

**PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* SENG OKSIDA (ZnO)
TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN SIFAT TERMAL
*BIOFILM POLYLACTIC ACID (PLA)***

**DI POLITEKNIK STMI JAKARTA
(Desember 2019 – Oktober 2020)**

TUGAS AKHIR

DATA BUKU PERPUSTAKAAN	
Tgl Terima	07/10/22
No Induk Buku	876/TKP/SB/TA/22

Oleh
ROBIATUL DINIYAH
1516017



**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI
2020**

SUMBANGAN ALUMNI

**PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* SENG OKSIDA (ZnO)
TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN SIFAT TERMAL
*BIOFILM POLYLACTIC ACID (PLA)***

**DI POLITEKNIK STMI JAKARTA
(Desember 2019 – Oktober 2020)**

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Bidang Teknik dari
Politeknik STMI Jakarta

Oleh
**ROBIATUL DINIYAH
1516017**



**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI
2020**

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* SENGG OKSIDA (ZnO) TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN SIFAT TERMAL *BIOFILM POLYLACTIC ACID (PLA)*

Oleh

Robiatul Diniyah

NIM: 1516017

(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Plastik dengan berbagai kelebihan dan pencemaran lingkungan yang disebabkan limbahnya selalu menjadi polemik yang menarik diteliti. Di Indonesia, sudah banyak penelitian plastik yang dapat terurai secara alami (*biodegradable*) atau biasa disebut sebagai bioplastik sebagai kemasan makanan. Salah satu bahan bioplastik yang banyak diteliti adalah *polylactic acid* (PLA). Untuk mengatasi kekurangan rapuhnya bioplastik PLA, penambahan *filler ZnO* menjadi salah satu solusi meningkatkan sifat PLA. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *filler ZnO* pada *biofilm* (bioplastik berbentuk lembaran) PLA terhadap kekuatan tarik dan stabilitas termal. Pembuatan *biofilm* PLA/ZnO dilakukan dengan metode *solvent casting* dan pencetakan pada cawan petri. Pembuatan *biofilm* PLA/ZnO dengan variasi penambahan ZnO adalah 1,5%, 3%, dan 6% dari basis 3 gram PLA. Sampel yang dihasilkan berbentuk lingkaran dengan tebal 0,16 sampai 0,18 mm dan diameter masing-masing 13,5 cm. Hasil penelitian ini menunjukkan kekuatan tarik *biofilm* PLA meningkat sebab penambahan ZnO dengan nilai maksimum pada penambahan 6% ZnO, yaitu 43,92 MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan penurunan suhu dekomposisi *biofilm* PLA paling tinggi terjadi pada penambahan 6% ZnO dengan penurunan temperatur saat kehilangan 10% massa dari 298,88°C menjadi 235,51°C.

Kata kunci: *polylactic acid* (PLA), *biofilm*, *filler ZnO*, sifat mekanis, sifat termal.

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* SENGG OKSIDA (ZnO)
TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN SIFAT TERMAL
*BIOFILM POLYLACTIC ACID (PLA)***

Robiatul Diniyah
NIM: 1516017
(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Politeknik STMI Jakarta

Jakarta, November 2020

Menyetujui

Dosen Pembimbing 1



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

Dosen Pembimbing 2



Andi Rusnaenah, S.T., M.T., M.Si.
NIP. 197407192011012001

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



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

**HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI
SEMINAR TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* SENG OKSIDA (ZnO)
TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN SIFAT TERMAL
*BIOFILM POLYLACTIC ACID (PLA)***

Robiatul Diniyah
NIM: 1516017
(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Politeknik STMI Jakarta

Jakarta, November 2020

Penguji 1



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

Penguji 2



Ella Melyna, S.T., M.T.
NIP. 199103062018012001

Dosen Pembimbing 1



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

Dosen Pembimbing 2



Andi Rusnaenah, S.T., M.T., M.Si.
NIP. 197407192011012001

**HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI
SIDANG TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* SENG OKSIDA (ZnO)
TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN SIFAT TERMAL
*BIOFILM POLYLACTIC ACID (PLA)***

Robiatul Diniyah
NIM: 1516017
(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Politeknik STMI Jakarta


Jakarta, November 2020

Penguji 1



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

Penguji 2



Ir. Rochmi Widjajanti, M. Eng.
NIP. 195609101984032002

Penguji 3



Dr. Ir. Lintong Sopandi Hutahaean, MSc.
NIP. 195803221986031002

Dosen Pembimbing



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

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

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

Nama : Robiatul Diniyah

NIM : 1516017

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir yang saya buat dengan judul
“PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* SENG OKSIDA (ZnO) TERHADAP
SIFAT MEKANIS DAN SIFAT TERMAL *BIOFILM POLYLACTIC ACID*
(PLA)”:

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing 1 dan dosen pembimbing 2, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam Daftar Pustaka pada 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 tugas akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti apa yang di atas, maka tugas akhir saya ini dibatalkan.

Jakarta, November 2020



Robiatul Diniyah

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkah dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul “Pengaruh Penambahan *Filler* Seng Oksida (ZnO) Terhadap Sifat Mekanis dan Sifat Termal *Biofilm Polylactic Acid (PLA)*”. Penelitian ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat penyelesaian program Diploma IV pada Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.

Dalam proses pengumpulan data dan penulisan, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini:

1. Bapak Dr. Mustofa, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta;
2. Ibu Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta;
3. Ibu Ella Melyna, S.T., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta;
4. Ibu Erfina Oktariani, S.T., M.T., Ibu Ir. Rochmi Widjajanti, M.Eng., Dr. Ir. Lintong Sopandi Hutahaean, M.Sc., dan Ibu Ella Melyna, S.T., M.T. selaku penguji sidang dan seminar;
5. Bapak Syaiful Ahsan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing 1 dan Ibu Andi Rusnaenah, S.T., M.T., M.Si., selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah meluangkan waktu, pikiran dan tenaga untuk membimbing penulis;
6. Orang tua, adik-adik, dan seluruh keluarga besar yang selalu menemani dan selalu memberi dukungan secara moral dan material; dan
7. Seluruh teman-teman Teknik Kimia Polimer angkatan 2016 yang senantiasa berjuang bersama untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penyusun berharap semoga Tugas Akhir penelitian ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi pembaca.

Jakarta, November 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	iv
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SEMINAR TUGAS AKHIR	v
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR	vi
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xiv
Bab I Pendahuluan	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Batasan Masalah	3
I.4 Tujuan	3
I.5 Manfaat	4
Bab II Tinjauan Pustaka	5
II.1 Komposit Polimer	5
II.2 <i>Polylactic Acid</i> (PLA)	8
II.3 Zinc Oxide (ZnO)	10
II.4 Kloroform	13
II.5 Pengujian Sifat Mekanis	14
II.6 Pengujian Sifat Termal	17
Bab III Metode	21
III.1 Waktu dan Tempat	21
III.2 Alat dan Bahan	21
III.3 Variabel	21
III.4 Prosedur Pembuatan <i>Film</i> PLA murni dan <i>Film</i> PLA/ZnO	22
Bab IV Hasil dan Pembahasan	26
IV.1 Hasil Uji Sifat Mekanis	26
IV.2 Hasil Uji Sifat Termal	28
BAB V Kesimpulan dan Saran	31
V.1 Kesimpulan	31
V.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32

LAMPIRAN.....35

Lampiran A Daftar Pustaka 35
Lampiran B Lembar Kerja 36
Lampiran C Lembar Kerja 37
Lampiran D Lembar Kerja 38
Lampiran E Lembar Kerja 39
Lampiran F Lembar Kerja 40
Lampiran G Lembar Kerja 41
Lampiran H Lembar Kerja 42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Lembar Bimbingan Penyusunan Tugas Akhir.....	36
Lampiran B Lembar Surat Tugas Dosen Pembimbing 1	39
Lampiran C Lembar Surat Tugas Dosen Pembimbing 2	40
Lampiran D Gambar Alat-Alat	41
Lampiran E Gambar Bahan-Bahan	42
Lampiran F Gambar Proses.....	43
Lampiran G Gambar Produk.....	44
Lampiran H Perhitungan.....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Klasifikasi komposit menurut penyusunnya	5
Gambar II.2	Komposit partikel	7
Gambar II.3	Rumus struktur kimia dari PLA.	9
Gambar II.4	Struktur kristal seng oksida (ZnO)	12
Gambar II.5	Ilustrasi skematik bioplastik sebelum dan sesudah penambahan nanopartikel ZnO	13
Gambar II.6	Struktur kimia kloroform.....	14
Gambar II.7	<i>Universal Testing Machine</i> (UTM).....	14
Gambar II.8	Kurva tegangan-regangan pada uji tarik <i>film</i> polimer.....	15
Gambar II.9	Analisis TG dan DTG dari suatu komposit	19
Gambar II.10	Kurva termogravimetri <i>film</i> PLA, PLA/ZnO dan ZnO	20
Gambar III.1	Diagram alir proses pembuatan <i>film</i> murni dan PLA/ZnO	23
Gambar IV.1	Kekuatan tarik <i>biofilm</i> PLA.....	27
Gambar IV.2	Kurva termogram <i>biofilm</i> PLA dan PLA/ZnO	29

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Sifat fisika dan kimia PLA Ingeo data <i>sheet</i> PLA 2002D.....	10
Tabel II.2	Syarat mutu Seng Oksida SNI 0085:2009.....	11
Tabel II.3	Spesifikasi ZnO	11
Tabel II.4	Nilai kekuatan tarik PLA dengan <i>filler</i> ZnO penelitian Tang dkk.	16
Tabel II.5	Nilai kekuatan tarik PLA dengan <i>filler</i> ZnO penelitian Marra dkk. ...	17
Tabel II.6	Sifat termal dari PLA murni, PLA/ZnO dan ZnO.....	20
Tabel III.1	Variasi komposisi <i>biofilm</i> PLA, dan PLA/ZnO.	22
Tabel IV.1	Hasil uji tarik <i>biofilm</i> PLA dan PLA/ZnO	26
Tabel IV.2	Sifat termal <i>biofilm</i> PLA dan PLA/ZnO	28

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
PLA	<i>Polylactic Acid</i>	1
UTM	<i>Universal Testing Machine</i>	3
TGA	<i>Thermo-Gravimetric Analysis</i>	3
PCL	<i>Polycaprolactone</i>	7
PGA	<i>Polyglcolic Acid</i>	7
PVOH	<i>Polyvinyl Alcohol</i>	7
PBS	<i>Polybutylene Succinate</i>	7
DMF	<i>Dimethylformamide</i>	9
PLLA	<i>poly-L-lactide</i>	8
PDLA	<i>poly-D-lactide</i>	8
PDLLA	<i>poly-DL-lactide</i>	8
ASTM	<i>American Society for Testing and Material</i>	14
TG	<i>Thermogravimetry</i>	16
ICTAC	<i>The International Confederation for Thermal analysis and Calorimetry</i>	16
DTG	<i>Derivative Thermo-Gravimetry</i>	17
LAMBANG		
F_{max}	Beban maksimal saat putus	14
T	Ketebalan <i>film</i> awal	14
W	Lebar <i>film</i> awal	14
l_f	Panjang akhir <i>film</i> pada saat	14
l_0	Panjang awal <i>film</i> di antara grip	14
T_g	Temperatur transisi gelas	10
T_m	Temperatur leleh	10

Bab I Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Sampah plastik sudah menjadi masalah global karena diproduksi dan dikonsumsi secara besar-besaran di berbagai sektor kehidupan. Plastik dibuat dengan memanfaatkan minyak bumi sebagai bahan dasar pembuatannya, sehingga plastik memiliki tingkat kesukaran yang tinggi dalam proses degradasi dan membutuhkan waktu puluhan bahkan ratusan tahun untuk penguraiannya (Harunsyah dkk., 2017). Upaya yang dilakukan untuk mengatasi masalah yang terjadi saat ini salah satunya adalah dengan mengembangkan plastik ramah lingkungan dari sumber daya terbarukan (*renewable*) dan dapat terdegradasi dalam waktu yang tidak lama.

Salah satu biopolimer yang paling menjanjikan untuk menggantikan polimer yang berasal dari minyak bumi adalah *polylactic acid* (PLA). Biopolimer PLA telah mendapat perhatian para peneliti dalam sektor pengemasan karena terbuat dari sumber daya terbarukan, sifatnya yang mudah terurai, dan ketersediaan bahan baku yang melimpah (Jamshidian dkk., 2010). Kelebihan dari PLA adalah *biodegradable* dan memiliki karakteristik yang mirip dengan *polypropylene*, *polyethylene*, *polystyrene* yang biasa diproduksi dari peralatan manufaktur yang sudah ada sehingga dapat menekan biaya produksi. Dengan demikian, wajar PLA memiliki volume produksi yang besar di bidang plastik (Averous, 2008). Kekurangan dari biopolimer PLA adalah sifatnya yang rapuh dan viskositas lelehan yang rendah sehingga sulit untuk diproses lebih lanjut (Harunsyah dkk., 2017). Kekurangan dari sifat PLA dapat diperbaiki dan disesuaikan dengan cara menambahkan *filler* dan menggunakan kondisi proses yang sesuai (Marra dkk., 2016).

Penambahan *filler* difungsikan untuk memperbaiki sifat bioplastik. *Filler* yang banyak ditambahkan pada PLA di antaranya adalah nano silika, seng oksida, *organo clay*, dan nano kalsium karbonat. Seng oksida (*zinc oxide/ZnO*) dapat dijadikan *filler* pada bioplastik untuk menaikkan kekuatan bioplastik dalam hal menaikkan kekakuan (*stiffness*) material dan menaikkan modulus elastisitas (Marra dkk., 2016 dan Syamsul dkk., 2019).

Menurut Marra dkk. (2016), penambahan nanopartikel ZnO 1%, 3%, dan 5% pada bioplastik PLA dengan menggunakan ekstruder *twin screw* dapat meningkatkan kekuatan tarik bioplastik PLA sebanyak 4,54%, 2,27%, dan 9,10%. Hasil penelitian lain dari Syamsul dkk. (2019) menunjukkan penambahan 3% ZnO pada bioplastik berbahan pati jagung/gliserol dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik sebesar 31,68%. Penelitian Tang dkk. (2020) mengenai pembuatan *biofilm* PLA, dilakukan dengan penambahan nanopartikel ZnO sebanyak 0%, 1%, 3%, 5%, 7%, 9%, dan 15% serta penambahan asetil tributil sitrat (ATBC) sebagai *plasticizer* menggunakan metode *solvent-volatilizing* dan pencetakan dilakukan di pelat poli tetrafluoroetilena. Hasil yang didapat dari penelitian Tang dkk. (2020) menunjukkan penambahan sifat polimer PLA yaitu peningkatan kekuatan tarik pada bioplastik PLA/ZnO sampai 7%.

Pada penelitian Lizundia dkk. (2019), penambahan 5% nanopartikel ZnO menghasilkan nilai stabilitas termal yang lebih tinggi dengan penurunan massa yang besar, yaitu 20–70% pada kisaran suhu 200–350 °C. Penelitian tersebut dilakukan dengan membuat bioplastik PLA/ZnO menggunakan metode *solvent-precipitation* dan selanjutnya campuran diproses dalam alat *compression moulding*. Penelitian Kim dkk. (2019) mengenai pembuatan *biofilm* PLA dengan penambahan nanopartikel ZnO sebanyak 0–10% dari massa PLA dengan metode *solvent casting*, menghasilkan ketahanan termal yang baik dan dapat digunakan sebagai plastik kemasan tanpa harus terpapar suhu tinggi.

Proses pembuatan *biofilm* PLA bisa dilakukan dengan berbagai metode, seperti *melt processing* dan *solvent casting*. Metode *solvent casting* dapat digunakan untuk pembuatan bioplastik dengan menggunakan sedikit bahan baku dengan metode sederhana (Takkalkar dkk., 2019). Pelarut yang dapat digunakan untuk melarutkan pelet PLA diantaranya, yaitu aseton, *benzene*, kloroform, dan etil asetat (Wypych, 2016). Penggunaan kloroform sebagai pelarut karena sifat *volatile* dari kloroform. Keuntungan penggunaan kloroform sebagai pelarut adalah karena sifat *volatile* dari kloroform, sehingga setelah dicetak pada wadah cawan petri kandungan kloroform pada campuran larutan PLA/ZnO akan menguap dengan kelembaban yang kecil.

Berdasarkan beberapa penelitian tentang bioplastik yang sudah ada, dapat dilakukan pengujian sifat mekanis dan sifat termal. Guna mengetahui perubahan sifat bioplastik dalam hal kekuatan tarik maka perlu dilakukan pengujian menggunakan *universal testing machine* (UTM) dan untuk mengetahui perubahan sifat kestabilan termal maka dilakukan pengujian menggunakan alat *thermo-gravimetric Analysis* (TGA).

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh penambahan *filler* ZnO terhadap kekuatan tarik pada *biofilm* PLA?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *filler* ZnO terhadap stabilitas termal pada *biofilm* PLA?

I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. bahan baku berupa PLA dengan merek dagang Ingeo™ D2002 dan bahan pengisi berupa seng oksida (ZnO) yang digunakan merupakan bahan yang komersil,
2. pelarut yang digunakan berupa kloroform,
3. komposisi PLA yang digunakan 3 gram,
4. komposisi penambahan ZnO yang digunakan sebanyak 1,5%; 3%; dan 6% dari 3 gram PLA,
5. proses pembuatan *biofilm* menggunakan metode *solvent casting*,
6. sifat kekuatan tarik *biofilm* diuji menggunakan alat uji UTM dengan merek Ibertest dan stabilitas termal *biofilm* diuji dengan menggunakan alat TGA TA50.

I.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. mengetahui pengaruh penambahan *filler* ZnO terhadap kekuatan tarik *biofilm* PLA,

2. mengetahui pengaruh penambahan *filler* ZnO terhadap stabilitas termal *biofilm* PLA.

I.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

A. Manfaat bagi industri

Analisis penelitian ini dapat dijadikan masukan pada industri pembuat bioplastik dalam meningkatkan sifat bioplastik.

B. Manfaat bagi masyarakat

Analisis penelitian ini dapat dijadikan masukan untuk menangani permasalahan lingkungan oleh limbah plastik dari minyak bumi yang sulit terurai.

C. Manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan

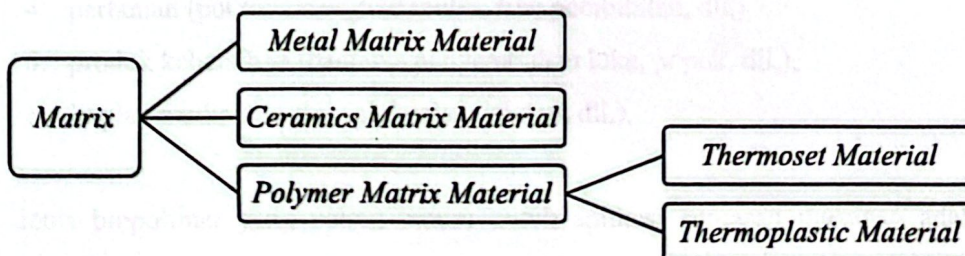
Pelaksanaan penelitian ini dapat menjadi informasi tentang pembuatan *biofilm* menggunakan metode *solvent casting*.

Bab II Tinjauan Pustaka

II.1 Komposit Polimer

Komposit adalah suatu bahan yang terdiri dari dua atau lebih campuran bahan dengan perbedaan fisik yang dapat terlihat. Komposit dibuat untuk menghasilkan bahan baru dengan struktur dan fungsi yang lebih baik daripada penggunaan satu jenis bahan saja. Komposit yang baik memiliki kelebihan-kelebihan, seperti ringan, tahan terhadap bahan yang bersifat korosif, sifat mekanis yang baik, dan mudah dalam proses pembuatannya. Komposit digunakan dalam berbagai aplikasi, contohnya sebagai bahan penyusun badan pesawat terbang, pengemasan, dan bangunan rumah (Jose dkk., 2012).

Susunan utama komposit terdiri dari dua penyusun utama yaitu, matriks dan *filler* (pengisi). Matriks merupakan bahan utama yang bersifat ulet dan kurang kaku. *Filler* (pengisi) adalah partikel halus yang ditambahkan ke matriks polimer berfungsi untuk mengurangi konsumsi atau penyerapan bahan pengikat yang lebih mahal, dan salah satu jenisnya, yaitu *filler* aktif dapat memperbaiki sifat polimer (Venkatesan dkk., 2018). Umumnya, matriks yang digunakan adalah logam, keramik dan polimer. Komposit polimer merupakan salah satu jenis komposit yang menggunakan polimer sebagai matriksnya. Jenis penguat yang digunakan pada matriks ini dapat berupa unsur organik, anorganik, atau metalik dalam bentuk partikel, serat, dan *laminat* (Jose dkk., 2012). Gambar II.1 Menunjukkan klasifikasi komposit menurut penyusunnya.



Gambar II.1 Klasifikasi komposit menurut penyusunnya (Venkatesan dkk., 2018).

Kebanyakan komposit yang diproduksi secara komersial menggunakan bahan matriks polimer yang sering disebut larutan resin. Polimer terbagi menjadi tiga jenis yaitu termoplastik, termoset, dan elastomer (Jose dkk., 2012). Berdasarkan sumbernya polimer terbagi menjadi dua jenis yaitu polimer sintesis dan polimer alam yang biasa disebut biopolimer. Aplikasi penggunaan matriks biopolimer dalam komposit telah dikembangkan secara luas dalam berbagai jenis industri, salah satunya adalah industri kemasan makanan (Shankar dan Jong-Whan, 2018).

Polimer *biodegradable* alami, secara umum, disebut dengan biopolimer dan memiliki aplikasi luas di berbagai bidang ekonomi (Francis dkk., 2014). Biopolimer adalah polimer yang terdiri dari unit monomer yang berikatan kovalen, membentuk molekul seperti rantai. Awalan 'bio' menunjukkan bahwa sumber biopolimer adalah organisme hidup dan sering terurai secara hayati. Biopolimer dapat terdegradasi secara alami, meninggalkan produk sampingan organik seperti karbon dioksida dan air yang tidak memiliki efek merusak pada lingkungan, karenanya biopolimer menjadi bahan alternatif untuk biokomposit yang diturunkan dari minyak bumi karena bersifat *biodegradable*, terbarukan dan berlimpah (Shankar dan Jong-Whan, 2018).

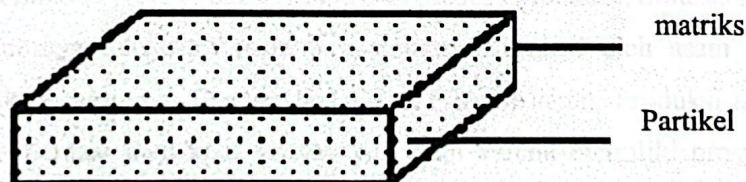
Menurut Francis dkk., (2014) Penggunaan biopolimer dalam kehidupan sehari-hari antara lain:

1. pengemasan (pembungkus, wadah makanan, jaring, busa),
2. kantung plastik untuk pengumpulan dan pengomposan limbah makanan dan sebagai kantung pengangkut,
3. produk catering (piring, alat makan, cangkir sedotan, dll.),
4. pertanian (pot tanaman, *film* mulsa, *film* pembibitan, dll.),
5. produk kebersihan (bantalan penyembuhan luka, popok, dll.),
6. implan medis dan gigi (gigi palsu, jahitan, dll.).

Jenis biopolimer yang paling umum untuk aplikasi kemasan makanan adalah biopolimer alami, seperti pati, selulosa, kitosan, dan agar yang berasal dari karbohidrat, serta gelatin, gluten, alginat, dan kolagen yang berasal dari protein.

Untuk biopolimer sintesis biasa digunakan untuk produksi secara besar dan biopolimer sintetik antara lain adalah *polylactic acid* (PLA), *polycaprolactone* (PCL), *polyglcolic acid* (PGA), *polyvinyl alcohol* (PVOH), dan *polybutylene succinate* (PBS) (Shankar dan Jong-Whan, 2018).

Komposit partikel merupakan salah satu jenis komposit berdasarkan bahan penguatnya. Komposit ini menggunakan *filler* berbentuk partikel atau serbuk. *Filler* dengan bentuk partikel digunakan untuk meningkatkan performa pada suhu tinggi, mengurangi gesekan, meningkatkan ketahanan aus, dan mengurangi penyusutan. Partikel-partikel yang digunakan sebagai *filler* akan menerima beban yang diberikan ke komposit bersama dengan matriksnya, namun pada tingkat yang lebih rendah dibandingkan *filler* serat (Rajeswari dkk., 2020). Partikel sebagai bahan penguat yang sangat mempengaruhi sifat mekanis dari komposit karena ikatan matriks dengan penguatnya yang akan menjadi media pendistribusian beban akibat adanya tegangan yang terjadi pada permukaan komposit untuk fase pengemasan makanan (Kim dkk., 2018). Gambar II.2 menunjukkan bentuk komposit partikel.



Gambar II.2 Komposit partikel (Gibson, 1994)

Filler (pengisi) adalah partikel halus yang ditambahkan ke matriks polimer. *Filler* diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu, pengisi tidak aktif (*ekstender*) yang membantu dalam mengurangi biaya dan untuk pengisi aktif (fungsional) yang mengubah sifat matriksnya. Umumnya harga *filler* relatif murah, *filler* merupakan zat padat yang ditambahkan ke dalam matriks polimer untuk menyesuaikan volume, berat, biaya, warna, perilaku pemrosesan, konduktivitas, permeabilitas, sifat mekanis, sifat termal dan lainnya (Venkatesan dkk., 2018).

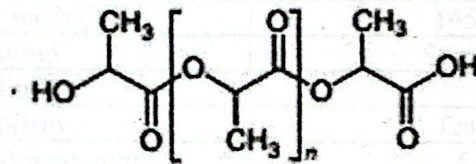
II.2 Polylactic Acid (PLA)

Polylactic acid (PLA) telah banyak digunakan untuk menggantikan produk plastik turunan petrokimia. Hal tersebut karena monomer PLA, asam laktat dapat diproduksi dengan skala besar melalui proses fermentasi dengan mikroba produk-produk agrikultural yang kaya akan karbohidrat. Selain itu, PLA dapat terdegradasi secara lambat terhadap paparan karbon dioksida, gas metana, dan air pada suatu lingkungan dengan lama periode beberapa bulan sampai dua tahun, sedangkan plastik turunan petrokimia terdegradasi lebih dari 500–1000 tahun (Shankar dan Jong-Whan, 2018). PLA adalah jenis polimer termoplastik dari golongan poliester alifatik yang memiliki kekuatan yang cukup baik dan modulus yang tinggi. PLA mudah diproses untuk menghasilkan suatu komponen, *film*, atau *fiber* (Garlotta, 2002). Dalam penelitian Namphoothiri dkk. (2010), terdapat tiga bentuk stereo kimia PLA, yaitu: *poly-L-lactide* (PLLA), *poly-D-lactide* (PDLA), dan *poly-DL-lactide* (PDLA).

Perbedaan bentuk stereo kimia PLA berasal dari bentuk monomernya, yakni asam laktat pembentuknya. Asam laktat (asam 2-hidroksi propionat), $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ diproduksi melalui proses sintesis kimia atau proses fermentasi. Sintesis kimia asam laktat umumnya dilakukan melalui hidrolisis laktonitril oleh asam kuat yang menghasilkan campuran D-asam laktat dan L-asam laktat. Produksi asam laktat melalui fermentasi mendapat banyak perhatian karena memiliki prospek ramah lingkungan dan menggunakan sumber daya terbarukan. Dibanding melalui sintesis kimia, produksi asam laktat secara bioteknologi memiliki beberapa keuntungan, seperti: biaya produksi lebih murah, temperatur yang digunakan lebih rendah, dan lebih hemat dalam penggunaan energi. Contoh mikroba yang dapat digunakan untuk memproduksi asam laktat adalah *Lactobacilli casei*, *Lactobacilli maltaromicus*, dan *Lactobacilli delbrueckii* (Namphoothiri dkk., 2010).

PLA dapat diproduksi dengan berbagai berat molekul. Biasanya, untuk PLA yang diproduksi secara komersial adalah jenis PLA dengan berat molekul tinggi untuk segmen serat, tekstil, dan pengemasan. Terdapat tiga metode produksi PLA dengan berat molekul tinggi, yaitu: polimerisasi melalui pembentukan laktida

(*polymerization through lactide formation*), polimerisasi kondensasi langsung (*direct condensation poly-merization*), dan polimerisasi kondensasi dalam larutan azeotropik (*azeotropic dehydration condensation*) (Castro-Aguirre dkk., 2016). Secara umum banyak yang menyebutkan PLA dipolimerisasi langsung dari *lactic acid* (Sin dkk., 2012). Struktur kimia dari PLA ditunjukkan oleh Gambar II.3. PLA memiliki struktur linier, dan memiliki satu grup metil independen, yang membuatnya lebih amorf dan hidrofobik daripada PGA. PLA dapat dilarutkan dalam berbagai pelarut organik, seperti kloroform, metil klorida, metanol, etanol, benzena, aseton, dan *dimethylformamide* (DMF) (Francis dkk., 2014).



Gambar II.3 Rumus struktur kimia dari PLA (Francis dkk., 2014).

Produksi PLA oleh NaturalWorks LLC dilakukan dengan pembentukan laktida (*lactide*) terlebih dahulu. Laktida terbentuk dari dua molekul asam laktat. L-laktida berasal dari L-asam laktat, D-laktida berasal dari D-asam laktat, dan *meso*-laktida berasal dari L-asam laktat dan D-asam laktat. Terdapat beberapa keuntungan dari PLA yang terbentuk dari *meso*-laktida, seperti lebih mudah diproses dan kestabilan termal yang lebih tinggi sehingga dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi. Oleh sebab itu, pembentukan *meso*-laktida lebih banyak dilakukan oleh produsen PLA dibanding jenis laktida lainnya (Castro-Aguirre dkk., 2016). Tabel II.1 menunjukkan sifat fisika dan kimia PLA Ingeo 2002D.

Pelet PLA dapat diproses dengan beberapa proses, seperti: ekstrusi, *injection molding*, *injection stretch*, *blow molding*, *casting*, *blow film*, *thermoforming*, *blending*, *fiber spinning*, *solvent casting* dan *compounding* berbasis PLA. *Solvent casting* dilakukan dengan melarutkan PLA ke dalam suatu *solvent*, lalu diaduk pada suhu kamar selama 4 jam. Setelah itu, larutan dipindahkan ke cawan petri dan didiamkan semalaman untuk dikeringkan dengan membiarkan *solvent* terevaporasi.

Setelah kering, lembaran PLA dikeringkan dalam oven untuk memastikan seluruh *solvent* terevaporasi (Takkalkar dkk., 2019). Pelarut atau *solvent* yang biasa digunakan untuk melarutkan PLA antara lain aseton, benzene, kloroform, m-kresol, diklorometana, dioksana, etil asetat, isoamil alkohol, toluena, dan xilena (Wypych., 2016).

Tabel II.1 Sifat fisika dan kimia PLA Ingeo data *sheet* PLA 2002D (Kolstad dkk., 2012)

Parameter	Nilai
Densitas	1,24
<i>Melt flow</i> , 210 °C/ 2,16 Kg	5–7 g/10 menit
Temperatur transisi gelas (T_g)	55–60 °C
Temperatur leleh (T_m)	145–160 °C
Morfologi	Semikristalin
Kristalinitas	35%
Kejernihan	Transparan
Kekuatan tarik saat putus	53 Mpa
Elongasi saat putus	6%
Modulus tarik	3,45 Gpa
Kuat impak (izod)	0,1281 J/cm

PLA memiliki beberapa kelebihan untuk bioplastik yaitu, bahan baku produksi monomernya berasal dari fermentasi biomassa (jagung), penghematan energi yang efisien, kemampuan untuk pendauran ulang melalui hidrolisis atau alkoholisis, plastik yang dihasilkan bisa menjadi kompos, mengurangi pemakaian *landfill* untuk limbah plastik (Castro-Aguirre dkk., 2016).

Kekurangan yang dimiliki PLA yaitu, saat pengomposan PLA dalam jumlah yang banyak akan merusak pengomposan konvensional karena polimer berbasis jagung akan membuat kompos biasa menjadi lebih asam. Selain itu, PLA juga cenderung rentan terhadap deformasi ketika terpapar temperatur yang tinggi (Wijayanti dkk., 2016).

II.3 Zinc Oxide (ZnO)

Seng oksida (*zinc oxide*/ZnO) digunakan untuk meningkatkan sifat fisika, sifat mekanis dan *barrier properties* pada bioplastik. ZnO merupakan bahan anorganik

antibakteri dan merupakan oksida konduktif transparan yang telah banyak diteliti (Vasile dkk., 2017). Biasanya senyawa ini berbentuk bubuk putih dan hampir tidak larut pada air dan alkohol tetapi larut dalam asam. ZnO digunakan dalam sejumlah besar produk dental, kebanyakan sebagai semen putih untuk gigi. Hal ini karena seng oksida memiliki sifat reaktif, *radio-opacity*, berwarna putih, toksisitas yang rendah, serta harganya yang murah. Zinc (seng) merupakan unsur yang penting di dalam tubuh manusia karena merupakan komponen dari berbagai enzim (Darvell, 2018). Dalam penggunaan plastik kemasan, ZnO digunakan karena sifatnya yang aman dikonsumsi (GRAS), mudah terurai dan memiliki sifat efektifitas antimikroba. Sifat antimikroba pada kemasan makanan dapat berinteraksi dengan produk pangan untuk mengurangi pertumbuhan mikroorganisme yang ada pada permukaan bahan makanan (Kanmani dan Rhim, 2014). Tabel II.2 menunjukkan syarat mutu ZnO SNI 0085:2009 dan Tabel II.3 menunjukkan spesifikasi dari ZnO.

Tabel II.2 Syarat mutu Seng Oksida SNI 0085:2009

Uraian	Satuan	Persyaratan		
		Mutu I	Mutu II	Mutu III
Kadar Zn, sebagai Zn O	% b/b	Min 99,90	Min 99,70	Min 99,50
Kadar air	% b/b	Maks 0,1	Maks 0,1	Maks 0,1
Kadar Timbal (Pb)	% b/b	Maks 0,005	Maks 0,02	Maks 0,05
Kadar Kadmium	% b/b	Maks 0,002	Maks 0,01	Maks 0,1
<i>Water Soluble Salt</i>	% b/b	Maks 0,06	Maks 0,06	Maks 0,06
Bagian yang tidak lolos ayakan 325 mesh	% b/b	Maks 0,1	Maks 0,1	Maks 0,1

Tabel II.3 Spesifikasi ZnO (Wypych, 2000 dan PT. Indo Lysaght, 2020)

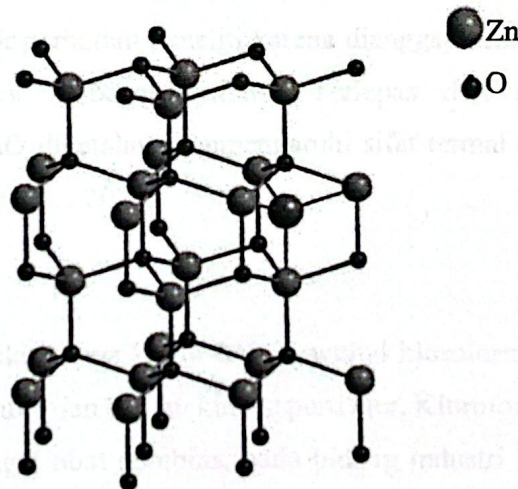
Sifat fisika dan kimia	Nilai	Satuan
Densitas	5,6	g/cm ³
Temperatur leleh	1975	°C
Kandungan ZnO	99,90	%
Kandungan air	0,15	%
<i>Sieve test 325 mesh</i>	0,1	%

ZnO memiliki struktur yang disebut struktur kristal *wurtzite*. Struktur ini berbentuk tetrahedral dengan atom oksigen sebagai penghubung (Darvell, 2018). Struktur kristal ZnO dapat dilihat pada Gambar II.4. Pemanasan senyawa seng oksida dapat mendekomposisi senyawa tersebut yang ditunjukkan oleh reaksi berikut:



Hal yang perlu diketahui adalah terlalu banyak atom Zn (seng) pada senyawa ini dapat menurunkan reaktivitasnya. Senyawa seng oksida yang reaktif dapat diperoleh dengan mendekomposisinya dengan asam karbonat atau hidroksida pada temperatur rendah. Di lain sisi, memanaskan ZnO dengan temperatur tinggi dapat menurunkan reaktivitasnya. Oleh sebab itu, seng oksida dari suatu produk perusahaan tidak boleh dicampur dengan produk seng oksida lain karena dapat mengakibatkan masalah reaktivitas (Darvell, 2018).

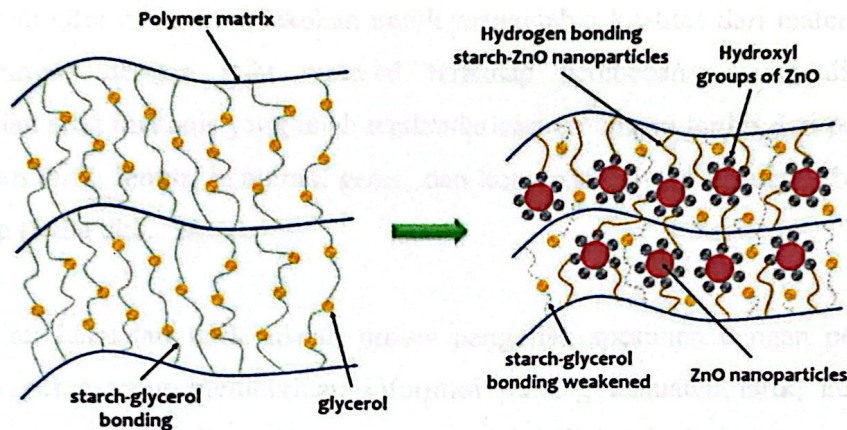
Sifat termal semikonduktor pada ZnO menentukan respon material terhadap perubahan suhu. Sifat-sifat material yang menentukan hubungan linear antara variabel mekanis, listrik, dan termal antara lain ekspansi termal, panas spesifik, dan piroelektrik. Sifat termal dan konduktivitas termal ini tergantung pada suhu sekitar. ZnO banyak digunakan dalam bentuk *film* tipis yang diendapkan pada substrat lain, maka sifat-sifat *film* ZnO juga sangat tergantung pada sifat-sifat yang melekat pada substrat (Markoç dan Özgür, 2009).



Gambar II.4 Struktur kristal seng oksida (ZnO) (Darvell, 2018)

Penambahan nanopartikel ZnO pada bioplastik dapat mempengaruhi struktur rantai polimer dari bioplastik. Penambahan ZnO akan membuat sebuah jaringan ikatan silang yang disebabkan oleh interaksi antar matriks dan gugus hidroksil nanopartikel ZnO. Gambar II.5 menunjukkan ikatan hidrogen antara matriks

polimer dengan nanopartikel ZnO akan mengurangi gugus hidroksil dari matriks untuk berikatan dengan molekul air. ZnO yang ditambahkan ke dalam *biofilm* membuat rantai yang berliku-liku agar air tidak mudah menembus kedalam matriks polimer (Akbar dkk., 2020).



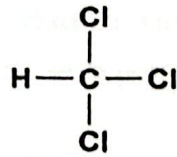
Gambar II.5 Ilustrasi skematik bioplastik sebelum dan sesudah penambahan nanopartikel ZnO (Akbar dkk., 2020)

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

II.4 Kloroform

Kloroform memiliki rumus kimia CHCl_3 , wujud kloroform berupa cairan bening yang mudah menguap dan berbau khas seperti eter. Kloroform lebih dikenal karena kegunaannya sebagai obat pembius, pada bidang industri kloroform lebih banyak digunakan sebagai pelarut non-polar (Amonette dkk., 2009). Gambar II.6 Struktur kimia kloroform.

Sifat kloroform yang merupakan pelarut non-polar digunakan sebagai pelarut untuk melarutkan atau mendispersikan bahan ZnO karena biasanya tidak larut pada air dan alkohol tetapi larut dalam asam (Kanmani dan Rhim, 2014).

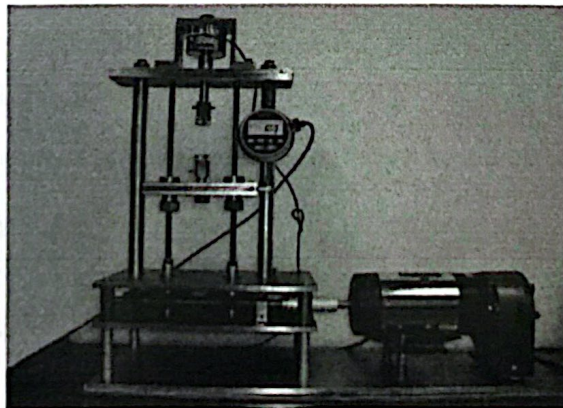


Gambar II.6 Struktur kimia kloroform (Amonette dkk, 2009).

II.5 Pengujian Sifat Mekanis

Pengujian sifat mekanis dilakukan untuk mengetahui kualitas dari material yang berhubungan dengan sifat material terhadap pembebanan yang diberikan. Pengujian sifat mekanis yang telah terstandarisasi umumnya terdiri dari pengujian kekuatan tarik, lentur, benturan, geser, dan kompresi dengan lubang terbuka dan tertutup (Saba dkk., 2019).

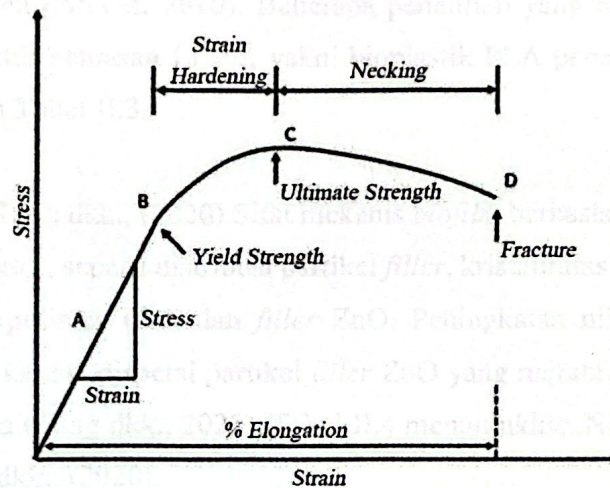
Pengujian kekuatan tarik adalah proses pengujian spesimen dengan penarikan sampai putus yang memberikan informasi tentang kekuatan tarik, kekakuan, keuletan, dan lainnya. Pengujian kekuatan tarik ini dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine* (UTM). Pengujian ini menghasilkan diagram tegangan-regangan yang digunakan untuk menentukan modulus tarik dalam persen (Saba dkk., 2019). Gambar II.7 menunjukkan alat *universal testing machine* (UTM). Gambar II.8 menunjukkan kurva tegangan-regangan pada uji tarik bahan.



Gambar II.7 *Universal Testing Machine* (UTM) (Huerta dkk., 2010)

Variabel-variabel tertentu dapat mempengaruhi hasil kekuatan tarik, maka digunakan *American Society for Testing and Material* (ASTM) sebagai acuan dalam pengujian sifat mekanis material. Kondisi saat spesimen diuji juga dapat

mempengaruhi hasil pengujian kekuatan tarik, seperti cara pengondisiannya, kecepatan dan temperatur pengujian, serta prosedur penggunaan alat.



Gambar II.8 Kurva tegangan-regangan pada uji tarik *film* polimer (Lim dan Hoag., 2013).

Sifat mekanis dari *film* dikarakterisasi oleh kekuatan tarik, regangan sampai putus, dan persen perpanjangan. Sifat mekanis *film* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Tensile Strength} = \frac{F_{max}}{t \times w} \quad (1)$$

F_{max} adalah beban pada saat putus (gaya saat *film* patah/putus), t adalah ketebalan *film* awal, dan w adalah lebar awal *film*.

$$\text{Strain at Break} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \quad (2)$$

l_f adalah panjang akhir *film* pada saat putus dan l_0 adalah panjang awal *film* di antara *grip*.

$$\text{Percent Elongation} = \text{Strain at Break} \times 100 \quad (3)$$

Modulus young (modulus elastis) dihitung dari *slope* bagian linear awal pada kurva tegangan-regangan tempat *film* mengalami deformasi elastis. Ketangguhan dihitung dari area di bawah kurva tegangan-regangan menggunakan aturan trapesium (Lim dan Hoag, 2013).

Salah satu parameter baiknya bahan kemasan adalah kekuatan tarik dari bahan kemasan tersebut. Kantong plastik LDPE banyak digunakan sebagai kemasan untuk membungkus makanan maupun minuman. Nilai kekuatan tarik dari *film* LDPE adalah 23,58 MPa (ASTM, 2010). Beberapa penelitian yang membuat alternatif dari produk plastik kemasan LDPE, yakni bioplastik PLA penelitian sebelumnya ditunjukkan oleh Tabel II.3.

Pada penelitian Tang dkk., (2020) Sifat mekanis *biofilm* berbasis PLA dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti distribusi partikel *filler*, kristalinitas matriks PLA, dan interaksi antara polimer PLA dan *filler* ZnO. Peningkatan nilai kekuatan tarik mungkin terjadi karena dispersi partikel *filler* ZnO yang merata dan pembentukan adhesi antarmuka (Tang dkk., 2020). Tabel II.4 menunjukkan Nilai kekuatan tarik penelitian Tang dkk., (2020).

Tabel II.4 Nilai kekuatan tarik PLA dengan *filler* ZnO penelitian Tang dkk. (Tang dkk., 2020)

Persentase ZnO (%)	Kekuatan Tarik (MPa)
0	20,84
1	25,12
3	26,76
5	27,36
7	29,86
9	20,92
15	16,94

Dari Tabel II.4, dapat diamati bahwa nilai kekuatan tarik *biofilm* meningkat dengan penambahan *filler* ZnO hingga 7% dan untuk penambahan *filler* ZnO selanjutnya mengalami penurunan. Oleh sebab itu, penelitian *biofilm* sebagai pembungkus diharapkan melebihi nilai kekuatan tarik 23,58 MPa supaya baik digunakan sebagai pembungkus berbahan dasar polimer petrokimia (Tang dkk., 2020). Penurunan nilai kekuatan tarik pada *biofilm* PLA dan PLA/ZnO dari literatur acuan PLA/ZnO 9% terjadi karena ZnO membentuk aglomerat, adapun pada literatur lainnya penurunan nilai kekuatan tarik terjadi diatas penambahan 4% (Venkatesan dkk., 2018).

Berbeda dari penelitian yang dilakukan oleh Tang dkk., (2020) penelitian yang dilakukan oleh Marra dkk., (2016) menghasilkan kenaikan dan penurunan pada nilai kekuatan tarik terhadap *biofilm* PLA/ZnO. Tabel II.5 menunjukkan Nilai kekuatan tarik menurut Marra dkk. (2016).

Tabel II.5 Nilai kekuatan tarik PLA dengan *filler* ZnO penelitian Marra dkk. (Marra dkk., 2016)

Persentase ZnO (%)	Kekuatan Tarik (MPa)
0	44±2
1	46±2
3	45±2
5	48±3

Tabel II.5 dapat dilihat kenaikan nilai kekuatan tarik terlihat paling tinggi pada penambahan ZnO 5% ke dalam *biofilm* PLA, yaitu sebesar 48±3 MPa. Hal ini mungkin disebabkan oleh pada penambahan 1% dan 5% *filler* ZnO terdistribusi secara homogen dalam matriks polimer. Penambahan *filler* ZnO 3% tidak terdistribusi secara homogen dan menyebabkan adanya rongga atau kerapatan yang tidak homogen pada permukaan *film* (Marra dkk., 2016).

II.6 Pengujian Sifat Termal

Pengujian sifat termal merupakan analisa termal yang dapat didefinisikan sebagai pengukuran sifat-sifat fisika dan kimia material sebagai fungsi dari suhu. Pengujian sifat termal dapat dilakukan menggunakan alat *thermogravimetric analysis* (TGA) untuk mengetahui suhu dekomposisi pada material yang diuji.

Thermogravimetry (TG) adalah teknik pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi dan menginterpretasi hasil dari alat *thermogravimetric analysis* (TGA). Teknik *thermogravimetry* (TG) didefinisikan oleh ICTAC (*The International Confederation for Thermal analysis and Calorimetry*) sebagai teknik untuk mengukur perubahan massa dari suatu senyawa sebagai fungsi dari suhu ataupun waktu (Hainess, 2002).

Dahulu, percobaan TGA dilakukan dengan memanaskan sampel sampai temperatur tertentu dan kemudian sampel dikeluarkan dan ditimbang pada suatu interval waktu. Prinsip TGA modern memberikan jumlah berat sampel terhadap temperatur dan waktu yang diketahui melalui gas atmosfernya (misalnya menggunakan gas hidrogen murni) (Ng dkk., 2018).

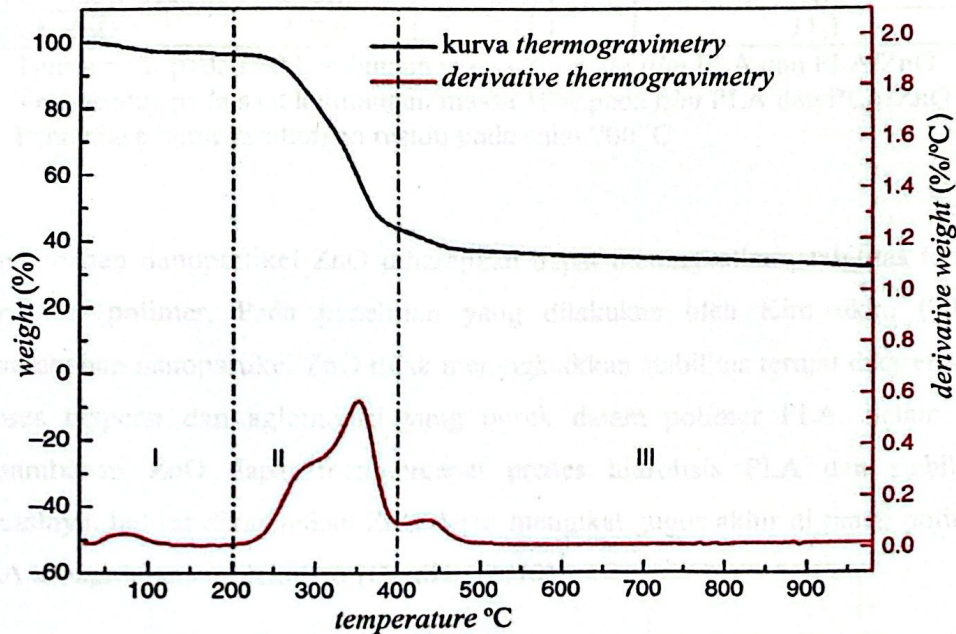
TGA umumnya digunakan untuk meneliti stabilitas termal (kekuatan material pada temperatur yang diberikan), stabilitas oksidasi (laju penyerapan oksigen pada material), dan komposisi material. Umumnya kenaikan massa dari sampel menunjukkan adsorpsi atau oksidasi, dan kehilangan massa dari sampel menunjukkan dekomposisi, dehidrasi, penguapan, atau desorpsi (Ng dkk., 2018).

Instrumen TG terdiri dari beberapa komponen untuk menghasilkan analisis data yang akurat, yaitu: neraca (untuk mengukur berat sampel), *furnace* (untuk memanaskan sampel secara linier), *temperature programmer* (untuk mengukur dan mengontrol temperatur), dan *recorder* (untuk merekam perubahan massa dan temperatur) (Ng dkk., 2018).

Thermogravimetry digunakan untuk mempelajari dekomposisi dan reaksi oksidasi dan proses fisika seperti sublimasi, penguapan, dan desorpsi. Teknik pengujian dengan analisis TGA berguna untuk mempelajari bahan polimer, termasuk termoplastik, termoset, elastomer, komposit, *film*, serat, pelapis, dan cat. Pengujian dengan TGA memberikan informasi yang digunakan untuk menentukan bahan untuk suatu aplikasi akhir, memprediksi kinerja produk, dan meningkatkan kualitas produk. Gambar II.9 menunjukkan contoh dari hasil analisis TG dan DTG dari suatu komposit (Ng dkk., 2018).

Kurva *thermogravimetry* (TG) memperlihatkan grafik dari dekomposisi material dan kurva *derivative thermogravimetry* (DTG) menunjukkan turunan dari kurva TG yang menunjukkan penurunan massa tiap temperatur. Dekomposisi material mendefinisikan karakteristik dan identifikasi polimer, yaitu timbulnya massa yang hilang menentukan batas dari kestabilan termal pada material. Degradasi polimer

yang luas seringkali terjadi sebelum titik perubahan terdeteksi dalam massa. Degradasi polimer dapat dikategorikan melalui beberapa mekanisme seperti *main-chain scission*, *side group scission*, *elimination*, *depolymerization*, *cyclization*, dan *cross-linking*.



Gambar II.9 Analisis TG dan DTG dari suatu komposit (Ng dkk., 2018)

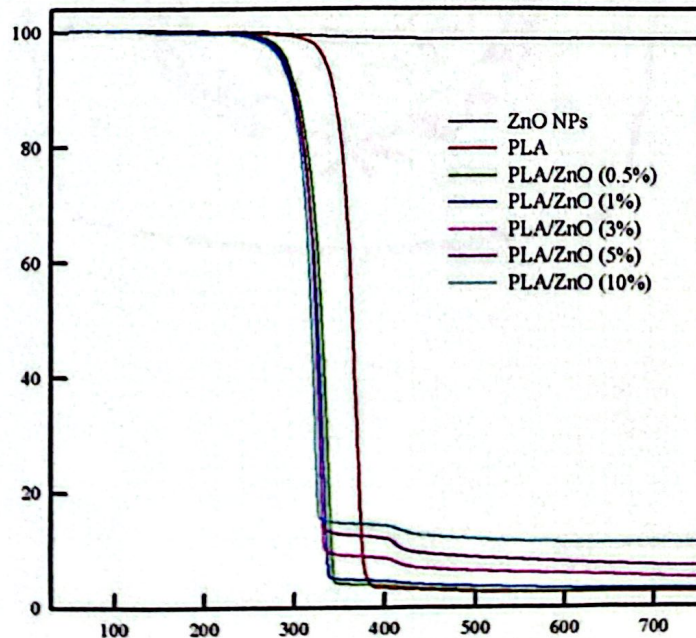
Kurva termogravimetri dari *film* PLA/ZnO ditunjukkan pada Gambar II.10 dan hasilnya terangkum dalam Tabel II.5. Tahap pertama kehilangan massa merupakan dehidrasi molekul air atau senyawa *volatile* pada suhu awal dekomposisi di 140 °C. Tahap kedua, *film* PLA murni kehilangan 96% massa, yaitu kehilangan gugus ester dalam kisaran suhu 300 °C hingga 382 °C. Selanjutnya, *film* PLA/ZnO menunjukkan massa yang hilang sebanyak 85,3% hingga 95,7% terjadi pada kisaran suhu 240 °C hingga 345 °C yang merupakan suhu yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan hilangnya massa pada tahap kedua untuk *film* PLA murni. Pada tahap ketiga, *film* PLA/ZnO 3% sampai 10% menunjukkan massa yang hilang sebanyak 88,7% hingga 93,5% pada kisaran suhu 400 °C hingga 460 °C yang dapat dikaitkan dengan degradasi termal rantai polimer (Kim dkk, 2019).

Tabel II.6 Sifat termal dari PLA murni, PLA/ZnO dan ZnO (Kim dkk, 2019)

Jenis Variasi	T d3% (°C) ^a	T d10% (°C) ^b	Kandungan Residu (%) ^c
ZnO	-	-	98,8
PLA	324,8	341,7	2,6
PLA/ZnO 0,5%	281,4	300,4	2,8
PLA/ZnO 1%	275,7	295,7	3,1
PLA/ZnO 3%	273,6	294,8	5,2
PLA/ZnO 5%	273,1	293,7	7,1
PLA/ZnO 10%	272,6	293,1	11,1

- Temperatur pada saat kehilangan massa 3% pada *film* PLA dan PLA/ZnO
- Temperatur pada saat kehilangan massa 10% pada *film* PLA dan PLA/ZnO
- Persentase berat kandungan residu pada suhu 700 °C

Penambahan nanopartikel ZnO diharapkan dapat meningkatkan stabilitas termal dari *film* polimer. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kim dkk., (2019) penambahan nanopartikel ZnO tidak meningkatkan stabilitas termal dikarenakan proses dispersi dan aglomerasi yang buruk dalam polimer PLA. Selain itu, penambahan ZnO dapat mempercepat proses hidrolisis PLA dan stabilitas termalnya, hal ini dikarenakan ZnO dapat mengikat gugus akhir di rantai polimer PLA sebagaimana molekul air (Qu dkk., 2013).



Gambar II.10 Kurva termogravimetri *film* PLA, PLA/ZnO dan ZnO (Kim dkk., 2019).

Bab III Metode

III.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan dari bulan Desember 2020 sampai bulan Agustus 2020 di Politeknik STMI Jakarta.

III.2 Alat dan Bahan

III.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari:

1. neraca analitik AND HR-250AZ,
2. gelas kimia 50 ml,
3. gelas kimia 100 ml,
4. kaca arloji,
5. spatula,
6. *aluminium foil*,
7. *magnetic stirrer*,
8. *hot plate*,
9. gelas ukur 100 ml,
10. corong kecil,
11. Jangka sorong
12. cawan petri,
13. batang pengaduk,
14. pinset,
15. lemari asam,
16. *plastic zip lock*,
17. penggaris,
18. *cutter*,
19. label,
20. Mikrometer sekrup
21. *universal testing machine* (UTM) ibertst.
22. *thermogravimetric analysis* (TGA)

Gambar alat yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran C.

III.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari:

1. *polylactic acid* (PLA) Ingeo 2002D produksi Nature Works LLC (USA),
2. seng oksida (ZnO), dan
3. kloroform teknis.

Gambar bahan yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran D.

III.3 Variabel

III.3.1 Variabel Tetap

- a. Massa PLA yang digunakan untuk *biofilm* PLA dan PLA/ZnO adalah 3 gram.

- b. Waktu yang digunakan untuk melarutkan PLA adalah 1 jam 30 menit.
- c. Waktu yang digunakan untuk mendispersi ZnO adalah 30 menit.
- d. Waktu yang dibutuhkan untuk melarutkan PLA/ZnO adalah 1 jam.
- e. Volume kloroform yang digunakan sebagai pelarut adalah 50 ml.
- f. Diameter cawan petri adalah 13,5 cm.

III.3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas yang ditetapkan adalah jumlah massa (%wt) campuran dari PLA dan ZnO. Variasi komposisi campuran PLA/ZnO ditunjukkan pada Tabel III.1. Perhitungan massa dari persentase ZnO yang ditambahkan pada *biofilm* PLA dapat dilihat pada lampiran H.

Tabel III.1 Variasi komposisi *biofilm* PLA, dan PLA/ZnO.

Variasi	PLA	Kloroform	ZnO	
	Massa (gram)	Volume (ml)	Persentase (%)	Massa (gram)
1	3	50	0	0
2	3	50	1,5	0,0457
3	3	50	3	0,0929
4	3	50	6	0,1914

III.4 Prosedur Pembuatan *Film* PLA murni dan *Film* PLA/ZnO

Gambar III.1 menunjukkan prosedur penelitian pembuatan *biofilm* PLA dan PLA/ZnO menggunakan metode *solvent casting* dari studi literatur hingga analisis.

III.4.1 Persiapan Alat dan Bahan

Alat-alat yang akan digunakan untuk pembuatan *biofilm* dicuci sampai bersih agar tidak terdapat kotoran dan debu yang menempel. Bahan PLA dan ZnO ditimbang menggunakan neraca analitik tipe AND HR-250AZ dengan kapasitas beban maksimal 252 gram. Massa PLA dalam tiap campuran ditimbang sebanyak 3 gram dan untuk massa ZnO yang digunakan pada variasi campuran 1 sampai 3 secara berturut-turut adalah 0,0457 gram; 0,0929 gram; dan 0,1914 gram. Setelah ditimbang masing-masing bahan ditempatkan pada gelas kimia untuk selanjutnya akan dilakukan proses pelarutan untuk bahan PLA dan proses pendispersian untuk bahan ZnO.

III.4.2 Prosedur Pembuatan *Biofilm* PLA dan PLA/ZnO

1. Pelarutan dan Pendispersian Bahan

Pelarutan yang dilakukan adalah melarutkan PLA yang sudah ditimbang dengan 30 ml pelarut kloroform, PLA dan kloroform dimasukkan ke dalam wadah gelas kimia 100 ml, selanjutnya PLA dan kloroform di letakkan di atas *hot plate* dengan suhu kamar selama 1 jam 30 menit. Pendispersian ZnO dilakukan dengan mencampurkan ZnO yang sudah ditimbang dengan kloroform sebanyak 20 ml didalam wadah gelas kimia 50 ml, selanjutnya ZnO dan kloroform diletakkan di atas *hot plate* dengan suhu kamar selama 30 menit. Proses pelarutan dan pencampuran di atas *hot plate* menggunakan batuan dari *magnetic stirrer*.

keuntungan dengan menggunakan media ini adalah dapat menghasilkan biofilm yang

lebih baik dan kuat

yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

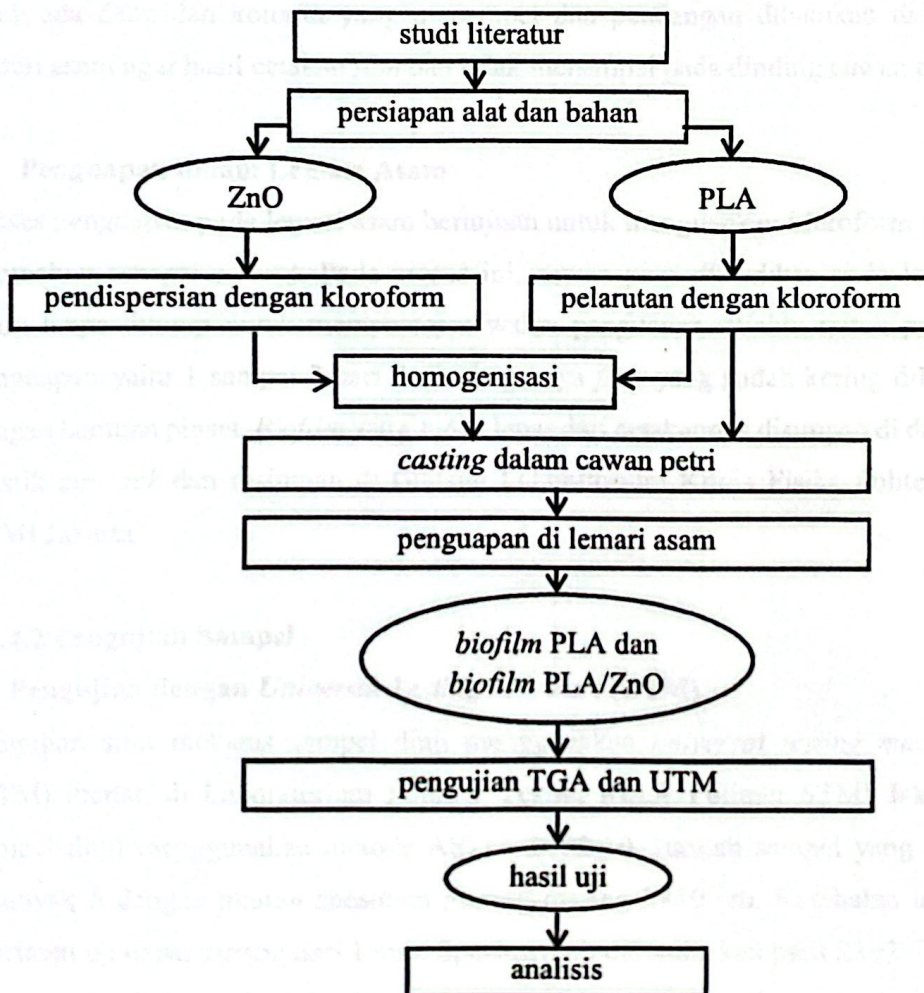
yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan

yang akan dilakukan



Gambar III.1 Diagram alir proses pembuatan *film* murni dan PLA/ZnO

2. Homogenisasi

Proses homogenisasi dilakukan untuk mencampurkan PLA dan ZnO secara rata. PLA yang sudah dilarutkan dicampurkan dengan ZnO yang telah didispersi dengan bantuan *magnetic stirrer* di atas *hot plate* dengan suhu kamar selama 1 jam.

3. *Casting* dalam Cawan Petri

Setelah larutan PLA dan ZnO yang sudah didispersi tercampur secara homogen, selanjutnya dicetak (*casting*) dalam cawan petri untuk menghasilkan *film* yang diinginkan. Proses *casting* dilakukan dengan menuangkan larutan PLA dan dispersi ZnO yang sudah homogen ke dalam wadah cawan petri, pada proses penuangan larutan homogen cawan petri yang digunakan sudah dicuci bersih dan di lap hingga tidak ada debu dan kotoran yang menempel dan penuangan dilakukan didekat lemari asam agar hasil cetakan *film* dan tidak menempel pada dinding cawan petri.

4. Penguapan dalam Lemari Asam

Proses penguapan pada lemari asam bertujuan untuk menguapkan kloroform yang digunakan sebagai pelarut. Pada proses ini, cawan petri diletakkan pada lemari asam tanpa ditutup untuk mempercepat waktu penguapan. Waktu untuk proses penguapan yaitu 1 sampai 2 hari dan selanjutnya *film* yang sudah kering dilepas dengan bantuan pinset. *Biofilm* yang sudah lepas dari cetakannya disimpan di dalam plastik *zip lock* dan disimpan di Gudang Laboratorium Kimia Fisika Politeknik STMI Jakarta.

III.4.2 Pengujian Sampel

1. Pengujian dengan *Universal Testing Machine* (UTM)

Pengujian sifat mekanis sampel diuji menggunakan *universal testing machine* (UTM) ibertst, di Laboratorium Polimer Teknik Kimia Polimer STMI Jakarta. Sampel diuji menggunakan metode ASTM D882-10. Jumlah sampel yang diuji sebanyak 5 dengan ukuran spesimen masing-masing 2×10 cm. Ketebalan untuk spesimen uji dapat kurang dari 1 mm. Spesimen uji dikondisikan pada 23±2°C dan dengan kelembaban relatif 50±10% selama setidaknya 40 jam. Sampel diletakkan di tengah dengan jarak antar *grip* 5 cm dan sampel dijepit dengan erat pada *grip*.

Kemudian, sampel ditarik dan pengujian berakhir ketika spesimen sudah dalam keadaan putus.

2. Pengujian dengan *Thermogravimetri Analysis* (TGA)

Pengujian sifat termal sampel dilakukan dengan alat *thermogravimetric analysis* (TGA) TA 50 digunakan untuk pengujian sifat termal dari *film* PLA murni dan *film* PLA/ZnO. Alat ini terdapat pada Laboratorium Instrumentasi Teknik Kimia Polimer STMI Jakarta. Sampel diuji menggunakan metode ASTM E1131-08 dengan massa spesimen 20 mg. Sampel diletakkan di dalam wadah platina HT dan selanjutnya dimasukkan pada alat TGA, kemudian dipanaskan dengan rentang suhu 30–750°C, dengan laju alir gas nitrogen 50 ml/menit. Pengujian berakhir ketika spesimen sudah terdekomposisi dan mendapatkan nilai suhu dekomposisi berupa kurva termogram.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Pembuatan lembaran *film* PLA/ZnO menggunakan metode *solvent casting* dengan melarutkan dan mendispersikan bahan dengan menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer* yang selanjutnya di cetak pada cetakan cawan petri. Penggunaan *hot plate* dan *magnetic stirrer* diharapkan dapat mencampurkan bahan dengan baik dibandingkan pencampuran manual tanpa alat. Proses pencampuran dilakukan selama 1 jam dan setelahnya dicetak pada cawan petri yang kemudian dikeringkan didalam lemari asam selama 24 jam.

Setelah terbentuk lembaran *film*, sampel dipotong menjadi spesimen dengan ukuran spesimen 2×10 cm. *Conditioning* selama 24 jam dilakukan sebelum dilakukan uji kekuatan tarik dan uji stabilitas termal.

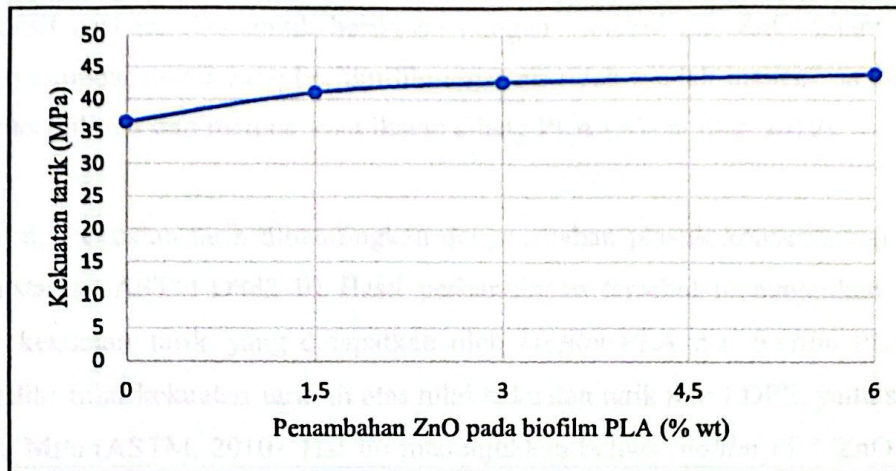
IV.1 Hasil Uji Sifat Mekanis

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dari *biofilm* PLA dan PLA/ZnO. Pengujian dilakukan dengan standar ASTM D882-10. Setiap hasil uji dirata-rata untuk semua jenis sampel dan hasil rata-rata tersebut menjadi acuan analisis dalam penelitian ini. Hasil pengujian tarik disajikan pada Tabel IV.1. Hasil pengujian tarik pada tiap variasi sampel yang dihasilkan dapat dilihat pada lampiran H.

Tabel IV.1 Hasil uji tarik *biofilm* PLA dan PLA/ZnO

Jenis Variasi	Kekuatan Tarik (MPa)
PLA	36,51
PLA/ZnO 1,5%	41,12
PLA/ZnO 3%	42,69
PLA/ZnO 6%	43,92

Dari Tabel IV.1 dibuatlah diagram garis untuk menunjukkan pengaruh penambahan ZnO pada *biofilm* PLA terhadap kekuatan tarik dari *biofilm*. Gambar IV.1 menunjukkan diagram garis pengaruh penambahan ZnO pada *biofilm* PLA terhadap kekuatan tarik *biofilm*.



Gambar IV.1 Kekuatan tarik *biofilm* PLA

Gambar IV.1 memperlihatkan nilai kekuatan tarik dari *biofilm* PLA/ZnO. Terlihat bahwa penambahan *filler* ZnO membuat nilai kekuatan tarik semakin meningkat dari ZnO 0% sampai dengan penambahan ZnO 6%. Hasil ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Tang dkk. (2020) yang menunjukkan bahwa kenaikan nilai kekuatan tarik *biofilm* meningkat dengan penambahan *filler* ZnO hingga 7%, yaitu sebesar 29,86 MPa. Hal ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan Marra dkk. (2016), kekuatan tarik *biofilm* meningkat hanya pada penambahan 1% dan 5%, yaitu sebesar 48 ± 2 MPa dan 48 ± 3 MPa.

Peningkatan nilai kekuatan tarik yang dihasilkan oleh penambahan *filler* ZnO pada *biofilm* PLA dipengaruhi oleh bentuk dari *filler* ZnO yang digunakan. Penggunaan *filler* berbentuk partikel dan jumlahnya mempengaruhi luas interaksi dengan matriks. Semakin kecil bentuk partikel, semakin luas permukaan partikelnya, sehingga interaksi partikel dengan matriks semakin besar dan semakin banyak partikel *filler*, semakin besar interaksinya juga. Dalam hal ini, gugus hidroksil ZnO yang semakin banyak berinteraksi dengan rantai polimer PLA dan semakin besar ZnO membantu memperkuat PLA. Peningkatan nilai kekuatan tarik juga terjadi karena disperse partikel *filler* ZnO yang homogen secara acak.

Berdasarkan rantainya, penambahan *filler* ZnO dapat memperkuat ikatan silang pada matriks polimer. Ketika pencampuran polimer PLA dengan *filler* ZnO, ikatan hidrogen antara matriks polimer dengan *filler* ZnO akan mengurangi gugus

hidroksil dari matriks untuk berikatan dengan molekul air. ZnO dalam *biofilm* PLA membuat rantai yang berliku-liku agar air tidak mudah menembus ke dalam matriks polimer dan memperkuat ikatan silang PLA (Akbar dkk, 2010).

Hasil uji kekuatan tarik dibandingkan dengan bahan plastik konvensional LDPE pada standar ASTM D882-10. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik yang didapatkan oleh *biofilm* PLA dan *biofilm* PLA/ZnO memiliki nilai kekuatan tarik di atas nilai kekuatan tarik *film* LDPE, yaitu sebesar 23,58 MPa (ASTM, 2010). Hal ini menunjukkan bahwa *biofilm* PLA/ZnO sudah layak dijadikan sebagai bahan plastik kemasan menggantikan *film* LDPE untuk mengurangi dampak lingkungan plastik konvensional.

IV.2 Hasil Uji Sifat Termal

Pengujian sifat termal ini dilakukan dengan alat *Thermogravimetry Analysis* TA TGA550 menggunakan standar ASTM E1131-08. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui suhu dekomposisi dari material yang dilihat dari penurunan massa pada sampel pada saat dipanaskan. Tiap sampel diuji sebesar 20 mg dengan pemanasan suhu 30°C–750°C dan dengan laju alir gas nitrogen 20 mL/menit. Gambar IV.3 menunjukkan kurva termogram dari *biofilm* PLA dan PLA/ZnO dan hasilnya terangkum dalam Tabel IV.2.

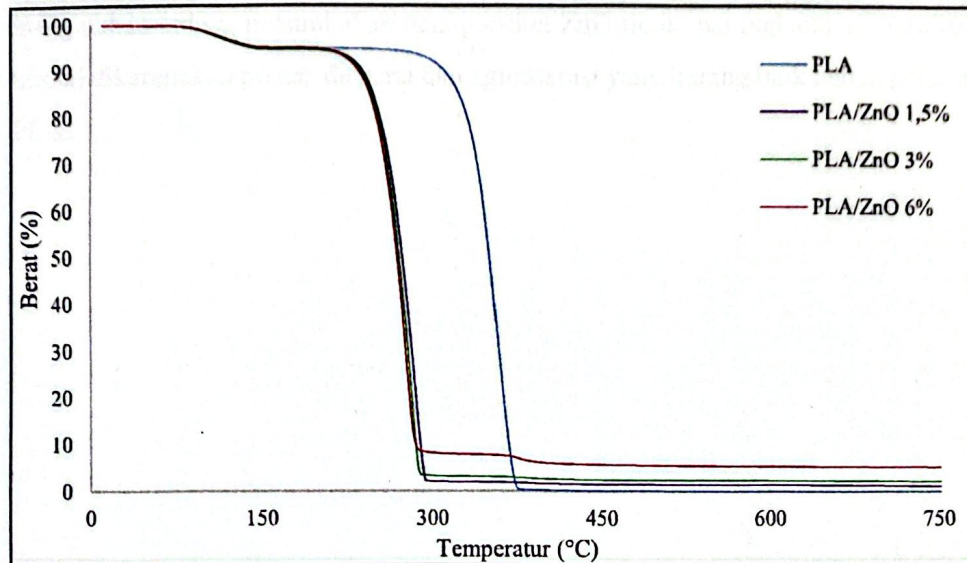
Tabel IV. 2 Sifat termal *biofilm* PLA dan PLA/ZnO

Jenis Variasi	T d5% (°C) ^a	T d10% (°C) ^b	Kandungan Residu (%) ^c
PLA	173,95	298,88	0,57
PLA/ZnO 1,5%	143,36	238,91	1,10
PLA/ZnO 3%	141,10	237,83	2,08
PLA/ZnO 6%	164,23	235,51	5,12

- Temperatur pada saat kehilangan massa 5% pada *film* PLA dan PLA/ZnO
- Temperatur pada saat kehilangan massa 10% pada *film* PLA dan PLA/ZnO
- Persentase berat kandungan residu pada suhu 750 °C.

Gambar IV.2 menunjukkan kurva termogram dengan penurunan massa yang curam dua kali, yaitu tahap pertama sekitar suhu 140°C saat kehilangan massa 5% yang merupakan penghilangan senyawa *volatile* pada suhu awal dekomposisi di 140°C. Penurunan massa tahap kedua, kehilangan 10% massa di rentang suhu 235,51°C–

238,91°C untuk *biofilm* PLA/ZnO dan di sekitar suhu 298,88°C untuk *biofilm* PLA sebab terjadinya degradasi polimer.



Gambar IV.2 Kurva termogram *biofilm* PLA dan PLA/ZnO

Pada pemanasan hingga 750°C menunjukkan jumlah kehilangan massa adalah sebesar 94,88–99,43% untuk film PLA dan dengan penambahan *filler* ZnO hingga 6%. Residu yang dihasilkan pada *biofilm* PLA/ZnO merupakan *filler* ZnO yang tidak terdekomposisi pada saat proses pemanasan sampel karena merupakan bahan anorganik (Shankar dan Jong, 2018). Tingkat kehilangan massa *film* PLA yang ditambahkan dengan ZnO lebih rendah dibandingkan dengan *film* PLA.

Pergeseran suhu dekomposisi menuju suhu yang lebih rendah membuktikan bahwa penambahan ZnO dapat mengurangi stabilitas termal *biofilm*. Dapat dilihat dari penurunan massa *film* PLA 10% pada suhu 298,88°C, sedangkan penurunan massa *film* PLA/ZnO 6% sebesar 10% terjadi pada rentang suhu sekitar 235,10°C.

Penambahan *filler* ZnO mengakibatkan percepatan proses hidrolisis PLA karena *filler* ZnO yang ditambahkan pada *biofilm* PLA mengikat gugus akhir di rantai polimer PLA seperti molekul air sehingga pada saat dipanaskan rantai polimer yang berikatan dengan gugus hidroksil akan putus (Qu dkk. 2013).

Hasil dari pengujian sifat termal menunjukkan bahwa penambahan *filler* ZnO pada *biofilm* PLA tidak dapat memberikan nilai stabilitas termal yang baik. Hasil ini selaras dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Kim dkk. (2019) yang mengatakan bahwa penambahan nanopartikel ZnO tidak meningkatkan stabilitas termal dikarenakan proses dispersi dan aglomerasi yang kurang baik dalam polimer PLA.

BAB V Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data hasil penelitian dapat disimpulkan hal berikut:

1. Penambahan *filler* ZnO pada *biofilm* PLA dapat menaikkan nilai kekuatan tarik hingga 43,92 MPa.
2. Penambahan *filler* ZnO pada *biofilm* PLA dapat menurunkan suhu dekomposisi yang terlihat pada penurunan massa 10% *biofilm* PLA dari suhu 298,88°C menjadi sekitar suhu 235,51°C pada penambahan *filler* ZnO 6%.

V.2 Saran

Saran pelaksanaan agar dapat dilakukan penelitian yang lebih baik adalah sebagai berikut:

1. Untuk menghindari terbentuknya aglomerat, proses pendispersian *filler* ZnO dengan kloroform dilakukan lebih lama dari waktu yang digunakan pada penelitian ini.
2. Untuk mendapatkan hasil spesimen untuk uji tarik, penggunaan cetakan cawan petri yang berdiameter 13,5 cm diganti dengan cetakan yang lebih besar sehingga sampel yang dihasilkan bisa lebih besar dan spesimen yang dibuat juga dapat lebih banyak.
3. Untuk menentukan lamanya waktu penguraian *biofilm* PLA/ZnO dalam tanah sebagai pendukung pertimbangan aplikasi *biofilm* PLA/ZnO menjadi bahan kemasan maka diperlukan pengujian *biodegradability*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. H. D., Putri, O. D., Fikriyyah, A. K., Nissa, R. C., Hidayat, S., Septiyanto, R. F., Satoto, R. (2020): Harnessing the Excellent Mechanical, Barrier and Antimicrobial Properties of Zinc Oxide (ZnO) to Improve the Performance of Starch-based Bioplastic, *Polymer-Plastics Technology and Materials*, **59**, 1–10.
- Amonette, J. E., Jeffers, P. M., Qafoku, O., Russell, C. K., Wietsma, T. W., dan Truex, M. J. (2009): *Carbon Tetrachloride and Chloroform Attenuation Parameter Studies: Heterogeneous Hydrolytic Reactions*. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington, -.
- Anžlovar, A., Kržan, A., dan Žagar, E. (2018): Degradation of PLA/ZnO and PHBV/ZnO composites prepared by melt processing, *Arabian Journal of Chemistry*, **3**, 343–352.
- ASTM (2012): ASTM D882-12 Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting, *ASTM International*, West Conshohocken, United States, 1 – 10.
- ASTM (2008): ASTM E1131-08 Standard test method for compositional analysis by thermogravimetry, *ASTM International*, West Conshohocken, United States, 1–5.
- Aveorus, L. (2008): Polylactic Acid: Sythesis, Properties and Applications, - dalam Ed, M., Belgacem, N., dan Gandini, A., ed., *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*, 21., Amsterdam., Elsevier Ltd.
- Castro-Aguirre, E., Iñiguez-Franco, F., Samsudin, H., Fang, X., dan Auras, R. (2016): Poly (lactic acid)-mass production, processing, industrial applications, and end of life, *Advanced Drug Delivery Reviews*, **107**, 333–366.
- Darvell, B. W. (2018): *Materials science for dentistry*, Woodhead Publishing, Cambridge, 249–291.
- Francis, R., Sasikumar, S., dan Gopalan, G. P. (2014): Synthesis, structure, and properties of biopolymers (natural and synthetic), 11–108 dalam Jose, S., Joseph, K., Malhotra, S. K., Goda, K., dan Sreekala, M. S., ed., *Polymer composites*, 582 hal., Wiley-VCH, Weinheim.
- Garlotta, D. (2002): A literature review of Poly (Lactic Acid), *Journal of Polymer and the Environment*, **9**, 63.
- Gibson, R. F. (1994): *principle of composite material mechanics*, International Edition, McGraw-Hill Inc., New York, 166.
- Hainess, P. J. (2002): *Principles of termal analysis and calorimetry*, RSC Paperbacks, Cambridge, 10–12.
- Harunyah, M. Yunus, dan Reza F. (2017): Mechanical properties of bioplastics cassava starch film with zinc oxide nano filler as reinforcement, *Materials Science and Engineering*, **210**, 1–8.
- Huerta, E., Corona, J. E., dan Oliva A. I. (2010): Universal testing machine for mechanical properties of thin materials, *Revista Mexicana De F'Isica*, **56**, 317–322.
- Jamshidian, M., Tehrany, E. A., Imran, M., Jacquot, M., dan Desobry, S. (2010): Poly-lactic acid: production, applications, nanocomposites, and release

- studies, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **9**, 552–571.
- Jose, J. P., Malhotra, S. K., Jose, S., Joseph, K., Goda, K., dan Sreekala, M. S. (2012): Advances in polymer composites: macro- and microcomposites – state of art, new challenges, and opportunities, 1–15 dalam Thomas, S., Joseph, K., Malhotra, S. K., Goda, K., dan Sreekala, M. S., ed., *Polymer composites*, 814 hal., Wiley-VCH Verlag, Weinheim.
- Kanmani, P., dan Rhim, J. W. (2014): Physical mechanical and antimicrobial properties of gelatin-based active nanocomposite films containing AgNPs and nanoclay, *Food hydrocoll*, **35**, 644–652.
- Kim, I., Viswanathan, K., Kasi, G., Sadeghi, K., Thanakkasaranee, S., dan Seo, J. (2019): Poly(Lactic Acid)/ZnO bionanocomposite film with positively charged ZnO as potential antimicrobial food packaging materials, *Journals of Polymers MDPI*, **11**, 1427.
- Kolstad, J. J., Vink, E. T. H., De Wilde, B., dan Debeer, L. (2012): Assessment of anaerobic degradation of Ingeo™ polylactides under accelerated landfill conditions, *Journal Polymer Degradation and Stability*, **97**, 1131–1141.
- Lim, H. dan Hoag, S. W. (2013): Plasticizer effect on physico-mechanical properties of solvent cast suluplus film, *Journal in AAPS PharmSciTech*, **14**, 906.
- Lizundia, E., Ortellado, M. C. P., Guinault, A. Vilas., J. L., Domenek, S. (2019): Impact of ZnO nanoparticle morphology on relaxation and transport properties of PLA nanocomposites, *Journals of Polymer Testing*, **75**, 175–184.
- Markoç, H., dan Özgür, Ü. (2009): Zinc Oxide fundamentals, *Materials and device Technology*, Wiley-VCH, 365.
- Marra, A., Silvestre, C., Duraccio, D., dan Cimmino, S. (2016): Polylactic acid zinc eroxide biocomposite films for food packaging application, *International Journal of Biological Macromolecules*, **88**, 254–262.
- Nampoothiri, K. M., Nair, N. R., dan John, R. P. (2010): An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research, *Bioresource Technology*, **101**, 8493–8501.
- Ng, H. M., Saidi, N. M., Omar, F. S., Ramesh, K., Ramesh, S., dan Bashir, S. (2018): Thermogravimetric analysis of polymers, *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 1–29.
- Qu, M., Tu, H., Amarante, M., Song, Y.Q., dan Zhu, S. S. (2013): Zinc oxide nanoparticles catalyze rapid hydrolysis of poly (lactic acid) at low temperatures. *Journal of Applied Polymer Science*, **131**, 1–7
- Rajeswari, A., Christy, E. J. S., Gopi, S., Jayaraj, K., dan Pius, A. (2020): Characterization studies of polymer-based composites related to functionalized filler-matrix interface, 219–250 dalam Goh, K. L., Aswathi, M. K., Silva, R. T. D., dan Jose, S., ed., *Interfaces in particle and fibre reinforced composites*, 582 hal., Woodhead Publishing, Cambridge.
- Saba, N., Jawaid, M., dan Sultan, M. T. H. (2019): An overview of mechanical and physical testing of composite materials, 1–12 dalam Jawaid, M., Thariq, M., dan Saba, N., ed., *Mechanical and physical testing of biocomposites, fibre-reinforced composites and hybrid composites*, 457 hal., Woodhead Publishing, Oxford.

- Shankar, S. dan Jong-Whan, R. (2018): Bionanocomposite films for food packaging applications, Reference Module in Food Science, Elsevier Inc., Oxford, 1–8.
- Sin, L. T., Rahmat, A. R., dan Rahman, W. A. (2013): Applications of Poly(lactic Acid), Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics, 55–69.
- Syamsul H., Akbar H.D.A., Rahmat F.S., Yus R. D. M., dan Isriyanti A. (2019): Perbandingan sifat mekanik bioplastik terhadap penambahan zinc oxide (ZnO), *Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, **5**, 8–12.
- Takkalkar, P., Tobin, M. J., Vongsvivut, J., Mukherjee, T., Nizamuddin, S., Griffin, G., dan Kao, N. (2019): Structural, termal, rheological, and optical properties of poly(lactic acid) films prepared through solvent casting and melt processing, *Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **104**, 293–300.
- Tang, Z., Fan, F., Chu, Z., Fan, C., dan Qin, Y. (2020): Barrier properties and characterizations of poly(lactic acid)/ZnO nanocomposites, *Journals of Molecules MDPI*, **25**, 1310 – 1311.
- Vasile, C., Râpa, M., Stefan, M., Macavei, S., Darie-Nița, R. N., Barbu, Tudoran, L., Vodnar, D.C., Popa, E. E., Ștefan, R., Borodi, G., dan Brebu, M. (2017): New PLA/ZnO:Cu/Ag bionanocomposites for food packaging, *EXPRESS Polymer Letters*, **11**, 531–544.
- Venkatesan, R., dan Rajeswari, N. (2016): ZnO/PBAT Nanocomposite Films: Investigation on the Mechanical and Biological Activity for Food Packaging, *Polymers for Advanced Technologies*, **28**, 20–27.
- Venkatesan, R., Thiyagu, T. T., dan Rajeswari, N. (2018): Zinc Composite Materials and Food Packaging, 153–172 dalam Cirillo, G., Kozlowski, M. A., dan Spizzirri, U. G., ed., *Composite materials for food packaging*, 443 hal., Scrivener Publishing, Hoboken.
- Wijayanti, K. P., Dermawan, N., Faisah, S. N., Prayogi, V., Judiawan, W., Nugraha, T., dan Listyorini, N. T. (2016): Bio-Degradable bioplastics sebagai plastik ramah lingkungan, *Surya Octagon Interdisciplinary journal of technology*, –, 131-153.
- Wypych, G. (2016): *Handbook of polymers 2nd edition*. ChemTec Publishing, Toronto, 399–400.

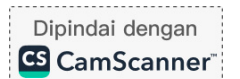
Lampiran A. Lembar Anggaran dan Realisasi Anggaran

Nama : K. Pradiyana
 NPM : 15704010001
 Nama Dosen : Pengantar, Perencanaan, dan Pengendalian Biaya Terhadap
 Biaya Pokok dan Biaya Variabel Melalui Laporan Laba
 Rugi
 Mata Kuliah : Sistem Akuntansi, S. F. M. T. dan Sistem Akuntansi, S. F. M. T.

Tanggal	Uraian	Saldo
11 Desember 2019		
12 Desember 2019		
13 Desember 2019		
14 Desember 2019		

LAMPIRAN

(The following text is extremely faint and largely illegible, appearing to be a continuation of a report or lecture notes.)



Lampiran A Lembar Bimbingan Penyusunan Tugas Akhir

Nama : Robiatul Diniyah
 NIM : 1516017
 Judul Penelitian : Pengaruh Penambahan *Filler* Seng Oksida (ZnO) Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Termal *Biofilm Polylactic Acid* (PLA)
 Pembimbing : Syaiful Ahsan, S.T., M.T. dan Andi Rusnaenah, S.T., M.T., M.Si.

Tanggal	Bab	Keterangan
31 Oktober 2019	-	Diskusi rencana tempat penelitian
06 November 2019	-	Diskusi rencana tempat penelitian (dengan asisten pembimbing)
03 Desember 2019	-	Diskusi rencana penelitian di Politeknik STMI Jakarta topik penelitian yang akan digunakan
26 Desember 2019	-	Diskusi bahan yang akan digunakan dan jurnal ilmiah yang digunakan sebagai acuan penelitian
06 Januari 2020	I	Diskusi jurnal ilmiah, pembuatan kerangka penelitian, hipotesis terkait penelitian yang akan dilakukan, tujuan penelitian dan manfaat dari penelitian. Revisi Proposal TA bab I mengenai manfaat penelitian
23 Januari 2020	I-III	Revisi Proposal TA bab I-III mengenai latar belakang, tinjauan pustaka, dan prosedur penelitian (dengan asisten pembimbing)
24 Januari 2020	I-III	Revisi Proposal TA bab I-III mengenai sampul proposal, latar belakang, rumusan masalah, daftar pustaka, penulisan <i>typo</i> dalam proposal dan penggunaan serta tanda baca pada proposal
31 Januari 2020	I dan III	Revisi Proposal TA bab I dan III mengenai pendahuluan, penulisan sumber pustaka dalam paragraf, dan <i>typo</i> penulisan pada judul gambar
12 Februari 2020	III	Diskusi mengenai penggunaan alat penelitian, metode penelitian dan waktu pembuatan sampel
17 Februari 2020	III	Diskusi hasil percobaan pembuatan bioplastik PLA/ZnO 6% mengenai bentuk fisik sampel yang dihasilkan, waktu pengeringan sampel dan usulan untuk membersihkan alat

		penelitian sebelum digunakan serta penggunaan oven untuk pengeringan (dengan asisten pembimbing)
17 Februari 2020	III	Diskusi hasil percobaan pembuatan bioplastik PLA/ZnO 6% mengenai bentuk fisik sampel yang dihasilkan, proses pelepasan sampel dan waktu pengeringan sampel dan penambahan untuk variasi penambahan ZnO pada bioplastik PLA
22 Februari 2020	III	Diskusi hasil pembuatan sampel bioplastik PLA dan PLA/ZnO 1,5% dan 3% yang sudah dibuat yaitu, bentuk fisik dari sampel yang dihasilkan, kesalahan pada metode pengeringan yang dilakukan, dan tidak jadinya penggunaan oven sebagai media pengeringan (dengan asisten pembimbing)
24 Februari 2020	III	Diskusi hasil diskusi dengan asisten pembimbing mengenai hasil pembuatan sampel PLA/ZnO, membandingkan hasil sampel yang sudah dibuat dan tidak jadinya penggunaan oven untuk proses pengeringan sampel bioplastik
12 Maret 2020	III	Diskusi hasil pembuatan bioplastik dan pengujian yang akan dilakukan (dengan asisten pembimbing)
13 Maret 2020	III	Diskusi hasil pembuatan bioplastik, pengujian yang akan dilakukan, ukuran sampel yang akan digunakan pada pengujian dengan alat uji UTM
14 April 2020	I-III	Latihan presentasi seminar pertama dan revisi bahan presentasi mengenai, penulisan <i>footer</i> prodi, rumusan masalah, tujuan penelitian, tampilkan referensi pada semua kutipan, tinjauan pustaka, penggunaan ilustrasi gambar, dan tempat penelitian diganti menjadi Politeknik STMI Jakarta
25 April 2020	I-III	Revisi bahan presentasi, Gelar asisten pembimbing dan gambar pada slide 21
11 Mei 2020	I-II	Revisi laporan TA bab I-II mengenai pendahuluan dan tinjauan pustaka (dengan asisten pembimbing)
9 Juni 2020	II dan IV	Revisi laporan TA mengenai tinjauan pustaka dan diskusi jurnal ilmiah (dengan asisten pembimbing)
15 Juni 2020	I-IV	Revisi laporan TA mengenai sampul, abstrak, penulisan gelas asisten pembimbing, penggunaan tanggal pada lembar pengesahan, penulisan daftar isi, lampiran, daftar tabel,

		pada metode interpolasi cantumkan nilai R^2 , penulisan judul gambar, konsistensi pada penulisan daftar pustaka, <i>typo</i> penulisan dalam bab I-IV dan penggunaan kata setra tanda baca yang cocok untuk digunakan
--	--	---

Lampiran B Lembar Surat Tugas Dosen Pembimbing 1



BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA INDUSTRI
POLITEKNIK STMI JAKARTA
Jl. Letjen Suprpto No. 26 Cempaka Putih, Jakarta 10510
Telp: (021) 42886064 Fax: (021) 42888206

Nomor : 259 /BPSDMI/STMI/PP/II/2020 Jakarta, 26 Februari 2020
Lampiran : 1 (satu)
Hal : Penugasan Proses Bimbingan Tugas Akhir Tahun Akademik 2019/2020

Yth. Bapak Syaiful Ahsan, ST, MT
Di Jakarta

Berdasarkan Keputusan Direktur Politeknik STMI Jakarta Nomor 01/BPSDMI/STMI/PP/KEP/II/2020 tanggal 02 Januari 2020 tentang pengangkatan Dosen Pembimbing dan Assisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta Tahun Akademik 2019/2020, maka dengan ini kami mengharap bantuan Bapak untuk dapat memberikan bimbingan dalam penulisan / penyusunan Tugas Akhir kepada mahasiswa yang namanya tersebut di bawah ini:

Nama : Robiatul Diniyah
No. Induk : 1516017

Adapun judul Tugas Akhir yang bersangkutan berdasarkan proposal yang terdaftar adalah:

" Pengaruh Penambahan Filler ZnO terhadap Sifat Termal dan Kuat Tarik pada Bioplastik PLA. "

Demikian surat penugasan ini disampaikan. Atas perhatian dan bantuan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Direktur,

Mustofa

Tembusan:
1. Pudir 1;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;



Lampiran C Lembar Surat Tugas Dosen Pembimbing 2



BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA INDUSTRI
POLITEKNIK STMI JAKARTA
Jl. Letjen Suprpto No. 26 Cempaka Putih, Jakarta 10510
Telp: (021) 42886064 Fax: (021) 42888206

Nomor : 259 /BPSDM/STMI/II/2020
Lampiran : 1 (satu)
Perihal : Asistensi Bimbingan Tugas Akhir
Tahun Akademik 2019/2020

Jakarta, 26 Februari 2020

Yth. Ibu Andi Rusnaenah, ST, MT, M.Si
Di Jakarta

Berdasarkan Surat Keputusan Direktur Politeknik STMI Jakarta No: 01/BPSDM/STMI/PP/KEP/II/2020 tanggal 02 Januari 2020 tentang pengangkatan Dosen Pembimbing dan Asisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta, Tahun Akademik 2019/2020, maka dengan ini kami mengharap bantuan Ibu untuk dapat memberikan bimbingan dalam penulisan / penyusunan Tugas Akhir kepada mahasiswa yang namanya tersebut di bawah ini:

Nama : Roblatul Diniyah
No. Induk : 1516017

Adapun judul Tugas Akhir mahasiswa tersebut adalah:

" Pengaruh Penambahan Filler ZnO terhadap Sifat Termal dan Kuat Tarik pada Bioplastik PLA "

Demikian surat ini kami sampaikan. Atas perhatian dan bantuan Ibu kami ucapkan terima kasih.


Direktur,

Mustofa

Tembusan:
1. Pudir 1;
2. Ka Prodi TKP;
3. Dosen Pembimbing;
4. Mahasiswa yang bersangkutan;



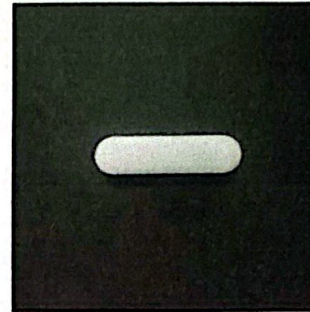
Lampiran D Gambar Alat-Alat



Cawan Petri



Hot plate



Magnetic stirrer

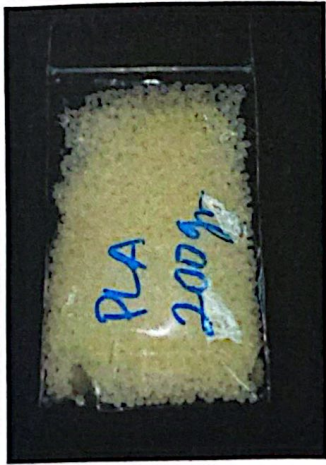


Alat uji TGA



Alat uji UTM

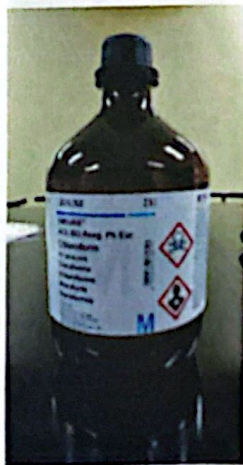
Lampiran E Gambar Bahan-Bahan



**Pelet PLA ingeo
2002D**

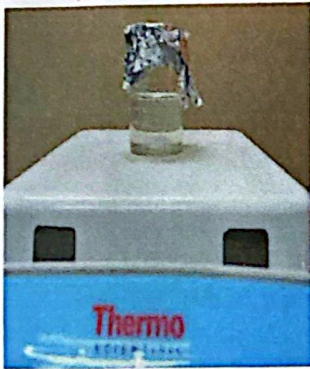


Serbuk ZnO

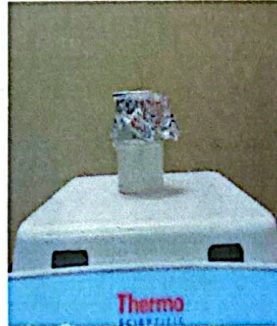


Kloroform

Lampiran F Gambar Proses



Pelarutan PLA



Pendispersian ZnO



Pencampuran

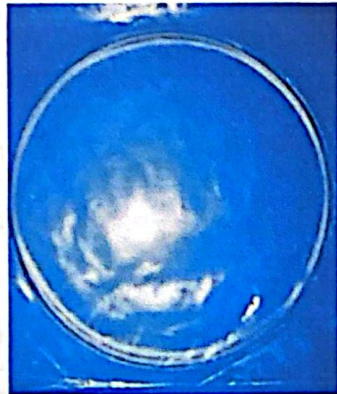


Casting dalam cawan petri



Pengeringan dalam Lemari asam

Lampiran G Gambar Produk



PLA



PLA/ZnO 1,5%



PLA/ZnO 3%



PLA/ZnO 6%

Lampiran H Perhitungan

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

a. ZnO 1,5% $= \frac{1,5\%}{98,5\%} \times 3 \text{ gram} = 0,0457 \text{ gram}$

b. ZnO 3% $= \frac{3\%}{97\%} \times 3 \text{ gram} = 0,0928 \text{ gram}$

c. ZnO 6% $= \frac{6\%}{94\%} \times 3 \text{ gram} = 0,1914 \text{ gram}$

2. Data nilai kekuatan tarik *biofilm* PLA dan PLA/ZnO

Variasi	Nama spesimen	Kekuatan tarik (MPa)	Rata-rata
PLA	Spesimen 1	-	36,51
	Spesimen 2	38,82	
	Spesimen 3	37,75	
	Spesimen 4	32,59	
	Spesimen 5	36,87	
1,5	Spesimen 1	41,69	41,12
	Spesimen 2	38,85	
	Spesimen 3	39,19	
	Spesimen 4	43,31	
	Spesimen 5	42,57	
3	Spesimen 1	40,39	42,69
	Spesimen 2	41,49	
	Spesimen 3	43,97	
	Spesimen 4	44,12	
	Spesimen 5	43,46	
6	Spesimen 1	39,23	43,92
	Spesimen 2	45,51	
	Spesimen 3	43,61	
	Spesimen 4	41,50	
	Spesimen 5	49,75	