosetting* adalah polimer yang akan mengeras bila dipanaskan dan menjadi rusak bila terus dipanaskan karena jenis polimer ini memiliki ikatan silang antar rantai polimernya, sehingga tidak dapat kembali ke bentuk semula. Contoh polimer *thermosetting* adalah bakelit dan melamin.

3. Elastomer

Elastomer adalah jenis polimer yang elastis, bentuknya dapat diregangkan, namun dapat kembali ke bentuk semula setelah gaya tariknya dihilangkan. Elastisitas ini disebabkan oleh struktur elastomer yang terdiri dari rantai-rantai yang saling tumpang tindih dengan adanya ikatan silang (*crosslink*) yang akan menarik kembali

rantai-rantai tersebut kembali ke susunan tumpang tindihnya. Contoh elastomer adalah karet alam (poliisoprena) dan karet sintetis SBR (Mundiyono, 2016). Jenis struktur rantai polimer dapat dilihat pada gambar II.1.



Gambar II. 1 Jenis Struktur Rantai Polimer
Sumber: Mundiyono (2016)

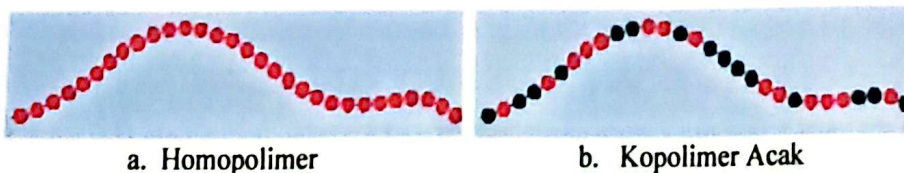
Berdasarkan monomer pembentuknya, polimer dapat dibagi menjadi:

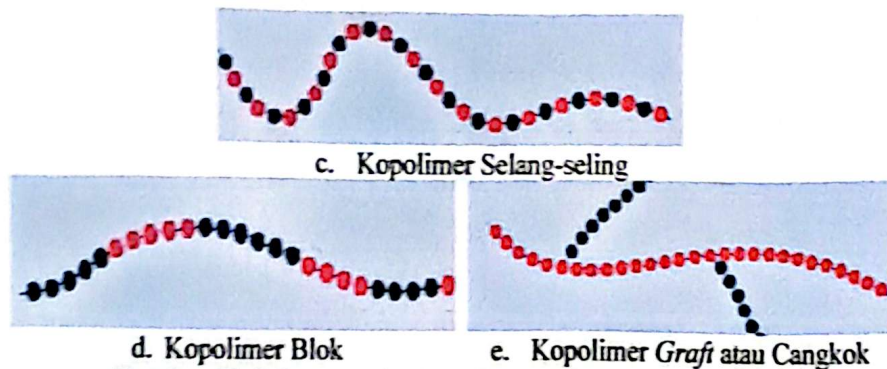
1. Homopolimer

Homopolimer merupakan polimer yang terbentuk dari monomer-monomer sejenis. Contohnya adalah PVC, polistirena, polipropilena dll.

2. Kopolimer

Kopolimer merupakan polimer yang terbentuk dari monomer-monomer berbeda jenis. Contohnya adalah nilon, dakron, bakelit dll. Kopolimer dapat digolongkan berdasarkan susunan monomer dalam rantai polimer menjadi kopolimer acak, kopolimer selang-seling, kopolimer blok, dan kopolimer *graf* atau cangkok. Susunan struktur homopolimer dan kopolimer dapat dilihat pada gambar II.2.





Gambar II. 2 Susunan Struktur Homopolimer dan Kopolimer
Sumber: Mundryono (2016)

Proses pembentukan polimer dari monomernya disebut dengan polimerisasi.

Proses polimerisasi dikelompokkan menjadi dua yaitu:

1. Polimerisasi adisi

Polimerisasi adisi adalah polimerisasi yang melibatkan reaksi rantai berupa pemutusan ikatan rangkap yang disebabkan oleh radikal bebas yaitu partikel reaktif yang mengandung elektron tidak berpasangan atau ion. Pada polimerisasi ini terjadi pemutusan rantai, sehingga tidak didapat *side product* karena semua monomer bergabung menjadi polimer. Polimerisasi adisi dibagi menjadi empat:

a. Polimerisasi radikal bebas

Proses polimerisasi radikal bebas memerlukan inisiator, yaitu sesuatu zat yang dapat membentuk radikal bebas karena pemanasan atau karena efek fotolisis yang mengionisasi pembentukan monomer-monomer menjadi radikal bebas.

b. Polimerisasi kationik

Polimerisasi kationik adalah polimerisasi adisi menurut proses reaksi berantai secara kationik. Proses polimerisasi kationik membutuhkan katalisator. Monomer yang dipakai dalam polimerisasi kationik adalah monomer yang mempunyai ikatan rangkap dan kaya elektron. Jadi katalisator berfungsi sebagai penerima elektron sedangkan monomer berfungsi sebagai donor elektron.

c. Polimerisasi anionik

Polimerisasi anionik adalah polimerisasi yang serupa dengan polimerisasi kationik, bedanya proses terminasi terjadi lebih kompleks, yaitu dengan melalui proses berpasangan (*coupling*). Disamping itu beberapa sistem anionik tidak dapat mengalami terminasi bila di dalamnya terdapat pengotor.

d. Polimerisasi koordinasi kompleks (polimerisasi katalis Ziegler-Natta)

Polimerisasi koordinasi kompleks sering disebut juga sebagai polimerisasi dengan katalis Ziegler-Natta. Katalis Ziegler-Natta pada umumnya adalah kombinasi senyawa logam transisi (logam peralihan) dari golongan IV sampai dengan VII dengan suatu senyawa organik metalik dari logam golongan I sampai III.

2. Polimerisasi kondensasi

Polimerisasi kondensasi adalah polimerisasi bertingkat atau tahap demi tahap. Dimana polimerisasi ini disertai dengan pembentukan molekul kecil seperti H_2O , HCl , NH_3 dll (Mundiyono, 2016). Perbedaan mekanisme reaksi polimerisasi kondensasi dengan polimerisasi adisi dapat dilihat pada tabel II.1.

Tabel II. 1 Perbedaan Reaksi Polimerisasi Kondensasi dan Adisi

Polimerisasi Adisi	Polimerisasi Kondensasi
<ul style="list-style-type: none"> - Bersifat <i>chain reaction</i>. - Reaksinya cepat. - Reaksi memanjang dengan adanya pengulangan unit monomer setiap saat. - Tidak menghasilkan produk sampingan. - Lama waktu reaksi menyebabkan <i>yield</i> tinggi, namun berat molekul menjadi kecil. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bersifat <i>step reaction</i>. - Reaksinya lambat. - Reaksi terjadi dengan adanya dua jenis molekul. - Menghasilkan produk sampingan. - Lama waktu reaksi sangat penting untuk mencapai berat molekul yang tinggi.

Sumber: Mundiyono (2016)

Setiap polimer memiliki karakteristik tersendiri yang menggambarkan sifat fisik dan kimianya. Karakteristik ini antara lain:

1. Kristalinitas

Secara luas kristalinitas menggambarkan susunan dari molekul polimer. Semakin tinggi derajat kristalisasi suatu polimer maka cahaya yang dapat melewati polimer tersebut akan semakin sedikit disebabkan oleh susunan molekul yang teratur dan berdekatan yang dapat disebut kristalin. Sedangkan amorf mempunyai pengertian ketidakteraturan susunan dalam struktur polimer yang memudahkan cahaya melewati polimer, polimer yang bersifat amorf seringkali memiliki sifat fisik transparan yang disebut juga polimer kaca. Polimer tidak dapat sepenuhnya kristalin, sehingga ada istilah lain yaitu semikristalin yang menggambarkan

susunan molekul memiliki daerah kristalin dan amorf. Derajat kristalinitas dapat dinyatakan dalam fraksi berat atau fraksi volume daerah kristalin.

2. Sifat terhadap panas

Polimer memiliki perbedaan dalam ketahanannya terhadap panas. Polimer yang lunak bila dipanaskan disebut polimer termoplastik sedangkan polimer yang tidak dapat melunak bila dipanaskan disebut polimer *thermosetting*. Polimer termoplastik dapat dibentuk ulang karena polimer ini terdiri atas molekul rantai lurus atau bercabang dengan gaya tarik yang lemah. Contoh polimer termoplastik adalah *polyethylene*, *polyvinyl chloride* dan *polypropylene*, sedangkan polimer *thermosetting* tidak dapat dibentuk ulang karena polimer ini terdiri atas ikatan silang antar rantai. Sifat tahan terhadap panas ini akan mempengaruhi penggunaan polimer.

3. Percabangan

Pada pembentukan polimer dapat terbentuk percabangan. Densitas polimer akan semakin kecil apabila cabang pada rantai polimer semakin banyak. Semakin banyak cabang, gaya ikatan intermolekulnya semakin lemah, sehingga polimer akan semakin mudah meleleh.

4. Taksisitas

Taktisitas adalah susunan isoteremis fungsional dari rantai-rantai karbon. Ada tiga macam taktisitas yaitu isotaktik, ataktik dan sindiotaktik. Isotaktik memiliki gugus substituen yang terletak pada satu sisi yang sama. Ataktik memiliki gugus substituen yang terletak pada sisi yang acak. Sindiotaktik memiliki gugus substituen yang terletak pada kedua sisi (Mundiyono, 2016).

2.2 *Biodegradable Polymer*

Perkembangan polimer dimulai dari polimer alam berupa getah tumbuhan yang digunakan nenek moyang untuk pelapis kedap air pada kapal. Saat itu polimer penggunaannya terbatas dan pengaplikasiannya sangat spesifik. Pada tahun 1495 karet alam yang dipanen dari pohon karet *Hevea brasiliensis* sudah dikenal dan digunakan sebagai bola elastis untuk bermain. Dan pada tahun 1844 Charles Goodyear menemukan dan mematenkan metode untuk sulfur vulkanisir karet yang digunakan dalam industri ban. Kemudian pada tahun 1907 polimer sintetis baru

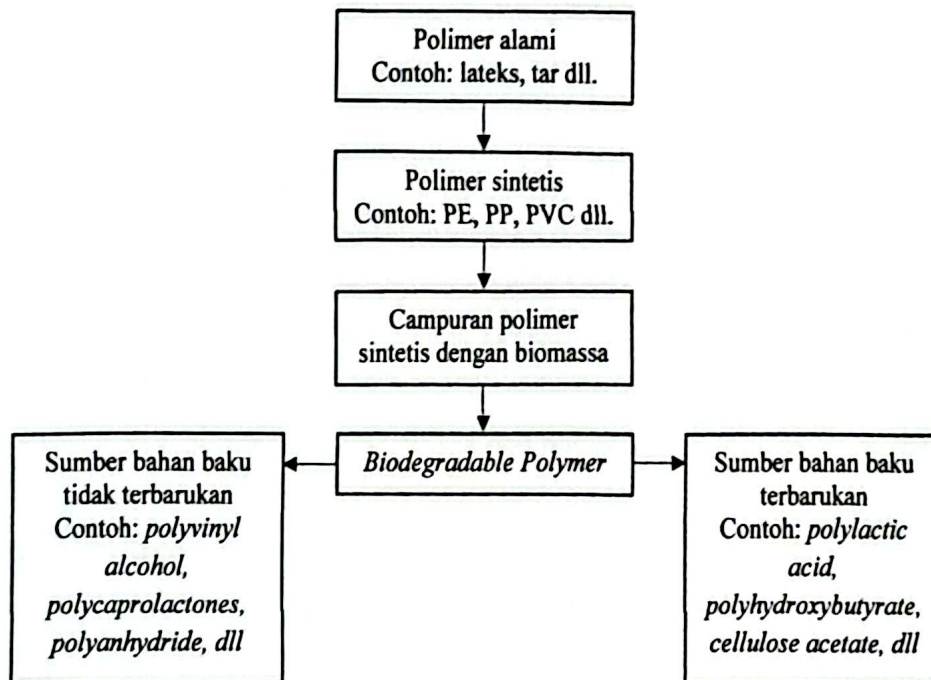
ditemukan oleh Leo Hendrik Baekeland berupa resin *thermosetting* fenol formaldehida yang biasa disebut bakelit. Dalam beberapa dekade terakhir polimer berkembang pesat, dimana polimer sintetis dapat diproduksi massal dengan murah dan penggunaannya yang luas termasuk untuk kemasan sekali pakai (Sin, dkk. 2012).

Sampah plastik konvensional merupakan salah satu permasalahan serius di Indonesia maupun dunia, karena sampah plastik konvensional membutuhkan waktu yang sangat lama untuk terurai menjadi zat yang tidak berbahaya dibanding dengan bahan organik (Avella dkk, 2009). Kemampuan degradasi biomassa lebih baik dibanding dengan plastik konvensional sehingga, campuran biomassa seperti lignoselulosa dan pati dengan polimer sintetis digunakan sebagai solusi untuk mengatasi masalah limbah plastik. Polimer ini sebagian dapat terdegradasi oleh mikroorganisme. Namun, setelah bagian biomassa dikonsumsi oleh mikroorganisme, sisa polimer sintetis masih akan menimbulkan efek bahaya bagi lingkungan (Sin, dkk. 2012).

Polimer sintetis yang diproduksi dari minyak bumi membutuhkan waktu ratusan tahun untuk sepenuhnya terdegradasi menjadi komponen tanah yang tidak berbahaya. Karena itulah yang mendorong penelitian mengarah kepada pengembangan polimer dengan bahan baku terbarukan, selain karena masalah berkurangnya cadangan minyak mentah dunia, sehingga saat ini fokusnya pada pengembangan polimer ramah lingkungan yang dapat terdegradasi secara alami ketika dibuang ke lingkungan. Polimer yang dapat terdegradasi secara biologis dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu polimer yang dapat didegradasi berasal dari turunan minyak bumi dan polimer yang dapat didegradasi berasal dari mikroorganisme. Polimer biodegradasi turunan minyak bumi contohnya adalah *polyvinyl alcohol* (PVOH). PVOH diproduksi dari etilena untuk menghasilkan vinil asetat yang selanjutnya dipolimerisasi menjadi polivinil asetat, lalu dihidrolisis untuk mendapatkan polivinil alkohol. Sedangkan polimer *biodegradable* yang berasal dari mikroorganisme contohnya adalah *polylactic acid* (PLA) yang memanfaatkan bioaktivitas bakteri untuk mengubah pati menjadi produk awal yaitu

asam laktat untuk dipolimerisasi menghasilkan poliasam laktat (Sin, dkk. 2012).

Bagan pengembangan polimer secara umum dapat dilihat pada gambar II.3.



Gambar II. 3 Bagan Pengembangan Polimer

Sumber: Sin dkk (2012)

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, polimer yang terdegradasi oleh mikroorganisme dapat diproduksi dari sumber minyak bumi dan terbarukan. Jenis polimer ini menarik perhatian industri, selain itu dapat membantu akumulasi limbah plastik yang tidak terdegradasi (Sin, dkk. 2012).

Menurut Ogur (2005), degradasi berarti perubahan struktur kimia yang mengakibatkan kerusakan sifat fisik atau penampilan dari suatu bahan. Sedangkan *degradable* dapat diartikan bahan yang mengalami degradasi pada kondisi lingkungan tertentu yang ditentukan oleh metode pengujian standar dan perubahan spesifik dari waktu ke waktu dari pengukuran sifat, seperti sifat fisik atau wujud. Ada beberapa jenis degradasi, yaitu:

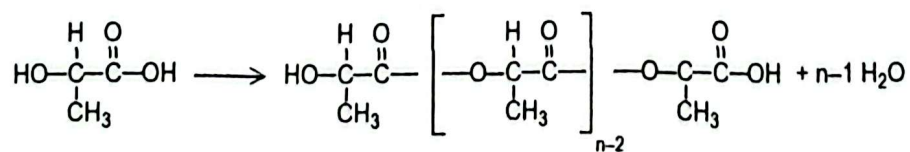
1. Fotodegradasi, degradasi yang terjadi pada siang hari.
2. Kompos, degradasi terjadi selama pengomposan oleh proses biologis pada tingkat yang sesuai dan tidak meninggalkan residu yang terlihat atau beracun. Produk degradasi yang dihasilkan adalah biomassa, karbon dioksida dan air.

3. Degradasi oksidatif, degradasi yang terjadi hasil dari reaksi oksidasi
4. Degradasi hidrolitik, degradasi yang terjadi hasil dari reaksi hidrolisis
5. Biodegradasi, degradasi yang terjadi seiring berjalannya waktu di alam. Dalam kondisi yang benar, organisme yang terjadi secara alami seperti bakteri, ganggang dan jamur dapat memetabolisme bahan menjadi biomassa. Namun, bahan-bahan yang berasal dari bahan bakar fosil juga dapat menyebabkan karbon dioksida dilepaskan ke lingkungan selama proses degradasi.

Masalah yang terjadi saat ini adalah produk plastik yang dibuang ke lingkungan dan sebagian besar sampah berupa produk kemasan sekali pakai. Oleh karena itu, bahan-bahan yang dapat terbiodegradasi, terutama dalam industri pengemasan menjadi strategi penting untuk pembuangan limbah plastik di masa depan dari lingkungan kita.

2.3 Polylactic Acid (PLA)

Salah satu polimer yang memiliki sifat *biodegradable* adalah *polylactic acid* (PLA). PLA merupakan poliester termoplastik linear yang berasal dari jagung, gula, gandum, dan bahan-bahan yang memiliki pati dalam jumlah banyak kemudian diproses untuk menghasilkan glukosa lalu difermentasi untuk menghasilkan asam laktat, kemudian asam laktat dipolimerisasi untuk menghasilkan PLA dengan dua metode yaitu polikondensasi asam laktat atau dengan melalui polimerisasi *ring opening* laktida (Purnavita dkk, 2014). Reaksi polimerisasi kondensasi PLA dapat dilihat pada gambar II.4.

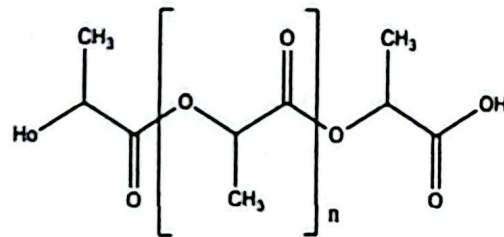


Gambar II. 4 Reaksi Polimerisasi Kondensasi PLA

Sumber: Sin, dkk. 2012

Ada dua istilah berbeda untuk PLA, yaitu poliasam laktat dan polilaktida. Secara ilmiah polilaktida digunakan untuk PLA yang diproduksi melalui ROP, sedangkan poliasam laktat sebutan untuk PLA yang dihasilkan dari proses polimerisasi kondensasi. Metode polimerisasi *ring opening* atau *Ring Opening Polymerization* (ROP) merupakan metode yang paling sering digunakan karena dari

proses ini didapatkan hasil produk yang lebih tinggi dan toksisitas yang rendah (Sin, dkk. 2012). Struktur PLA dapat dilihat pada gambar II.5.



Gambar II.5 Struktur *Polylactic Acid* (PLA)

Sumber: Garlotta (2002)

Bahan baku utama PLA adalah asam laktat, asam laktat merupakan zat yang stabil secara biologis sangat larut dalam air. Asam laktat banyak digunakan dalam industri sebagai pelarut untuk pembersih logam, *detergent*, dan untuk penyamakan kulit (Sin, dkk. 2012). Sifat fisik dan kimia asam laktat dapat dilihat pada tabel II.2.

Tabel II. 2 Sifat Fisik dan Kimia Asam Laktat

Sifat Asam Laktat	Nilai
Berat molekul	90,08
Temperatur leleh (°C)	53
Temperatur didih (°C)	> 200
Konstanta disosiasi (K_a)	$1,38 \times 10^{-4}$

Sumber: Sin dkk (2012)

PLA memiliki sifat *biodegradable* karena memiliki ikatan ester yang menyebabkan PLA dapat terurai melalui reaksi kimia maupun secara alami oleh mikroorganisme. Selain itu juga PLA bersifat *biocompatible* artinya dalam kondisi normal, polimer ini dapat diterima dalam tubuh tanpa menimbulkan efek berbahaya (Garlotta, 2002). PLA juga dapat terdegradasi oleh degradasi abiotik seperti hidrolisis sederhana dari ikatan ester tanpa memerlukan kehadiran enzim sebagai katalisnya (Averous dkk., 2008). Sifat fisik PLA Ingeo 7001 D dapat dilihat pada tabel II.3.

Tabel II.3 Sifat Fisik dan Kimia *Polylactic Acid* (PLA) Ingeo 7001 D

Sifat PLA	Nilai
<i>Specific Gravity</i>	1,24
Temperatur leleh (°C)	145-160
Temperatur transisi kaca (°C)	55

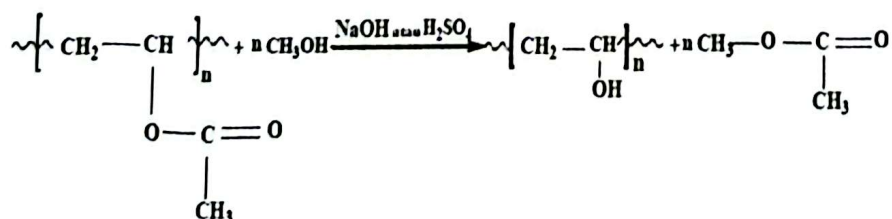
Sumber: Chariyachotilert (2011)

PLA semikristalin menunjukkan kondisi T_g , diatas T_g PLA bersifat karet,

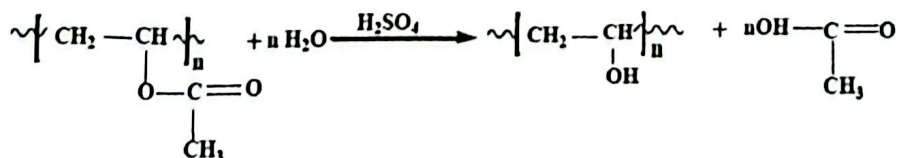
sementara dibawah T_g PLA bersifat seperti kaca. T_g PLA bergantung pada berat molekul dan kemurnian optik polimer.

2.4 Polyvinyl Alcohol (PVOH)

Berbeda dengan senyawa polimer pada umumnya, PVOH merupakan salah satu polimer sintesis hidrofilik karena monomer vinil alkohol tidak dapat diproduksi secara alami. Monomer vinil alkohol memiliki sifat yang tidak stabil dan cenderung berubah menjadi asetaldehida di alam menurut reaksi keto-enol tautomerisasi. Reaksi tautomerisasi adalah reaksi kesetimbangan kimia antara senyawa keto (keton atau aldehyd) dengan senyawa enol (alkohol), dimana terjadi pertukaran atom hidrogen dan pergeseran ikatan rangkap pada rantai utama senyawa. Senyawa keto dan enol tersebut adalah tautomer bagi satu sama lain, yaitu isomer senyawa organik pada reaksi tautomerisasi (Howeel dan Ammar, 2008), sehingga PVOH dapat diproduksi melalui hidrolisis atau dengan alkoholisis polivinil asetat. Reaksi sintesis PVOH dapat dilihat pada gambar II.6. Pada skala industri, metode alkoholisis lebih disukai daripada metode hidrolisis karena distribusi gugus fungsional alkohol pada rantai produk PVOH lebih teratur, sehingga molekul polimer lebih stabil dan laju reaksinya lebih cepat dibandingkan dengan proses hidrolisis.



a. Reaksi Alkoholisis Pembentukan *Polyvinil Alcohol*



b. Reaksi Hidrolisis Pembentukan *Polyvinil Alcohol*

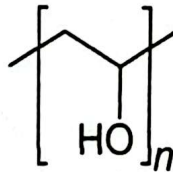
Gambar II. 6 Reaksi Pembentukan *Polyvinil Alcohol*

Sumber: Howeel dan Ammar (2008)

Secara umum PVOH dapat diklasifikasikan berdasarkan persentase hidrolisis,

yang dibedakan oleh gugus asetat residu persen mol dalam rantai polimer. PVOH terhidrolisis penuh mengandung 1-2 % mol gugus asetat, PVOH terhidrolisis menengah mengandung 3-7 % mol gugus asetat, PVOH terhidrolisis sebagian mengandung 10-15 % mol gugus asetat (Howeel dan Ammar, 2008).

PVOH merupakan polimer *biodegradable* tapi bukan termasuk biopolimer karena berbahan baku turunan minyak bumi. Struktur PVOH dapat dilihat pada gambar II.7.



Gambar II.7 Struktur *Polyvinyl Alcohol* (PVOH)
Sumber: Ogur (2005)

Karena sifatnya yang dapat larut dalam air maupun etanol dan tahan terhadap pelarut organik, PVOH digunakan dalam industri pengemasan seperti film makanan dan wadah sekali pakai sebagai solusi ramah lingkungan untuk masalah limbah plastik. Sifat fisika PVOH yang terdapat pada tabel II.4.

Tabel II.4 Sifat Fisik dan Kimia *Polyvinyl Alcohol* (PVOH)

Sifat PVOH	Nilai
Densitas	1,19 – 1,31 g/cm ³
Temperatur leleh	180 – 240°C
Temperatur transisi kaca	70 – 100°C

Sumber: Ogur (2005) dan Kaiser dkk (2015)

Selain itu, PVOH memiliki sifat tidak berbau, tidak beracun, memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan fleksibel. PVOH juga memiliki sifat penghalang oksigen dan karbon oksida yang baik. Pada proses-proses sintesis produk kimia, PVOH digunakan sebagai bahan aditif sebagai bahan adesif (perekat), sebagai *protective colloid* bagi proses emulsi polimerisasi serat. PVOH merupakan polimer sintesis yang larut dalam air terbuat dari petrokimia.

Dalam air limbah, PVOH didegradasi oleh organisme fitopatogenik yang berasal dari jamur yang menghasilkan produk samping berupa air dan karbon dioksida. Film PVOH memiliki daya tegang yang tinggi dan tahan terhadap abrasi. PVOH merupakan salah satu bahan yang penting dan banyak dibutuhkan dalam

industri rekayasa produk kimia (Ogur, 2005).

PVOH terbagi menjadi terhidrolisis sebagian dan terhidrolisis penuh. Dengan meningkatnya derajat hidrolisis, molekul semakin mudah mengkristal. Kristalinitas mempengaruhi kelarutan air, kekuatan, permeabilitas gas dan karakteristik termal. Kristalinitas PVOH bergantung pada tingkat hidrolisis, berat molekul rata-rata dan tingkat polimerisasi yang terjadi. Sedangkan tingkat hidrolisis PVOH bergantung pada persentase mol residu asetat yang tersisa. Derajat hidrolisis PVOH berbanding lurus dengan kelarutan dalam air, ketahanan pelarut, kekuatan tarik, dan daya rekat pada permukaan.

Serat PVOH digunakan sebagai pengganti asbes karena dinilai lebih aman, efektif mencegah pantulan cahaya pada permukaan dan menunjukkan ketahanan gores yang baik. PVOH juga di industri pengemasan sebagai solusi ramah lingkungan untuk mengatasi masalah limbah plastik.

2.5 *Polymer Blend Film*

Polymer blending merupakan salah satu cara yang relatif sederhana untuk memodifikasi atau mendapatkan polimer dengan sifat material baru atau unik yang diinginkan dengan biaya yang rendah. *Polymer blend* yang dihasilkan dapat diklasifikasikan menjadi campuran homogen dan heterogen (Ogur, 2005). Menurut Thomas dkk (2015) ada lima jenis utama campuran polimer yaitu campuran termoplastik-termoplastik, termoplastik-karet, termoplastik-*thermosetting*, karet-*thermosetting*, dan campuran polimer-*filler*. Contoh campuran termoplastik-termoplastik adalah PLA dengan PVOH.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Jen-Taut Yeh dkk (2008), yaitu membuat campuran film PLA/PVOH dengan rasio 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/50 dengan cara *melt blending* menggunakan ekstruder. Dengan pengujian FTIR, DSC, dan XRD dapat diketahui bahwa rasio terbaik campuran film pada penelitian ini yaitu 80/20.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Restrepo dkk (2018), fokus pada efek berat molekul dan derajat kristalisasi PVOH dalam campuran PLA/PVOH yang dibuat dengan menggunakan ekstruder dengan rasio PLA/PVOH: 80/20, 90/10 dan 97/3 wt.%. Temperatur transisi gelas diamati untuk semua campuran PLA/PVOH,

menunjukkan pembentukan campuran biner yang kompatibel pada rentang konsentrasi yang diteliti. Hasil analisis termogravimetri menunjukkan stabilitas termal yang lebih baik untuk campuran PLA/PVOH yang mengandung PVOH dengan berat molekul dan derajat kristalisasi yang lebih tinggi. Untuk sifat mekanik, kekuatan tarik cenderung menurun dengan meningkatnya rasio PVOH.

Sifat-sifat fisik dari campuran yang dapat bercampur, kompatibel maupun tidak kompatibel dapat dikarakterisasi menggunakan teknik seperti analisis *thermogravimetric, thermal, mechanical*, dan *universal testing machines* (Thomas dkk, 2015).

2.6 Pengujian Gugus Fungsi

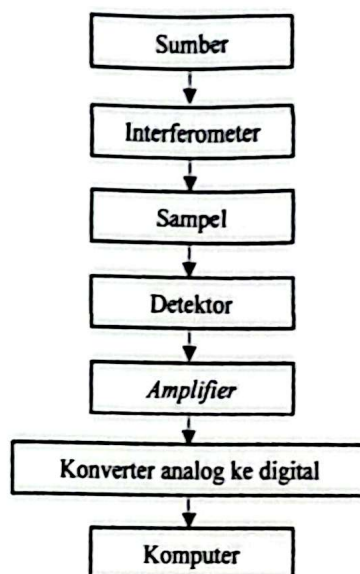
Pengujian ini bertujuan untuk menganalisa gugus fungsi yang terdapat dalam suatu bahan. Alat uji yang digunakan untuk pengujian ini adalah *fourier transform infrared* (FTIR). Spektroskopi FTIR adalah teknik eksperimental yang relatif mudah untuk mendapatkan spektrum dari sampel dalam keadaan cair, padat maupun gas, FTIR mampu menganalisa kualitatif maupun kuantitatif. FTIR didasarkan pada gagasan interferensi radiasi untuk menghasilkan *interferogram* yaitu pola gelombang yang direpresentasikan dalam diagram. Dua domain jarak dan frekuensi dapat dipertukarkan dengan metode matematis transformasi *fourier* (Stuart, 2004).

Kelebihan menggunakan FTIR untuk menganalisa suatu material:

1. Tidak merusak sampel,
2. Metode pengukuran dengan tingkat ketelitian yang tinggi,
3. Proses analisis berlangsung lebih cepat,
4. Sensitif

Dalam spektroskopi inframerah, frekuensi dinyatakan dalam bilangan gelombang (*wave numbers*) yaitu banyaknya daur persentimeter. Satuan bilangan gelombang ialah sepersentimeter ($1/\text{cm}$ atau cm^{-1}). Satuan yang digunakan untuk panjang gelombang dalam spektroskopi inframerah ialah mikrometer, (μm atau mikron, μ) yang mana $1,0\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m} = 10^{-4}\text{cm}$ (Stuart, 2004).

Komponen dasar spektrometer FTIR ditunjukkan secara skematik pada Gambar II.8.



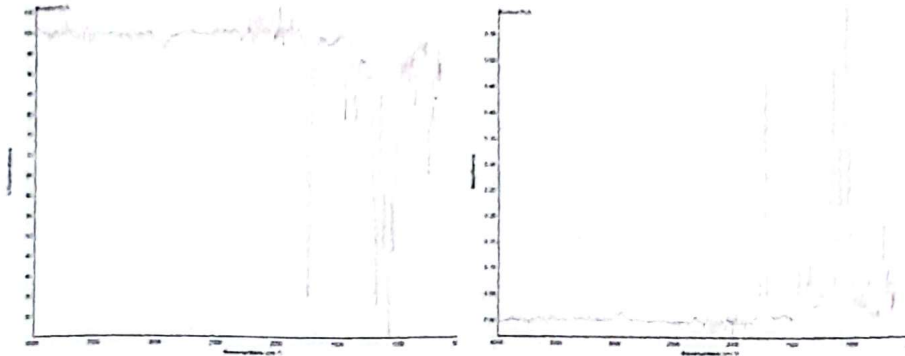
Gambar II.8 Komponen Dasar Spektrometer FTIR

Sumber: Stuart (2004)

Teknik *reflectance* merupakan teknik untuk mengukur proporsi cahaya atau radiasi yang mengenai permukaan yang dipantulkan darinya. Teknik ini dapat digunakan untuk sampel yang sulit dianalisis dengan metode transmisi konvensional. Salah satu metodenya adalah *Attenuated total reflectance* (ATR). ATR 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).

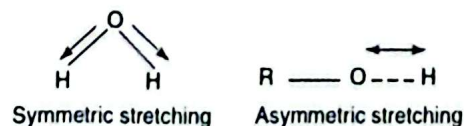
Pengujian spektroskopi inframerah (IR) menggunakan alat FTIR dihasilkan spektra yang menggambarkan absorpsi dan transmisi molekular, spektra tersebut membentuk sidik jari molekular suatu sampel. Skala ordinat dapat disajikan dalam % transmittan dengan 100% di bagian atas spektra dan dapat pula disajikan dalam absorban sesuai dengan kebutuhan. *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*

(4000–400 cm^{-1}) dan *Near-Infrared* (13.000–4.000 cm^{-1}). Perbedaan spektra transmittan dan absorban dapat dilihat pada gambar II.9.



Gambar II. 9 Perbedaan Spektra Transmittan dan Absorban
Sumber: Stuart (2004)

Masing-masing bilangan gelombang dapat melakukan deformasi tertentu dari molekul, pergerakan sekelompok atom baik *bend* atau *stretch* pada molekul tertentu. *Stretch* dapat dikatakan sebagai peregangan dari suatu gugus, *bend* dapat dijelaskan saat molekul menekuk. Ada beberapa jenis *bend vibrations* yaitu, *deformation*, *rocking*, *wagging* dan *twisting*. Saat struktur molekul berubah atau rusak dapat dikatakan *deformation*, *rocking modes* bisa diartikan sebagai mode saat oleng atau goyang, *wagging* merupakan keadaan saat struktur molekul berpindah dari satu tempat lain seperti gerakan mengibas, sedangkan *twisting* adalah keadaan struktur molekul saat melilit. 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). Gambar perbedaan *symmetric* dan *asymmetric stretch* dapat dilihat pada gambar II.10.



Gambar II. 10 Jenis-Jenis *Stretching*
Sumber: Stuart (2004)

2.7 Pengujian Sifat Termal

Analisis termal merupakan metode cepat untuk mengukur transisi karena perubahan morfologis atau kimia, dalam polimer karena dipanaskan atau didinginkan dengan kisaran temperatur yang ditentukan (ASTM D3418-12). *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) adalah salah satu metode karakterisasi fisik yang digunakan untuk mengukur dan menganalisis sifat termal dari polimer sintesis dan alami (Drzezdzon dkk, 2019). DSC berfungsi untuk mengukur dan menganalisis perbedaan panas yang mengalir pada sampel dan referensi sebagai pembandingnya. DSC adalah metode analisis termal yang paling sering digunakan, terutama karena kecepatannya, dan kesederhanaannya (Kodre, 2014)

Sifat termal yang dapat diamati meliputi reaksi polimer terhadap panas seperti temperatur transisi kaca (T_g), temperatur kristalisasi (T_c), dan temperatur leleh (T_m). Persentase kristalinitas (X_c) adalah salah satu karakteristik terpenting yang memengaruhi perilaku fisik dan mekanisnya seperti kekakuan, ketangguhan, kerapuhan, hambatan penghalang, stabilitas termal, dan kejernihan optik. DSC juga dapat menganalisis perubahan termal yang terjadi seperti polimerisasi, degradasi oksidatif, penguapan, sublimasi, dan desorpsi. Sifat termal biopolimer tergantung pada banyak faktor seperti kemurnian, komposisi, pemrosesan, perlakuan termal, tekanan mekanik, dan penuaan.

Proses temperatur transisi kaca (T_g) adalah proses perubahan polimer dari keras menjadi getas. Pada proses transisi kaca tidak menunjukkan adanya puncak atau lembah pada hasil termogram dikarenakan pada proses ini tidak ada panas yang dilepaskan atau diserap oleh polimer. Proses temperatur leleh (T_m) adalah proses perubahan polimer padat menjadi polimer cair. Polimer yang mengalami pendinginan setelah dipanaskan atau polimer yang mengalami pengendapan cenderung mengkristal. Entalpi leleh (ΔH_m) adalah besarnya panas yang diserap dari keadaan kristal ke lelehan. Titik leleh (T_m) dengan entalpi leleh berbanding terbalik karena titik leleh (T_m) yang mengalami penurunan menunjukkan bahwa polimer tersebut meleleh lebih cepat dibanding pelelehan pertama, sehingga entalpi leleh (ΔH_m) mengalami kenaikan ini disebabkan panas yang diserap lebih besar dari pelelehan pertama. Entalpi kristalisasi (ΔH_c) merupakan panas yang dilepaskan

ketika polimer cair membentuk kristal. Sedangkan derajat kristalisasi (X_c) adalah tingkat keteraturan penempatan atom pada unit sel. Untuk polimer yang memiliki struktur teratur atau kristalin memiliki nilai derajat kristalisasi yang tinggi. Derajat kristalinitas yang tinggi ditemukan dalam polimer dengan struktur padat, teratur, dan gaya antar molekul yang kuat. Dengan meningkatnya derajat kristalinitas, polimer menjadi lebih buram karena hamburan cahaya oleh daerah kristal. Sedangkan untuk polimer amorf, polimer terlihat transparan. Derajat kristalinitas berbanding lurus dengan nilai temperatur leleh (Kodre dkk, 2014).

Umumnya, DSC non-isothermal digunakan untuk identifikasi polimer dasar dan juga penentuan kemurnian dan stabilitas polimer. Polimer *amorf* menunjukkan temperatur transisi kaca yaitu kisaran temperatur yang mana di bawah temperatur tersebut polimer bersifat *glassy* dan di atasnya bersifat *rubbery* dan polimer semikristalin dapat memiliki temperatur transisi kaca, temperatur kristalisasi, temperatur leleh dan entalpi leleh. Pada temperatur *cold crystallization*, polimer kehilangan sebagian susunan molekul acaknya, bentuk ikatan antarmolekul, dan molekul polimer menjadi lebih teratur. Pembentukan ikatan selama kristalisasi adalah proses eksotermik yang merepresentasikan proses kristalisasi (Gregorova, 2013).

Pemanasan pertama DSC pada polimer PLA dapat menyebabkan degradasi, sehingga polimer PLA bersifat plastis (Anžlovar dkk, 2017). Termogram dari pengujian DSC polimer PVOH menunjukkan dua puncak. Puncak pertama dari grafik termogram bukan merupakan puncak yang menunjukkan titik leleh, puncak pertama menunjukkan adanya relaksasi dalam daerah kristalin PVOH (Mohsin dkk 2011), sedangkan menurut Guirguis dan Moselhey (2012) terjadi karena evaporasi pada PVOH atau mungkin temperatur transisi kaca.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2018 sampai bulan Juni 2019. Penelitian dilakukan di Politeknik STMI Jakarta Jl. Letjen Suprpto No.26, Cempaka Putih, Jakarta Pusat.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

- | | |
|----------------------------|--|
| 1. Gelas kimia | 9. Cawan petri |
| 2. Spatula | 10. <i>Aluminium foil</i> |
| 3. Kaca arloji | 11. Plastik <i>ziplock</i> |
| 4. Pipet tetes | 12. Pinset |
| 5. Batang pengaduk | 13. Gunting |
| 6. <i>Magnetic stirrer</i> | 14. Perforator |
| 7. Neraca digital | 15. <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i> |
| 8. <i>Hot plate</i> | 16. <i>Differential Scanning Calorimetry (DSC)</i> |

Gambar beberapa alat yang digunakan dapat dilihat pada lampiran A.

3.2.2 Bahan

1. *Polylactic Acid (PLA)*
2. *Polyvinyl Alcohol (PVOH)*
3. Kloroform
4. Akuades

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 sebagai berikut:

1. Massa PLA yang digunakan seberat 3 gram

2. Massa kloroform yang digunakan yaitu 50 gram
3. Waktu pelarutan PLA selama 30 menit
4. Waktu pencampuran PLA-PVOH yaitu 1 jam
5. Waktu pelarutan PVOH-Akuades yaitu 1 jam
6. Suhu pencampuran PLA-PVOH sebesar 90°C
7. Suhu pencampuran PVOH-Akuades sebesar 90°C
8. Diameter cawan petri yang digunakan yaitu 15 cm
9. Waktu penguapan film dalam lemari asam selama 2 hari

3.3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang divariasikan pada tiap penelitian agar didapat hasil yang diinginkan. Variabel bebas memiliki fungsi utama sebagai acuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel lain. Pada tabel III.1 variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi rasio massa PVOH.

Tabel III.1 Variasi Rasio Film PLA/PVOH

Sampel	Rasio PLA/PVOH	Massa PLA (g)	Massa PVOH (g)	Keterangan
1	100/0	3	-	Kontrol
2	87/13	3	0,45	Variasi 1
3	80/20	3	0,75	Variasi 2
4	0/100	-	1	Variasi 3

3.4 Prosedur Proses Pembuatan Film

Pembuatan film pada penelitian ini dilakukan dengan urutan sebagai berikut; dengan gambar proses pembuatan film PLA, PLA/PVOH dan PVOH yang dapat dilihat pada lampiran C.

1. Pelarutan Bahan

PLA dilarutkan dengan kloroform di atas *hot plate* selama 30 menit pada suhu kamar. Sedangkan untuk Film PVOH, PVOH dilarutkan dalam akuades diatas *hot plate* selama 1 jam dengan suhu 90°C.

2. Pencampuran/ Homogenisasi

PVOH dimasukkan secara perlahan ke dalam *beaker glass* yang berisi PLA dan kloroform pada suhu 90°C selama 1 jam, sehingga total waktu yang diperlukan untuk pelarutan dan pencampuran selama 1 jam 30 menit.

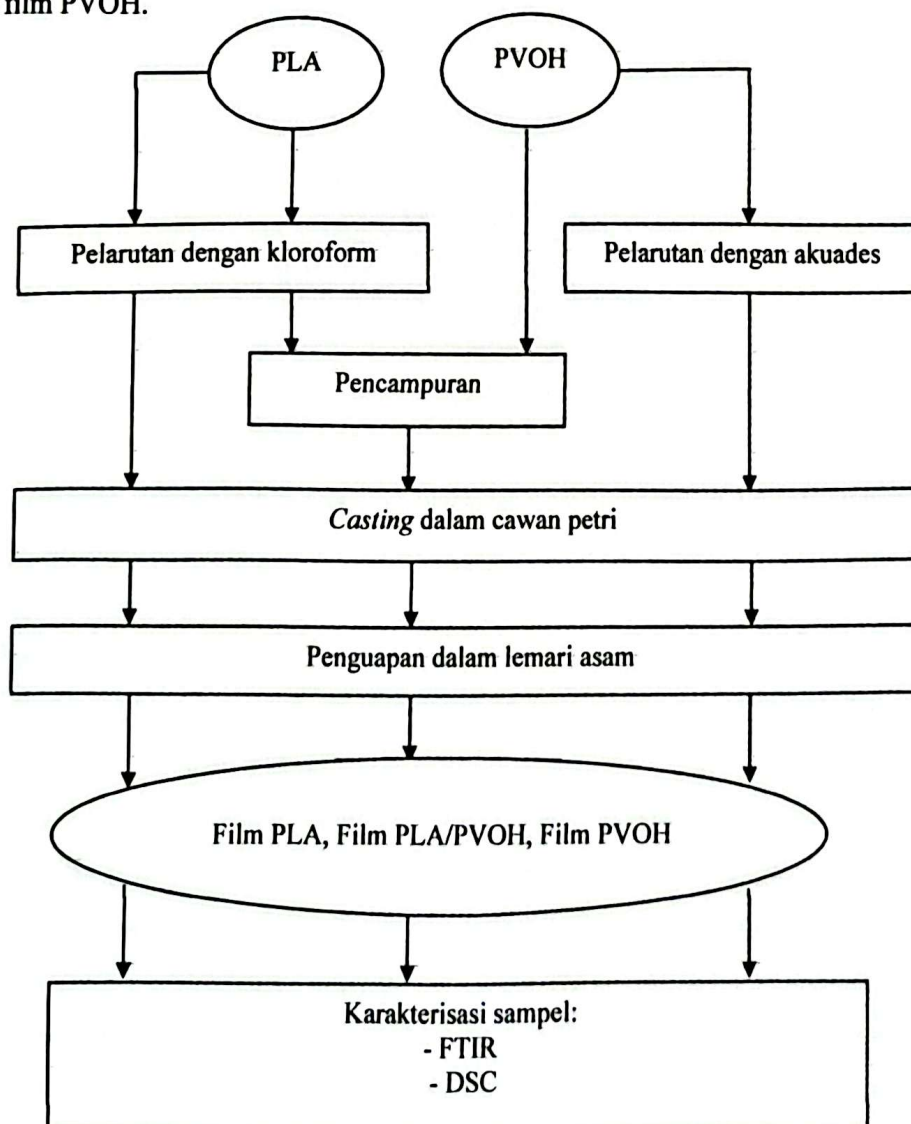
3. *Casting* dalam cawan petri

Proses *casting* di sini adalah penuangan sekaligus pencetakan bahan yang sudah dihomogenkan ke dalam cawan petri.

4. Penguapan dalam lemari asam

Proses ini bertujuan untuk menghilangkan pelarut. Waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan bahan kurang lebih 2 hari, sehingga film dari masing-masing rasio tercetak dalam cawan petri tersebut.

Gambar III.1 memperlihatkan diagram alir pembuatan film PLA, PLA/PVOH dan film PVOH.

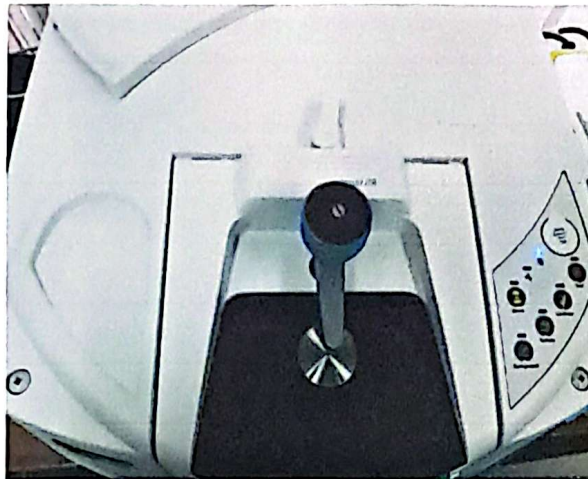


Gambar III.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Film dan karakterisasi film PLA/PVOH

3.5 Karakterisasi Sampel

3.5.1 Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi organik dari bahan baku film yang dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Nicolet iS10 seperti pada gambar III.2, yang terdapat pada laboratorium instrumentasi dengan prosedur sebagai berikut:



Gambar III.2 *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

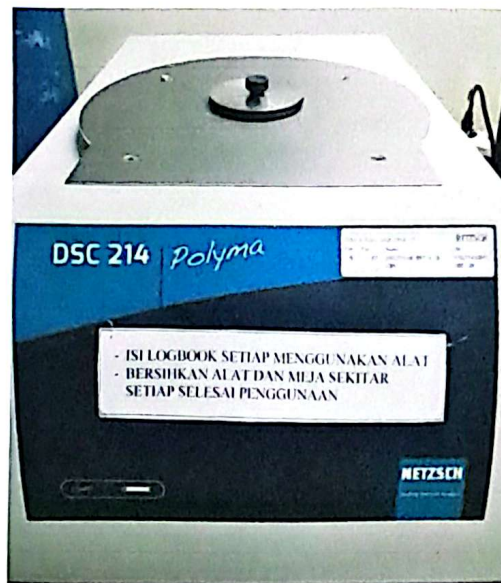
1. Hubungkan kabel instrumen dengan sumber listrik.
2. Nyalakan instrumen FTIR dengan menekan tombol *power on*, tunggu hingga proses inisiasi selesai.
3. Hidupkan komputer, klik ikon *Spectrum*.
4. Sebelum melakukan pemindaian sampel, lakukan pemindaian *background* untuk menghilangkan hasil pemindaian 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 spektrum yang diperoleh dari hasil pemindaian sampel dengan spektrum 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 *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

Pengujian termal dari sampel yang dihasilkan dilakukan menggunakan mesin *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) seperti pada gambar III.3, yang terdapat pada laboratorium instrumentasi dengan prosedur penggunaannya sebagai berikut:



Gambar III.3 *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

1. Hubungkan kabel instrumen dengan sumber listrik.
2. Nyalakan komputer 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 komputer.
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, masukan wadah aluminium kosong sebagai referensi.
8. Atur parameter pengujian yaitu laju pemanasan pertama dan kedua serta laju pendinginan pada komputer.

9. Klik tombol start untuk menjalankan sesuai parameter tersebut.
10. Tunggu hingga proses pengujian selesai, biarkan instrumen melakukan pendinginan secara otomatis.
11. Lakukan pencetakan data hasil pengujian yang diperoleh.

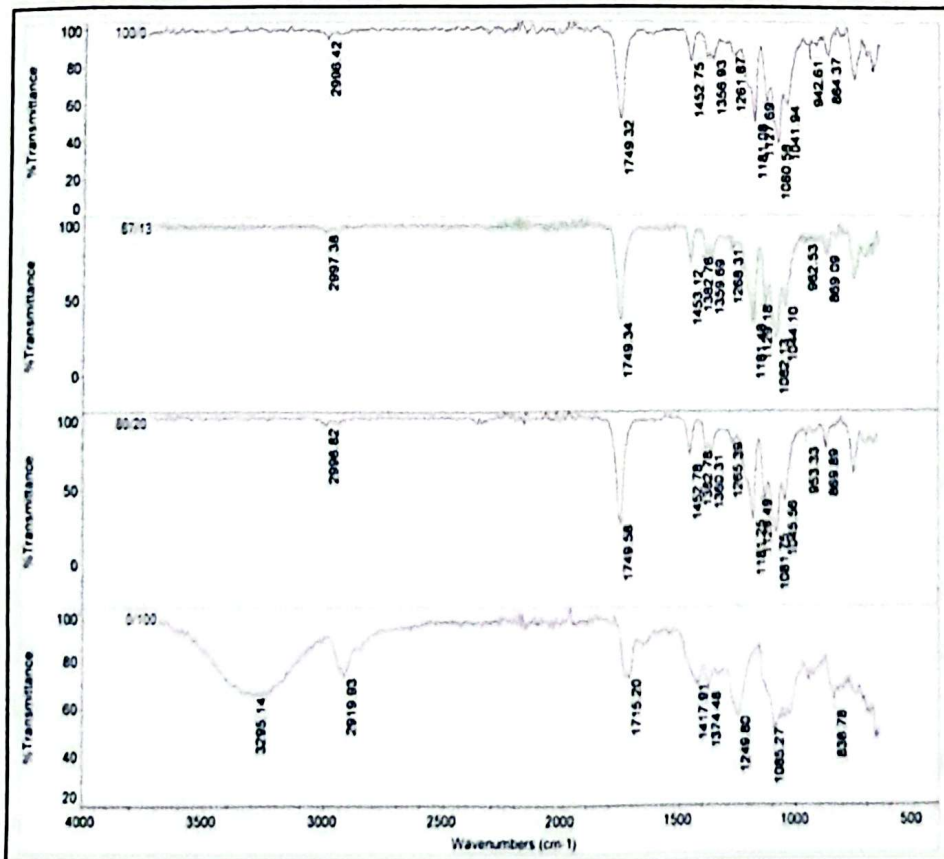
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai hasil analisis produk film PLA/PVA dari masing-masing rasio menggunakan alat uji *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Gambar biofilm masing-masing sampel dapat dilihat pada lampiran D.

4.1 Hasil Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Pengujian FTIR pada penelitian ini digunakan untuk menganalisis jenis komponen yang terdapat pada film PLA, film PLA/PVOH dan film PVOH. Hasil dari uji spektroskopi FTIR terhadap film PLA, film PLA/PVOH, film PVOH didapatkan spektrum transmittansi inframerah yang tampak pada gambar IV.1.



Gambar IV.1 Hasil Pengujian FTIR film PLA/PVOH dengan Rasio 100/0, 87/13, 80/20 dan 0/100.

Pada spektrum hasil pengujian film PLA/PVOH dilihat dalam tabel IV.1 :

Tabel IV.1 Perbandingan Hasil FTIR PLA/PVOH literatur dan FTIR Film PLA/PVOH yang dilakukan

Rasio PLA/PVOH Jenis Ikatan	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
	Film PLA (Ghozali dkk, 2018)	Film 100/0	Film 87/13	Film 80/20
-C-H- stretch	2995 (<i>asymmetric</i>), 2945 (<i>symmetric</i>)	2996.42	2997.38	2996.82
-C=O carbonyl stretch	1747	1749.32	1749.34	1749.58
-CH ₃ deformation	1452 (<i>asymmetric</i>), 1382 (<i>symmetric</i>)	1452.75, 1356.93	1453.12, 1359.69	1452.78, 1360.31
-C-O-C stretch	1266 (<i>symmetric</i>), 1180 (<i>symmetric</i>), 1080 (<i>asymmetric</i>)	1261.87, 1181.08, 1080.58	1268.31, 1181.48, 1082.13	1265.39, 1181.25, 1081.75
-CH ₃ rocking modes	1127	1127.69	1129.18	1129.49
-C-CH ₃ stretch	1043	1041.94	1044.10	1045.56
-C-C- stretch	956	942.61	962.53	953.33
C-COO stretch	868	864.37	869.09	869.89
Rasio PLA/PVOH Jenis Ikatan	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
	Film PVOH (Grande dan Carvalho, 2011)	Film 0/100	Film 87/13	Film 80/20
-OH stretch	3300	3295.14	Tidak terlihat	Tidak terlihat
-C-H stretch	2942	2919.93	2997.38	2996.82
-C=O stretch	1733	1715.20	1749.34	1749.58
H-OH deformation	1428	1417.91	1453.12	1452.78
CH-O deformation	1376	1374.48	1382.76	1382.78
CH wagging	1236	1249.80	1268.31	1265.39
C-O stretch	1090	1085.27	1082.13	1081.75
C-C deformation	844	838.78	869.09	869.89

Berdasarkan hasil pengujian FTIR yang dilakukan pada film PLA/PVOH dengan rasio 100/0 didapatkan hasil gugus fungsi dan bilangan gelombang yang tampak tidak jauh berbeda dengan hasil FTIR yang dilakukan Ghozali dkk (2018), sehingga dapat dikonfirmasi bahwa hasil FTIR film PLA memiliki kemiripan dengan Ghozali dkk (2018).

Untuk hasil pengujian FTIR yang dilakukan pada film PLA/PVOH dengan rasio 0/100 didapatkan gugus fungsi dan bilangan gelombang yang tampak tidak jauh berbeda dengan hasil FTIR yang dilakukan Grande dan Carvalho (2011), sehingga dapat dikonfirmasi bahwa hasil FTIR film PVOH memiliki kemiripan

dengan Grande dan Carvalho (2011). Pada hasil pengujian FTIR pada film PVOH dan campuran PLA/PVOH didapat bilangan gelombang 1750 – 1735 cm^{-1} yang menunjukkan jenis ikatan -C=O stretch karena masih terdapat gugus residu asetat yang berasal dari sintesis PVOH (Mansur dkk, 2007).

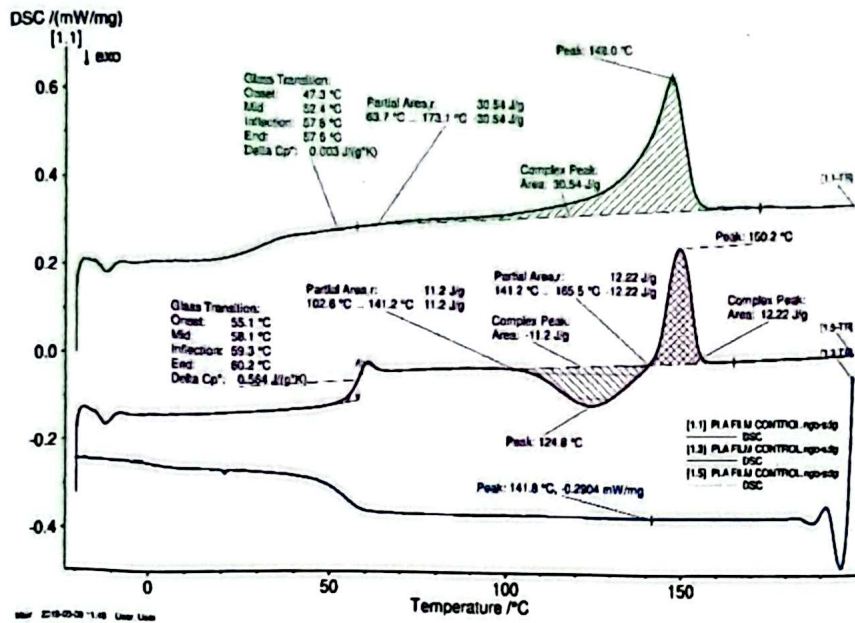
Berdasarkan pengujian FTIR yang dilakukan pada campuran film PLA/PVOH terlihat gugus fungsi dan bilangan gelombang yang tampak tidak jauh berbeda dengan hasil FTIR film PLA dan film PVOH. Hanya ada satu gugus yang tidak terlihat, yaitu gugus -OH . Gugus -OH yang tidak terlihat dikarenakan kandungannya pada campuran film relatif sedikit, konsentrasi PLA lebih dominan dibanding dengan konsentrasi PVOH. Dari hasil FTIR ini dapat diasumsikan bahwa pada campuran film PLA dan PVOH tercampur secara fisis karena tidak ada bilangan gelombang baru.

4.2 Hasil Pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

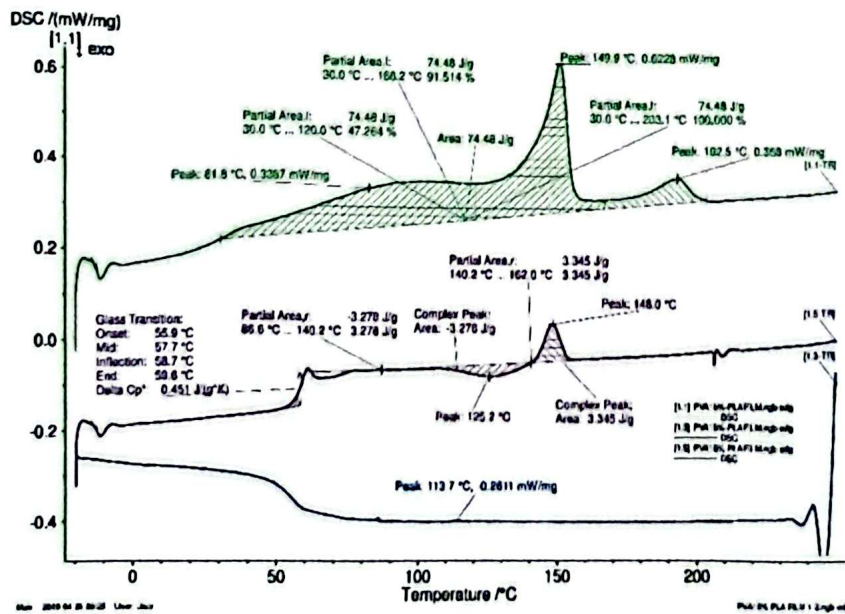
Pengujian termal pada penelitian ini menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) untuk mengetahui nilai temperatur transisi kaca (T_g), temperatur *cold crystallization* (T_{cc}), entalpi *cold crystallization* (ΔH_{cc}), temperatur leleh (T_m), entalpi pelelehan (ΔH_m) dan derajat kristalisasi (X_c) dari suatu bahan atau produk yang akan diuji (Restrepo dkk, 2018).

Pada penelitian ini proses pemanasan dimulai dari temperatur -20°C sampai 250°C lalu ditahan selama 5 menit. Kemudian didinginkan sampai temperatur -20°C lalu ditahan selama 5 menit dan dipanaskan lagi sampai temperatur 250°C . laju pemanasan dan pendinginan yaitu $10 \text{ K}/\text{min}$.

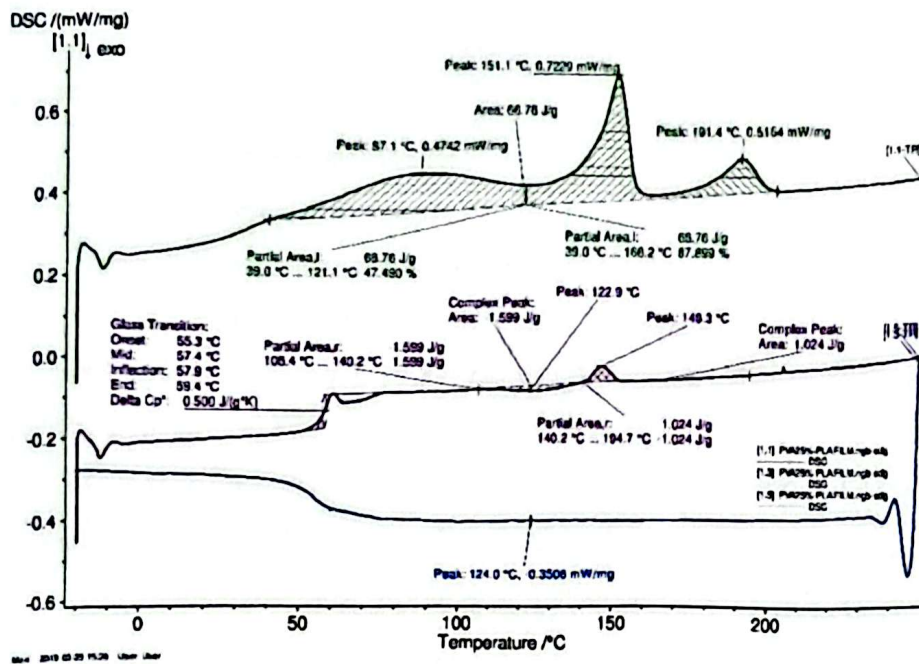
Hasil dari termogram DSC menampilkan proses endoterm dan proses eksoterm. Proses endoterm ditandai dengan adanya puncak dan proses eksoterm ditandai dengan adanya lembah. Pada grafik termogram proses endoterm terdapat dua puncak yang menunjukkan nilai T_g dan T_m , sedangkan pada proses eksoterm terdapat satu lembah yang menunjukkan nilai T_{cc} . Untuk nilai entalpi pelelehan (ΔH_m) didapat dari luas area T_m , sedangkan nilai entalpi *cold crystallization* (ΔH_{cc}) didapat dari luas area T_{cc} . Gambar IV.2, IV.3, IV.4, dan IV.5 menunjukkan hasil termogram pengujian DSC dari masing-masing film.



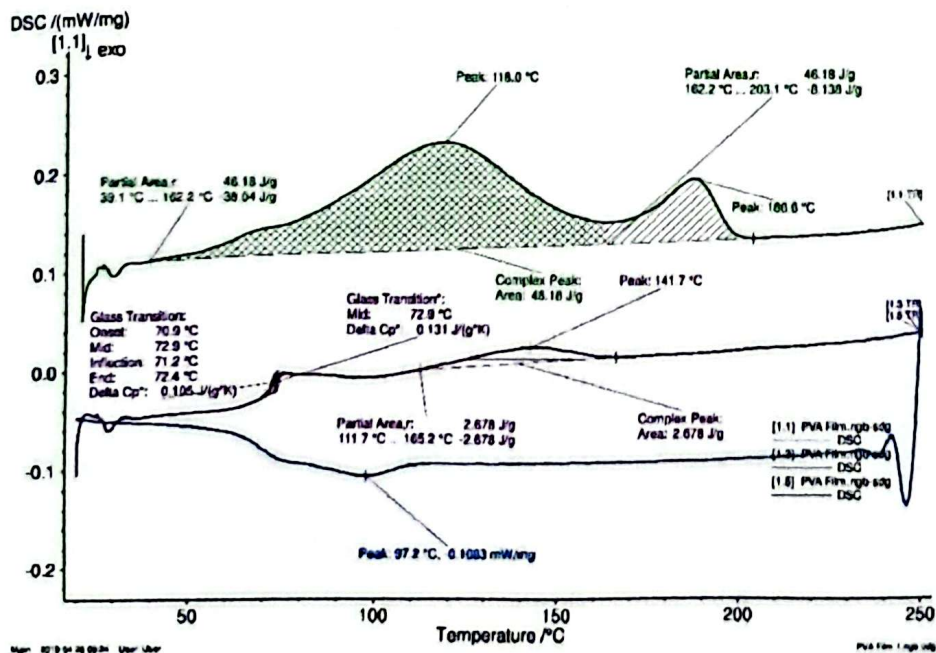
Gambar IV. 2 Grafik DSC Film PLA/PVOH dengan Rasio 100/0



Gambar IV. 3 Grafik DSC Film PLA/PVOH dengan Rasio 87/13



Gambar IV. 4 Grafik DSC Film PLA/PVOH dengan Rasio 80/20



Gambar IV.5 Grafik DSC Film PLA/PVOH dengan Rasio 0/100

Nilai derajat kristalisasi dihitung untuk mengukur total kristalisasi yang dapat dicapai pada kondisi DSC (Nonato dkk, 2019). Nilai derajat kristalisasi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

Keterangan:

X_c = Derajat kristalisasi (%)

ΔH_m = Entalpi leleh sampel (J/g)

ΔH°_m = Entalpi leleh untuk 100% kristalisasi (J/g) yaitu 93 J/g

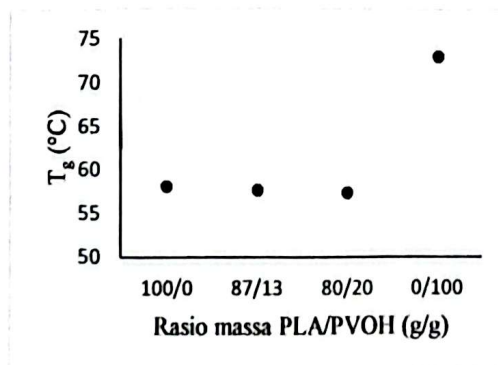
w = Fraksi berat PLA

Berdasarkan gambar IV.2, IV.3, IV.4, dan IV.5, kurva termogram hasil DSC dapat dilihat pada tabel IV.2

Tabel IV.2 Hasil Pengujian DSC Film PLA, PLA/PVOH dan PVOH

Rasio Film PLA/PVOH	Fraksi massa	T_g (°C)	T_{cc} (°C)	ΔH_{cc} (J/g)	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
100/0	1	58,1	124,8	11,2	150,2	12,22	13,14
87/13	0,87	57,7	125,2	3,278	148	3,345	4,14
80/20	0,80	57,4	122,9	1,599	146,3	1,024	1,38
0/100	1	72,9	-	-	141,7	2,678	-

4.2.1 Temperatur Transisi Kaca (T_g)

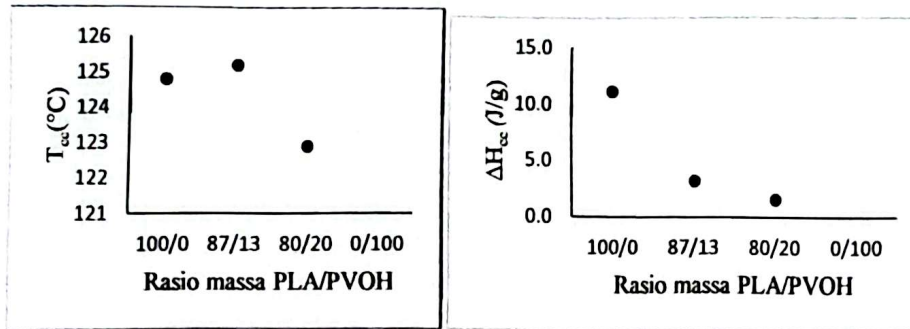


Gambar IV. 6 Pengaruh Penambahan PVOH terhadap Temperatur Transisi Kaca (T_g)

Nilai T_g campuran film yang didapat mengalami penurunan terhadap penambahan rasio PVOH yang dapat dilihat pada gambar IV.6. Dimana nilai T_g film PLA /PVOH dengan rasio 100/0 sebesar 58,1°C, dan nilai T_g film rasio 100/0 sebesar 72,9°C. Nilai T_g film yang telah ditambahkan PVOH mengalami penurunan dari nilai T_g film rasio 100/0. Nilai T_g film campuran pada rasio 87/13 yang didapat sebesar 57,7°C lalu pada rasio 80/20 mengalami penurunan menjadi 57,4°C. Hal ini juga terjadi pada penelitian yang telah dilakukan oleh Restrepo dkk (2018) yang

mana nilai T_g semakin menurun dengan penambahan rasio PVOH pada campuran film. Penurunan nilai T_g pada film disebabkan oleh terdegradasinya biofilm PLA setelah mengalami pemanasan pertama yang menyebabkan biofilm bersifat plastis (Anžlovar dkk, 2017).

4.2.2 Temperatur *Cold Crystallization* (T_{cc})



a. Pengaruh Penambahan PVOH terhadap Temperatur *cold crystallization* (T_{cc})

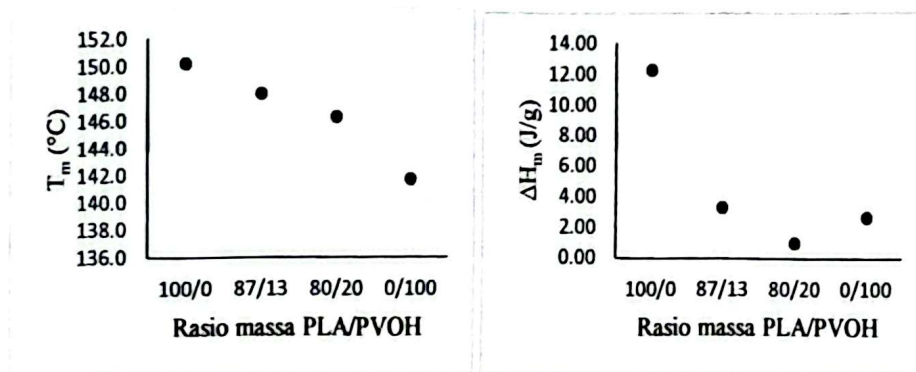
b. Pengaruh Penambahan PVOH terhadap entalpi *cold crystallization* (ΔH_{cc})

Gambar IV. 7 Pengaruh Penambahan PVOH terhadap Temperatur *Cold Crystallization* (T_{cc}) dan Entalpi *Cold Crystallization* (ΔH_{cc})

Pada pengujian DSC campuran film ini terdapat puncak eksotermik yang menunjukkan nilai T_{cc} . Temperatur *cold crystallization* terjadi karena pendinginan yang dilakukan terlalu cepat, jadi material tidak memiliki cukup waktu untuk mengkristal. Oleh karena itu, material mengkristal pada saat pemanasan kedua. Hasil yang di dapat menunjukkan perubahan nilai T_{cc} yang dapat dilihat pada gambar IV.7a, pada film PLA/PVOH dengan rasio 100/0 menunjukkan nilai T_{cc} sebesar 124,8°C, kemudian mengalami kenaikan yang tidak signifikan pada rasio 87/13 menjadi 125,2 °C, lalu nilai T_{cc} mengalami penurunan menjadi 122,9°C pada rasio 80/20. Nilai T_{cc} terendah yang didapat yaitu pada rasio 80/20, sehingga dapat diketahui bahwa pada rasio tersebut PLA mengkristal lebih cepat dibanding rasio lainnya. Untuk nilai perubahan entalpi *cold crystallization* (ΔH_{cc}) pada pengujian ini mengalami penurunan yang dapat dilihat pada gambar IV.7b, pada rasio 100/0 nilai ΔH_{cc} sebesar 11,2 J/g, kemudian pada rasio 87/13 mengalami penurunan menjadi 3,278 J/g, dan pada rasio 80/20 juga mengalami penurunan menjadi 1,599 J/g. Entalpi kristalisasi merupakan panas yang dilepaskan ketika polimer cair membentuk kristal. Nilai ΔH_{cc} yang didapat mengalami penurunan terhadap

penambahan rasio PVOH, sehingga dapat dikatakan penambahan PVOH dalam film PLA mengganggu kristalisasi PLA ini diindikasikan dari pembentukan kristal yang sedikit, sehingga panas yang dilepas lebih kecil dari film PLA/PVOH dengan rasio 100/0.

4.2.3 Temperatur Pelelehan (T_m)



a. Pengaruh Penambahan PVOH terhadap Temperatur leleh (T_m)

b. Pengaruh Penambahan PVOH terhadap Entalpi Pelelehan (ΔH_m)

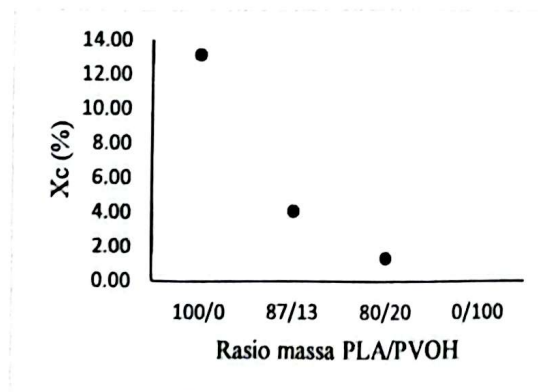
Gambar IV. 8 Pengaruh Penambahan PVOH terhadap Temperatur leleh (T_m) dan Entalpi Pelelehan (ΔH_m)

Hasil pengujian campuran film ini menunjukkan nilai T_m yang menurun terhadap penambahan rasio PVOH yang dapat dilihat pada gambar IV.8a. Pada film PLA/PVOH dengan rasio 100/0 menunjukkan nilai T_m sebesar 150,2°C kemudian mengalami penurunan pada rasio 87/13 menjadi 148°C, pada rasio 80/20 juga mengalami penurunan menjadi 146,3°C, begitu pun dengan rasio 0/100 mengalami penurunan menjadi 141,7°C. Hal ini terjadi karena derajat kristalinitas berbanding lurus dengan nilai T_m . Fenomena atas memiliki kemiripan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Restrepo dkk (2018). Karena derajat kristalinitas PVOH lebih rendah dari derajat kristalinitas PLA, film campuran PLA/PVOH mengalami penurunan nilai T_m dibanding film PLA/PVOH dengan rasio 100/0. Dari nilai T_m yang diketahui, dapat dianalisis sifat mekanik material. Semakin rendah nilai T_m maka, semakin rendah pula derajat kristalinitas dari polimer. Ini berhubungan dengan molekul teratur dan acak dari polimer, dimana molekul teratur lebih sulit dilelehkan dibanding dengan molekul acak. Jadi, dapat diketahui bahwa film PLA

lebih kaku dibanding rasio film campuran lainnya. Karena film PLA lebih banyak molekul teratur dibanding dengan rasio film campuran lainnya.

Nilai ΔH_m juga mengalami penurunan terhadap penambahan rasio PVOH pada film yang dapat dilihat pada gambar IV.8b. Pada film PLA/PVOH dengan rasio 100/0 nilai ΔH_m yaitu 12,22 J/g, kemudian pada film PLA/PVOH dengan rasio 87/13 menurun menjadi 3,345 J/g, pada rasio 80/20 juga menurun menjadi 1,024 J/g, untuk rasio 0/100 mengalami kenaikan yang tidak signifikan menjadi 2,678 J/g. Entalpi pelelehan merupakan panas yang diserap ketika polimer cair membentuk kristal. Nilai ΔH_m yang didapat relatif mengalami penurunan karena ΔH_m PVOH memiliki nilai yang rendah, sehingga saat PVOH ditambahkan dalam film, nilai ΔH_m dalam campuran memiliki nilai ΔH_m yang lebih rendah dari ΔH_m film PLA/PVOH dengan rasio 100/0.

4.2.4 Derajat Kristalisasi (X_c)



Gambar IV. 9 Pengaruh Penambahan PVOH terhadap Derajat Kristalisasi PLA (X_c)

Perhitungan nilai X_c dicantumkan di lampiran E dan diketahui nilai X_c film PLA/PVOH dengan rasio PLA 100/0 sebesar 13,14%, kemudian pada rasio 87/13 nilai X_c mengalami penurunan menjadi 4,14% dan pada rasio 80/20 mengalami penurunan menjadi 1,38% yang dapat dilihat pada gambar IV.9. Fenomena ini juga terjadi pada penelitian yang telah dilakukan oleh Restrepo dkk (2018), sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan rasio PVOH dapat menurunkan nilai derajat kristalisasi PLA dalam film. Nilai X_c menurun terhadap penambahan PVOH terjadi karena kristalisasi PLA dalam film dipengaruhi oleh pembentukan kristal yang

tidak sempurna, karena keberadaan PVOH dapat menyebabkan pengenceran inti kristal PLA dan kemungkinan adanya gangguan rantai antara PLA dan PVOH karena kompatibilitas sebagian dari campuran (Restrepo dkk, 2018).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data hasil pengujian didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji gugus fungsi dapat disimpulkan bahwa penambahan PVOH pada biofilm PLA tidak menunjukkan perubahan yang signifikan, hanya saja gugus -OH pada campuran film tidak terlihat. Hal ini terjadi karena penambahan konsentrasi PVOH yang relatif sedikit.
2. Pengaruh penambahan PVOH terhadap sifat termal dari biofilm PLA yaitu:
 - a. Penambahan rasio PVOH yang semakin banyak menyebabkan penurunan pada temperatur transisi kaca (T_g) yang disebabkan oleh terdegradasinya biofilm PLA setelah mengalami pemanasan pertama yang menyebabkan biofilm bersifat plastis,
 - b. Temperatur *cold crystallization* (T_{cc}), entalpi *cold crystallization* (ΔH_{cc}), temperatur leleh (T_m), entalpi pelelehan (ΔH_m), dan derajat kristalisasi (X_c) juga mengalami penurunan dengan penambahan rasio PVOH yang semakin banyak karena dipengaruhi oleh pembentukan kristal yang tidak sempurna, sehingga keberadaan PVOH dapat menyebabkan pengenceran inti kristal PLA.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dan analisis data hasil penelitian didapatkan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian biodegradasi untuk mengetahui degradasi dari biofilm PLA/PVOH terhadap mikroorganisme.
2. Perlu dilakukan uji mekanik, yaitu kekuatan tarik dan modulus untuk mengetahui kekuatan dan kekakuan dari biofilm PLA/PVOH.

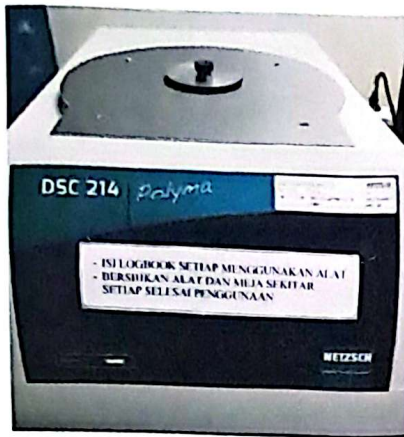
DAFTAR PUSTAKA

- Anžlovar, Alojz., Andrej Kržan., dan Ema Žagar., 2017. Degradation of PLA/ZnO and PHBV/ZnO Composites Prepared by Melt Processing, *Arabian Journal of Chemistry*, Slovenia.
- Avella Maurizio, Buzarovska Aleksandra, Errico Maria Emanuela, Gentile Gennaro dan Grozdanov Anita. 2009. *Eco-Challenges of Bio-Based Polymer Composites*.
- Chariyachotilert, Chaiyatas. 2011. *Assessment of The Properties of Poly (Lactic Acid) Sheets with Different Amounts of Post-Consumer Recycled Poly (Lactic Acid)*. Michigan State University.
- Drzezdzon Joanna, Jacewicz Dagmara, Sielicka Alicja, dan Chmurzynski Lech. 2019. *Characterization of Polymers Based on Differential Scanning Calorimetry Based Techniques*. *Trends in Analytical Chemistry* 110 51-56.
- Garlotta Donald. 2002. *a Litterature Review of Poly (Lactic Acid)*. *Journal of Polymers and the Environment*, Vol. 9, No.2.
- Ghozali Muhammad, Triwulandari Evi, Meliana Yenny, Fahmiati Sri, Fatriasari Widya, Laksana Raden Permana Budi, Masruchin Nanang, dan Suryanegara Lisman. 2018. *Thermal Properties of Polylactic Acid/Zinc Oxide Biocomposite Film*. *Proceedings of the 4th International Symposium on Applied Chemistry*.
- Grande Rafael dan Carvalho Antonio J.F. 2011. *Compatible Ternary Blends of Chitosan/poly (vinyl alcohol)/poly (lactic acid) by Oil-in-Water Emulsion Processing*. Department of Materials Engineering of Sao Paulo, Av. Trabalhador Sao-carlense, 400, 13566-590, Sao Carlos, SP Brazil.
- Grigale Zane, Kalinias Martins, Dzene Anda, dan Tupureina Velta. 2010. *Biodegradable Plasticized Poly (lactic acid) Films*. *Scientific Journal of Riga Technical University*.
- Gregorova Adriana. 2013. *Application of Differential Scanning Calorimetry to the Characterization of Biopolymers*. Article.

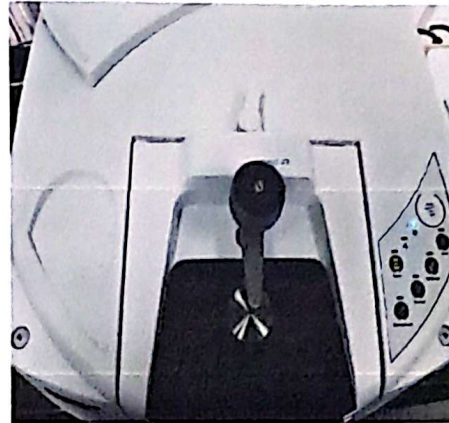
- Guirguis, Osiris W. dan Moselhey, Manal T. H. 2012. *Thermal and Structure Studies of Poly (vinyl Alcohol) and Hydroxypropyl Cellulose blends*. Biophysics Department, Faculty of Science, Cairo, Egypt. Vol. 4, No.1, 57-67.
- Howeel, Cecelia K. dan Ammar, Saad H. 2008. *Preparation of Polivinyll Alcohol from Local Raw Material*. Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering Vol.9 No.1 15-21. ISSN: 1997-4884
- Jen-Taut Yeh, Ming-Chien Yang, Ching-Ju Wu, Xiong Wu dan Chin-San Wu. 2008. *Study on the Crystallization Kinetic and Characterization of Poly (Lactic Acid) and Poly (Vinyl Alcohol) Blends*. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 47: 1289-1296. ISSN: 0360-2559.
- Kaiser, Gabriele., Schmölder, Stefan., Straßer, Claire., Pohland, Sebastian., dan Turan, Seher. 2015. NETZSCH-Gerätebau GmbH: Handbook DSC (Defferential Scanning Calorimetry). Germany
- Kodre, K V., Attarde, S R., Yendhe, P R., Patil, R Y., dan Barge, V U., 2014. Differential Scanning Calorimetry: A Review, Research and Reviews: Journal of Pharmaceutical Analysis, India.
- Lipsa Rodica, Tudorachi Nita, dan Vasile Cornelia. 2008. *Poly (Vinyl Alcohol) / Poly (Lactic Acid) Blends Biodegradable Films Doped With Colloidal Silver*. Institute of Macromolecular Chemistry, Gr. Ghica Voda Alley, 41A, 700487, Iasi, Romania. Revenue Romaine Chimie.
- Mansur Herman S., Sadahira Carolina M., Souza Adriana N., dan Mansur Alexandra A.P. 2007. *FTIR Spectroscopy Characterization of Poly (Vinyl Alcohol) Hydrogel with Different Hydrolysis Degree and Chemically Crosslinked with Glutaraldehyde*. Materials Science and Engineering C 28 (2008) 539 – 548.
- Mundiyono, Agus. 2016. *Kimia Polimer: Polymer Structure and Synthesis*. Politeknik STMI Jakarta.
- Mohsin Mahmood, Hossin Asiful, Haik Yousef. 2011. *Thermal and Mechanical Properties of Poly (vinyl alcohol) Plasticized with Glycerol*. Journal of Science, Vol. 122, 3120-3109.

- Nonato, R.C., Mei, L.H.I., Bonse, B.C., Chinaglia, E.F., dan Morales, A.R. 2019. *Nanocomposites of PLA containing ZnO nanofibers made by solvent cast 3D printing: Production and characterization*, European Polymer Journal.
- Ogur, E. 2005. *Polyvinyl Alcohol: Materials, Processing and Applications*. Volume 16, Number 12, 2005. ISSN: 0889-3144.
- Pavia, D.L., Lampan, G.M., Kriz, G.S., dan Vyvyan, J.R. 2009. *Introduction to Spectroscopy*, Fourth Edition, Brooks/Cole, Washington, USA.
- Purnavita Sari, Sriyana Herman Yoseph, dan Hartini Sri. 2014. *Pembuatan Biofilm Poli Asam laktat/Poli Vinil Alkohol Menggunakan Metode Solution Casting*. Prosiding PNES II 2014. Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang.
- Restrepo Ivan, Medina Carlos, Meruane Viviana, Fakhrabadi Ali Akhbari, Flores Paulo, dan Llamazares Saddys Rodrigues. 2018. *The Effect of Molecular Weight and Hydrolysis Degree of Poly (vinyl alcohol) on the Thermal and Mechanical Properties of Poly (lactic acid)/PLA Blends*. ISSN 1678-5169.
- Sin, Lee Tin., Rahmat, Abdul Razak., dan Rahman, W.A.W.A. 2012. *Poly(lactic Acid: Biopolymer Technology and Applications*. ISBN 78-1-4377-4459-0.
- Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry. 2013. *ASTM International*. United State: Universidad Del Valle pursuant to License Agreement.
- Shuai Xintao, He Yong, Asakawa Naoki, dan Inoue Yoshio. 2001. *Miscibility and Phase Structure of Binary Blends of Poly(L-lactide) and Poly (vynil alcohol)*. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 81.
- Stuart, Barbara. 2004. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Wiley & Sons, Ltd. ISBNs: 0-470-85427-8 (HB); 0-470-85428-6 (PB).

LAMPIRAN A
GAMBAR ALAT



*Differential Scanning
Calorimetry (DSC)*



Fourier Transform Infrared (FTIR)

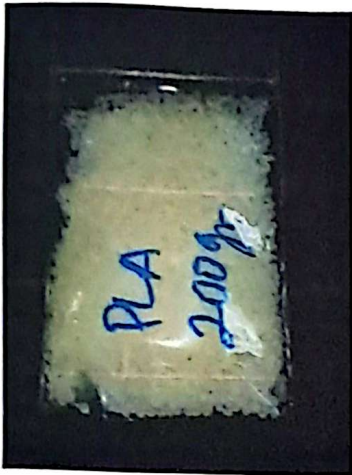


Hot Plate



Neraca digital

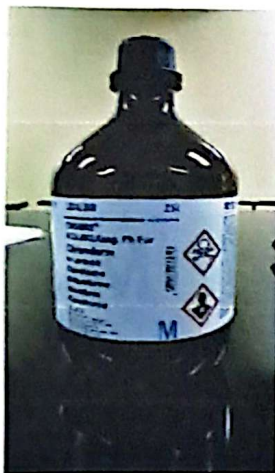
LAMPIRAN B
GAMBAR BAHAN



Poly-lactide Acid (PLA)



Polyvinyl Alcohol (PVOH)



Kloroform



Akuades

LAMPIRAN C

GAMBAR PROSES DAN HASIL



Pelarutan Bahan



Pencampuran Bahan



Casting dalam Cawan Petri



Hasil Penguapan dalam Lemari
Asam

LAMPIRAN D
GAMBAR PRODUK



Film PLA/PVOH dengan rasio
100/0



Film PLA/PVOH dengan rasio
87/13



Film PLA/PVOH dengan rasio
80/20



Film PLA/PVOH dengan rasio
0/100

LAMPIRAN E

PERHITUNGAN

1. Perhitungan fraksi massa

- Fraksi massa PLA dengan rasio 100/0

$$= \frac{\text{massa PLA}}{\text{total massa PLA/PVOH}} = \frac{3g}{3g} = 1$$

- Fraksi massa PLA dengan rasio 87/13

$$= \frac{\text{massa PLA}}{\text{total massa PLA/PVOH}} = \frac{3g}{(3+0,45)g} = 0,87$$

- Fraksi massa PLA dengan rasio 80/20

$$= \frac{\text{massa PLA}}{\text{total massa PLA/PVOH}} = \frac{3g}{(3+0,75)g} = 0,80$$

- Fraksi massa PVOH dengan rasio 0/100

$$= \frac{\text{massa PVA}}{\text{massa PVA}} = \frac{1g}{1g} = 1$$

2. Perhitungan derajat kristalisasi (X_c):

- X_c film PLA/PVOH dengan rasio 100/0 (% kristalin)

$$= \frac{\Delta H_m}{\Delta H^{\circ m}} \times \frac{100}{w} = \frac{12,22 \text{ J/g}}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100}{1} = 13,14 \%$$

- X_c film PLA/PVOH dengan rasio 87/13 (% kristalin)

$$= \frac{\Delta H_m}{\Delta H^{\circ m}} \times \frac{100}{w} = \frac{3,345 \text{ J/g}}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100}{0,87} = 4,14 \%$$

- X_c PLA/PVOH dengan rasio 80/20 (% kristalin)

$$= \frac{\Delta H_m}{\Delta H^{\circ m}} \times \frac{100}{w} = \frac{1,024 \text{ J/g}}{93 \text{ J/g}} \times \frac{100}{0,80} = 1,38 \%$$