

**PENGARUH PENAMBAHAN SENG OKSIDA (ZnO) DAN MAGNESIUM  
OKSIDA (MgO) TERHADAP SIFAT ANTIBAKTERI BIOPLASTIK POLI  
ASAM LAKTAT**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Donny Farhan**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF ADDING ZINC OXIDE (ZnO) AND MAGNESIUM OXIDE (MgO) TO THE ANTIBACTERIAL PROPERTIES OF POLYLACTIC ACID**

By

Donny Farhan

Polylactic acid (PLA) bioplastics are increasingly being developed due to its very high degradation ability. In this research, PLA bioplastics were made and the effect of the addition of 0,1%, 0,2%, 0,5%, and 1,0% Zinc Oxide (ZnO) and Magnesium Oxide (MgO) were analyzed through characterization and antibacterial testing. The bioplastics are made by the solvent casting method using chloroform solvent. Analysis of functional groups with FTIR shows that the addition of ZnO and MgO does not affect the PLA functional groups. Surface morphological and elemental composition analysis with SEM-EDX shows that ZnO and MgO are dispersed in PLA. The analysis of thermal degradation with TGA shows that the addition of ZnO and MgO decreases the thermal degradation of PLA. Tensile test analysis shows that the addition of ZnO and MgO increases the tensile strength of PLA, but excessive addition decreases its tensile strength. Antibacterial test shows that the addition of ZnO and MgO increases the antibacterial activity of PLA

Keyword : Bioplastic, Polylactic acid, Zinc oxide, Magnesium oxide, Antibacterial

## **ABSTRAK**

### **PENGARUH PENAMBAHAN SENGG OKSIDA (ZnO) DAN MAGNESIUM OKSIDA (MgO) TERHADAP SIFAT ANTIBAKTERI BIOPLASTIK POLI ASAM LAKTAT**

Oleh

Donny Farhan

Bioplastik Poli Asam Laktat/*Polylactic acid* (PLA) semakin dikembangkan karena kemampuan degradasinya yang sangat tinggi. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan bioplastik PLA serta analisis pengaruh penambahan Seng Oksida (ZnO) dan Magnesium Oksida (MgO) dengan variasi konsentrasi 0,1%, 0,2%, 0,5% dan 1,0% melalui karakterisasi dan uji antibakteri. Metode pembuatan bioplastik dilakukan dengan metode *solvent casting* menggunakan pelarut kloroform. Analisis gugus fungsi dengan FTIR menunjukkan bahwa penambahan ZnO dan MgO tidak ada mempengaruhi gugus fungsi PLA. Analisis morfologi permukaan dan komposisi unsur dengan SEM-EDX menunjukkan bahwa ZnO dan MgO telah terdispersi pada PLA. Analisis degradasi termal dengan TGA menunjukkan bahwa penambahan ZnO dan MgO menurunkan degradasi termal PLA. Analisis uji tarik menunjukkan bahwa penambahan ZnO dan MgO meningkatkan nilai kekuatan tarik PLA, namun penambahan berlanjut menurunkan kekuatan tarik PLA. Uji antibakteri menunjukkan bahwa penambahan ZnO dan MgO meningkatkan aktivitas antibakteri PLA

Kata Kunci : Bioplastik, Poli Asam Laktat, Seng Oksida, Magnesium Oksida, Antibakteri

**PENGARUH PENAMBAHAN SENG OKSIDA (ZnO) DAN MAGNESIUM  
OKSIDA (MgO) TERHADAP SIFAT ANTIBAKTERI BIOPLASTIK POLI  
ASAM LAKTAT**

Oleh  
Donny Farhan

**Skripsi**

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar  
SARJANA SAINS

pada  
Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

Judul Skripsi : **PENGARUH PENAMBAHAN SENG OKSIDA (ZnO) DAN MAGNESIUM OKSIDA (MgO) TERHADAP SIFAT ANTIBAKTERI BIOPLASTIK POLI ASAM LAKTAT**

Nama Mahasiswa : **Donny Farhan**

No. Pokok Mahasiswa : 1517011089

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Supto Dwi Yuwono, M.T.**  
NIP 19740705 200003 1 001

**Muhammad Ghozali, M.T.**  
NIP 19801225 200502 1 002

2. a.n Ketua Jurusan Kimia FMIPA  
Sekretaris

**Mulyono, Ph.D.**  
NIP 19740611 200003 1 002

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

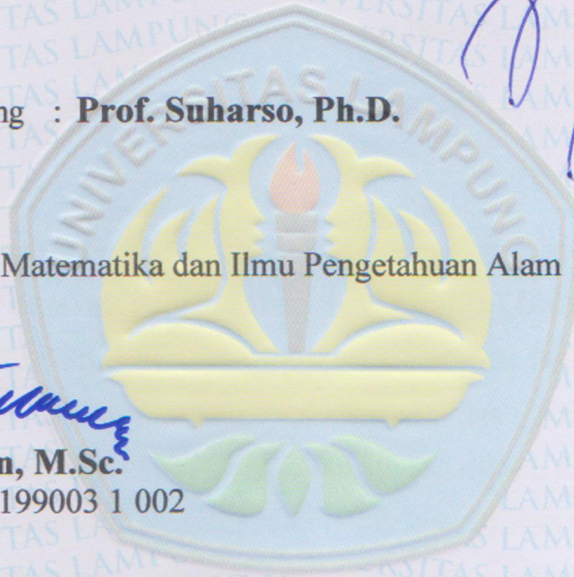
Ketua : **Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T.** .....

Sekretaris : **Muhammad Ghozali, M.T.** .....

Penguji  
Bukan Pembimbing : **Prof. Suharso, Ph.D.** .....

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**Drs. Suratman, M.Sc.**  
NIP 19640604 199003 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **27 November 2019**

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Donny Farhan  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1517011089  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Seng Oksida (ZnO) dan Magnesium Oksida (MgO) Terhadap Sifat Antibakteri Bioplastik Poli Asam Laktat”** adalah benar karya saya sendiri baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 16 Desember 2019  
Yang Menyatakan



Donny Farhan  
NPM. 1517011089

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Serang, pada tanggal 27 Juli 1997 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, putra dari Bapak Surohbil dan Ibu Yayan Aliyah. Penulis mulai menempuh pendidikan pada tahun 2003 di SD YPWKS I Cilegon, kemudian melanjutkan pendidikan menengah di SMP Negeri 1 Cilegon pada tahun 2009 dan menyelesaikan pendidikan menengah di SMA Negeri 1 Cilegon pada tahun 2015. Penulis melanjutkan pendidikan sebagai mahasiswa di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi Asisten Praktikum Kimia Dasar pada tahun 2017 dan 2018 serta Asisten Praktikum Kimia Organik I pada tahun 2018 dan 2019. Selain itu, penulis juga aktif sebagai Kader Muda Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Unila pada tahun 2015, Anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia Himaki FMIPA Unila periode 2016 dan 2017, Anggota Bidang Pengembangan Sumber Daya Manusia (PSDM) Himpunan Mahasiswa Banten (HMB) Lampung periode kepengurusan tahun 2016, serta Sekretaris Umum HMB Lampung periode kepengurusan tahun 2018.



Penulis pernah melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Way Areng, Kecamatan Mataram Baru, Kabupaten Lampung Timur pada bulan Juli sampai dengan Agustus 2018. Pada tahun 2019, penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan dan Penelitian Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Seng Oksida (ZnO) dan Magnesium Oksida (MgO) Terhadap Sifat Antibakteri Pada Bioplastik Poli Asam Laktat”** di Laboratorium Kimia Polimer, Pusat Penelitian Kimia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Serpong, Tangerang Selatan pada bulan Maret sampai dengan Juli.

# *MOTTO*

Allah tidak membebani seseorang melainkan  
sesuai dengan kesanggupannya  
**-Q.S. Al-Baqarah : 286-**

Yesterday is history, Tomorrow is a Mystery,  
but Today is a gift. That's why it's called  
the Present  
**-Master Oogway-**

Knowing is not enough, we must apply  
**-Chou-**

What you need to do is believe. You have to  
believe it  
**-Akai-**

A painless lesson is also meaningless  
**-Lolita-**

The hardest choices requires the strongest  
will  
**-Thanos-**

# **P E R S E M B A H A N**

Puji Syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, shalawat serta sala semoga selalu melimpah kepada suri tauladan umat, Nabi Muhammad SAW.

## **BISMILLAHIRRAHMAANIRRAHIM**

Dengan segala kerendahan hati, kupersembahkan karya kecilku ini

Kepada:

Orang tua saya tercinta

**Bapak Surohbil dan Ibu Yayan Aliyah**

Yang telah merawat, mengasihi, mencintai, mendoakan serta mendukung langkah saya menuju kesuksesan.

Saudara saya tersayang,

**Fadly Rasyid dan Farisa Zackia Nabilya**

Atas dukungan dan semangat yang diberikan

**Bapak Dr. Eng Suropto Dwi Yuwono, M.T., Bapak Muhammad Ghozali, M.T.,**  
serta seluruh dosen yang telah membimbing saya selama menempuh pendidikan sarjana di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

**Seluruh keluarga besar dan sahabat**

Dan

**Almamater tercinta**

## SANWACANA

*Alhamdulillahirobbil'aalamiin*. Segala puji dan syukur hanya kepada Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung dengan judul **“Pengaruh Penambahan Seng Oksida (ZnO) dan Magnesium Oksida (MgO) Terhadap Sifat Antibakteri Bioplastik Poli Asam Laktat”**.

Sholawat serta Salam semoga selalu tercurahkan kepada suri tauladan umat manusia, Nabi Muhammad SAW beserta para keluarga, sahabat serta pengikutnya hingga akhir zaman. *Aamiin ya robbal 'aalamiin*.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah turut serta membantu penulis. Oleh karena itu, melalui tulisan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Surohbil dan Ibu Yayan Aliyah yang selalu memberikan semangat, dukungan moril maupun materil, cinta dan kasih sayang. Tanpa usaha dan segala kerja keras Mamah dan Bapak, saya tidak akan bisa mencapai pada kondisi saya saat ini. Terima kasih banyak Mah, Pak. Hanya doa dan rasa terima kasih yang mampu saya ucapkan untuk

membalas semua yang telah Mamah Bapak berikan kepada saya. Semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan dan panjang umur agar Mamah Bapak bisa melihat saya lebih sukses lagi. Semoga Allah mempertemukan kita semua di surga-Nya nanti ya Mah, Pak.

2. Kedua saudara kandung saya, Fadly Rasyid dan Farisa Zackia Nabilya, yang senantiasa memberikan dukungan moril dan materil setiap saat. Kalian mengajarkan bahwa hidup terkadang tidak harus serius, ada kalanya harus diwarnai dengan canda tawa. Terima kasih Aa, Cica.
3. Seluruh keluarga besar saya yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu. Doa dan dukungan, serta pengalaman hidup yang kalian berikan bisa mengantarkan saya menjadi pribadi yang lebih dewasa.
4. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing, membina, memotivasi dan memberikan semangat kepada saya selama penelitian dan penyusunan tugas akhir ini. Semoga Allah SWT membalas jasa dan kebaikan Bapak serta melimpahkan rahmat dan keberkahan-Nya selalu kepada Bapak.
5. Bapak Muhammad Ghozali, M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah mengajarkan, membimbing, serta memotivasi saya selama penelitian dan penyusunan Tugas akhir ini. Semoga Allah SWT membalas jasa dan kebaikan Bapak serta melimpahkan rahmat dan keberkahan-Nya selalu kepada Bapak.
6. Bapak Prof. Suharso, Ph.D selaku Dosen Pembahas atas saran, nasihat, arahan, dan semangat kepada saya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan

dengan baik. Semoga Allah SWT membalas jasa dan kebaikan Bapak serta melimpahkan rahmat dan keberkahan-Nya selalu kepada Bapak.

7. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa membimbing, mengarahkan dan memberikan saran kepada saya selama saya menempuh pendidikan S1 ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Ibu.
8. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung
9. Seluruh dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang memberikan pengajaran dan ilmu-ilmu yang belum pernah saya dapatkan sebelumnya. Terima kasih banyak, Semoga Allah SWT membalas jasa dan kebaikan Bapak dan Ibu serta melimpahkan rahmat dan keberkahan-Nya selalu kepada Bapak dan Ibu.
10. Bapak Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung
11. Ibu Yenny Meliana, Ibu Witta Kartika, Ibu Evi Triwulandari, Ibu Sri Fahmiati, Ibu Melati, dan seluruh Staff dan Asisten Peneliti Pusat Penelitian Kimia LIPI Serpong atas bimbingan dan izinnya kepada saya untuk menyelesaikan penelitian di Laboratorium Kimia Polimer.
12. Elsina 'Azmi, yang senantiasa mendampingi dan memberikan saran kepada saya di saat saya menyusun skripsi ini. Terima kasih banyak atas semua yang telah kamu berikan., Together till Jannah yaa..
13. Rizqy si "Acetaldehyde", Mamang Randi kakaknya "revina\_reva", Ammar si "Pejuang Gaza", Alfarizi "Mapeng", Harist the "Aocrist", Rezki Bangun si "Alienheart", Irfan "Tole", serta semua anggota Kimia Men 2015 yang gak

muat ditulis di sini semua. Walaupun gak banyak membantu menyusun skripsi ini, tapi kalian semua banyak menemani mengisi waktu di saat saya penat menyusun skripsi ini. Serta buat teman satu atap di Lampung, Asep dan Bima. Terima kasih buat lo semua! GGWP guys!!

14. Marli, Asih, Siska, Pipit, July, Farhan, Erindah dan Zulva sebagai Partner Laboratorium Kimia Polimer LIPI yang telah membantu menyelesaikan penelitian saya di LIPI. See you on top!!
15. Kawan-kawan “Chem15try” yang telah bersama dari zaman Maba hingga sekarang, baik dalam keadaan susah maupun senang. Terima kasih semuanya. See you on top!!
16. Himaki FMIPA Unila periode kepengurusan 2016 dan 2017 serta HMB Lampung periode kepengurusan 2016, 2017, dan 2018 atas kebersamaan dan pembelajaran yang telah diberikan.
17. Almamater Universitas Lampung
18. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini

Penulis menyadari penyusunan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan penelitian selanjutnya. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat untuk kita semua.

Bandar Lampung, Desember 2019  
Penulis

Donny Farhan

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iv</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	4
C. Manfaat Penelitian .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
A. Bioplastik .....	5
B. Polimer .....	7
C. Polimer Biodegradable.....	9
D. Poli Asam Laktat (Poly Lactic Acid/PLA) .....	12
E. Seng Oksida .....	15
F. Magnesium Oksida .....	16
G. Antibakteri.....	17
H. Bakteri <i>Escherichia coli</i> (E. coli).....	18
I. Karakterisasi Bioplastik .....	20
a. <i>Fourier Transform Infrared Red Spectroscopy</i> (FTIR).....	20
b. <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM -EDX) .....	21
c. <i>Thermo Gravimetric Analyzer</i> (TGA) .....	24
d. Uji Tarik .....	26
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>28</b>
A. Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	28
B. Alat dan Bahan .....	28
C. Prosedur Kerja.....	29
1. Pembuatan Bioplastik PLA/ZnO .....	29
2. Pembuatan Bioplastik PLA/MgO .....	30
3. Karakterisasi .....	30
4. Uji Antibakteri.....	31



<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>32</b>
A. Pembuatan Bioplastik PLA/ZnO.....	32
B. Pembuatan Bioplastik PLA/MgO .....	33
C. Karakterisasi.....	34
a. <i>Fourier Transform Infrared Red Spectroscopy (FTIR)</i> .....	34
b. <i>Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM –EDX)</i> .....	36
c. <i>Thermo Gravimetric Analyzer (TGA)</i> .....	38
d. Uji Tarik .....	40
D. Uji Antibakteri .....	41
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>44</b>
A. Simpulan .....	44
B. Saran.....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>46</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>50</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Poli Asam Laktat.....	12
2. Struktur Kristal Magnesium Oksida (MgO) .....	17
3. Bioplastik (a) PLA blanko (b) PLA/ZnO 0,1% (c) PLA/ZnO 0,2% (d) PLA/ZnO 0,5% (e) PLA/ZnO 1,0% .....	32
4. Bioplastik (a) PLA blanko (b) PLA/MgO 0,1% (c) PLA/MgO 0,2% (d) PLA/MgO 0,5% (e) PLA/MgO 1,0% .....	32
5. Grafik Analisis FTIR PLA blanko dan PLA/ZnO.....	34
6. Grafik Analisis FTIR PLA blanko dan PLA/MgO.....	35
7. Hasil Analisis EDX .....	36
8. Hasil Analisis SEM .....	37
9. Hasil Analisis TGA .....	38
10. Hasil Uji Antibakteri.....	42

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sifat dan Karakteristik MgO.....	17
2. Kekuatan Tarik PLA, PLA/ZnO, dan PLA/MgO .....	40
3. Perbandingan Diameter Zona Bening antara PLA blanko dengan PLA/ZnO dan PLA/MgO semua variasi konsentrasi .....	41

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Plastik merupakan salah satu kebutuhan yang paling banyak digunakan, baik sebagai bahan baku, kantong plastik, ataupun pengemasan makanan dan barang. Hal ini dikarenakan plastik mempunyai keunggulan dibandingkan media lain seperti logam atau gelas, yaitu jauh lebih ringan, harga lebih murah, kemudahan dalam proses produksi, dan tidak mudah pecah. Akan tetapi, permasalahan utama dari plastik adalah limbahnya yang sulit terdegradasi oleh zat pengurai sehingga dapat memicu pencemaran lingkungan berupa pencemaran air, pencemaran tanah dan udara, serta penumpukan sampah plastik.

Salah satu solusi dari pemecahan masalah ini adalah mengganti bahan dasar plastik menjadi bahan yang lebih mudah diuraikan atau plastik *biodegradable*. Plastik *biodegradable* atau bioplastik terbuat dari bahan dasar polimer yang bersifat *biodegradable*, atau polimer yang mudah terurai oleh aktivitas biologis. Salah satu contoh biopolimer adalah poli asam laktat. Poli asam laktat atau *Polylactic acid* (PLA) adalah polimer yang tersusun atas monomer-monomer asam laktat hasil fermentasi dari bahan pertanian, seperti pati dan jagung, sehingga memiliki sifat *biodegradable* (Marwanto, 2017). Penelitian tentang pembuatan PLA sebagai bioplastik ramah lingkungan telah banyak dilakukan,

seperti yang dilakukan oleh Saputro dkk (2016). Pada penelitian tersebut, bioplastik dibuat dengan mencampurkan PLA dengan Polistirena dengan penambahan gliserol sebagai *plasticizer* melalui metode *solution casting*

Pemanfaatan bioplastik masih jarang diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini dikarenakan plastik konvensional relatif lebih murah. Selain itu, bioplastik tidak memiliki kelebihan lain selain tingkat degradasi yang lebih tinggi. Sebenarnya, bioplastik dapat ditingkatkan kemampuannya agar memiliki kelebihan lain dibandingkan plastik konvensional. Salah satu kemampuan yang dapat ditambahkan adalah aktivitas antibakteri. Umumnya, zat antibakteri adalah senyawa-senyawa organik yang disintesis dari tumbuh-tumbuhan. Tetapi, untuk mendapatkan senyawa tersebut memerlukan proses yang panjang. Alternatif lain adalah dengan senyawa anorganik. Senyawa-senyawa anorganik yang dapat bersifat antibakteri adalah senyawa-senyawa oksida, seperti seng oksida (ZnO), magnesium oksida (MgO), titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>), dan silikon dioksida (SiO<sub>2</sub>). Senyawa-senyawa oksida memiliki kemampuan antibakteri dikarenakan spesi oksigen dari senyawa tersebut bersifat toksik bagi bakteri (Li et al., 2011). Dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> dan SiO<sub>2</sub>, ZnO dan MgO relatif lebih murah, lebih mudah didapatkan, dan lebih ramah lingkungan. Maka dari itu, PLA yang dikombinasikan dengan ZnO ataupun MgO dapat dijadikan bioplastik yang memiliki kemampuan antibakteri.

Penelitian tentang pembuatan PLA/ZnO telah dilakukan oleh Shankar et al. (2018). Dalam penelitian tersebut ZnO yang digunakan adalah ZnO berukuran nanopartikel. ZnO yang umum digunakan berukuran mikropartikel sehingga

perlu metode tambahan pada ZnO mikropartikel untuk menjadi ZnO nanopartikel. Perbedaan ZnO nanopartikel dengan mikropartikel hanya terletak pada ukuran partikelnya yang menyebabkan luas permukaan ZnO yang berinteraksi dengan PLA akan lebih besar, yang kemungkinan akan berpengaruh pada sifat fisik ataupun mekanik dari PLA tersebut. Sedangkan, kemampuan antibakteri ZnO mikropartikel tidak terlalu berbeda dengan kemampuan antibakteri ZnO, karena kemampuan antibakteri dari ZnO bukan dipengaruhi dari ukuran partikelnya, melainkan kemampuan ion  $Zn^{2+}$  dan spesi oksida yang terkandung di dalamnya. Dengan begitu, ZnO mikropartikel cenderung lebih efektif jika dibandingkan dengan nanopartikel karena tidak perlu metode yang lebih banyak.

Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukan penelitian pembuatan bioplastik antibakteri dari PLA yang ditambahkan dengan ZnO dan MgO dengan variasi konsentrasi 0,1, 0,2, 0,5, dan 1,0% menggunakan metode *solvent casting*. Selanjutnya, bioplastik yang terbentuk dianalisis gugus fungsinya dengan menggunakan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*, analisis morfologi dan komposisi unsur dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM -EDX)*, analisis kekuatannya dengan uji tarik, dan analisis termal dengan menggunakan *Thermo Gravimetric Analyzer (TGA)*. Selain itu, sampel juga diuji aktivitas antibakteri melalui metode difusi menggunakan bakteri *Escherichia coli (E. coli)*.

## **B. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan bioplastik PLA/ZnO dan PLA/MgO dengan variasi konsentrasi 0,1, 0,2, 0,5, dan 1,0%.
2. Menganalisis pengaruh penambahan ZnO dan MgO terhadap sifat fisik dan mekanik bioplastik PLA melalui karakterisasi.
3. Menganalisis pengaruh penambahan ZnO dan MgO terhadap sifat antibakteri bioplastik PLA.

## **C. Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi untuk menjadi dasar penelitian bioplastik antibakteri PLA/ZnO dan PLA/MgO sebagai pengemas makanan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Bioplastik

Plastik *biodegradable* atau bisa disebut juga Bioplastik dapat diartikan sebagai film kemasan yang dapat didaur ulang dan dapat dihancurkan secara alami. Bioplastik yaitu plastik yang seluruh atau hampir seluruh komponennya berasal dari bahan baku yang dapat diperbaharui (Stevens, 2002). *Biodegradable* dapat diartikan dari tiga kata yaitu *bio* yang berarti makhluk hidup, *degra* yang berarti terurai dan *able* berarti dapat. Jadi, film plastik *biodegradable* adalah film plastik yang dapat terurai oleh mikroorganisme. Film plastik ini, biasanya digunakan untuk pengemasan. Kelebihan film plastik antara lain tidak mudah ditembus uap air sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengemas (Mahalik, 2009).

Fungsi dari *biodegradable* sebagai penghambat perpindahan uap air, menghambat pertukaran gas, mencegah kehilangan aroma, mencegah perpindahan lemak, meningkatkan karakteristik fisik, dan sebagai pembawa zat aditif. *Biodegradable* yang terbuat dari lipida dan juga film dua lapis (*bilayer*) ataupun campuran yang terbuat dari lipida dan protein atau polisakarida pada umumnya baik digunakan sebagai penghambat perpindahan uap air dibandingkan dengan *biodegradable* yang terbuat dari protein dan polisakarida dikarenakan lebih bersifat hidrofobik



Jumlah karbondioksida dan oksigen yang kontak dengan produk merupakan salah satu yang harus diperhatikan untuk mempertahankan kualitas produk dan akan berakibat pula terhadap umur simpan produk. Film yang terbuat dari protein dan polisakarida pada umumnya sangat baik sebagai penghambat perpindahan gas, sehingga efektif untuk mencegah oksidasi lemak. Komponen volatil yang hilang atau yang diserap oleh produk dapat diatur dengan melakukan pelapisan *edible coating* atau film (Lee *et al.*, 2006).

Terdapat tiga kelompok biopolimer yang menjadi bahan dasar dalam pembuatan film kemasan biodegradable, yaitu :

1. Campuran biopolimer dengan polimer sintetis. Film jenis ini dibuat dari campuran granula pati (5 – 20 %) dan polimer sintetis serta bahan tambahan (prooksidan dan autooksidan). Komponen ini memiliki angka biodegradabilitas yang rendah dan biofragmentasi sangat terbatas.
2. Polimer mikrobiologi (poliester). Biopolimer ini dihasilkan secara bioteknologis atau fermentasi dengan mikroba genus *Alcaligenes*. Berbagai jenis ini diantaranya polihidroksi butirat (PHB), polihidroksi valerat (PHV), asam polilaktat dan asam poliglikolat. Bahan ini dapat terdegradasi secara penuh oleh bakteri, jamur dan alga. Tetapi karena proses produksi bahan dasarnya yang rumit mengakibatkan harga kemasan biodegradable ini relatif mahal.
3. Polimer pertanian. Biopolimer ini tidak dicampur dengan bahan sintetis dan diperoleh secara murni dari hasil pertanian. Polimer pertanian ini diantaranya selulosa (bagian dari dinding sel tanaman), kitin (pada kulit *Crustaceae*) dan pullulan (hasil fermentasi pati oleh *Pullularia pullulans*). Polimer ini

memiliki sifat termoplastik, yaitu mempunyai kemampuan untuk dibentuk atau dicetak menjadi film kemasan. Kelebihan dari polimer jenis ini adalah ketersediaan sepanjang tahun (*renewable*) dan mudah hancur secara alami (*biodegradable*). Namun, memiliki kekekuran dalam hal penyerapan air yang tinggi dan tidak dapat dilelehkan tanpa bantuan aditif (Widyasari, 2010).

## **B. Polimer**

Polimer didefinisikan sebagai senyawa yang memiliki massa molekul besar dengan struktur berupa rantai, tersusun atas monomer yang berulang. polimer tersebut dapat digolongkan berdasarkan asal, sifat polimer, komposisi, fase, dan reaksi pembentukannya.

1. Berdasarkan asalnya, polimer dibagi menjadi polimer alam dan sintetis.

a. Polimer alam

Bahan polimer alam biasanya ditemukan pada makhluk hidup. Contohnya protein, amilum, selulosa, glikogen, karet alam (poliisoprena), wol, sutra, jaring-jaring benang pada sarang laba-laba, dan katun. Umumnya polimer alam mudah mengalami kerusakan yang disebabkan oleh organisme hidup, seperti ulat dan rayap.

b. Polimer sintetis

Polimer sintetis adalah polimer yang terbuat dari reaksi kimia seperti karet *fiber*, poliester, poliesterena, dan polietilen.

2. Berdasarkan sifatnya, polimer dibagi menjadi polimer termoplastik dan polimer termoset.

a. Polimer termoplastik

Jenis polimer termoplastik ini akan melunak jika dipanaskan dan mengeras kembali jika didinginkan. Contoh: polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorida (PVC), nilon, dan poliester.

b. Polimer termoset

Jenis polimer termoset ini mempunyai bobot molekul yang tinggi, tidak melunak jika dipanaskan, dan sukar larut. Contoh: bakelit.

3. Berdasarkan komposisinya, polimer dibagi menjadi homopolimer dan Heteropolimer

a. Homopolimer

Polimer yang disusun oleh satu jenis monomer dan merupakan polimer yang paling sederhana.

b. Heteropolimer (kopolimer)

Polimer yang terbuat dari dua atau lebih monomer.

4. Berdasarkan fasenya, polimer dibagi menjadi kristalin dan amorf.

a. Kristalin

Susunan antara rantai yang satu dengan rantai yang lain adalah teratur dan mempunyai titik leleh (melting point).

b. Amorf

Susunan rantai yang satu dengan yang lain orientasinya acak dan mempunyai transisi gelas (Billmeyer, 1984).

5. Berdasarkan reaksi pembentukannya, polimer dibagi menjadi adisi dan kondensasi.

a. Polimer adisi

Suatu polimer yang terbentuk dari polimerasi adisi (poliadisi). Poliadisi yaitu pembentukan polimer yang disertai dengan adanya reaksi pemutusan ikatan rangkap dari monomer yang memiliki ikatan rangkap serta diikuti oleh penambahan monomer berikatan rangkap. Unit pengulangan pada adisi polimer memiliki komposisi yang sama sebagai monomernya karena tanpa adanya pelepasan pada molekul apapun.

b. Polimer kondensasi

Suatu polimer yang terbentuk dari polimerasi kondensasi, pada polimerisasi ini merupakan suatu reaksi pembentukan polimer yang terjadi antara gugus fungsi dari monomer-monomer yang sama atau monomer yang berbeda. Polimer akan membentuk molekul besar yang baru dan melepaskan molekul kecil sebagai hasil samping (Cowd, 1991)

### **C. Polimer Biodegradable**

Polimer *biodegradable* adalah polimer yang dapat diurai oleh mikroorganisme menjadi monomer-monomer pembentuknya. Polimer yang dapat terdegradasi biasanya memiliki ikatan ester di dalamnya (Sykes, 1975). Ikatan ester pada polimer akan mengalami hidrolisis yang membuat masing-masing ikatan monomernya terlepas. Pelepasan monomer ini yang menyebabkan menurunnya bobot molekul pada polimer. Monomer yang terlepas pada polimer dapat larut

dalam air sehingga menyebabkan terjadinya penurunan bobot pada polimernya (Calabia, 2010).

Molekul polimer akan terpecah menjadi dua yang terdiri atas gugus karboksilat dan alkohol. Jumlah molekul dengan gugus karboksilat dan alkohol akan meningkat seiring dengan lamanya polimer tersebut didegradasi (Farrar and Gilson, 2002). Ikatan C=O karbonil pada ester diserang oleh H<sub>2</sub>O yang kemudian akan berdifusi ke dalam polimer yang diikuti dengan *swelling*. Reaksi awal degradasi polimer diawali dengan serangan pada rantai C karbonil oleh ion OH (Gopffrich, 1997).

Terdegradasinya polimer disebabkan oleh 2 faktor yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Beberapa faktor internal yang mempengaruhi degradasi adalah derajat kristanilitas, hidrofilitas, massa molekul, adanya *plasticizers*, agen penstabil (*compatibilizers*), serta morfologi yang dimiliki oleh polimer.

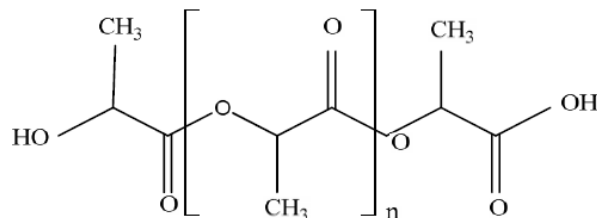
Polimer yang memiliki derajat kristanilitas yang tinggi memiliki struktur yang rapat sehingga membuat air sulit untuk berdifusi dan memecah ikatan ester di dalamnya. Sedangkan dengan adanya penambahan *plasticizer* dalam polimer membuat struktur polimer menjadi lebih acak, sehingga membuat air lebih mudah untuk berdifusi dan memecah ikatan ester didalamnya (Zahedi *et al.*, 2011). Hal yang sama juga dilakukan oleh Wulan (2011), yang menambahkan agen penstabil (*compatibilizer*) dalam polimer yang dibuat, hal ini membuat ukuran partikel dari polimer merata dan membantu dalam meningkatkan kecepatan proses degradasi. Semakin kecil luas permukaan partikel maka akan memudahkan proses degradasi.

Faktor eksternal yang mempengaruhi dalam proses degradasi polimer yaitu temperatur dan pH. Temperatur akan menaikkan difusi karena kenaikan fleksibilitas molekul. Hal ini juga membuat kenaikan degradasi pada polimer meningkat, karena besarnya temperatur membuat ikatan ester pada polimer semakin mudah terputus. Nilai pH yang semakin besar juga berpengaruh pada kecepatan degradasi. Persen degradasi dalam lingkungan asam dan netral yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan lingkungan basa. Perbedaan persen degradasi dalam lingkungan asam, netral, dan basa terjadi berkaitan dengan ikatan hidrogen yang dimiliki oleh polimer. Ikatan rangkap dua antara C dan O pada ester akan terpecah pada pH yang basa dan lebih sulit terpecah pada keadaan asam dan netral. Kondisi lingkungan basa kaya akan serangan nukleofilik yang akan memecah ikatan karbonil sehingga pemutusan ikatan akan semakin banyak dan membuat polimer memiliki persen degradasi yang tinggi (Javad *et al.*, 2016). Pengukuran kemampuan degradasi dari polimer dilakukan dalam kondisi basah maupun kering. Jumlah sampel yang digunakan sedikit dan dilakukan secara *in vivo*. Pengujian *in vivo* merupakan salah satu metode uji menggunakan bahan-bahan yang memiliki sifat mirip dengan sistem metabolisme dalam tubuh. Proses ini bertujuan sebagai simulasi kecil, untuk mengetahui mekanisme degradasi polimer dalam tubuh (Andrzejewska, 2017). Salah satu metode kuantitatif yang biasa digunakan untuk menentukan besarnya degradasi pada suatu polimer adalah dengan menentukan kehilangan bobot material polimer tersebut (Owen *et al.*, 1995). Kehilangan bobot ditentukan dengan cara menimbang massa polimer sebelum dan setelah proses degradasi selama selang waktu tertentu.

Sifat-sifat yang dimiliki oleh polimer biodegradable sangat cocok digunakan sebagai bahan baku peralatan dalam dunia medis. Aplikasi penggunaan polimer *biodegradable* dalam bidang medis adalah benang bedah, *vascular stents cardiovascular*, *gafts*, *craniofacial fixation*, bahkan dapat digunakan sebagai *osteosynthesis*. Selain dapat terserap di dalam tubuh, polimer *biodegradable* tidak bersifat racun. Hal ini karena polimer ini dapat dicerna dalam sistem metabolisme tubuh (Andrzejewska, 2017).

#### D. Poli Asam Laktat (Poly Lactic Acid/PLA)

Poli asam laktat merupakan keluarga aliphatic polyesters yang biasanya dibuat dari alfa asam hidroksi yang ditambahkan asam poliglukolat atau polimandelat. Poli asam laktat memiliki sifat tahan panas, kuat, dan merupakan polimer yang elastis. Poli asam laktat yang terdapat di pasaran dapat dibuat melalui fermentasi karbohidrat ataupun secara kimia melalui polimerisasi kondensasi dan kondensasi azeotropik. Polimer Poli asam laktat dapat terurai di tanah baik dalam kondisi aerob ataupun anaerob dalam kurun waktu enam bulan sampai lima tahun (Auras, 2002). Struktur poli asam laktat dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** Struktur poli asam laktat

Kelebihan poli asam laktat pada jenis BOPLA (*bioriented PLA* atau bentuk *stretch*

dua arah) dimana *twist* dan *deadfold* mirip seperti selofan dan PVC, karena itu BOPLA dipergunakan juga untuk film yang tipis untuk pembungkus permen. BOPLA mempunyai *barier* yang bagus untuk menahan aroma, bau, molekul solven dan lemak sebanding dengan PET atau nilon 6. Sebagai bahan polar poli asam laktat mempunyai tegangan 38 dynes/cm<sup>2</sup> sehingga mudah untuk di-*print* dengan berbagai tinta tanpa proses “*flame* dan *corona*” seperti halnya BOPP atau film yang lain. Poli asam laktat merupakan penyekat yang bagus dengan suhu gelas atau T<sub>g</sub> 55-65 deg, inisiasi *sealing* bisa dimulai pada suhu 80 deg sama dengan sealant dari 18% EVA. Gabungan antara kemudahan untuk di-seal dan tingginya *barier* untuk aroma dan bau maka PLA dapat digunakan sebagai lapisan paling dalam untuk pengemas makanan (Nasiri, 2008).

Kekurangan PLA adalah densitas lebih tinggi (1,25 g/cc) di banding PP dan PS dan mempunyai polaritas lebih tinggi sehingga sulit direkatkan dengan PE dan PP yang non polar dalam system film multi lapis. PP mempunyai densitas 0.9 g/cc, dengan harga 0.7 usd per kg dan HIPS mempunyai densitas 1.05 g/cc dan harga 1 usd per kg. PLA juga mempunyai ketahanan panas, *moisture* dan gas *barier* kurang bagus dibanding dengan PET. Hal lain yang paling penting adalah harganya yang masih tinggi yaitu 2,6 usd per kg. usaha untuk menurunkan harga terus dilakukan oleh Cargill Dow hingga 2 usd per kg supaya kompetitif. Sifat *barier* terhadap uap air, oksigen dan CO<sub>2</sub> lebih rendah dibandingkan dengan PET, PP atau PVC. Perbaikan sifat *barier* dapat dilakukan dengan system laminasi dengan jenis film lain seperti PE, PVOH, Alufoil, Nanopartikel dan lainnya, (Nasiri, 2008).

Kelebihan poli asam laktat dibandingkan dengan plastik yang terbuat dari



minyak bumi adalah:

1. *Biodegradable*, artinya poli asam laktat dapat diuraikan secara alami di lingkungan oleh mikroorganismenya
2. *Biocompatible*, dimana pada kondisi normal, jenis plastik ini dapat diterima oleh sel atau jaringan biologi.
3. Dihasilkan dari bahan yang dapat diperbaharui (termasuk sisa industri) dan bukan dari minyak bumi.
4. 100% *recyclable*, melalui hidrolisis asam laktat dapat diperoleh dan digunakan kembali untuk aplikasi yang berbeda atau bisa digabungkan untuk menghasilkan produk lain.
5. Tidak menggunakan pelarut organik/bersifat racun dalam memproduksi poli asam laktat.
6. Dapat dibakar sempurna dan menghasilkan gas CO<sub>2</sub> dan air (Botelho *et al.*, 2004).

Poli asam laktat, menggabungkan sifat terbaik dari bahan alami dan bahan buatan. Karena bahan ini dibuat dari gula tumbuhan, maka bahan ini menggunakan sumber yang dapat diperbaharui dan dapat diuraikan kembali sepenuhnya. Selain itu, bahan ini juga mempunyai sifat-sifat yang sama dengan plastik biasa yang terbuat dari hidrokarbon, yaitu kuat, lentur dan murah harganya. Setelah para pecinta lingkungan mulai menunjukkan kepedulian akan merosotnya persediaan bahan bakar dan hilangnya lahan pembuangan, para pengusaha pabrik sudah mencoba untuk mengembangkan beberapa bahan alternatif untuk pengganti plastik biasa yang terbuat dari hidrokarbon.

## E. Seng Oksida

Nanopartikel seng oksida (NP-ZnO) banyak diaplikasikan pada bidang pangan karena sifatnya yang aman dikonsumsi (GRAS), mudah terurai menjadi ion-ion setelah masuk ke dalam tubuh, dan memiliki efektifitas antimikroba. Selain memiliki fungsi sebagai sumber fortifikasi, ZnO juga dapat digunakan untuk memperpanjang *shelf life* produk pangan. Sifat antimikroba pada kemasan makanan dapat berinteraksi dengan produk pangan untuk mengurangi pertumbuhan mikroorganisme yang ada pada permukaan bahan makanan (Kanmani dan Rhim 2014).

Soares *et al.* (2012) melaporkan dengan memberikan *treatment* periodik penisilin pada sel bakteri, maka sel bakteri mengaktifkan mekanisme adaptasi pertahanan diri terhadap antibiotik. Sel bakteri akan beradaptasi dengan cara mengurangi permeabilitas dinding sel bakteri terhadap antibiotik, merubah situs protein pengikat penisilin pada dinding sel atau memproduksi enzim yang akan menginaktivasi antibiotik seperti enzim  $\beta$ -laktamase sehingga menghasilkan bakteri yang resisten terhadap antibiotik tersebut. Pada bakteri yang diberi 4 perlakuan dengan NP-ZnO maka bakteri tidak dapat mengembangkan mekanisme adaptasi, karena NP-ZnO mempunyai beberapa mekanisme serangan untuk menghambat dan mematikan sel bakteri.

NP-ZnO telah dikembangkan karena memiliki aktivitas antibakteri, antifungi, filter UV, fotokimia dan katalis yang tinggi. Antibakteri NP-ZnO lebih kuat daripada bubuk ZnO. Hal ini disebabkan oleh ukuran partikel yang lebih kecil

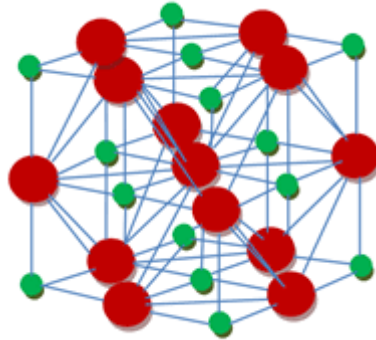
memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga lebih efisien dalam menghambat pertumbuhan mikroba (Jayaseelan *et al.* 2012).

Novarini dan Wahyudi (2011) menyatakan bahwa mekanisme antibakteri dari metal oksida seperti seng oksida berhubungan dengan sifat fotokatalitik yang dimilikinya. Radikal oksigen yang dihasilkan melalui proses fotokatalitik menyebabkan efek penghambatan pada pertumbuhan bakteri sehingga menyebabkan perubahan struktur membran sel dan pada level tertentu dapat menyebabkan bakteri tersebut mati. Mekanisme lainnya yaitu adhesi nanopartikel terhadap permukaan bakteri yang mengubah sifat membran. Nanopartikel dengan ukuran kecil dan luas permukaan besar mampu berhubungan dengan permukaan mikroorganisme. Nanopartikel ZnO masuk ke dalam sel bakteri menyebabkan kerusakan DNA. Aplikasi NP-ZnO pada film dapat memperbaiki sifat *barrier* dan mekanis dari film dengan cara menghambat laju transmisi uap air serta memberi struktur padatan pada film sehingga akan meningkatkan kuat tarik.

#### **F. Magnesium Oksida**

Magnesium oksida (MgO) merupakan mineral padatan putih higroskopis yang terjadi secara alami sebagai perisclase (MgO). Pada umumnya magnesium oksida diperoleh dari pengolahan mineral alami seperti magnesite (MgCO<sub>3</sub>), magnesium klorida (MgCl<sub>2</sub>), dan air laut (Gana, 2010). Jenis ikatan yang terjadi pada MgO merupakan ikatan ionik yaitu ikatan antara ion (+) dengan ion (-), dua elektron dipindahkan dari logam ke non logam dan menghasilkan kation (Mg<sup>2+</sup>) dan anion

(O<sub>2</sub><sup>-</sup>) (Vlack, 1994). Struktur Kristal Magnesium Oksida dapat dilihat pada Gambar 2



**Gambar 2.** Struktur Kristal Magnesium Oksida (MgO)

Prinsip Pemanfaatan MgO pada umumnya didasarkan pada sifat konduktivitas termal dan resistivitas listrik pada temperatur tinggi dan juga struktur kubik yang stabil pada berbagai aplikasi. Sifat dan Karakteristik MgO dapat dilihat melalui Tabel 1.

**Tabel 1** Sifat dan Karakteristik MgO (Kinniburgh, 1976)

Parameter	Keterangan
Struktur	Kubik
Densitas	3,580 g/cm <sup>3</sup>
Kekerasan	5,6 – 6,0 GPa
Titik Lebur	2800 °C
Titik Didih	3600 °C

### G. Antibakteri

Kemampuan antibakteri adalah kemampuan yang dimiliki senyawa biologis maupun kimia yang bersifat menghambat pertumbuhan atau membunuh bakteri atau kapang. Kemampuan menghambat pertumbuhan disebut kemampuan

bakteriostatik untuk bakteri dan fungistatik untuk fungi. Kemampuan membunuh disebut bakteriosidal untuk bakteri dan fungisidal untuk fungi. Senyawa antibakteri memiliki kemampuan menghambat berbagai jenis bakteri yang berbeda-beda tergantung jenis maupun spesiesnya (Fardiaz, 1988).

Aktivitas antibakteri suatu senyawa kimia tidak dapat ditentukan secara absolut karena dipengaruhi oleh sifat-sifat serta mekanismenya sendiri serta konsentrasi senyawa yang terkandung (Fardiaz, 1988). Terdapat beberapa mekanisme kerja dari senyawa antibakteri seperti merusak dinding sel, mengubah permeabilitas membran, denaturasi protein di dalam sel dan menghambat kinerja enzim di dalam sel (Pelczar *et al.*, 1986). Senyawa anorganik seperti ZnO cenderung bersifat stabil dalam suhu dan tekanan. Mekanisme antibakteri pada ZnO memiliki kemampuan oksidasi pada membran sehingga akan merusak struktur membran. Setelah lubang terbentuk pada membran maka sitoplasma dan organ sel akan keluar dari dalam sel yang menyebabkan pertumbuhan sel terhambat atau bahkan mati (Brayner *et al.* 2006).

#### **H. Bakteri *Escherichia coli* (E. coli)**

Bakteri E. coli merupakan merupakan bakteri gram negatif yang berbentuk batang, memiliki ukuran 2,4 mikron hingga 0,7 mikron, bergerak, tidak berspora, positif pada tes indol, glukosa, laktosa, sukrosa (Brooks, *et al.*, 2001). Dinding sel bakteri gram negatif tersusun atas membran luar, peptidoglikan dan membran dalam. Peptidoglikan yang terkandung dalam bakteri gram negatif memiliki struktur yang lebih kompleks dibandingkan gram positif. Membran luarnya

terdiri dari lipid, liposakarida dan protein. Peptidoglikan berfungsi mencegah sel lisis, menyebabkan sel kaku dan memberi bentuk kepada sel (Juliantina, 2009).

Bakteri *E. coli* yang menyebabkan diare sangat sering ditemukan di seluruh dunia. Bakteri ini diklasifikasikan oleh ciri khas sifat – sifat virulensinya dan setiap golongan menimbulkan penyakit melalui mekanisme yang berbeda, antara lain:

1. Enterotoksigenik *E. coli* (ETEC) merupakan penyebab paling umum dari diare pada wisatawan (Travellers Diarrhea) dan diare pada bayi di negara berkembang. Ada dua macam eksotoksin yang dihasilkan dari *E. Coli*, yaitu Limfotoksin dikeluarkan bawah kendali genetik plasmid dan Sitotoksin yang berada di bawah kendali kelompok plasmid heterogen. Strain yang menghasilkan kedua toksin tersebut menyebabkan diare yang lebih berat.
2. Enteroinvasif *E. coli* (EIEC) yang menyebabkan penyakit yang mirip dengan shigellosis. Sering terjadi pada anak – anak di negara berkembang dan wisatawan yang menuju negara tersebut. EIEC menimbulkan penyakit melalui invasinya ke sel epitel mukosa usus.
3. Enteropatogenik *E. coli* (EPEC) yang mengacu pada serotipe *E. coli* tertentu yang pertama dicurigai dalam studi epidemiologi pada 1940-an dan 1950-an sebagai penyebab epidemi dan sporadis diare pada anak-anak.
4. Enterohemoragik *E. coli* (EHEC) yang dianggap sebagai patogen zoonosis baru yang dapat menyebabkan gastroenteritis akut dan hemoragik kolitis dengan komplikasi ginjal dan neurologis sebagai akibat dari translokasi Shiga toksin (Stx 1 dan Stx 2) di usus. Bakteri ini merupakan penyebab utama kematian bayi dalam Negara berkembang.

5. Enteroagregatif *E. coli* (EAEC) yang dapat menyebabkan diare akut dan kronik pada negara berkembang. Bakteri ini ditandai dengan pola khas perlekatannya pada sel manusia. EAEC memproduksi hemolisin dan ST enterotoksin yang sama dengan ETEC (Brooks, *et al.*, 2001).

## I. Karakterisasi Bioplastik

Bioplastik yang telah dipreparasi perlu diuji dengan metode karakterisasi yang dipilih tergantung pada kegunaan material, informasi yang ingin didapatkan dari hasil karakterisasi, biaya karakterisasi dan kemudahan akses peralatan.

### a. *Fourier Transform Infrared Red Spectroscopy (FTIR)*

*Fourier Transform Infrared Red Spectroscopy (FTIR)* menjadi salah satu alat yang biasa digunakan dalam menganalisis gugus suatu senyawa. Dalam FTIR ini dapat memberikan gambaran dan struktur molekul senyawa tersebut. Spektra IR yang dihasilkan dengan mengukur absorpsi radiasi, refleksi atau emisi di daerah IR. FTIR memiliki spektrum gelombang elektromagnetik dengan rentang bilangan gelombang 10 hingga  $14000\text{ cm}^{-1}$

FTIR memiliki tiga daerah inframerah dengan rentang sebagai berikut:

- a. Daerah inframerah dekat dengan rentang daerah  $12500 - 4000\text{ cm}^{-1}$  yang peka terhadap vibrasi *overtone*
- b. Daerah inframerah sedang dengan rentang  $4000 - 400\text{ cm}^{-1}$  yang memberikan informasi tentang gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut.

- c. Daerah inframerah jauh dengan rentang daerah  $400 - 10 \text{ cm}^{-1}$  bermanfaat untuk menganalisis molekul yang mengandung atom-atom berat seperti senyawaanorganik, namun membutuhkan teknik khusus yang lebih baik (Schechter *et al.*, 1997).

Suatu FTIR dapat mengukur suatu gugus fungsi karena adanya perbedaan momen dipol pada gugus tersebut. Momen dipol tersebut akan menimbulkan vibrasi ikatan yang mengakibatkan fluktuasi momen dan menghasilkan gelombang listrik. Suatu ikatan kimia dapat bervibrasi sesuai dengan level energinya sehingga memberikan frekuensi yang spesifik. Jenis-jenis vibrasi molekul biasanya terdiri dari enam macam, yaitu *symmetrical stret alhing*, *assymmetrical stret alhing*, *scissoring*, *rocking*, *wagging*, dan *twisting*.

Beberapa kelebihan menggunakan FTIR adalah sebagai berikut:

1. Tidak memerlukan waktu yang lama
2. Digunakan untuk identifikasi gugus fungsi tertentu dari suatu molekul
3. Spektrum inframerah yang diberikan untuk suatu senyawa bersifat unik sehingga dapat digunakan sebagai sidik jari dari senyawa tersebut (Ellis *et al.*, 2006).

**b. *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM -EDX)**

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merupakan suatu metode untuk membentuk bayangan daerah mikroskopis permukaan sampel. Suatu berkas elektron berdiameter antara 5 hingga 10 nm dilewatkan sepanjang specimen



sehingga terjadi interaksi antara berkas elektron dengan specimen menghasilkan beberapa fenomena berupa pemantulan elektron berenergi tinggi, pembentukan elektron sekunder berenergi rendah, penyerapan elektron, pembentukan sinar-X, atau pembentukan sinar tampak (*cathodoluminescence*).

Setiap sinyal yang terjadi dapat dimonitor oleh suatu detektor. Penggunaan SEM diawali dengan merekatkan sampel dengan stab yang terbuat dari logam spesimen palladium. Kemudian sampel dibersihkan dengan alat peniup, sampel di lapisi dengan emas dan palladium dalam mesin dionspater yang bertekanan  $1492 \times 10^{-2}$  atm. Sampel selanjutnya dimasukkan ke dalam ruangan yang khusus dan kemudian disinari dengan pancaran electron bertenaga 10 kV sehingga sampel mengeluarkan elektron sekunder dan elektron terpental yang dapat dideteksi dan detector scientor yang kemudian diperkuat dengan suatu rangkaian listrik yang menyebabkan timbulnya gambar CRT (*Chatode Ray Tube*). Pemotretan dilakukan setelah memilih bagian tertentu dari objek (sampel) dan perbesaran yang diinginkan sehingga diperoleh foto yang baik dan jelas (Fenny *et al.*, 2013).

Adapun kelebihan teknik SEM yaitu terdapat sistem vakum pada electronoptical column dan sample chamber yang bertujuan antara lain:

- a. Menghilangkan efek pergerakan elektron yang tidak beraturan karena adanya molekul gas pada lingkungan tersebut, yang dapat mengakibatkan penurunan intensitas dan stabilitas.
- b. Meminimalisasi gas yang dapat bereaksi dengan sampel atau mengendap pada sampel, baik gas yang berasal dari sampel atau pun mikroskop. Karena

apabila hal tersebut terjadi, maka akan menurunkan kontras dan membuat gelap

Sedangkan kelemahan dari teknik SEM antara lain:

- a. Memerlukan kondisi vakum.
- b. Hanya menganalisa permukaan
- c. Resolusi lebih rendah dari TEM.
- d. Sampel harus bahan yang konduktif, jika tidak konduktor maka perlu dilapis logam seperti emas (Prasetyo, 2011).

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut:

- a. Electron gun : Umumnya electron gun yang digunakan adalah tungsten hairpin gun dengan filamen berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Kemudian pemanasan terjadi akibat tegangan yang diberikan pada lilitan. Selanjutnya anoda akan membentuk sebuah gaya yang menarik elektron ke anoda.
- b. Lensa magnetic : Elektron-elektron tersebut difokuskan menuju satu titik permukaan sampel.
- c. Koil pemindai : keseluruhan sampel akan dipindai (Scan) melalui sinar elektron yang terfokus oleh koil pemindai.
- d. Monitor CRT (Cathode ray tube): Hamburan elektron dari permukaan sampel akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar (Widynugroho, 2012).

SEM dapat mengamati struktur maupun bentuk permukaan yang berskala lebih halus, lalu dilengkapi dengan EDX yang dapat mendeteksi unsur-unsur dalam

material, menjadikan instrumen ini akan dapat menganalisis sampel secara morfologi maupun unsur penyusun dari sampel tersebut. Permukaan yang diamati harus penghantar elektron. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi dari cahaya. Cahaya mampu mencapai 200 nm sedangkan electron bisa mencapai 0,1 – 0,2 nm menambah ketelitian dari insrumen ini. EDX merangsang emisi sinar-X dari spesimen untuk dapat memperoleh karakterisasi dari sampel dengan menggunakan balok energi tinggi bermuatan partikel-partikel seperti elektron, proton atau sinar-X. Ketika sinar-X menumbuk detektor akan membentuk sebuah charge pulse yang sebanding dengan energi sinar-X. Kemudian charge-sensitive preamplifier mengubah charge pulse menjadi sebuah tegangan. Pada saat sinyal dikirim ke multichanel analyzer, Pulse tersebut disortir oleh tegangan. Pengukuran tegangan tersebut dikirim ke komputer untuk mengevaluasi data. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan energi spektrum sinar-X dengan jumlahnya untuk menentukan komposisi unsur dari volume sampel (Octoviawan, 2010).

### **c. *Thermo Gravimetric Analyzer (TGA)***

TGA merupakan suatu teknik mengukur perubahan jumlah dan laju dalam berat dari material sebagai fungsi dari temperatur atau waktu dalam atmosfer yang terkontrol. Pengukuran digunakan untuk menentukan komposisi material dan memprediksi stabilitas termalnya pada temperatur mencapai 1000 °C. Teknik ini dapat mengkarakterisasi material yang menunjukkan kehilangan atau penambahan berat akibat dekomposisi, oksidasi, atau dehidrasi. Teknik ini sesuai untuk

berbagai macam material padat termasuk material organik maupun inorganik (Kadine, 2010).

Analisa TGA banyak digunakan untuk mengkarakterisasi dan menentukan material. TGA dapat digunakan pada banyak industri seperti pada lingkungan, makanan, farmasi, petrokimia dan biasanya dengan evolved gas analysis. .

Kebanyakan pengujian TGA menggunakan sampel yang dialiri gas inert. Hal tersebut dilakukan agar sampel hanya bereaksi terhadap suhu selama dekomposisi. Saat sampel dipanaskan pada atmosfer inert proses terjadi suatu proses yang biasanya disebut pirolisis. Pirolisis merupakan dekomposisi kimia dari material organik dengan pemanasan saat tidak adanya oksigen atau reagen lainnya.

Berikut ini merupakan beberapa aplikasi penggunaan TGA:

1. Menentukan perubahan temperatur dan berat karena adanya reaksi dekomposisi yang biasanya memungkinkan untuk menentukan analisa komposisi kuantitatif.
2. Menentukan kelembaban, kandungan solvent atau filler.
3. Mengetahui peristiwa reduksi atau oksidasi.
4. Memungkinkan menganalisa reaksi dengan air, oksigen, atau gas reaktif lainnya.
5. Dapat digunakan untuk mengukur laju penguapan, seperti pengukuran emisi yang mudah menguap pada campuran liquid.
6. Memungkinkan penentuan temperatur curie pada transisi magnetik dengan mengukur temperatur dimana kekuatan yang diberikan oleh sebuah magnet didekatnya akan menghilang pada saat dipanaskan dan akan muncul kembali saat didinginkan.

7. Membantu mengidentifikasi material plastik dan organik dengan menentukan temperatur dari bond scissions pada atmosfer inert atau oksidasi di udara atau oksigen.
8. Mengukur berat dari fiberglass dan isi material inorganik di plastik, laminat, cat primer dan material komposit dengan membakar resin dari polimer.

Kemudian isi dari material tersebut dapat diidentifikasi dengan XPS dan atau mikroskop. Isi material tersebut dapat berupa carbonblack,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , bubuk, tanah liat kaolin, dan silika (Elmer, 2010).

#### **d. Uji Tarik**

Uji tarik merupakan metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui kekuatan suatu material (*tensile strength*). Material mengalami tegangan beserta deformasinya selama pemrosesan dan penggunaan. Jika fungsi semula diinginkan dari material berakhir maka akan terjadi proses pematangan. Terdapat beberapa cara untuk menghindari perpatahan. Salah satunya dengan mengkombinasikan bahan tersebut dengan bahan lain yang memiliki nilai kekuatan yang lebih tinggi. Oleh karena itu harus dipertimbangkan konsentrasi-tegangan dan ketangguhan dari kedua bahan yang dicampurkan (Vlack, 2006).

Material polimer mengalami suatu regangan plastis (permanen) sebelum mengalami kerusakan. Contohnya, jika suatu bahan berbentuk batang diberikan beban, maka batang itu akan melentur secara elastis. Pelenturan akan hilang jika beban ditiadakan, dan menimbulkan kerusakan permanen jika tegangan

melampaui kekuatan luluh dari bahan tersebut. Dapat disimpulkan bahwa batang yang bengkok itu telah gagal, tetapi belum patah. Hal ini diperlukan untuk mengetahui baik waktu produksi maupun pada waktu pemakaian: tegangan kritis yang dibutuhkan agar deformasi permanen bisa terjadi dan jumlah regangan plastis yang dapat diterima sebelum suatu bahan mengalami perpatahan (Surdia and Shin, 2000).

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Pelaksanaan**

Penelitian ini telah dilakukan dari bulan April sampai dengan bulan Juli 2019.

Penelitian ini dilakukan di Pusat Penelitian Kimia (PP Kimia) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Serpong, Tangerang Selatan, Banten. Analisis *Fourier Transmission Infra Red* (FTIR), *Thermo Gravimetric Analyzer* (TGA), dan uji antibakteri dilakukan di Pusat Penelitian Kimia (PP Kimia) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Serpong, Tangerang Selatan, Banten. Analisis uji tarik dilakukan di Pusat Penelitian Bioteknologi (PPB) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Cibinong Bogor, Jawa Barat. Analisis *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM –EDX) dilakukan di Balai Penelitian Teknologi Bahan Alam Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

#### **B. Alat dan Bahan**

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain Alat-alat gelas, *Magnetic Stirrer*, Cawan petri, Inkubator, alat uji tarik Mesin Tinius Olsen 3000 SL Super L-60, *Fourier Transmission Infra Red* (FTIR) Shimadzu IR Prestige-21, *Scanning*

*Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM –EDX)*

Hitachi SU 3500 dan *Thermo Gravimetric Analyzer (TGA)* Linseis STA Platinum Series.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain Poli Asam Laktat / *Poly Lactic Acid (PLA)* pellet, Seng Oksida (ZnO) teknis, Magnesium Oksida (MgO) teknis, Kloroform teknis, Nutrient Agar (NA) teknis dan Bakteri *Escherchia coli (E. coli)*.

### **C. Prosedur Kerja**

#### **1. Pembuatan Bioplastik PLA/ZnO**

Bioplastik PLA/ZnO yang dibuat dengan variasi konsentrasi ZnO 0,1, 0,2, 0,5, dan 1,0 % menggunakan metode yang dilakukan oleh Shankar et. al (2018).

Pembuatan bioplastik PLA/ZnO dilakukan dengan cara melarutkan terlebih dahulu PLA sebanyak 2 g ke dalam 20 mL larutan kloroform dengan menggunakan *magnetic stirrer* hingga larut sempurna dan diberi nama larutan A. Dalam wadah yang lain, larutkan juga ZnO sebanyak 2 mg ke dalam 10 mL larutan kloroform dengan menggunakan *magnetic stirrer* dan diberi nama larutan B.

Setelah larut, larutan A dan larutan B dicampurkan dalam satu wadah dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* hingga larut sempurna. Setelah itu, larutan dicetak pada cawan petri dan dibiarkan mengering ( $\pm$  24 jam) hingga terbentuk film bioplastik PLA/ZnO 0,1%. Film bioplastik yang telah mengering dilepas



dari cawan petri untuk dianalisis lebih lanjut. Dilakukan dengan cara yang sama untuk membuat bioplastik PLA/ZnO dengan variasi konsentrasi 0,2 % (4 mg ZnO yang ditambahkan), 0,5% (10 mg ZnO yang ditambahkan), dan 1,0% (20 mg ZnO yang ditambahkan). Diagram alir prosedur pembuatan PLA/ZnO dapat dilihat melalui Lampiran 1.

## **2. Pembuatan Bioplastik PLA/MgO**

Bioplastik PLA/MgO dibuat dengan menggunakan metode yang sama dengan metode pembuatan bioplastik PLA/ZnO dengan variasi konsentrasi PLA/MgO 0,1% (2 mg MgO yang ditambahkan), 0,2% (4 mg MgO yang ditambahkan), 0,5% (10 mg MgO yang ditambahkan), dan 1,0% (20 mg MgO yang ditambahkan). Diagram alir prosedur pembuatan PLA/MgO dapat dilihat melalui Lampiran 2.

## **3. Karakterisasi**

Karakterisasi sampel PLA/ZnO dan PLA/MgO meliputi analisis mekanik melalui uji kekuatan tarik, analisis morfologi dan komposisi unsur dengan SEM-EDX, analisis gugus fungsi dengan FTIR, dan analisis stabilitas termal dengan TGA. Hasil analisis karakterisasi sampel dibandingkan dengan analisis PLA blanko yang telah dibuat melalui metode yang terdapat pada Lampiran 3.

#### 4. Uji Antibakteri

Uji Antibakteri dilakukan dengan metode difusi menggunakan bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*). Mula-mula, sterilkan alat-alat yang digunakan, seperti cawan petri, tabung reaksi, Erlenmeyer, pinset, dan pipet tetes. Lalu, tuangkan  $\pm 15$  mL Nutrient Agar (NA) dalam cawan petri yang telah disterilkan dan dibiarkan mengeras ( $\pm 15$  menit). Setelah NA mengeras, inokulasikan bakteri *E.coli* yang telah dilarutkan dalam sedikit NA ke dalam cawan petri. Lalu, ditanamkan sampel bioplastik PLA/ZnO 0,1, 0,2, 0,5, dan 1,0 % sedemikian rupa ke dalam cawan. Lalu, cawan dimasukkan ke dalam oven bersuhu 37 °C selama 24 jam. Lakukan dengan cara yang sama untuk sampel PLA/MgO 0,1, 0,2, 0,5, dan 1,0 phr. Setelah 24 jam, diamati zona bening yang terbentuk dan diukur diameternya. Lalu, bandingkan dengan uji aktivitas antibakteri pada sampel PLA blanko.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Telah dilakukan pembuatan bioplastik PLA/ZnO dan PLA/MgO dengan variasi konsentrasi ZnO dan MgO 0,1%, 0,2%, 0,5%, dan 1,0%. Secara keseluruhan, bioplastik yang terbentuk memiliki sifat kaku, keras, dan transparan. Peningkatan Konsentrasi ZnO dan MgO hanya menambah sedikit kekeruhan pada bioplastik PLA.
2. Berdasarkan hasil analisis FTIR, tidak terdapat perbedaan pembacaan puncak serapan antara PLA dengan PLA/ZnO maupun PLA/MgO karena ZnO dan MgO tidak terdeteksi melalui analisis FTIR.
3. Berdasarkan hasil uji tarik, penambahan ZnO dan MgO sebanyak 0,1% (2 mg penambahan) dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik dari PLA, namun penambahan berlanjut dapat menurunkan kekuatannya.
4. Berdasarkan hasil analisis SEM, pembacaan ZnO dan MgO pada bioplastik PLA/ZnO dan PLA/ MgO tergambar sebagai bintik putih. Peningkatan konsentrasi ZnO dan MgO meningkatkan jumlah bintik putih tersebut. Pembacaan logam Zn dan Mg pada sampel juga tergambar melalui analisis EDX.

5. Berdasarkan hasil analisis TGA, penambahan ZnO dan MgO menurunkan degradasi termal pada PLA yang ditunjukkan pada pergeseran kurva ke arah suhu yang lebih rendah.
6. Berdasarkan hasil uji antibakteri, penambahan ZnO dan MgO meningkatkan aktivitas antibakteri dari PLA yang ditunjukkan dengan peningkatan diameter zona bening yang terbentuk

## **B. Saran**

Adapun saran dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan penelitian yang sama dengan perbedaan variasi konsentrasi yang besar.
2. Dilakukan uji antibakteri dengan bakteri yang sering terlibat dengan makanan selain bakteri E.coli, serta melibatkan ujinya langsung dengan makanan agar diketahui kelayakan bioplastik PLA/ZnO dan PLA/MgO sebagai pengemas makanan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Auras, R . 2002. *Poly(Lactic Acid) Film as Food Packaging Materials*. Environmental Coference USA.
- Andrzejewska, A. 2017. *Mechanical Characterization of Biodegradable Materials in Surgery*. University of Science and Technology in Bydgoszez-Press. Polandia.
- Brayner, R., Roselyn, F., Nicolas, B., Shakib, D., Marc, F. B., and Fernand, F. 2006. Toxicological Impact Studies Based on Escherichia coli Bacteria in Ultrafine ZnO Nanoparticles Colloidal Medium. *Nano let.* **4**: 866-870
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Penggunaan Plastik di Indonesia*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Bawardi, J. T. 2018. Pembuatan Biofilm Antibakteri Berbahan Nanopartikel ZnO (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Billmeyer, F. 1984. *Textbook of Polymer Science*. John Wiley and Sons. New York.
- Botelho, T., Nadia, T., and Felipe, A. 2004. *Poly(lactic Acid) Production from Sugar Molasses*. International Patent WO 2004/057008 A1.
- Brooks, G. F., Butel, J. S., and Morse, S. A. Alih Bahasa oleh Mudihardi, E. 2001. *Mikrobiologi Kedokteran (Medical Microbiology) Buku I*. Salemba Medika. Jakarta
- Calabia, B. 2010. *Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications*. Wiley Series on Polymer Engineering and Technology. New Jersey.
- Cowd, M. 1991. *Kimia Polimer*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Ellis, D., and Royston, G. 2006. Metabolic Fingerprinting in Disease Diagnosis: Biomedical Applications of Infrared and Raman Spectroscopy. *Analyst*. **131**: 875–885.
- Elmer, P. .2010. *Thermo Gravimetric Analysis (TGA)*. Perkin Elmer Incorporation. New York.

- Farrar, D., and Gilson, R. 2002. Hydrolytic Degradation of Polyglyconate B: The Relationship between Degradation Time Strength and Molecular Weight. *Biomaterial*. **23**: 3905-3912.
- Fardiaz, S. 1988. *Mikrobiologi Pangan*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Fenny, R. D., Mario, V., Veri, H. E. Mikroskop Electron. November 2013  
<http://tentorku.com/mikroskop-cahaya-mikroskop-elektron.html>. Diakses pada tanggal 10 Februari 2019.
- Gana, R. 2010. Raw Material Refractory (II). Desember 2015.  
<https://regist.wordpress.com/raw-material-refractory/>. Diakses pada tanggal 2 Februari 2019.
- Ghozali, M. Triwulandari, E., Meliana, M., Fahmiati, S., Fatriasari, W., Laksana, R. P. B., Masruchin, N., dan Suryanegara, L. 2018. Thermal Properties Of Polylactic Acid/Zinc Oxide Biocomposite Films. *American Institute of Physics Conference Proceeding 2024*. **1**: 1-7
- Gopffrich. 1997. *Mechanism of Polymer Degradation and Elimination*. Overseas Publisher Assosiation. Amsterdam.
- Jayaseelan, C., Rahuman, A. A., Kirthi, A. V., Marimuthu S., Santhoshkumar, T., Bagavan, A., Gaurav, A., Karthik, L., and Rao, K. V. 2012. Novel Microbial Route to Synthesize ZnO Nano Particles Using *Aeromonashydrophila* and Their Activity Against Pathogenic Bacteria and Fungi. *Biomolecular Spectroscopy*. **90**: 78-84
- Juliantina, F. R. 2009. Manfaat Sirih Merah (*Piper crocatum*) ebagai Agen Anti Bakterial Terhadap Bakteri Gram Positif dan Gram Negatif. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan Indonesia*. **1**.
- Kadine, M. 2010. Thermogravimetric Analysis Theory, Operation, Calibration, and Data Interpretation. *Thermal Application Chemist: TA Instrument*. Selangor Media Press. Selangor.
- Kanmani, P. and Rhim, J. W. 2014. Physicochemical Properties of Gelatin/Silver Nanoparticle Antimicrobial Composite Films. *Journal Food Chemical*. **148**: 162-169
- Kinniburgh, K. M. 1976. *Ulmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH. Weinheim.
- Javad, E., Hesarak, S., Mohammad, S., Esfandeh, M., and Ebrahimzadeh, M. H. 2016. Microstructure and Mechanical Properties of Biodegradable Poly (D/L) Lactic Acid/Polycaprolactone Blends Processed from the Solvent Evaporation Technique. *Materials Science and Engineering*: **71**: 808-8019.

- Li, M., Zhu, L., and Lin, D. 2011. Toxicity of ZnO Nanoparticles to *Escherichia coli*: Mechanism and the Influence of Medium Components. *Environment Science Technology*. **45**: 1977-1983.
- Lee, J.Y., Park, H. J., Lee, C. Y., and Choi, W. Y. 2006. Extending Shelf-Life Minimally Processed Apples with Edible Coatings and Antibrowning Agents. *LebensmWiss U Technol*.**36**: 323-329
- Mahalik, N.P. 2009. Processing and Packaging Automation System: A Review. *Jurnal Sains & Instrumental*, **3**: 12-25
- Marwanto. 2017. Sifat Mekanik Komposit Berbasis Poli Asam Laktat (PLA) dan Serat Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Hutan Lestari*. **5**: 412-417
- Novarini, E dan Wahyudi, T. 2011. Sintesis Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) Menggunakan Surfaktan sebagai Stabilisator dan Aplikasinya pada Pembuatan Tekstil Anti Bakteri. *Jurnal Ilmiah Arena Tekstil*. **26**.
- Owen, S., Masaoka, R. K., and Sakota, N. 1995. Biodegradation of Poly-(D,L)lactic Acid Polyurethanes. *Degradable Polymers, Recycling, and Plastic Waste Management*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Pelczar, J. M., and Chan, E. C. S Alih Bahasa oleh Hadioetomo, R. S. 1986. *Dasar-dasar Mikrobiologi*. UI Press. Jakarta.
- Prasetyo , Y. 2011. *Scanning Electron Microscope and Optical Emission Spectroscopy*.<http://yudiprasetyo53.wordpress.com/2011/11/07/scanningelectron-microscope-sem-dan-optical-emmission-spectroscopy-oes>. Diakses 8 Februari 2019.
- Saputro, D. F., Widiarto, S., dan Yuwono, S. D. 2016. Studi Pendahuluan Pembuatan dan Karakterisasi Plastik Ramah Lingkungan dari Campuran Polistirena-Poli Asam Laktat. *Prosiding Seminar Nasional Sains, MIPA, Informatika dan Aplikasi*. **3**.
- Schechter, I., Barzilai, I., and Anda, B. V. 1997. *Online Remote Prediction of Gasoline Properties by Combined Optical Method*. Chim Acta. NewYork.
- Shankar, S., Wang, L. F., and Rhim, J. W. 2018. Incorporation Of Zinc-Oxide Nanoparticles Improved The Mechanical, Water Vapor Barrier, UV-Light Barrier, And Antibacterial Properties Of PLA-Based Nanocomposites Film. *Material Science and Engineering*. **93**: 289-298.
- Siregar, A. A. 2017. Modifikasi Hidroksiapatit dengan Magnesium menggunakan Kalsium yang Berasal dari Kulit Kerang Darah (*Tegillarca granosa*) dan Uji Aktivitas Antibakterinya (Skripsi). Jurusan Kimia. Universitas Andalas.

- Soares, G. M. S., Figueiredo, L. C., Faveri, M., Cortelli, S. C., Duarte, P. M., and Feres, M. 2012. Mechanisms of Action of Systemic Antibiotics Used in Periodontal Treatment and Mechanisms of Bacterial Resistance to These Drugs. *Application Oral Science Journal*. **3**: 295-309
- Stevens, M.P. 2001. *Kimia Polimer*. :Pradnya Paramita. Jakarta
- Stevens, S. S. 2002. *Green Plastic an Introduction to the New Science of Biodegradable Plastics*. New Jersey: University Press.
- Surdia, M. and Shin, R. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Erlangga. Jakarta.
- Sykes, P. 1975. *A Guide Book to Mechanism in Organic Chemistry*. UK: Longman Grup, Ltd. London.
- Talaro, K. P. 2008. *Foundation in Microbiology: Basic Principles, Sixth Edition*. Mc Graw Hill. New York.
- Vlack, L. 2006. *Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material Ed.6th*. Erlangga. Jakarta.
- Widyasari, R. 2010. Kajian Penambahan Onggok Termoplastik Terhadap Karakteristik Plastik Komposit Polietilen (Skripsi). Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Wulan, M. 2011. *Degradasi In Vitro Mikrosfer Polipaduan Poli Asam Laktat dan Polikaprolakton (Skripsi)*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Zahedi, P., Karami, Z., Rezaeian, I., Jafari, S. H., Mahdavian, P., Abdolghaffari, A. H., and Abdollahi, M. 2011. Preparation and Performance Evaluation of Tetracycline Hydrochloride Loaded Wound Dressing Mats Based on Electrospun Nanofibrous Poly (Lactid Acid)/ Poly(e-caprolactone) Blends. *Journal of Applied Polymer Science*. **124**: 4175-4183.