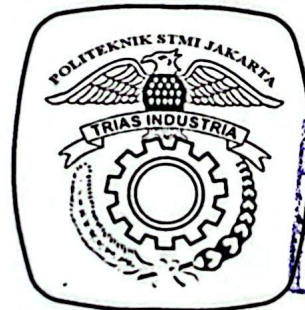


No. Dok: 1968
Copy : 1

D
668-423
Her
P

LAPORAN TUGAS AKHIR
PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* CaCO₃ TERHADAP
GUGUS FUNGSI DAN SIFAT TERMAL BIOFILM
***POLYLACTIC ACID* (PLA)**
DI POLITEKNIK STMI JAKARTA
(JULI 2018 – MEI 2019)



DATE BILINGUALIZATION	
Tgl. Penulisan	4/10/2021
No. Masuk Buku	08/Tep/SB/21

OLEH:

YEMIMA PUTRI HERLINA 1515051

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

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL PENELITIAN

PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* CaCO₃ TERHADAP
KARAKTERISTIK KIMIA DAN SIFAT TERMAL BIOFILM
POLYLACTIC ACID (PLA)

DISUSUN OLEH :

NAMA : YEMIMA PUTRI HERLINA
NIM : 1515051
PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER


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

Jakarta, Mei 2019

Menyetujui,

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer

Dosen Pembimbing



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP: 196405231980031004



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

**POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I**

**LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS
AKHIR**

JUDUL TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* CaCO₃ TERHADAP
GUGUS FUNGSI DAN SIFAT TERMAL BIOFILM
POLYLACTIC ACID (PLA)

DISUSUN OLEH :

NAMA : YEMIMA PUTRI HERLINA
NIM : 1515051
PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

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

Jakarta, Juni 2019

Penguji

Dr. Ir. Lintong Sopandi H, M.ChE
NIP: 195803221986031002

Penguji

Ir. Roosmariharso, MBA
NIP: 195405231980031004

Penguji

Fitria Ika Arvanti, S.T., M.Eng
NIP: 198505112014022001

Dosen Pembimbing

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

LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN LAPORAN TUGAS AKHIR
PENELITIAN

Nama : Yemima Putri Herlina

NIM : 1515051

Judul TA Penelitian : Pengaruh Penambahan *Filler* CaCO₃ terhadap Karakteristik Kimia dan Sifat Termal Biofilm *Polylactic Acid* (PLA)

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

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
7/6-18	-	Diskusi perencanaan topik penelitian	
3/7-18	-	Diskusi studi literatur	
26/9-18	I	Diskusi penulisan laporan	
15/10-18	I	Diskusi batasan masalah dan latar belakang	
16/11-18	II	Diskusi teori DSC	
11/12-18	II	Diskusi ASTM D882-02 (UTM)	
12/12-18	II	Diskusi tabel perancangan	
14/1-19	II, III	Diskusi jurnal utama dan tabel perancangan	
15/1-19	III	Diskusi uji pendahuluan, alat dan bahan, dan tabel perancangan penelitian	
16/1-19	III	Diskusi hasil uji pendahuluan 2:20 dengan dan tanpa sisserol	
18/1-19	I, II, III	Diskusi tujuan penelitian, Tinjauan	

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
		pustaka, dan hasil uji pendahuluan	
		2:30 dan 3:30	
24/1-19	III	Diskusi perhitungan gelas;	
20/1-19	III	Diskusi hasil uji pendahuluan, Metode Penelitian	
24/1-19	III	Diskusi Metode Penelitian	
4/2-19	IV	Diskusi hasil uji pendahuluan	
24/2-19	II	Diskusi hasil uji penambahan CaCO ₃ dan Konten PLA	
28/2-19	I	Diskusi hasil kontrol 1 PLA DSC	
4/3-19	IV	Diskusi hasil kontrol 2 PLA DSC	
5/3-19	IV	Diskusi hasil kontrol 3 PLA DSC	
18/3-19	IV	Diskusi hasil film PLA / CaCO ₃ 25% b	
29/3-19	IV	Diskusi hasil film PLA / CaCO ₃	
1/4-19	IV	Diskusi excel tabel, grafik, perhitungan	
10/4-19	IV	Diskusi hasil FTIR dan hasil DSC	
25/4-19	IV	Diskusi hasil FTIR dan hasil DSC	
2/5-19	V	Diskusi kesimpulan, saran, abstrak	

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 : YEMIMA PUTRI HERLINA

NIM : 1515051

Program Studi : TEKNIK KIMIA POLIMER

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir yang saya buat dengan judul “Pengaruh Penambahan *Filler* CaCO₃ Terhadap Gugus Fungsi dan Sifat Termal Biofilm *Polylactic Acid* (PLA)”, maka :

- dibuat dan diselesaikan sendiri 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 saya.

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

Jakarta, Mei 2019

Yang, Membuat Pernyataan



Yemima Putri Herlina

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul "*Pengaruh Penambahan Filler CaCO₃ Terhadap Gugus Fungsi dan Sifat Termal Biofilm Polylactic Acid (PLA)*". Adapun maksud dan tujuan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini merupakan sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan Rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Dr. Mustofa, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
3. Ir. Roosmarharso, M.B.A selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
4. Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng selaku Sekretaris Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
5. Syaiful Ahsan, S.T., M.T selaku dosen pembimbing dan Kepala Laboratorium Teknik Kimia Polimer yang telah membantu penulis, memberikan arahan dan masukan dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
6. Ida Nur Apriani, S.ST., M.Si selaku laboran Laboratorium Teknik Kimia Polimer yang telah membantu dalam proses preparasi dan pengujian sampel yang digunakan dalam tugas akhir ini.
7. Orang tua dan keluarga besar, yang selalu mendoakan dan mendukung baik secara moral maupun material.
8. Sahabat yang telah mendampingi dan mendukung penulis sampai saat ini.
9. Teman-teman Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta angkatan 2015 selaku kawan seperjuangan.

10. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian laporan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan laporan ini. Akhir kata, penulis mengharapkan agar laporan yang telah dibuat ini dapat bermanfaat untuk memberikan informasi dalam mengembangkan penggunaan plastik *biodegradable* di kehidupan sehari-hari.

Jakarta, Mei 2019

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan CaCO_3 pada biofilm *polylactic acid* (PLA). Variasi jumlah CaCO_3 yang ditambahkan pada biofilm PLA adalah 2,5%, 5%, dan 15% dari berat PLA. Pembuatan biofilm PLA dan biofilm PLA/ CaCO_3 menggunakan metode *solution casting*. Hasil pengujian dengan FTIR menunjukkan penambahan CaCO_3 pada biofilm PLA tidak mempengaruhi gugus fungsi PLA. Hasil pengujian dengan DSC menunjukkan pengaruh penambahan CaCO_3 pada biofilm PLA, yaitu: i) menyebabkan kenaikan nilai temperatur transisi kaca (T_g) pada *first heating* dan penurunan pada *second heating*, ii) menyebabkan penurunan nilai temperatur leleh (T_m) pada *first heating* dan *second heating*, iii) menyebabkan penurunan nilai entalpi pelelehan (ΔH_m) pada *first heating* dan kenaikan pada *second heating*, iv) tidak mempengaruhi nilai temperatur *cold crystallization* (T_{cc}) pada *first heating* dan menyebabkan penurunan nilai T_{cc} pada *second heating*, v) tidak mempengaruhi nilai entalpi *cold crystallization* (ΔH_{cc}) pada *first heating* dan menyebabkan kenaikan nilai entalpi ΔH_{cc} pada *second heating*.

Kata kunci : *polylactic acid* (PLA), CaCO_3 , biofilm, *filler*, gugus fungsi, sifat termal.

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR.....	iii
LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN LAPORAN TUGAS AKHIR	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	vi
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Plastik.....	5
2.2 Poli Asam Laktat atau <i>Polylactic Acid</i> (PLA).....	7
2.3 Biofilm Poli Asam Laktat	8
2.4 Kalsium Karbonat (CaCO ₃).....	9
2.5 Pengujian Gugus Fungsi dengan Spektroskopi <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	11

2.6	Pengujian Sifat Termal dengan <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC)	14
BAB III METODE PENELITIAN..... 16		
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	16
3.2	Alat dan Bahan.....	16
3.2.1	Alat.....	16
3.2.2	Bahan.....	16
3.3	Variabel Penelitian.....	17
3.3.1	Variabel Tetap.....	17
3.3.2	Variabel Bebas.....	17
3.4	Prosedur Penelitian.....	17
3.5	Prosedur Pembatan Biofilm PLA dan PLA/CaCO ₃	18
3.5.1	Pelarutan Bahan.....	18
3.5.2	Pencampuran.....	18
3.5.3	<i>Casting</i> dalam petri.....	19
3.5.4	Penguapan dalam lemari asam.....	19
3.6	Karakterisasi Sampel.....	19
3.6.1	Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	19
3.6.2	Pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC).....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 22		
4.1.	Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	22
4.1.1	Hasil Pengujian FTIR Biofilm PLA Kontrol.....	22
4.1.2	Hasil Pengujian FTIR Serbuk CaCO ₃	23
4.1.3	Hasil Pengujian FTIR Biofilm PLA/CaCO ₃ 2,5%.....	24
4.1.4	Hasil Pengujian FTIR Biofilm PLA/CaCO ₃ 5%.....	25

4.1.5	Hasil Pengujian FTIR Biofilm PLA/CaCO ₃ 15%.....	26
4.2.	Hasil Pengujian <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC).....	27
4.2.1	Temperatur Transisi Kaca (T _g).....	29
4.2.2	Entalpi Leleh (ΔH_m).....	31
4.2.3	Temperatur <i>Cold Crystallization</i> (T _{cc}).....	31
4.2.4	Entalpi <i>Cold Crystallization</i> (ΔH_{cc}).....	31
4.2.5	Derajat Kristalisasi (X _c).....	32
BAB V PENUTUP		33
5.1	Kesimpulan	33
5.2	Saran	34
DAFTAR PUSTAKA		35
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Kode plastik.....	5
Gambar II.2 Plastik <i>Biodegradable</i>	6
Gambar II.3 Struktur <i>Polylactic Acid</i> (PLA)	8
Gambar II.4 Struktur Kalsium Karbonat.....	10
Gambar II.5 Komponen Dasar Spektrometer FTIR.....	11
Gambar II.6 Spektra FTIR	12
Gambar II.7 Termogram Kurva DSC.....	14
Gambar III.1 Prosedur Penelitian	18
Gambar IV.1 Spektra FTIR Biofilm PLA Kontrol.....	22
Gambar IV.2 Spektra FTIR Serbuk CaCO_3	23
Gambar IV.3 Spektra FTIR PLA/ CaCO_3 2,5%.....	24
Gambar IV.4 Spektra FTIR PLA/ CaCO_3 5%.....	25
Gambar IV.5 Spektra FTIR PLA/ CaCO_3 15%.....	26
Gambar IV. 6 Termogram DSC Biofilm PLA Kontrol.....	27
Gambar IV.7 Temperatur Transisi Kaca pada Berbagai Konsentrasi CaCO_3	30
Gambar IV.8 Termogram DSC Biofilm PLA/ CaCO_3 2,5%.....	30
Gambar IV.9 Derajat Kristalisasi pada Berbagai Konsentrasi CaCO_3	32

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Perbedaan Plastik Konvensional dan Plastik <i>Biodegradable</i>	7
Tabel II.2	Penelitian Pembuatan Biofilm PLA	8
Tabel II.3	Sifat Fisik dan Kimia CaCO ₃	10
Tabel II.4	Jenis Ikatan, Tipe Getaran dan Bilangan Gelombang	12
Tabel III.1	Variasi Komposisi Biofilm PLA Kontrol dan Biofilm PLA/CaCO ₃ ..	17
Tabel IV.1	Hasil Pengujian DSC Biofilm PLA Kontrol, PLA/CaCO ₃ <i>First Heating</i>	28
Tabel IV.2	Hasil Pengujian DSC Biofilm PLA Kontrol, PLA/CaCO ₃ <i>Second Heating</i>	29

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Manusia memiliki beragam kebutuhan sehari-hari, seperti kebutuhan untuk rumah tangga dan pekerjaan. Seiring berkembangnya teknologi, plastik digunakan sebagai kemasan yang tidak hanya digunakan untuk peralatan elektronik saja tetapi juga untuk kemasan peralatan rumah tangga, perlengkapan kantor, perlengkapan medis, perlengkapan industri, sampai menjadi kemasan untuk makanan dan minuman. Plastik dipilih menjadi kemasan untuk beragam kebutuhan sehari-hari dikarenakan harganya yang ekonomis, mudah dibawa karena ringan, tetapi kuat meskipun ringan dan awet. Kamsiati dkk. (2017) mengatakan bahwa menurut Asosiasi Industri Olefin Aromatik dan Plastik Indonesia (INAPLAS) konsumsi masyarakat Indonesia akan plastik pada tahun 2015 mencapai 17 kg/kapita/tahun.

Dampak positif dari plastik dapat berubah menjadi dampak negatif akibat limbah plastik yang sulit terurai di alam sehingga menimbulkan penumpukan limbah plastik yang mencemari lingkungan. Bukan hanya ekosistem sumber daya manusia saja yang dapat terganggu tetapi ekosistem sumber daya alam juga terganggu. Penggunaan plastik yang sulit terurai atau plastik konvensional dapat digantikan menjadi plastik yang mudah diurai atau plastik *biodegradable*. Plastik *biodegradable* merupakan plastik yang ramah lingkungan, plastik ini dapat terbuat dari selulosa, tapioka, poli asam laktat atau *polylactic acid* (PLA) ataupun hasil pertanian yang diperbaharui. Penggunaan plastik *biodegradable* dapat mengurangi permasalahan lingkungan yang disebabkan oleh plastik.

Plastik *biodegradable* sudah banyak dikembangkan tetapi karena harga plastik *biodegradable* lebih mahal daripada plastik konvensional menyebabkan plastik *biodegradable* belum banyak digunakan oleh masyarakat. Keberadaan plastik *biodegradable* yang berasal dari poli asam laktat banyak digunakan karena

berasal dari bahan baku pati yang banyak tersedia di alam Indonesia tetapi PLA tergolong lebih rapuh daripada plastik konvensional (Kamsiati dkk., 2017). Untuk mengatasi kekurangan dari plastik *biodegradable* yang berasal dari poli asam laktat dapat menambahkan *filler*.

CaCO_3 digunakan sebagai *filler* untuk memperbaiki kekurangan dari polimer, penggunaan *filler* CaCO_3 sudah banyak digunakan karena tersedia dalam jumlah besar di alam yang menyebabkan harganya yang relatif ekonomis. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Aframehr dkk., 2017 struktur morfologi PLA/nano CaCO_3 merupakan hal penting karena sifat mekanik dan stabilitas termal bergantung pada struktur morfologi PLA/ CaCO_3 , penambahan CaCO_3 pada biofilm PLA tidak mempengaruhi gugus fungsi biofilm PLA tetapi menunjukkan kehadiran gugus fungsi CO_3^{2-} pada biofilm PLA. Kenaikan derajat kristalisasi (X_c) pada biofilm PLA/nano *precipitated* CaCO_3 (NPCC) didapatkan oleh penelitian yang dilakukan oleh Chow dkk., 2016. Dari penelitian tersebut biofilm poli asam laktat yang dihasilkan dapat digunakan sebagai kemasan makanan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, permasalahan yang diangkat pada penelitian ini, yaitu :

1. bagaimana pengaruh penambahan CaCO_3 terhadap gugus fungsi biofilm PLA dan biofilm PLA/ CaCO_3 ?
2. bagaimana pengaruh penambahan CaCO_3 terhadap sifat termal biofilm PLA dan biofilm PLA/ CaCO_3 ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah untuk penelitian ini adalah :

1. bahan baku berupa PLA, bahan pengisi berupa CaCO_3 , dan bahan-bahan yang digunakan merupakan bahan komersil,
2. komposisi CaCO_3 yang digunakan 2,5%, 5% dan 15% dari berat PLA,
3. komposisi PLA yang digunakan 3 gram,
4. proses pembuatan biofilm menggunakan metode *solution casting*,

5. sifat termal yang diamati adalah temperatur transisi kaca (T_g), temperatur leleh (T_m), *Cold Crystallization Temperature* (T_{cc}), entalpi leleh (ΔH_m), entalpi kristalisasi (ΔH_{cc}),
6. pengujian gugus fungsi dilakukan dengan metode *Attenuated Total Reflectance* (ATR) menggunakan Spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Nicolet iS10,
7. pengujian sifat termal dilakukan menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) Netzch 214 polyme.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah untuk :

1. mengetahui pengaruh penambahan CaCO_3 terhadap gugus fungsi biofilm PLA dan biofilm PLA/ CaCO_3 ,
2. mengetahui pengaruh penambahan CaCO_3 terhadap sifat termal biofilm PLA dan biofilm PLA/ CaCO_3 .

1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini memberikan prosedur pembuatan biofilm.
2. Penelitian ini memberikan informasi pengaruh penambahan CaCO_3 terhadap gugus fungsi biofilm PLA dan biofilm PLA/ CaCO_3 .
3. Penelitian ini memberikan informasi pengaruh penambahan CaCO_3 terhadap sifat termal biofilm PLA dan biofilm PLA/ CaCO_3 .

1.6 Sistematika Penelitian

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 plastik, PLA/CaCO₃, alat pengujian berupa *differential scanning calorimetri* (DSC), spektroskopi *fourier transform infrared* (FTIR) serta 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 biofilm PLA kontrol, biofilm PLA/CaCO₃ serta 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

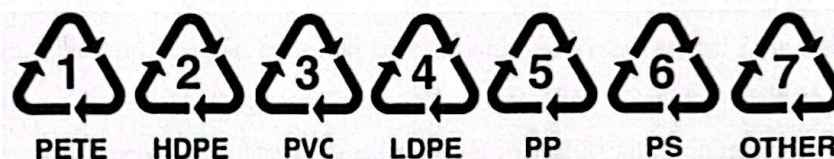
Bab ini berisi dua bagian, kesimpulan dan saran yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang telah didapat pada bab sebelumnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

Plastik adalah bahan yang paling sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaan plastik banyak dilakukan karena memiliki kelebihan antara lain ekonomis, ringan, tahan air, transparan, mudah dibentuk, mudah diberi warna, tidak mudah pecah, isolator panas dan listrik yang baik serta mudah terjangkau oleh masyarakat. Disamping kelebihan, plastik juga memiliki kekurangan yaitu sulit terurai di alam sehingga limbah dari plastik mengalami penumpukan dan berdampak buruk terhadap lingkungan. Plastik dapat digunakan sebagai kebutuhan dasar dalam pembuatan rumah tangga, otomotif, dan elektronik (Kamsiati dkk., 2017).



Gambar II.1 Kode plastik

Sumber: UNEP, 2009

Polimer berdasarkan sifat termal terdiri dari dua sifat yaitu termoset dan termoplastik. Polimer yang dapat diubah kembali ke bentuk semula setelah dilakukan modifikasi melalui pemanasan maupun tidak disebut termoplastik. *Poly ethylene*, *poly styrene*, dan *poly vinyl chloride* adalah beberapa contoh dari termoplastik. Sedangkan termoset adalah polimer yang tidak dapat diubah kembali ke bentuk semula setelah dilakukan modifikasi melalui pemanasan maupun tidak. *Phenol formaldehyde* dan *urea formaldehyde* adalah beberapa contoh dari termoset. Gambar II.1 menampilkan 7 kode dalam plastik yang digunakan untuk membedakan plastik yang mudah didaur ulang dan sulit untuk didaur ulang. Semakin tinggi nomer kode akan semakin mudah didaur ulang (UNEP, 2009). Biodegradasi berarti proses kimia melibatkan mikroorganisme

yang ada di lingkungan untuk mengubah bahan plastik menjadi zat alam seperti air dan karbon dioksida. Proses biodegradasi tergantung pada temperatur dan keadaan lokasi bahan. Plastik *biodegradable* dikatakan ramah lingkungan karena dapat terdegradasi oleh alam dalam waktu 3 sampai 6 bulan (Kamsiati dkk., 2017).

Limbah plastik yang menumpuk menyebabkan kerusakan pada lingkungan. Salah satu cara menanggulangi meningkatnya limbah plastik adalah dengan mengganti penggunaan plastik yang sulit diurai ke plastik yang mudah diurai atau dapat disebut plastik *biodegradable*. Tabel II.1 menunjukkan perbedaan antara plastik konvensional dengan plastik *biodegradable*. Plastik *biodegradable* umumnya terbuat dari pati. Contoh pati yang digunakan adalah pati yang berasal dari ubi kayu, sagu dan jagung, gambar II.2 menunjukkan contoh dari plastik *biodegradable*.

Pati bisa didapatkan dari limbah pertanian seperti pati umbi porang, pati dari kulit ubi kayu dan pati biji durian. Meskipun tidak terbuat dari minyak bumi plastik yang berasal dari pati memiliki karakteristik yang menyerupai *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), dan *High Density Polyethylene* (HDPE). Oleh karena itu plastik *biodegradable* memiliki sifat ringan dan dapat digunakan sebagai bahan pengemas makanan, kantung belanja, jas hujan, sarung tangan, dan kantung sampah (Kamsiati dkk., 2017).



Gambar II.2 Plastik *Biodegradable*

Tabel II.1 Perbedaan Plastik Konvensional dan Plastik *Biodegradable*

Aspek	Plastik Konvensional	Plastik <i>Biodegradable</i>
Bahan baku	Bahan tidak terbarukan (minyak bumi)	Bahan terbarukan (bahan nabati)
Ekonomi	Murah	Mahal
Teknologi	Sudah canggih	Tahap pengembangan
Lingkungan	Tidak ramah lingkungan	Ramah lingkungan
Sosial	Dikenal oleh masyarakat	Tahap pengenalan ke masyarakat

Sumber : Kamsiati dkk., 2017

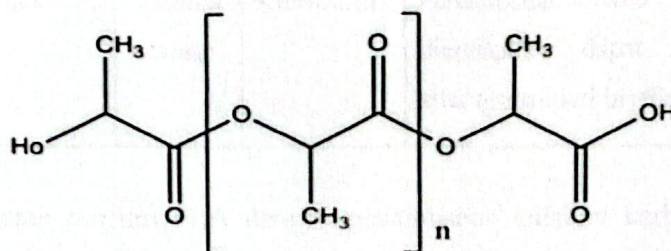
2.2 Poli Asam Laktat atau *Polylactic Acid* (PLA)

Poli asam laktat termasuk jenis plastik *biodegradable*, masuk dalam kelompok biopoliester atau poliester yang dapat terurai, gambar II.3 menunjukkan rumus struktur PLA. Poli asam laktat dapat dimodifikasi dengan penambahan *plasticizer*, biopolimer ataupun *filler*. Poli asam laktat dapat dikatakan sebagai *biodegradable* jika fungsinya untuk kemasan, tetapi dapat juga dikatakan sebagai biokompatibel apabila fungsinya untuk aplikasi medis. Poli asam laktat dapat terdegradasi oleh degradasi abiotik seperti hidrolisis sederhana dari ikatan ester tanpa memerlukan kehadiran enzim sebagai katalisnya (Avérous dkk., 2008).

Sintesis poli asam laktat melalui proses multistep yaitu dimulai dari proses produksi asam laktat hingga proses polimerisasi. Proses yang pertama adalah asam laktat mengalami kondensasi polimerisasi menghasilkan polimer yang rapuh, berat molekul rendah, dan sebagian besar tidak dapat digunakan kecuali ditambahkan *coupling agent* eksternal untuk membantu menambah panjang rantai. Lalu proses kedua adalah kondensasi dehidrasi azeotropik asam laktat, proses ini menghasilkan poli asam laktat yang memiliki berat molekul tinggi tanpa bahan penambahan khusus. Dan proses ketiga yang merupakan proses utama adalah *Ring Opening Polymerization* (ROP) atau polimerisasi pembukaan cincin laktida untuk mendapatkan poli asam laktat dengan berat molekul tinggi (Avérous dkk., 2008).

PLA sudah banyak digunakan dikalangan masyarakat, salah satunya digunakan pada kemasan makanan. Plastik *biodegradable* PLA digunakan untuk

menggantikan plastik konvensional seperti PET (*Polyethylene Tereftalat*) sebagai bahan baku untuk pembuatan plastik kemasan. Kelemahan PLA adalah memiliki harga yang tinggi, rapuh, dan kristalinitas yang kurang baik. Kelemahan PLA dapat dikurangi dengan adanya penambahan *filler* untuk mengurangi biaya (Avérous dkk., 2008).



Gambar II.3 Struktur *Poly(lactic Acid)* (PLA)

Sumber: Liu dkk., 2004

2.3 Biofilm Poli Asam Laktat

Penelitian pembuatan biofilm yang menggunakan bahan baku poli asam laktat sudah banyak dilakukan, penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan kemampuan dari poli asam laktat dengan penambahan *filler*. Tabel II.2 menunjukkan pembuatan biofilm PLA dari beberapa penelitian.

Tabel II.2 Penelitian Pembuatan Biofilm PLA

No	Nama Peneliti	Metode	Pelarut	Hasil
1	Nekhamanurak dkk	Ekstrusi		Penambahan nano CaCO_3 mempengaruhi sifat termal dari biofilm PLA
2	Chow dkk	Ekstrusi		Penambahan nano CaCO_3 yang diendapkan mempengaruhi sifat termal dari biofilm PLA
3	Kumar dkk	<i>Solution blending</i>	Kloroform	Penambahan nano CaCO_3 tidak mempengaruhi gugus fungsi dan mempengaruhi sifat termal dari biofilm PLA

No	Nama Peneliti	Metode	Pelarut	Hasil
4	Aframehr dkk	<i>Solution casting</i>	Kloroform	Penambahan nano CaCO_3 tidak mempengaruhi gugus fungsi dan mempengaruhi sifat termal dari biofilm PLA
5	Elvira dkk	<i>Solution mixing</i>	Kloroform	Penambahan nano CaCO_3 yang diendapkan dapat mempengaruhi sifat termal dari biofilm PLA

Pembuatan biofilm PLA dengan penambahan kalsium karbonat memiliki beberapa metode. Metode ekstrusi merupakan proses pembentukan polimer dengan menekan polimer melalui rongga cetakan menggunakan ekstruder. Metode *solution casting* merupakan proses polimer dilarutkan secara sederhana menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer* selama 1 jam (Aframehr dkk., 2017). Metode *solution mixing* merupakan proses polimer dilarutkan menggunakan *mixer* selama 1 menit (Elvira dkk., 2016). Metode *solution blending* merupakan proses melarutkan polimer dan *filler* yang telah dilarutkan sebelumnya (Kumar dkk., 2014). *Solution casting*, *solution blending*, *solution mixing* memiliki metode yang serupa yaitu proses melarutkan polimer ke dalam pelarut kemudian pelarut yang digunakan dihilangkan.

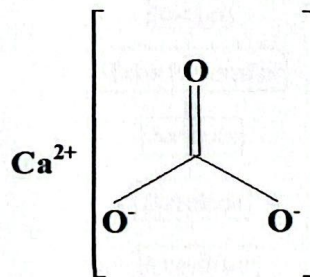
2.4 Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Aditif padat yang dimasukkan ke dalam matriks plastik disebut pengisi atau *filler*. *Filler* yang biasa digunakan berbahan anorganik. *Filler* biasanya digunakan untuk mengurangi biaya, menambahkan kekuatan tarik dari sifat mekanik dari matriks plastik, meningkatkan densitas senyawa, mengurangi penyusutan, dan meningkatkan kekerasan (Baker dkk., 2004).

Bentuk partikel, ukuran partikel, dan distribusi ukuran dari *filler* dapat mempengaruhi sifat-sifat termoplastik maka dari itu *filler* yang digunakan harus dapat menyesuaikan matriks plastik. Umumnya, semakin kecil partikel *filler* yang digunakan semakin besar kekuatan tarik dari plastik sebaliknya apabila partikel *filler* semakin besar maka kekuatan tarik dari plastik akan semakin kecil. Tanah

liat, kalsium karbonat, dan talk biasanya digunakan sebagai *filler* (Baker dkk., 2004). Dibandingkan dengan *filler* yang lain kalsium karbonat memiliki harga yang lebih ekonomis (Haryati dkk., 2017). Selain kalsium karbonat ZnO juga dapat digunakan sebagai *filler*. Kelebihan ZnO adalah dapat digunakan sebagai antimikroba, dapat meningkatkan *barrier properties* dan dapat meningkatkan kekuatan tarik dari film, tetapi memiliki harga yang lebih tinggi daripada CaCO_3 (Bawardi, 2018).

Kalsium karbonat adalah salah satu bahan anorganik yang berasal dari alam dan terkandung pada batu kapur. *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) adalah salah satu jenis dari kalsium karbonat. Kalsium karbonat berwarna putih, tidak berasa, dan tidak berbau. Kalsium dapat digunakan untuk *filler* polimer, kertas dan cat (Omari dkk., 2016).



Gambar II.4 Struktur Kalsium Karbonat

Sumber: Omari dkk., 2016

Gambar II.4 menunjukkan rumus struktur CaCO_3 dan tabel II.3 menunjukkan sifat fisika dan kimia dari CaCO_3 .

Tabel II.3 Sifat Fisik dan Kimia CaCO_3

Sifat CaCO_3	Nilai
Massa jenis	2,7 – 2,9 g/cm^3
Temperatur leleh	1339 °C
pH	9 – 9,5
Kelarutan dalam air	$0,99 \times 10^{-8} \%$

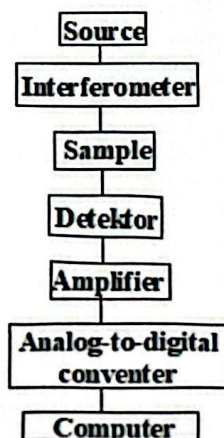
Sumber : Wypych, 2000

Penelitian pembuatan biofilm menggunakan bahan pengisi dengan kalsium karbonat sudah dilakukan oleh beberapa peneliti misalnya, Haryati dkk. (2017)

mengatakan pengaruh penambahan kalsium karbonat dapat meningkatkan kuat tarik dari biofilm pati.

2.5 Pengujian Gugus Fungsi dengan Spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Spektroskopi FTIR merupakan jenis instrumen yang menggunakan sinar *infrared* untuk menghasilkan interferogram. Komponen dasar dari spektroskopi FTIR adalah sumber yang menghasilkan radiasi dilewatkan melalui interferometer ke sampel lalu melewati detektor setelahnya amplifikasi sinyal, lalu kontribusi frekuensi tinggi telah dihilangkan dengan penyaringan setelahnya data dikonversi ke bentuk digital oleh konverter analog ke digital dan ditransfer ke komputer untuk transformasi oleh *fourier* (Stuart, 2004), dapat dilihat pada gambar II.5.



Gambar II.5 Komponen Dasar Spektrometer FTIR

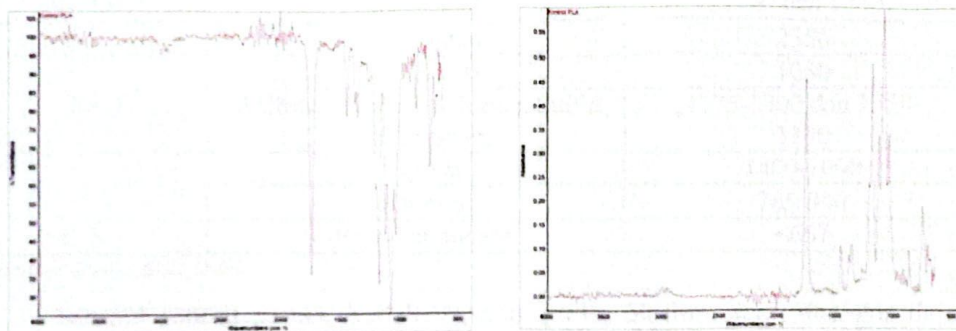
Sumber : Stuart , 2004

Data yang dikeluarkan oleh instrumen disebut sebagai spektra. Pada umumnya spektra dengan bilangan gelombang menurun dari kiri ke kanan. Ada tiga wilayah dari spektra inframerah yaitu :

- a. inframerah-jauh : $<400 \text{ cm}^{-1}$
- b. inframerah-menengah : $4000\text{--}400 \text{ cm}^{-1}$
- c. inframerah-dekat : $13000\text{--}400 \text{ cm}^{-1}$

Hasil dari panjang gelombang dapat ditampilkan dengan spektra absorban dan spektra transmittan. Spektra absorban adalah spektra dengan cahaya yang diserap dengan menunjukkan puncaknya ke atas sedangkan spektra transmittan

adalah spektrum dengan cahaya yang dilewatkan dengan menunjukkan puncaknya ke bawah. Spektra absorban dapat digunakan untuk pekerjaan kuantitatif sedangkan spektra transmittan dapat digunakan untuk interpretasi spektra (Stuart, 2004). Gambar II.6 menunjukkan perbedaan spektra dari transmittan dan spektra absorban. Spektra inframerah jauh memiliki wilayah antara 400 dan 100 cm^{-1} , wilayah ini memberikan informasi getaran (*vibration*) molekul yang mengandung atom berat, kerangka molekul dan perputaran molekul. Spektra inframerah menengah dapat dibagi menjadi empat wilayah yaitu, wilayah peregangan X-H (4000 - 2500 cm^{-1}), wilayah rangkap tiga (2500 - 2000 cm^{-1}), wilayah rangkap dua (2000 - 1500 cm^{-1}), dan wilayah sidik jari (1500 - 600 cm^{-1}). Pada tabel II.4 menunjukkan tipe getaran dan bilangan gelombang dari beberapa jenis ikatan (Stuart, 2004).



A. Spektra Transmittan

B. Spektra Absorban

Gambar II.6 Spektra FTIR

Tabel II.4 Jenis Ikatan, Tipe Getaran dan Bilangan Gelombang

Jenis Ikatan	Tipe Getaran	Bilangan Gelombang (cm^{-1})
C-H	Alkana (Uluran)	3000-2850
	-CH ₃ - (Tekukan)	1450 dan 1375
	-CH ₂ - (Tekukan)	1465
	Alkena (Uluran)	3100-3000
	Aromatik (Uluran)	3150-3050
	Alkalin (Uluran)	3300
	Aldehid	2900-2700
C-C	Alkana	Tidak terinterpretatif
C=C	Alkena	1680-1600
	Aromatik	1600 dan 1475
C≡C	Alkana	2250-2100

Jenis Ikatan	Tipe Getaran	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
C=O	Aldehid	1740-1720
	Keton	1725-1705
	Asam Karboksilat	1725-1700
	Ester	1750-1730
	Amida	1680-1630
	Anhidrida	1810 dan 1760
	Asam Klorida	1800
C-O	Alkohol, Eter, Ester, Asam Karboksilat, Anhidrida	1300-1000
O-H	Alkohol, Fenol	3650-3600
	Asam Karboksilat	3400-2400
N-H	Amina Amida (Uluran)	3500-3100
	Amina Amida (Puntiran)	1640-1550
C-N	Amina	1350-1000
C≡N	Nitril	2260-2240
X=C=Y	Alkena, Isosianat, Isotiosianat	2270-1940
N=O	Nitro (R-NO ₂)	1550 dan 1350
S-H	Merkaptan	2550
	Sulfoksida	1050
	Sulfonat, Sulfonyl Klorida, Sulfat, Sulfonamida	1375-1300 dan 1350-1140
C-X	Florida	1400-1000
	Klorida	785-540
	Bromida, Iodida	<667

Sumber: Pavia dkk., 2009

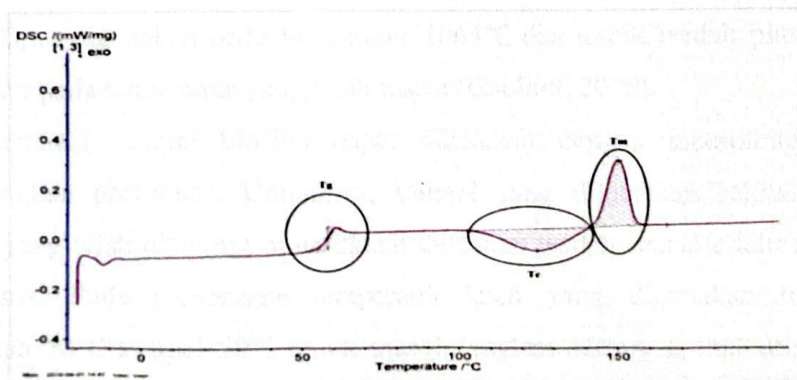
Sampel seperti cairan, bubuk, larutan, pasta, biofilm, serat dan gas dapat diuji oleh FTIR. Pengujian FTIR dapat dilakukan dengan 3 teknik yaitu *Attenuated Total Reflectance* (ATR), *Photo Acoustic Spectroscopy* (PAS), dan *Difuse Reflectance Infrared Fourier Transform* (DRIFT). Teknik pengujian ATR dapat digunakan untuk sampel cair dan padat. Proses pengujian dengan teknik ini sampel langsung mengenai sinar inframerah. Untuk mendapatkan hasil spektra yang akurat dibutuhkan pengujian pada beberapa titik pada satu sampel (Stuart, 2004).

Teknik pengujian PAS dapat digunakan untuk sampel cair, padat, atau gas. Teknik ini digunakan untuk sampel yang mudah menyerap. Spektrum FTIR diperoleh dengan mengukur panas sampel yang dihasilkan pada proses penyerapan. Pada teknik ini spektrum diperoleh dengan mengukur panas yang dihasilkan oleh proses penyerapan. Teknik pengujian DRIFT digunakan untuk

sampel berbentuk bubuk dan serat, sampel yang digunakan dicampur dengan bubuk KBr terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian. Teknik pengujian ini dilakukan dengan memantulkan energi ke segala arah. Sel DRIFT memantulkan radiasi ke bubuk dan mengumpulkan energi yang dipantulkan kembali ke sudut yang besar (Stuart, 2004).

Teknik pengujian sampel FTIR dengan metode ATR adalah metode yang paling sederhana. Preparasi sampel yang tidak terlalu rumit, sampel tidak perlu dicampurkan dengan bubuk KBr terlebih dahulu dan perbedaan ukuran partikel yang dapat diabaikan menyebabkan metode ini banyak dipilih untuk menguji sampel menggunakan alat FTIR (Stuart, 2004).

2.6 Pengujian Sifat Termal dengan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)



Gambar II.7 Termogram Kurva DSC

DSC berfungsi untuk mengukur dan menganalisis perbedaan kalor yang mengalir pada sampel dan referensi sebagai pembandingnya. Hasil dari pengujian DSC berupa kurva yang menampilkan grafik keseluruhan proses. Pada gambar II.7 menunjukkan proses pemanasan pertama akan melewati temperatur transisi kaca (T_g), Proses temperatur transisi kaca ini adalah proses perubahan polimer dari keras menjadi getas. Kemudian membentuk lembah ketika polimer mencapai temperatur kritisalisasi (T_c) dan akhirnya membentuk puncak ketika polimer mencapai temperatur leleh (T_m). Pada proses transisi kaca tidak menunjukkan

adanya puncak atau lembah dikarenakan pada proses ini tidak ada panas yang dilepaskan atau diserap oleh polimer (Kodre dkk., 2014).

Proses temperatur leleh adalah proses perubahan polimer padat menjadi polimer cair. Polimer yang mengalami pendinginan setelah dipanaskan atau polimer yang mengalami pengendapan cenderung mengkristal. Derajat kristalisasi adalah tingkat keteraturan penempatan atom pada unit sel. Untuk polimer yang memiliki struktur teratur memiliki nilai derajat kristalisasi yang tinggi. Untuk polimer semi kristalin memiliki T_m dan T_g , untuk polimer amorf hanya memiliki T_g , dan untuk polimer kristalin hanya memiliki T_c (Kodre dkk., 2014).

Sampel yang akan diuji dapat diletakkan ke dalam wadah agar terhindar dari kontaminasi, wadah yang digunakan dapat disesuaikan dengan temperatur yang diinginkan agar tidak meleleh pada saat proses pengujian berlangsung. Wadah aluminium tidak boleh digunakan pada temperatur lebih dari 600°C , untuk wadah aurum dapat digunakan pada temperatur 1063°C dan untuk wadah platina dapat digunakan pada temperatur yang lebih tinggi (Gabbott, 2008).

Preparasi sampel biofilm dapat dilakukan dengan memotong biofilm menggunakan perforator. Umumnya, sampel yang digunakan sekitar 10 mg. Sampel yang telah dipotong dimasukkan ke dalam wadah *crucible* lalu dilakukan pemanasan. Pada pemanasan temperatur leleh yang digunakan temperatur dilebihkan 30°C sampai 50°C untuk menghilangkan *history* termal dari sampel. Umumnya, laju pemanasan yang digunakan $10^\circ\text{C}/\text{menit}$ atau $20^\circ\text{C}/\text{menit}$ kemudian ditahan selama 5 menit dan dilakukan pendinginan dengan laju pendinginan yang sama dengan laju pemanasan yang digunakan. Lalu, lakukan kembali pemanasan dengan laju pemanasan yang telah digunakan (ASTM D3418-12).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni 2018 - Mei 2019. Pembuatan biofilm dan pengujian untuk biofilm dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta di Jalan Letjend Soeprapto No. 26, Cempaka Putih-Jakarta Pusat 10510.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini :

- | | |
|--|--|
| 1. neraca analitik | 8. gunting |
| 2. cawan petri | 9. lemari asam |
| 3. pinset | 10. spatula |
| 4. aluminium foil | 11. gelas ukur |
| 5. <i>magnetic stirrer</i> | 12. perforator |
| 6. <i>hot plate</i> | 13. gelas kimia |
| 7. <i>Differential Scanning Calorimetry (DSC) Netzsch 214 polyme</i> | 14. <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Nicolet iS10</i> |

Gambar alat yang digunakan dapat dilihat pada lampiran A.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini :

1. Poli asam laktat (PLA) teknis
2. Kalsium karbonat (CaCO_3) teknis
3. Kloroform analitik

Gambar bahan yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B.

3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini memiliki dua jenis variabel, yaitu variabel tetap dan variabel bebas.

3.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap adalah variabel yang digunakan dalam penelitian ini yang tidak berubah selama penelitian berlangsung. Variabel tetap dalam penelitian sebagai berikut :

- a. Massa PLA untuk biofilm PLA : 3 gram
- b. Waktu pelarutan PLA : 1 jam
- c. Waktu pencampuran PLA/CaCO₃ : 1 jam
- d. Massa kloroform yang digunakan : 50 gram
- e. Diameter cawan petri : 15 cm

3.3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang digunakan dalam penelitian ini yang dapat divariasikan agar mendapatkan hasil yang diinginkan. Variabel bebas sebagai standar untuk mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap variabel tetap. Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah konsentrasi CaCO₃. Variabel bebas ditampilkan pada tabel III.1.

Tabel III.1 Variasi Komposisi Biofilm PLA Kontrol dan Biofilm PLA/CaCO₃

Sampel	PLA	Kloroform	CaCO ₃	
	Massa (gram)	Massa (gram)	Persentase dari basis 3 gram PLA (%)	Massa(gram)
1	3	50	-	-
2	3	50	2,5	0,0750
3	3	50	5,0	0,1500
4	3	50	15,0	0,4500

3.4 Prosedur Penelitian

Pada gambar III.1 menunjukkan prosedur penelitian pembuatan biofilm PLA dan biofilm PLA/CaCO₃ menggunakan metode *solution casting* dari studi literatur hingga kesimpulan.

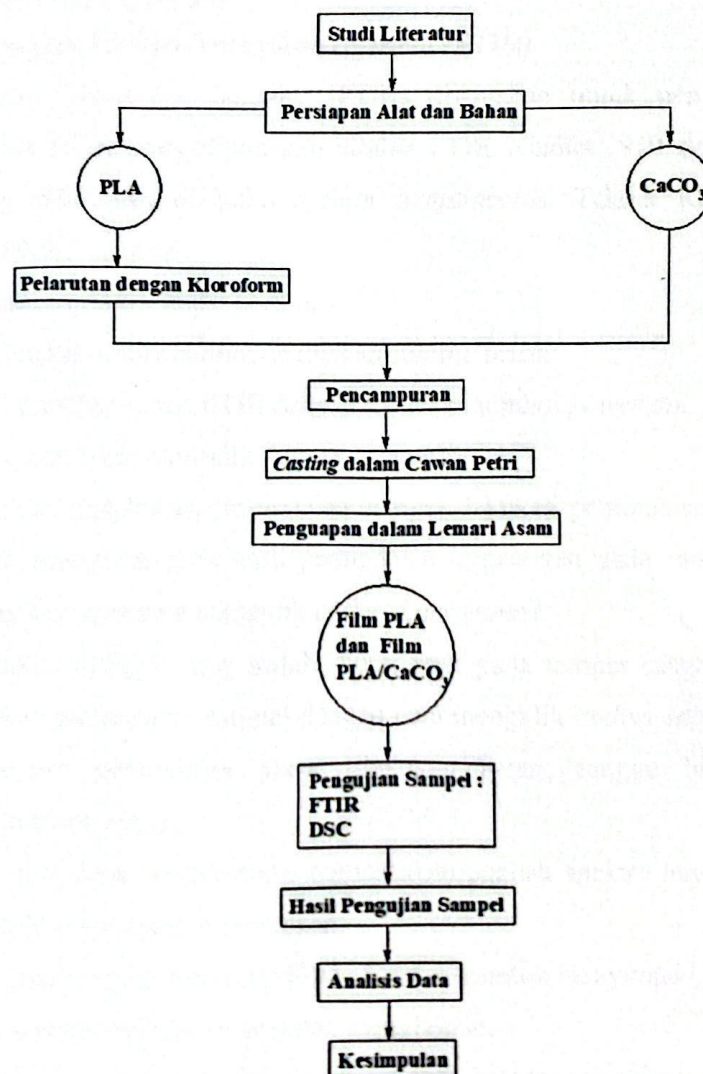
3.5 Prosedur Pembatan Biofilm PLA dan PLA/CaCO₃

3.5.1 Pelarutan Bahan

Pelarutan PLA dengan mencampurkan *pellet* PLA ke dalam kloroform selama 1 jam di atas *hotplate* pada temperatur kamar.

3.5.2 Pencampuran

Proses pencampuran ini dilakukan menggunakan *hotplate* dan *magnetic stirrer*. PLA yang sudah dilarutkan dicampur dengan CaCO₃. Pencampuran PLA/CaCO₃ membutuhkan waktu selama 1 jam diatas *hotplate* pada temperatur 40°C.



Gambar III.1 Prosedur Penelitian

3.5.3 *Casting* dalam petri

Campuran PLA/CaCO₃ yang sudah homogen dituang kedalam wadah kaca yaitu cawan petri menggunakan metode *casting*.

3.5.4 Penguapan dalam lemari asam

Penguapan diperlukan untuk menghilangkan pelarut dari masing-masing bahan. Waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan bahan kurang lebih dua hari. Gambar proses pembuatan biofilm PLA kontrol dan biofilm PLA/CaCO₃ dapat dilihat pada lampiran C.

3.6 Karakterisasi Sampel

3.6.1 Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) digunakan untuk pengujian gugus fungsi. Jenis FTIR yang digunakan adalah FTIR Nicolet iS10 dengan metode ATR yang dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.

Prosedur FTIR sebagai berikut :

1. Hubungkan kabel instrumen dengan sumber listrik.
2. Nyalakan instrumen FTIR dengan menekan tombol *power on*.
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. Klik *find peaks* untuk dapat menentukan puncak spektra lalu klik *replace* dan klik *print* untuk menyimpan.
7. Klik *analyst* pilih interpretasi lalu klik *print* untuk menyimpan.
8. Klik *search* lalu klik *print* untuk menyimpan.
9. Apabila diperlukan, lakukan perbandingan spektra yang diperoleh dari hasil pemindaian sampel dengan spektra polimer standar yang ada pada basis data

(*library*) dengan melihat puncak-puncak yang terbentuk berdasarkan bilangan gelombangnya.

3.6.2 Pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

Differential Scanning Calorimetry (DSC) dilakukan untuk menguji sifat termal. Jenis DSC yang digunakan adalah DSC 214 polima yang dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta. DSC dapat digunakan untuk mengetahui energi yang diserap dan dilepaskan oleh sampel sebagai fungsi temperatur.

Sampel yang digunakan sekitar 8 mg dimasukkan ke dalam wadah *crucible* lalu dilakukan pemanasan dari -20°C sampai 200°C . Laju pemanasan $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ kemudian ditahan selama 5 menit dan dilakukan pendinginan dengan laju pendinginan $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ sampai temperatur -20°C dan ditahan selama 5 menit kemudian dilakukan pemanasan hingga temperatur 200°C (ASTM D3418-12).

Prosedur DSC sebagai berikut :

1. Hubungkan kabel instrumen dengan sumber listrik.
2. Pastikan suplai tabung gas nitrogen dan gas oksigen masing-masing 0,5bar.
3. Hidupkan tabung gas, komputer dan nyalakan mesin DSC 214 polima.
4. Buka *software expert mode* pada desktop dan tunggu beberapa menit untuk membiarkan alat *optimizing*.
5. Preparasi sampel dengan memotong sampel dengan berat sesuai standar bahan yang digunakan dengan alat yang telah disediakan.
6. Masukkan sampel yang sudah dipotong dengan berat sesuai standar bahan yang digunakan dalam wadah yang telah disediakan menggunakan pinset.
7. Masukkan wadah *crucible* kosong sebagai referensi.
8. Klik *method*, lalu klik *create new method*.
9. Lengkapi data program sampai lampu berubah menjadi hijau.
10. Atur temperatur program klik *category* mulai temperatur sebesar -20°C hingga 200°C . Temperatur ditentukan dari material polimer yang digunakan.
11. Klik *purge* 1 MFC sebesar 0, *purge* 2 MFC diklik dengan sebesar $40\text{ml}/\text{min}$, *protective* MFC standar N sebesar $20\text{ ml}/\text{min}$

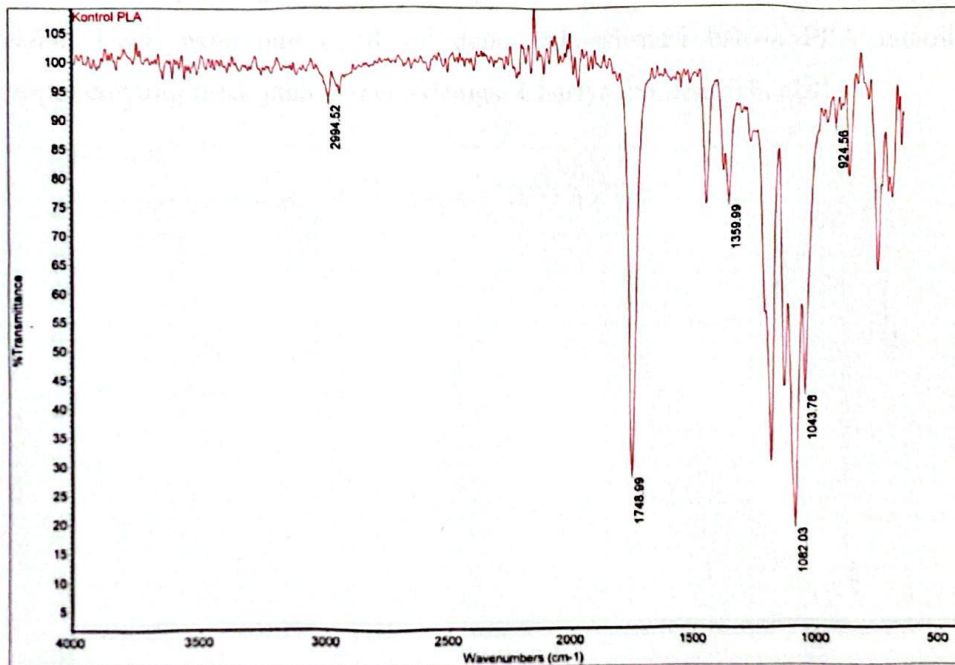
12. Atur laju pemanasan dan pendinginan sebesar $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ dan waktu isothermal selama 5 menit.
13. Kalibrasi dengan klik *will be used* klik 2 kali.
14. Klik *measure*, lalu klik start kemudian klik start lagi.
15. Tunggu sampai proses pengujian selesai. Mesin akan melakukan pendinginan secara otomatis.
16. Simpan hasil pengujian dengan mengubah file *name* dan *save* kemudian klik OK.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Pengujian menggunakan FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada biofilm PLA kontrol, serbuk CaCO_3 dan biofilm PLA dengan penambahan *filler* CaCO_3 . Gambar biofilm PLA kontrol dan biofilm PLA/ CaCO_3 dapat dilihat pada lampiran D.



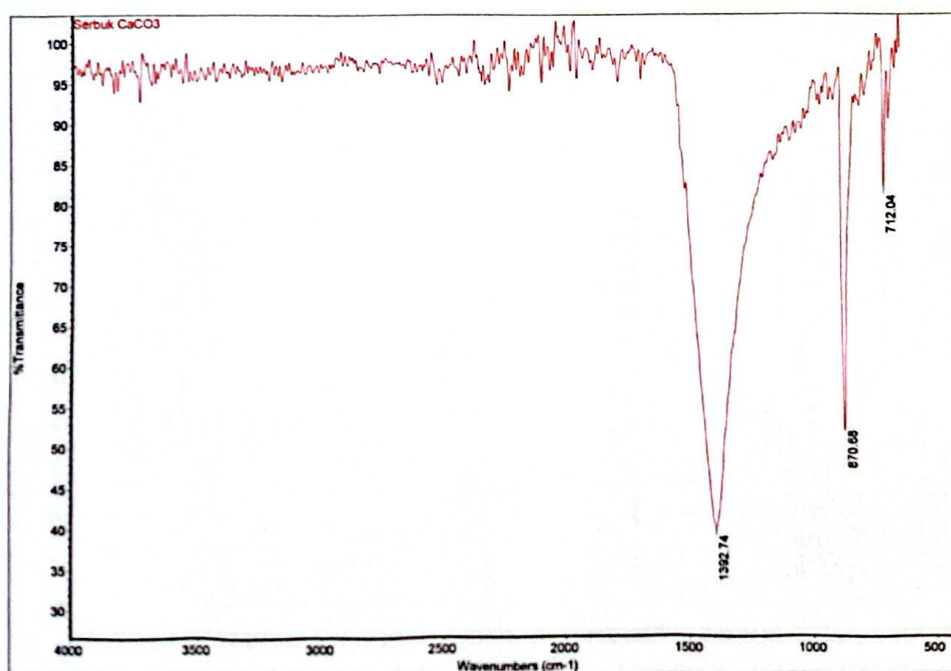
Gambar IV.1 Spektra FTIR Biofilm PLA Kontrol

4.1.1 Hasil Pengujian FTIR Biofilm PLA Kontrol

Hasil pengujian FTIR dari biofilm PLA kontrol pada gambar IV.1 menunjukkan spektra panjang gelombang yang tampak tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian FTIR biofilm PLA yang dilakukan oleh Chariyachotilert dkk. (2011), untuk penelitian yang dilakukan oleh Chariyachotilert dkk. (2011) menunjukkan hasil spektra regangan (*stretch*) gugus C-H pada panjang gelombang 2997 cm^{-1} , gugus regangan C=O ditunjukkan pada panjang gelombang

1748 cm^{-1} , panjang gelombang 1093 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus regangan C-O, panjang gelombang 1365 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C-H yang telah rusak (*deformation*), panjang gelombang 1047 cm^{-1} menunjukkan adanya tekukan (*bend*) gugus OH, dan panjang gelombang 926 cm^{-1} menunjukkan adanya regangan gugus C-C.

Pada penelitian ini hasil spektra menunjukkan gugus C-H *stretch* pada panjang gelombang 2994,52 cm^{-1} , gugus C=O *stretch* ditunjukkan pada panjang gelombang 1748,99 cm^{-1} , panjang gelombang 1082,03 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C-O *stretch*, panjang gelombang 1043,78 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus OH *bend*, dan panjang gelombang 924,56 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C-C *stretch*. Hasil pengujian FTIR ini dapat dikonfirmasi bahwa PLA memiliki komponen yang tidak jauh berbeda dengan Chariyachotilert dkk. (2011).



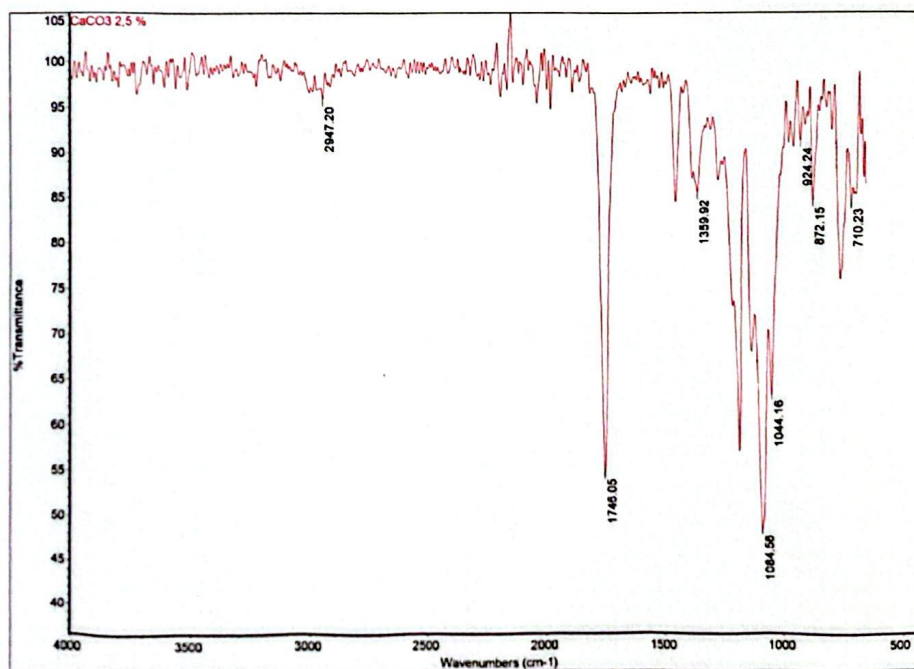
Gambar IV.2 Spektra FTIR Serbuk CaCO_3

4.1.2 Hasil Pengujian FTIR Serbuk CaCO_3

Hasil pengujian FTIR terhadap serbuk CaCO_3 pada gambar IV.2 menunjukkan spektra panjang gelombang yang tidak jauh berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Kumar dkk. (2014) namun tetap memiliki gugus

penyusun dari material CaCO_3 . Pada penelitian yang dilakukan Kumar dkk. (2014) spektra FTIR menunjukkan adanya tekukan bidang dalam (*in-plane bending*) CO_3^{2-} pada panjang gelombang 714 cm^{-1} , panjang gelombang 874 cm^{-1} menunjukkan adanya tekukan bidang luar (*out-of-plane bending*) CO_3^{2-} , panjang gelombang 1434 cm^{-1} menunjukkan regangan gugus asimetrik (*asymmetric stretching*) CO_3^{2-} .

Pada penelitian ini hasil spektra menunjukkan *in-plane bending* CO_3^{2-} pada panjang gelombang $712,04 \text{ cm}^{-1}$, *out-of-plane bending* CO_3^{2-} ditunjukkan panjang gelombang $870,68 \text{ cm}^{-1}$, dan panjang gelombang $1392,74 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan *asymmetric stretching* CO_3^{2-} . Hasil pengujian FTIR ini dapat dikonfirmasi bahwa serbuk CaCO_3 memiliki komponen yang tidak jauh berbeda dengan Kumar dkk. (2014).

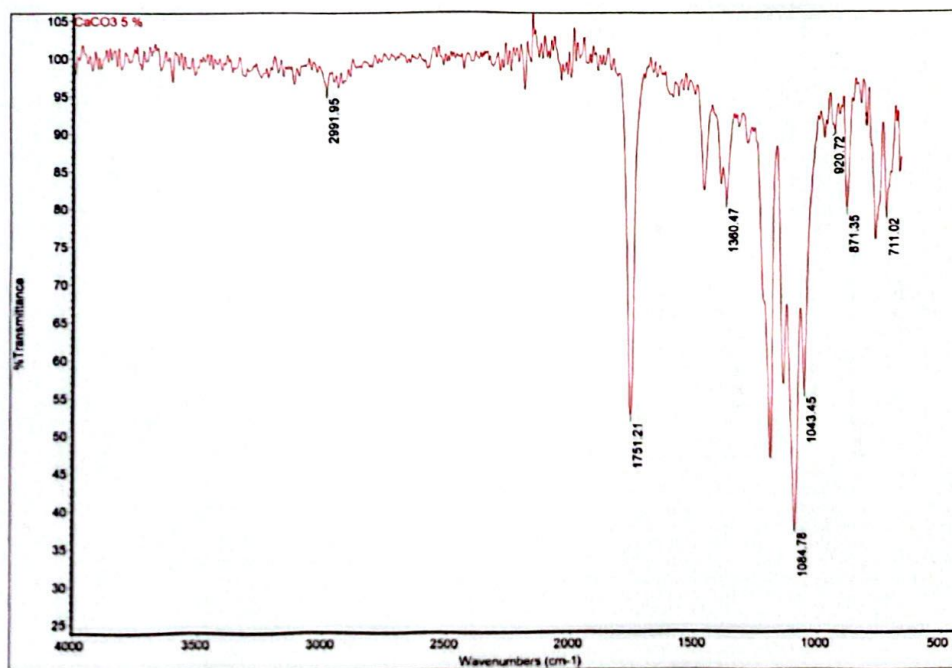


Gambar IV.3 Spektra FTIR PLA/ CaCO_3 2,5%

4.1.3 Hasil Pengujian FTIR Biofilm PLA/ CaCO_3 2,5%

Hasil pengujian FTIR dari biofilm PLA/ CaCO_3 2,5% pada gambar IV.3 menunjukkan spektra panjang gelombang yang tampak tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian FTIR biofilm PLA kontrol tetapi memiliki gugus penyusun dari

material CO_3^{2-} yang diindikasikan berasal dari penambahan CaCO_3 . Hasil spektra menunjukkan gugus C-H *stretch* pada panjang gelombang $2947,20 \text{ cm}^{-1}$, gugus C=O *stretch* ditunjukkan pada panjang gelombang $1746,05 \text{ cm}^{-1}$, panjang gelombang $1084,56 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-O *stretch*, panjang gelombang $1044,16 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus OH *bend*, dan panjang gelombang $924,24 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-C *stretch* dan spektra FTIR menunjukkan puncak karakteristik CaCO_3 yang ditandai dengan munculnya panjang gelombang $710,23 \text{ cm}^{-1}$ menandakan *in-plane bending* CO_3^{2-} , *out-of-plane bending* CO_3^{2-} ditandai pada panjang gelombang $872,15 \text{ cm}^{-1}$, dan panjang gelombang $1359,92 \text{ cm}^{-1}$ sebagai *asymmetric stretching* CO_3^{2-} . Hasil pengujian FTIR ini dapat dikonfirmasi bahwa penambahan CaCO_3 tidak mengganggu gugus fungsi dari biofilm PLA.

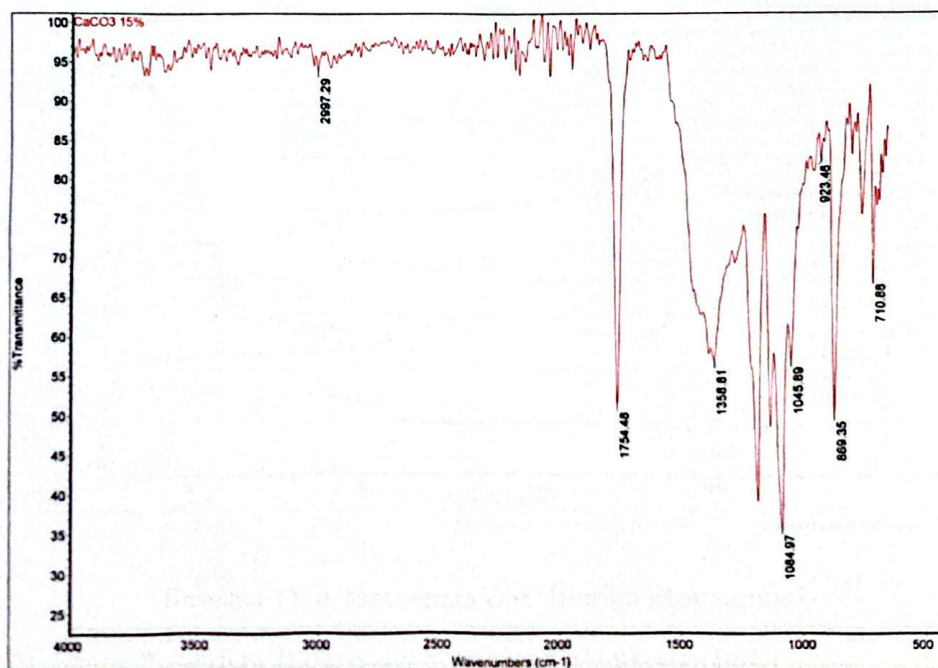


Gambar IV.4 Spektra FTIR PLA/ CaCO_3 5%

4.1.4 Hasil Pengujian FTIR Biofilm PLA/ CaCO_3 5%

Hasil pengujian FTIR dari biofilm PLA/ CaCO_3 5% pada gambar IV.4 menunjukkan spektra panjang gelombang yang tampak tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian FTIR biofilm PLA kontrol tetapi memiliki gugus penyusun dari

material CO_3^{2-} yang diindikasikan berasal dari penambahan CaCO_3 . Hasil spektra menunjukkan gugus C-H *stretch* pada panjang gelombang $2991,95 \text{ cm}^{-1}$, gugus C=O *stretch* ditunjukkan pada panjang gelombang $1751,21 \text{ cm}^{-1}$, panjang gelombang $1084,78 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-O *stretch*, panjang gelombang $1043,45 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus OH *bend*, dan panjang gelombang $920,72 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-C *stretch* dan spektra FTIR menunjukkan puncak karakteristik CaCO_3 yang ditandai dengan munculnya panjang gelombang $711,02 \text{ cm}^{-1}$ menandakan *in-plane bending* CO_3^{2-} , *out-of-plane bending* CO_3^{2-} ditandai pada panjang gelombang $871,35 \text{ cm}^{-1}$, dan panjang gelombang $1360,47 \text{ cm}^{-1}$ sebagai *asymmetric stretching* CO_3^{2-} . Hasil pengujian FTIR ini dapat dikonfirmasi bahwa penambahan CaCO_3 tidak mengganggu gugus fungsi dari biofilm PLA.

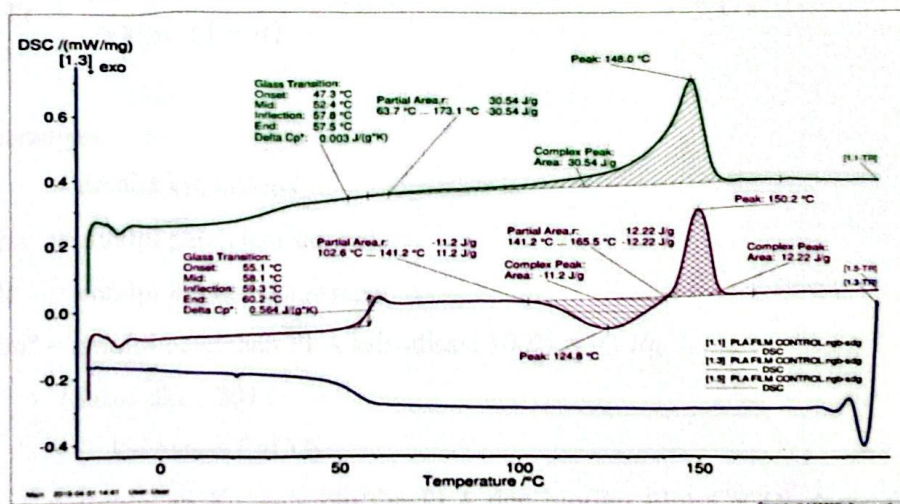


Gambar IV.5 Spektra FTIR PLA/ CaCO_3 15%

4.1.5 Hasil Pengujian FTIR Biofilm PLA/ CaCO_3 15%

Hasil pengujian FTIR dari biofilm PLA/ CaCO_3 15% pada gambar IV.5 menunjukkan spektra panjang gelombang yang tampak tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian FTIR biofilm PLA kontrol tetapi memiliki gugus penyusun dari

material CO_3^{2-} yang diindikasikan berasal dari penambahan CaCO_3 . Hasil spektra menunjukkan gugus C-H *stretch* pada panjang gelombang $2997,29 \text{ cm}^{-1}$, gugus C=O *stretch* ditunjukkan pada panjang gelombang $1754,48 \text{ cm}^{-1}$, panjang gelombang $1084,97 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-O *stretch*, panjang gelombang $1045,89 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus OH *bend*, dan panjang gelombang $923,46 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-C *stretch* dan spektra FTIR menunjukkan puncak karakteristik CaCO_3 yang ditandai dengan munculnya panjang gelombang $710,88 \text{ cm}^{-1}$ menandakan *in-plane bending* CO_3^{2-} , *out-of-plane bending* CO_3^{2-} ditandai pada panjang gelombang $869,35 \text{ cm}^{-1}$, dan panjang gelombang $1358,81 \text{ cm}^{-1}$ sebagai *asymmetric stretching* CO_3^{2-} . Hasil pengujian FTIR ini dapat dikonfirmasi bahwa penambahan CaCO_3 tidak mengganggu gugus fungsi dari biofilm PLA.



Gambar IV.6 Termogram DSC Biofilm PLA Kontrol

4.2. Hasil Pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

Pada penelitian ini pengujian menggunakan DSC dilakukan untuk membandingkan sifat termal dari biofilm PLA kontrol dan biofilm PLA dengan penambahan CaCO_3 2,5%, 5%, dan 15%. Gambar IV.6 menunjukkan termogram DSC dari biofilm PLA kontrol yang menampilkan proses eksoterm yang ditandai dengan adanya puncak temperatur leleh (T_m) dan temperatur transisi kaca (T_g)

dan proses endoterm yang ditandai dengan adanya lembah temperatur *cold crystallization* (T_{cc}). Sifat termal yang dihasilkan oleh alat DSC dapat digunakan sebagai referensi kondisi operasi untuk penggunaan alat pembuatan bioplastik skala industri sebagai contohnya kondisi operasi dari mesin ekstruder dan juga dapat menjadi standar aplikasi dari biofilm sebagai contoh dalam aplikasi kemasan makanan sifat termal yang didapatkan dapat menjadi standar bahwa biofilm dapat bertahan pada kondisi panas tertentu.

Hasil pengujian pada grafik DSC dirangkum pada tabel IV.1 untuk *first heating* dan tabel IV.2 untuk *second heating*. Penggunaan *second heating* dilakukan untuk mengetahui hasil sifat termal yang sebenarnya dari biofilm.

Pada tabel IV.1 dan IV.2 menampilkan nilai X_c . Nilai X_c didapatkan dari perhitungan menggunakan rumus seperti berikut (Elvira dkk., 2016) :

$$X_c = \frac{(\Delta H_m - \Delta H_c)}{\Delta H_m^\circ (1 - \alpha)} \times 100\% \quad 5.1$$

Keterangan :

X_c = derajat kristalisasi

ΔH_m = entalpi pelelehan sampel

ΔH_c = entalpi kristalisasi sampel

ΔH_m° = entalpi pelelehan PLA kristalisasi 100% = 93 J/g

(Sabzi dkk., 2013)

α = fraksi massa CaCO_3

Untuk perhitungan X_c pada biofilm PLA dan biofilm PLA/ CaCO_3 dapat dilihat pada lampiran E.

Tabel IV.1 Hasil Pengujian DSC Biofilm PLA Kontrol, PLA/ CaCO_3 *First Heating*

No	Material	Fraksi Massa	<i>First Heating</i>					
			Tg (°C)	Tcc (°C)	ΔH_{cc} (J/g)	Tm (°C)	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
1	PLA Kontrol	0,00	52,4			148	30,54	33
2	PLA/ CaCO_3 2,5 %	0,02	53,9			140,9	24,49	27

No	Material	Fraksi Massa	First Heating					
			Tg (°C)	Tcc (°C)	ΔHcc (J/g)	Tm (°C)	ΔHm (J/g)	Xc (%)
3	PLA/CaCO ₃ 5 %	0,05	55,8			141,5	20,55	23
4	PLA/CaCO ₃ 15 %	0,13	48,8			141,1	22,69	28

Tabel IV.2 Hasil Pengujian DSC Biofilm PLA Kontrol, PLA/CaCO₃ *Second Heating*

No	Material	Fraksi Massa	Second Heating						
			Tg (°C)	Tcc (°C)	ΔHcc (J/g)	Tm (°C)		ΔHm (J/g)	Xc (%)
						1	2		
1	PLA Kontrol	0,00	58,1	124,8	11,2	150,2		12,22	1,10
2	PLA/CaCO ₃ 2,5 %	0,02	45,3	97,2	25,27	142,6	132,2	27,26	2,19
3	PLA/CaCO ₃ 5 %	0,05	46,3	96,7	24,77	143,2	132,6	27,04	2,56
4	PLA/CaCO ₃ 15 %	0,13	49,4	114,7	20,01	143,7		22,42	2,98

Adapun nilai fraksi massa yang ditampilkan pada tabel didapatkan dari rumus seperti berikut:

$$\alpha = \frac{\text{massa filler}}{\text{massa filler} + \text{massa polimer}} \quad 5.2$$

Perhitungan untuk fraksi massa dari PLA/CaCO₃ 2,5% sesuai dengan rumus 5.2 sebagai berikut :

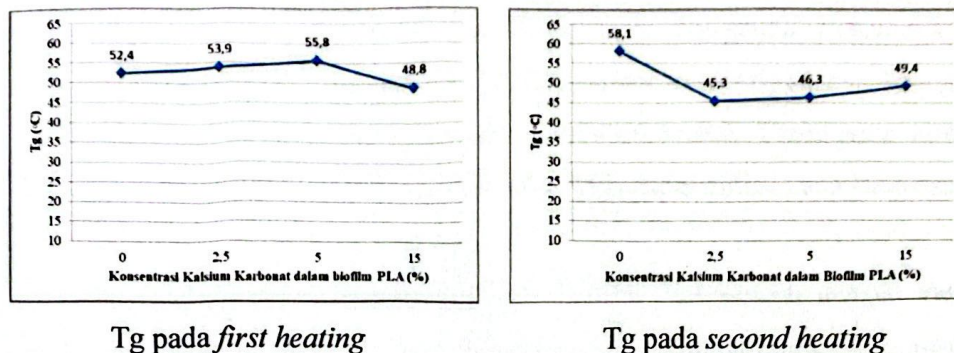
$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{0,075 \text{ gram}}{0,075 \text{ gram} + 3 \text{ gram}} \\ &= 0,02 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan fraksi massa biofilm PLA kontrol, biofilm PLA/CaCO₃ 5% dan 15% dapat dilihat pada lampiran E.

4.2.1 Temperatur Transisi Kaca (Tg)

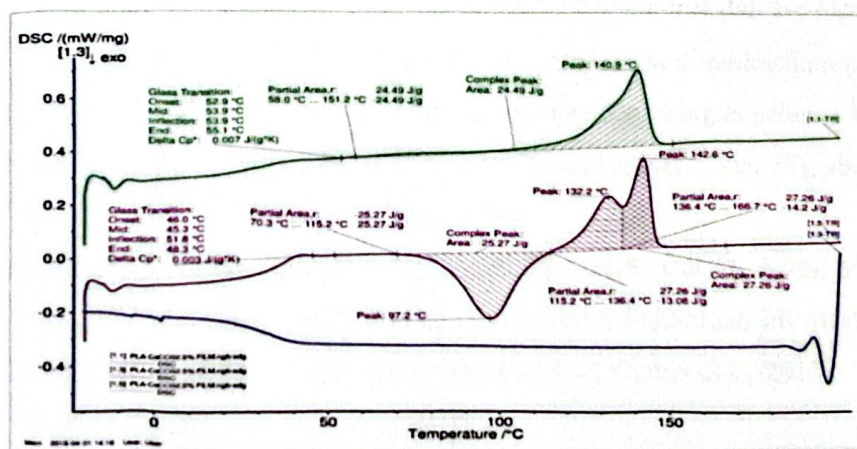
Pada proses *first heating* nilai Tg biofilm PLA/CaCO₃ dengan variasi 2,5% dan 5% mengalami kenaikan dari nilai Tg biofilm PLA kontrol sedangkan pada biofilm PLA/CaCO₃ 15% nilai Tg mengalami penurunan dari nilai Tg biofilm PLA kontrol, gambar IV.7 menampilkan grafik Tg. Penurunan ini disebabkan

oleh keberadaan CaCO_3 yang mendominasi biofilm PLA sehingga mengganggu mobilitas rantai PLA (Sabzi kk., 2013).



Gambar IV.7 Temperatur Transisi Kaca pada Berbagai Konsentrasi CaCO_3

Pada proses *second heating* nilai Tg biofilm PLA/ CaCO_3 dengan variasi 2,5%, 5%, dan 15% mengalami penurunan dari nilai Tg biofilm PLA kontrol. Penurunan ini disebabkan oleh terdegradasinya biofilm PLA setelah mengalami pemanasan pertama yang menyebabkan biofilm bersifat plastis (Anžlovar dkk., 2017).



Gambar IV.8 Termogram DSC Biofilm PLA/ CaCO_3 2,5%

4.2.2 Temperatur Leleh (T_m)

Pada proses *first heating* nilai T_m biofilm PLA/ CaCO_3 dengan variasi 2,5%, 5%, dan 15% mengalami penurunan dari nilai T_m biofilm PLA kontrol. Penurunan T_m dapat diindikasikan bahwa penambahan CaCO_3 pada biofilm PLA menyebabkan terhambatnya penyebaran rantai PLA (Sabzi dkk., 2013).

Pada proses *second heating* nilai T_m biofilm PLA/CaCO₃ 2,5%, 5%, dan 15% mengalami penurunan dari nilai T_m biofilm PLA kontrol. Pada biofilm PLA/CaCO₃ dengan variasi 2,5% dan 5% terdapat T_m ganda. Fenomena T_m ganda dapat dilihat pada gambar IV.8. Menurut Lorenzo (2006) adanya T_m ganda ini diindikasikan oleh adanya perbedaan morfologi kristal. Termogram biofilm PLA kontrol dan biofilm PLA/CaCO₃ 5% dan 15% dapat dilihat pada lampiran F.

4.2.2 Entalpi Leleh (ΔH_m)

Pada proses *first heating* nilai ΔH_m biofilm PLA/CaCO₃ dengan variasi 2,5%, 5%, dan 15% mengalami penurunan dari nilai ΔH_m biofilm PLA kontrol.

Pada proses *second heating* nilai ΔH_m biofilm PLA/CaCO₃ dengan variasi 2,5%, 5%, dan 15% mengalami kenaikan dari ΔH_m biofilm PLA kontrol. Kenaikan ini disebabkan oleh CaCO₃ yang membantu polimer merapikan diri, semakin teratur struktur polimer menyebabkan polimer tersebut susah untuk dilelehkan sehingga memerlukan entalpi lebih tinggi.

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

Pada proses *first heating* nilai T_{cc} biofilm PLA kontrol dan biofilm PLA/CaCO₃ dengan variasi 2,5%, 5%, dan 15% tidak terdeteksi diindikasikan polimer sudah mengkristal secara sempurna pada saat proses pengeringan selama 48 jam. Pada proses *second heating* nilai T_{cc} biofilm PLA/ CaCO₃ 2,5%, 5%, dan 15% mengalami penurunan dari biofilm PLA kontrol.

Pada proses *second heating* nilai T_{cc} biofilm PLA/ CaCO₃ 2,5%, 5%, dan 15% mengalami penurunan dari biofilm PLA kontrol. Penurunan ini disebabkan CaCO₃ yang meningkatkan kinerja kristalisasi dari PLA (Sabzi dkk., 2013).

4.2.4 Entalpi *Cold Crystallization* (ΔH_{cc})

Pada proses *first heating* nilai ΔH_{cc} biofilm PLA kontrol dan biofilm PLA/CaCO₃ dengan variasi 2,5%, 5%, dan 15% tidak terdeteksi disebabkan oleh polimer sudah mengkristal secara sempurna pada saat proses pengeringan selama 48 jam sehingga tidak ada energi yang dibutuhkan untuk proses kristalisasi pada *first heating*.

Pada *second heating* nilai ΔH_{cc} biofilm PLA kontrol dan biofilm PLA/CaCO₃ dengan variasi 2,5%, 5%, dan 15% mengalami kenaikan nilai ΔH_{cc} dari

biofilm PLA kontrol. Kenaikan ini dikarenakan CaCO_3 yang berfungsi untuk membantu proses kristalisasi.

4.2.5 Derajat Kristalisasi (X_c)

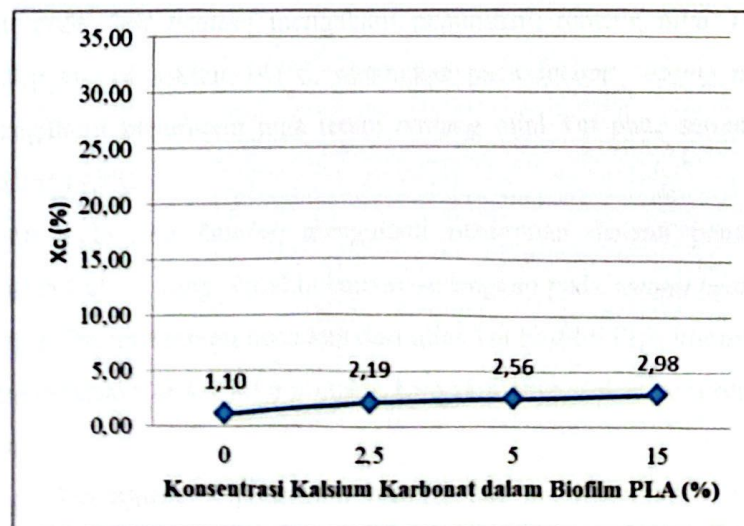
Pada proses *first heating* nilai X_c biofilm PLA/ CaCO_3 dengan variasi 2,5%, 5%, dan 15% mengalami penurunan nilai X_c dari biofilm PLA kontrol, gambar IV.9 menunjukkan penurunan nilai X_c pada grafik.

Pada proses *second heating* nilai X_c biofilm PLA/ CaCO_3 dengan variasi 2,5%, 5%, dan 15% mengalami kenaikan nilai X_c dari biofilm PLA kontrol. Kenaikan ini berhubungan dengan peran CaCO_3 yang berfungsi untuk membantu proses kristalisasi dan pada penelitian ini dapat diamati bahwa CaCO_3 berperan baik pada saat *cold crystallization* daripada pada saat kristalisasi saja hal ini berbanding lurus dengan meningkatnya nilai ΔH_{cc} dan ΔH_m pada *second heating*.

Perhitungan untuk nilai X_c biofilm PLA/ CaCO_3 2,5% didapat menggunakan perhitungan yang sesuai dengan rumus 5.1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} X_c \text{ PLA/CaCO}_3 \text{ 2,5\%} &= X_c = \frac{(27,26 \text{ J/g} - 25,27 \text{ J/g})}{93 \text{ J/g} (1-0,02)} \times 100\% \\ &= 2,19\% \end{aligned}$$

untuk biofilm PLA kontrol dan biofilm PLA/ CaCO_3 dengan variasi 5% dan 15% dapat dilihat pada lampiran.



X_c pada *second heating*

Gambar IV.9 Derajat Kristalisasi pada Berbagai Konsentrasi CaCO_3

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa pengaruh penambahan CaCO_3 pada biofilm PLA ternyata memberikan pengaruh terhadap gugus fungsi dan sifat termal, yaitu :

- a. Penambahan CaCO_3 pada biofilm PLA tidak mempengaruhi gugus fungsi biofilm PLA, tetapi terlihatnya gugus fungsi dari CO_3^{2-} pada biofilm PLA/ CaCO_3 di setiap variasi.
- b. Penambahan CaCO_3 pada biofilm PLA menyebabkan pengaruh terhadap sifat termal, yaitu
 1. T_g pada *first heating* mengalami kenaikan pada penambahan CaCO_3 2,5% dan 5% sedangkan 15% mengalami penurunan dari nilai T_g biofilm PLA kontrol, sedangkan nilai T_g pada *second heating* mengalami penurunan nilai T_g dari nilai T_g biofilm PLA kontrol, tetapi mengalami kenaikan dengan penambahan jumlah CaCO_3 yang semakin banyak,
 2. T_m pada *first heating* mengalami penurunan, rentang nilai T_m pada setiap variasi sekitar 141°C , sedangkan pada *second heating* nilai T_m mengalami penurunan juga tetapi rentang nilai T_m pada setiap variasi sekitar 143°C ,
 3. ΔH_m pada *first heating* mengalami penurunan dengan penambahan jumlah CaCO_3 yang semakin banyak sedangkan pada *second heating* dari nilai ΔH_m mengalami kenaikan dari nilai T_m biofilm PLA kontrol, tetapi penambahan CaCO_3 yang semakin banyak menyebabkan penurunan nilai T_m ,
 4. T_{cc} tidak terdeteksi pada *first heating* dan penurunan nilai T_{cc} pada *second heating* dari nilai T_{cc} biofilm PLA kontrol,
 5. ΔH_{cc} tidak terdeteksi pada *first heating* dan kenaikan nilai ΔH_{cc} pada

second heating dari nilai ΔH_{cc} biofilm PLA kontrol, tetapi penambahan CaCO_3 yang semakin banyak menyebabkan penurunan nilai ΔH_{cc} .

Penambahan CaCO_3 15% memberikan hasil yang lebih baik dari penambahan 2,5% dan 5%, hal ini dapat diindikasikan bahwa semakin banyak jumlah CaCO_3 yang digunakan dapat membantu kinerja biofilm PLA untuk mengkristal.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan sampel biofilm PLA dan biofilm PLA/ CaCO_3 perlu dilakukan pengujian lainnya seperti, uji mekanik, uji morfologi, uji biodegradasi, dan uji lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aframehr, Wrya Mohammadi., Molki, Banafsheh., Heidarian, Pejman., Behzad, Tayebbeh., Sadeghi, Morteza., dan Bagheri, Rouhollah., Effect of Calcium Carbonate Nanoparticles on Barrier Properties and Biodegradability of Polylactic Acid, *Fibers and Polymers*, Vol. 18, No. 11, 2041-2048, 2017.
- Anžlovar, Alojz., Andrej Kržan., Ema Žagar., Degradation of PLA/ZnO and PHBV/ZnO Composites Prepared by Melt Processing, *Arabian Journal of Chemistry*, Slovenia, 2017.
- ASTM D3418, Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States, 2012.
- Avérous, L. & Belgacem, Mohamed Naceur and Gandini, Alessandro (Eds)., *Monomer, Polymers and Renewable Resources*, Elsevier The Boulevard, Langfords Lane, Kidlington, Oxford (OX5 1GB, UK, 2008.
- Baker, Anne-Marie M., Mead, Joey., Harper, Charles A. (Eds), *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites* (4th ed), McGraw-Hill Companies, 2004.
- Bawardi, Jakius Tardi., *Pembuatan Biofilm Antibakteri Berbahan Nanopartikel ZnO*, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, 2018.
- Chariyachotilert, Chaiyatas, *Assesment of The Properties of Poly (Lactic Acid) Sheets with Different Amounts of Post-Consumer Recyled Poly (Lactid Acid)*, Michigan State University, 2011.
- Chow, Wen Shyang., Leu, Ying Ying., Ishak, Zainal Arifin Mohd., *Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Injection Molded Poly(lactic acid)/Calcium Carbonate Nanocomposites*, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering* 15-20, Malaysia, 2016.

- Elvira, Vidović, Faraguna, Fabio., Jukić, Ante., Influence of Inorganic Fillers on PLA Crystallinity and Thermal Properties, *Jurnal Thermal Analisis Calorimetri*, Hungary, 2016.
- Gabbott, Paul., Principles and Applications of Thermal Analysis, Blackwell Publishing, UK, 2008.
- Haryati, Sri., Rini, Anggie Septia., Safitri, Yuni., Pemanfaatan Biji Durian Sebagai Bahan Baku Plastik Biodegradable Dengan Plasticizer Gliserol dan Bahan Pengisi CaCO₃, *Jurnal Teknik Kimia* No. 1, Vol. 23, 2017.
- Kamsiati, Elmi., Herawati, Heny., dan Purwani, Endang Yuli., Potensi Pengembangan Plastik Biodegradable Berbasis Pati Sagu Dan Ubi Kayu, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Bogor, 2017.
- Kodre, K V., Attarde, S R., Yendhe, P R., Patil, R Y., dan Barge, V U., Differential Scanning Calorimetry : A Review, Research and Reviews: *Journal of Pharmaceutical Analysis*, India, 2014.
- Kumar, Vimal., Dev, Anshu., Gupta, A.P, Studies of Poly(lactic acid) Based Calcium Carbonate Nanocomposites. *Composites: Part B* 56 (2014) 184 – 188, India, 2014.
- Liu, L., S, Zhou., X, Deng., X, Li., dan W, Jia., Synthesis and Characterization of Biodegradable Low Molecular Weight Aliphatic Polyesters and Their Use in Protein Delivery Systems, *Journal of Applied Polymer Science*, 91 : 1848-185, 2004.
- Lorenzo, Maria Laura Di., Calorimetry Analysis of The Multiple Melting Behaviour Poly (L-Lactic Acid), *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 100, 3145-3151, Italy, 2006.
- Omari, M.M.H. Al., Rashid, I.S., Qinna, N.A., Jaber, A.M., Badwan, A.A., Profile of Drug Substances, Excipients and Related Methodology, Vol. 41 Elsevier Publisher, Burlington, 2016.
- Pavia, Donald.L., Lampman, Gary M., Kriz, George S., Vyvyan, James R., Introduction to Spectroscopy, (4th ed), Washington: Cengage Learning, 2009.

- Sabzi, Mohammad., Jiang, Long., Atai, Mohammad., Ghasemi, PLA/Sepiolite and PLA/Calcium Carbonate Nanocompistes: A Comparison Study, Journal of Applied Polymer Science, Brazil, 2013.
- Senny, Widyaningsih., Kartika, Dwi., Nurhayati, Tri, Yuni, Pengaruh Penambahan Sorbitol dan Kalsium Karbonat terhadap Karakteristik dan Sifat Biodegradabel Biofilm dari Pati Kulit Pisang, Molekul, Vol. 7. No. 1, 2012.
- Stuart, B., "Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications", Wiley, 2004.
- Wypych, George., Handbook of Fillers, Published by ChemTec Publishing 38 Earswick Drive, Toronto, 2000.
- United Nations Environmental Programme, Converting Waste Plastics into a Resource, United Nations Environmental Programme, Japan, 2009.

LAMPIRAN A
GAMBAR ALAT



Gelas Kimia



Pipet Tetes



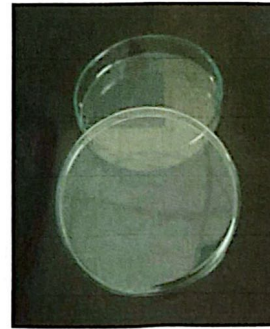
Neraca Digital



Spatula



Batang Pengaduk



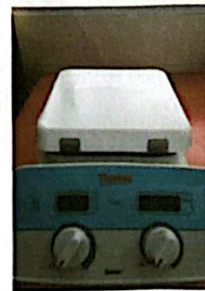
Cawan Petri



Kaca Arloji



Magnetic stirrer



Hot Plate



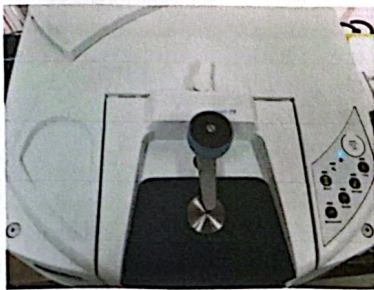
Plastik Ziplock



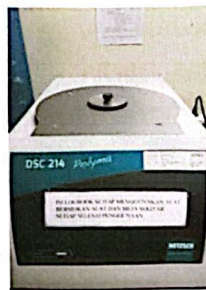
Sarung Tangan



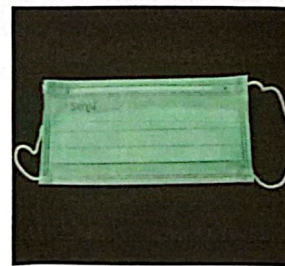
Aluminium Foil



FTIR



DSC

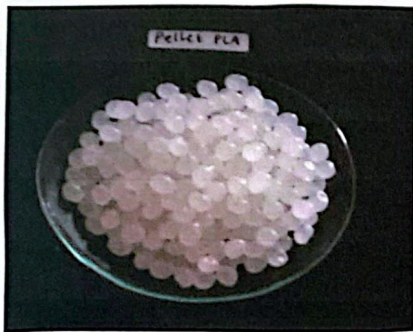


Masker

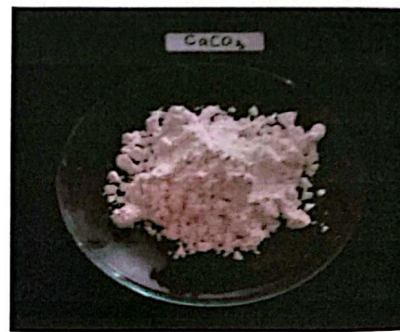


Perforator

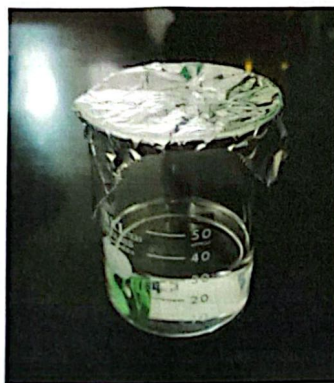
LAMPIRAN B
GAMBAR BAHAN



Pellet PLA

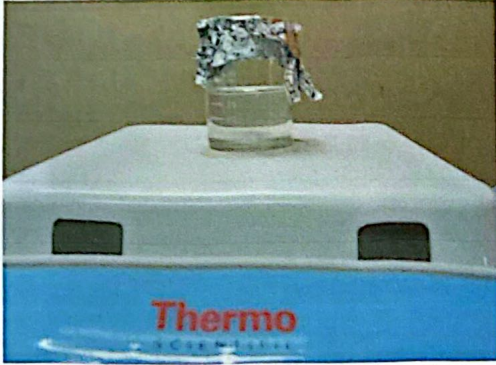


Kalsium Karbonat

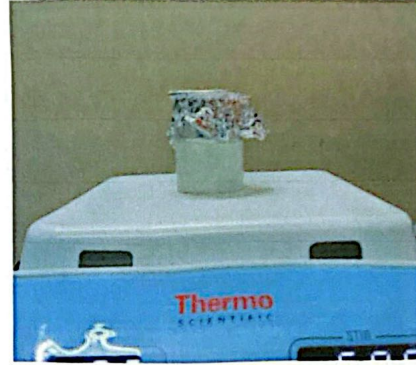


Kloroform

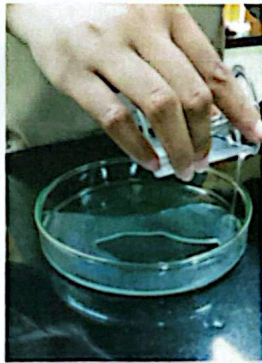
LAMPIRAN C
GAMBAR PROSES



Proses Pelarutan *pellet* PLA dengan Kloroform



Proses Pencampuran dengan Penambahan CaCO_3

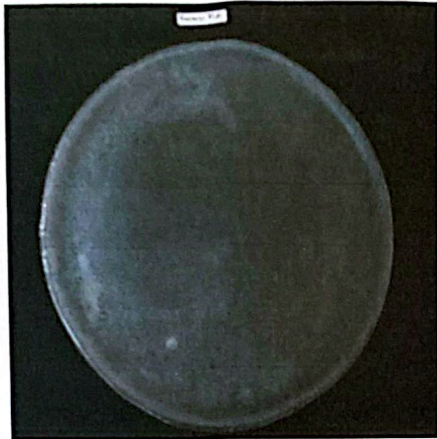


Casting dalam Cawan Petri

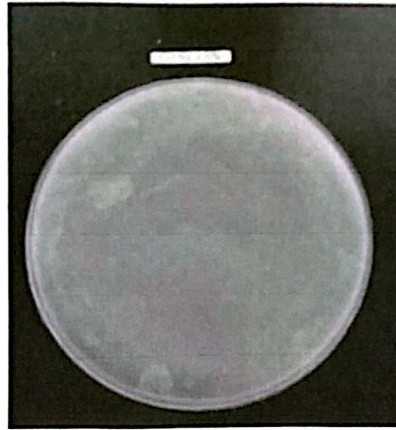


Penguapan dalam Lemari Asam

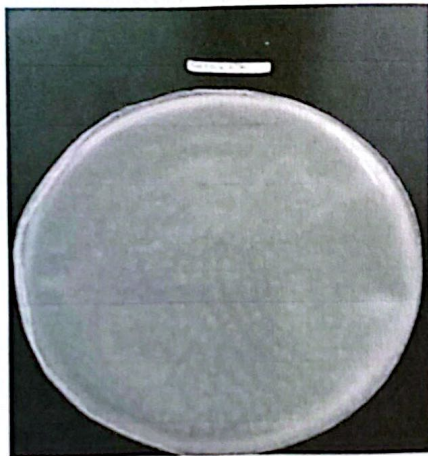
LAMPIRAN D
BIOFILM



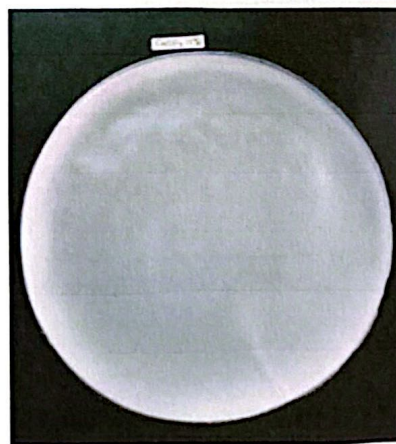
Kontrol PLA



PLA/CaCO₃ 2,5%



PLA/CaCO₃ 5%



PLA/CaCO₃ 15%

LAMPIRAN E PERHITUNGAN

1. Konversi persentase CaCO₃ ke massa CaCO₃ dengan basis PLA 3 gram

a. CaCO₃ 2,5% $= 3 \times \frac{2,5}{100} = 0,075 \text{ gram}$

b. CaCO₃ 5% $= 3 \times \frac{5}{100} = 0,15 \text{ gram}$

c. CaCO₃ 15% $= 3 \times \frac{15}{100} = 0,45 \text{ gram}$

2. Fraksi massa

a. Fraksi massa CaCO₃ dalam biofilm PLA kontrol

$$= \frac{\text{massa CaCO}_3}{\text{massa CaCO}_3 + \text{massa PLA}} = \frac{0 \text{ gram}}{0 \text{ gram} + 3 \text{ gram}} = 0$$

b. Fraksi massa CaCO₃ dalam biofilm PLA/CaCO₃ 2,5%

$$= \frac{\text{massa CaCO}_3}{\text{massa CaCO}_3 + \text{massa PLA}} = \frac{0,075 \text{ gram}}{0,075 \text{ gram} + 3 \text{ gram}} = 0,02$$

c. Fraksi massa CaCO₃ dalam biofilm PLA/CaCO₃ 5%

$$= \frac{\text{massa CaCO}_3}{\text{massa CaCO}_3 + \text{massa PLA}} = \frac{0,15 \text{ gram}}{0,15 \text{ gram} + 3 \text{ gram}} = 0,05$$

d. Fraksi massa CaCO₃ dalam biofilm PLA/CaCO₃ 15%

$$= \frac{\text{massa CaCO}_3}{\text{massa CaCO}_3 + \text{massa PLA}} = \frac{0,45 \text{ gram}}{3 \text{ gram} + 0,45 \text{ gram}} = 0,13$$

3. Derajat kristalisasi (X_c)

$$X_c = \frac{(\Delta H_m - \Delta H_c)}{\Delta H_m^\circ (1 - \alpha)} \times 100$$

Pada *first heating*

a. X_c PLA $= X_c = \frac{(30,54 \text{ J/g} - 0 \text{ J/g})}{93 \text{ J/g} (1-0)} \times 100$
 $= 33\%$

b. X_c PLA/CaCO₃ 2,5% $= X_c = \frac{(24,29 \text{ J/g} - 0 \text{ J/g})}{93 \text{ J/g} (1-0,02)} \times 100$
 $= 27\%$

c. X_c PLA/CaCO₃ 5% $= X_c = \frac{(20,55 \text{ J/g} - 0 \text{ J/g})}{93 \text{ J/g} (1-0,05)} \times 100$
 $= 23\%$

$$\begin{aligned} \text{d. } X_c \text{ PLA/CaCO}_3 \text{ 15\%} &= X_c = \frac{(22,69 \text{ J/g} - 0 \text{ J/g})}{93 \text{ J/g} (1-0,13)} \times 100 \\ &= 28\% \end{aligned}$$

Pada *second heating*

$$\begin{aligned} \text{a. } X_c \text{ PLA} &= X_c = \frac{(12,22 \text{ J/g} - 11,2 \text{ J/g})}{93 \text{ J/g} (1-0)} \times 100 \\ &= 1,10\% \end{aligned}$$

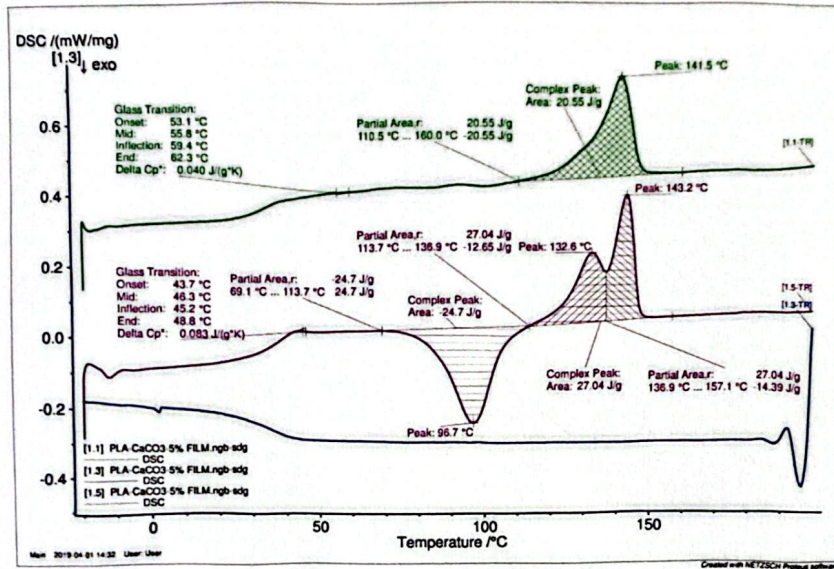
$$\begin{aligned} \text{b. } X_c \text{ PLA/CaCO}_3 \text{ 2,5\%} &= X_c = \frac{(27,26 \text{ J/g} - 25,27 \text{ J/g})}{93 \text{ J/g} (1-0,02)} \times 100 \\ &= 2,19\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } X_c \text{ PLA/CaCO}_3 \text{ 5\%} &= X_c = \frac{(27,04 \text{ J/g} - 24,77 \text{ J/g})}{93 \text{ J/g} (1-0,05)} \times 100 \\ &= 2,56\% \end{aligned}$$

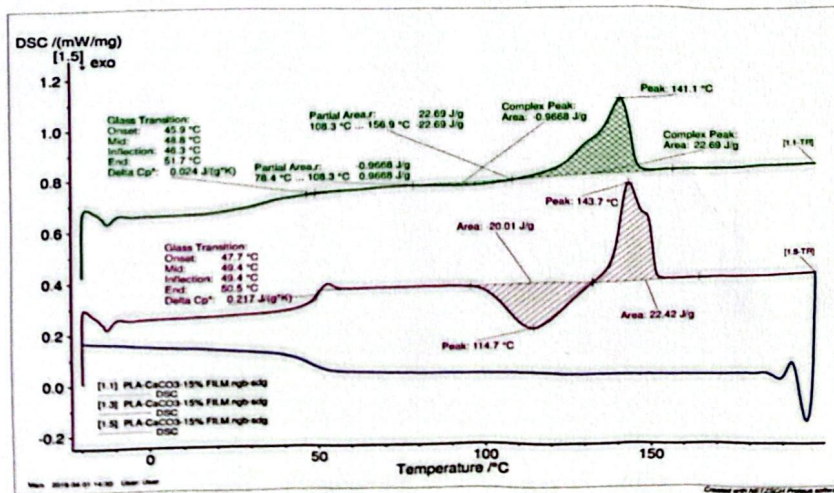
$$\begin{aligned} \text{d. } X_c \text{ PLA/CaCO}_3 \text{ 15\%} &= X_c = \frac{(22,42 \text{ J/g} - 20,01 \text{ J/g})}{93 \text{ J/g} (1-0,13)} \times 100 \\ &= 2,98\% \end{aligned}$$

LAMPIRAN F

TERMOGRAM DSC



Termogram DSC Biofilm PLA/CaCO₃ 5%



Termogram DSC Biofilm PLA/CaCO₃ 15%