



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMANFAATAN PATI UMBI GARUT UNTUK PEMBUATAN  
PLASTIK *BIODEGRADABLE***

**SKRIPSI**

**RYAN ARDIANSYAH**

**0706270062**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMANFAATAN PATI UMBI GARUT UNTUK PEMBUATAN  
PLASTIK *BIODEGRADABLE***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan  
disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian Skripsi.**

**RYAN ARDIANSYAH**

**0706270062**

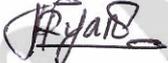
**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Ryan Ardiansyah**

**NPM : 0706270062**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 28 Juni 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

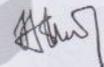
Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ryan Ardiansyah  
NPM : 0706270062  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Pemanfaatan Pati Umbi Garut untuk Pembuatan Plastik *Biodegradable*

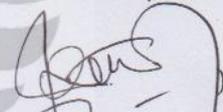
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

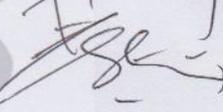
Pembimbing : Dr. Heri Hermansyah, ST., M.Eng

(  )

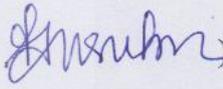
Penguji : Ir. Rita Arbianti, M.Si

(  )

Penguji : Tania Surya Utami, ST., MT

(  )

Penguji : Ir. Praswasti PDK Wulan, MT

(  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya skripsi ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Skripsi dengan judul **“Pemanfaatan Pati Umbi Garut untuk Pembuatan Plastik *Biodegradable*”** ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademis untuk meraih gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Kimia FTUI.

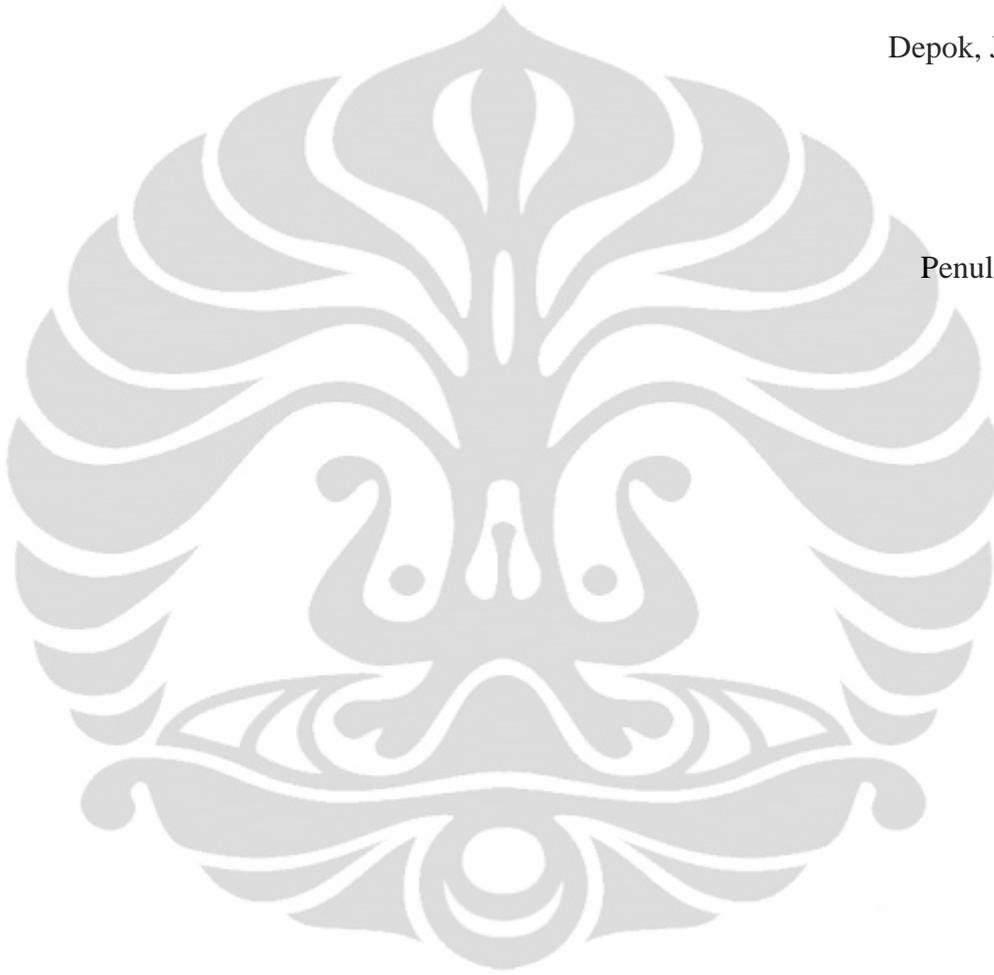
Dalam proses pendalaman materi skripsi ini, tentunya penulis banyak mendapatkan bimbingan, arahan, koreksi dan saran, untuk itu rasa terima kasih yang dalam-dalamnya penulis sampaikan kepada :

1. Dr. Heri Hermansyah, ST., M.Eng selaku pembimbing skripsi dan pembimbing akademis atas segala ide, kritik, serta sarannya kepada penulis.
2. Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA, selaku Ketua Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
3. PT. Indofood Sukses Makmur Tbk yang telah memberikan dana penelitian melalui program Indofood Riset Nugraha 2010/2011.
4. Mang Jajat, Mang Ijal, Mbak Fita, Ius, Mas Sriyono, Mas Taufik dan semua karyawan DTK yang selalu membantu penulis.
5. Ibu, Bapak, dan semua keluargaku yang selalu mendampingi, memberikan nasihat, dan membantu, baik secara moril maupun materiil.
6. Vista Sandy atas perhatian, dukungan dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini melalui kata-katanya “break your neck to keep your chin up”.
7. Zayyanatun Zulfa sebagai partner penelitian atas bantuannya selama penelitian, berbagi informasi dan selama menyelesaikan makalah skripsi ini.
8. Edi, Ikha, Muthia, Ikmalul, Sukma, Valent, Winda, Ayuko, Eka, Edi, Ani, Suci, dan teman RPKA lainnya yang telah banyak membantu.
9. Teman-teman Teknik Kimia UI angkatan 2007 atas suka dan duka selama ini.
10. Desir Detak Insani atas usahanya yang telah banyak membantu dalam mencarikan umbi garut.
11. Teman-teman IRN 2010 yang saling menukar informasi.
12. Pihak-pihak lainnya yang mendukung dan membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan tugas skripsi ini. Untuk itu, saran dan kritik sangat penulis harapkan untuk memperbaiki penulisan di masa yang akan mendatang.

Depok, Juni 2011

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ryan Ardiansyah  
NPM : 0706270062  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Pemanfaatan Pati Umbi Garut untuk Pembuatan Plastik *Biodegradable***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 28 Juni 2011

Yang menyatakan



( Ryan Ardiansyah )

## ABSTRAK

Nama : Ryan Ardiansyah  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Pemanfaatan Pati Umbi Garut untuk Pembuatan Plastik *Biodegradable*

Masalah lingkungan dari pembuangan limbah plastik turunan minyak bumi telah menjadi isu penting karena sifatnya yang sulit diuraikan. Oleh karena itu, upaya telah dilakukan untuk mempercepat tingkat degradasi material polimer dengan mengganti beberapa atau seluruh polimer sintesis dengan polimer alami. Pati merupakan salah satu polimer alami yang dapat digunakan untuk produksi material biodegradable karena sifatnya yang mudah terdegradasi, melimpah, dan terjangkau namun memiliki kekurangan seperti kuatnya perilaku hidrofilik dan sifat mekanis yang lebih buruk. Untuk meningkatkan kekuatan mekanis pada pati, sejumlah kecil pengisi (*filler*) berupa bahan inorganik biasanya ditambahkan ke dalam matriks polimer. Oleh karena itu, bioplastik disiapkan dengan pencampuran pati umbi garut sebagai matriks, gliserol sebagai pemlastis, dan ZnO sebagai *filler* dengan ukuran 500 nm melalui metode *melt intercalation*. Distribusi ZnO dari hasil SEM terbukti mempengaruhi FT-IR, UV-Vis, XRD, sifat mekanis, dan biodegradabilitas bioplastik. Ketika ZnO divariasikan dari 1-3 % wt kekuatan tarik meningkat dari 18,704 kgf/cm<sup>2</sup> menjadi 53,947 kgf/cm<sup>2</sup>; derajat elongasi dan *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR) menurun dari 25,14% menjadi 9,25% dan 9,1013 gr.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> menjadi 8,7729 gr.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>. Jika konsentrasi gliserol divariasikan dari 10-30 % wt, derajat elongasi dan WVTR meningkat dari 9,25 % menjadi 20,68 % dan 8,4246 menjadi 8,7729 gr.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>; kekuatan tarik menurun dari 53,947 kgf/cm<sup>2</sup> menjadi 39,089 kgf/cm<sup>2</sup>.

Kata kunci:

Biodegradable; Bioplastik; *Melt intercalation*; Pati; Pemlastis; ZnO.

## ABSTRACT

Name : Ryan Ardiansyah  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : The Utilization of Arrowroot Starch for Producing Biodegradable Plastics

Environmental problems from petroleum derivatives waste has become an important issue because of difficult to degraded. So, the efforts have done for increasing degradation time through replacement of synthetic polymer with natural polymer. Starch is one of the natural polymer that is used for the production of biodegradable material because it is easily degraded, abundant, and economically affordable but had disadvantages such as strong hydrophilic behavior and mechanical properties are worse. To improve the mechanical properties of starch, filler particles such as inorganic materials has been added in starch. Thus, bioplastics were prepared by mixing a arrowroot strach, glycerol, and ZnO particles of about 500 nm by the melt intercalation method. Distribution of ZnO from SEM affected the studies of UV-Vis, XRD, mechanical properties, and biodegradabilities. When ZnO was varied from 1 to 3 wt%, tensile strength increased from 18.704 to 53.947 kgf/cm<sup>2</sup> while the degree of elongation and the Water Vapour Transmission Rate (WVTR) decreased from 25.14 to 9.25% and 9.1013 to 8.7729 gr.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>. If the concentration of glycerol was varied from 10 to 30 wt%, the degree of elongation and WVTR increased from 9.25% to 20.68% and 8.4246 to 8.7729 gr.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>. Tensile strength decreased from 53.947 kgf/cm<sup>2</sup> to 39.089 kgf/cm<sup>2</sup>.

Keywords:

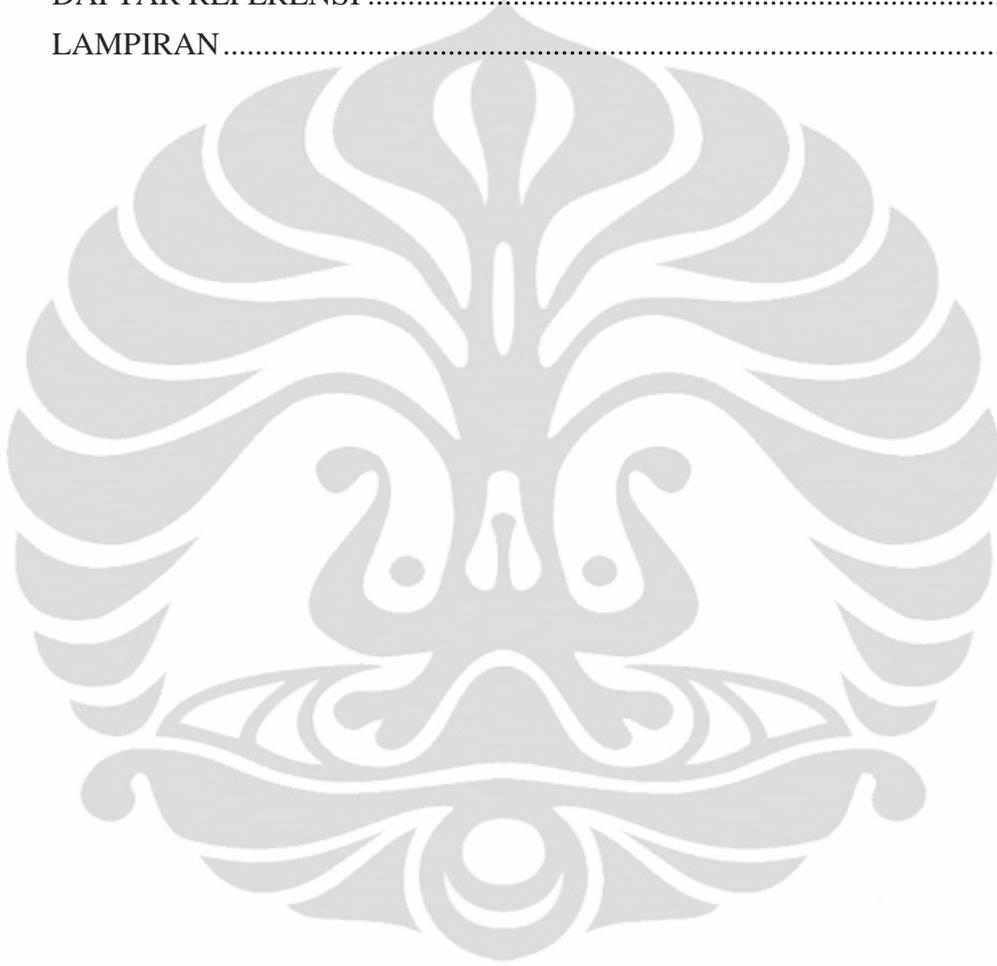
Biodegradable; Bioplastics; Melt intercalation; Starch; Plasticizer, ZnO.

## DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
<b>BAB 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.3 Batasan Penelitian .....	4
1.4 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB 2 .....</b>	<b>6</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Bioplastik.....	6
2.1.1 Penggolongan Plastik Biodegradabel.....	7
2.1.2 Penggunaan ZnO dalam bioplastik .....	9
2.1.3 <i>State of The Art</i> Penelitian Bioplastik .....	9
2.2 Pati .....	11
2.2 Pati .....	11
2.2.1 Penggunaan Pati sebagai Bahan Baku Plastik Biodegradabel .....	15
2.2.2 Pati Umbi Garut .....	16
2.2.3 Gelatinisasi Pati.....	17
2.3 Pemplastis ( <i>Plasticizer</i> ).....	18
2.3.1 Gliserol Sebagai <i>Plasticizer</i> .....	19
2.3.2 Mekanisme Plastisasi .....	19
2.3.3 Teori Plastisasi .....	20
2.4 Preparasi Bioplastik .....	21

2.4.1	<i>In Situ Intercalative Polymerization</i> .....	21
2.4.2	<i>Melt Intercalation</i> .....	21
2.4.2	Interkalasi Larutan .....	23
2.5	Karakterisasi Material .....	23
2.5.1	Karakterisasi <i>X-ray Diffraction (XRD)</i> .....	24
2.5.2	Karakterisasi Spektroskopi .....	25
2.5.3	Karakterisasi Kekuatan Tarik ( <i>Tensile Strenght</i> ).....	26
<b>BAB 3</b>	.....	<b>27</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	.....	<b>27</b>
3.1	Alur Penelitian.....	27
3.1.1	Tempat Penelitian.....	30
3.2	Alat dan Bahan Percobaan .....	31
3.2.1	Alat Percobaan .....	31
3.2.2	Bahan Percobaan.....	34
3.3	Prosedur Percobaan .....	35
3.3.1	Percobaan Pembuatan <i>Filler ZnO</i> .....	35
3.3.2	Percobaan Pembuatan Bioplastik.....	35
3.3.3	Uji Biodegradabilitas ( <i>Soil Burial Test</i> ).....	38
<b>BAB 4</b>	.....	<b>40</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	.....	<b>40</b>
4.1	Studi Kelayakan Teknik Pembuatan Bioplastik dari Pati Umbi Garut.....	40
4.1.1	Persiapan <i>Filler ZnO</i> .....	40
4.1.2	Persiapan Matriks Pati Umbi Garut .....	41
4.1.3	<i>Preliminary Experiment</i> Pembuatan Bioplastik.....	42
4.2	Optimasi Kondisi Operasi Pembuatan Bioplastik.....	49
4.2.1	Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi <i>Plasticizer</i> pada Konsentrasi <i>Filler</i> Tetap .....	49
4.2.2	Penentuan Gliserol Optimum.....	51
4.2.3	Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi <i>Filler</i> pada Konsentrasi <i>Plasticizer</i> Optimum .....	56
4.3	Karakterisasi.....	58
4.3.1	Analisis Sifat Mekanis .....	58
4.3.2	Analisis UV-Vis ( <i>Ultra Violet- Visible</i> ).....	62
4.3.3	Analisis FT-IR ( <i>Fourier-transform infrared spectroscopy</i> ) .....	65
4.3.4	Analisis WVTR ( <i>Water Vapour Transmission Rate</i> ) .....	68
4.3.5	Analisis XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ).....	72

4.3.6 Analisis SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) .....	75
4.3.7 Uji Biodegradabilitas .....	77
4.4 Perbandingan Hasil Penelitian Pati Umbi Garut/Zno dengan Hasil Penelitian Pati Kacang Polong/ZnO oleh Xiofei Ma .....	82
<b>BAB 5</b> .....	<b>89</b>
<b>KESIMPULAN</b> .....	<b>89</b>
DAFTAR REFERENSI .....	91
LAMPIRAN.....	94

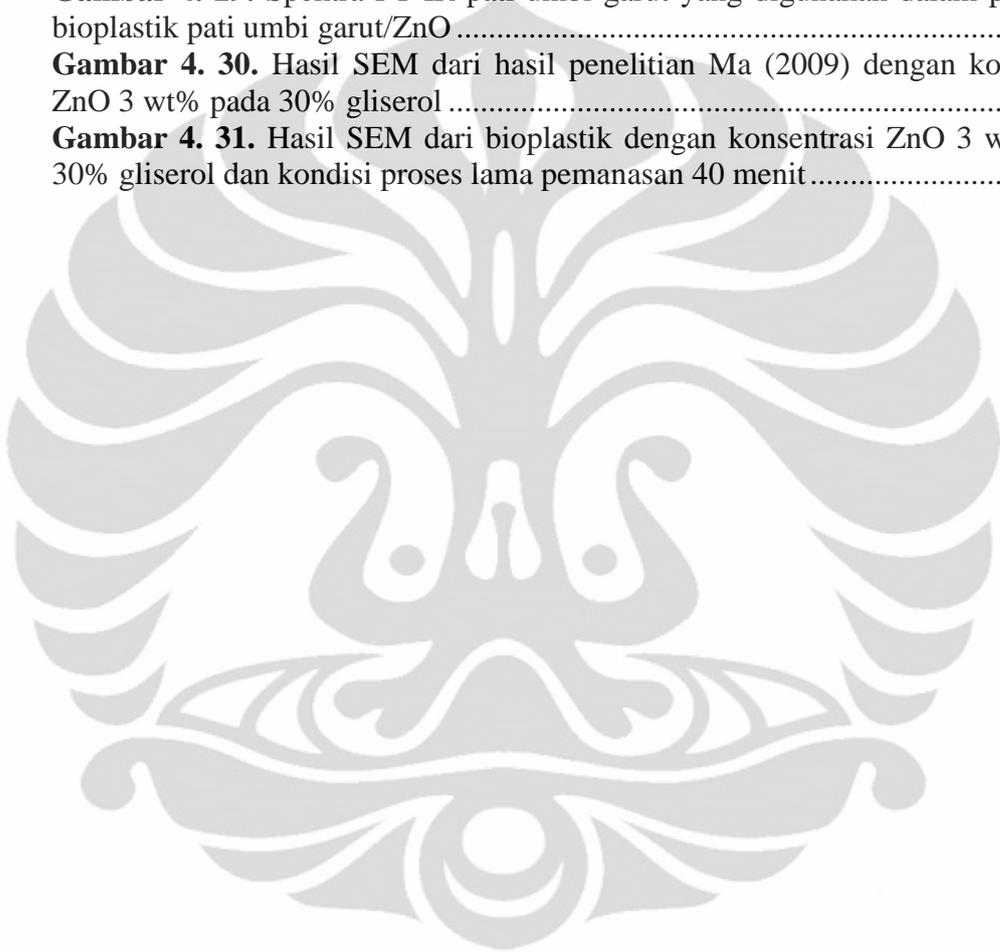


## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1.</b> Siklus produksi dan degradasi polimer biodegradabel (IBAW Publication, 2005) .....	6
<b>Gambar 2. 2.</b> Klasifikasi plastik <i>biodegradable</i> (Averous, 2008).....	8
<b>Gambar 2. 3.</b> Struktur kristal ZnO <b>a)</b> <i>wurtzite</i> <b>b)</b> <i>blended</i> (Wang Z. L., 2008) ....	9
<b>Gambar 2. 4.</b> Struktur molekul dari kandungan pati (Wajira S. Ratnayake, 2009) .....	12
<b>Gambar 2. 5.</b> Diskripsi tanaman garut (Wajira S. Ratnayake, 2009) .....	17
<b>Gambar 2. 6.</b> Ilustrasi proses gelatinisasi pati (Colonna et all., 1985 dalam Wajira S. Ratnayake, 2009) .....	18
<b>Gambar 2. 7.</b> Ilustrasi dari berbagai komposit yang dapat terbentuk dari interaksi antara <i>layered silicate</i> dan polimer. (a) <i>Phase - separated composite</i> (b) <i>intercalated composite</i> (c) <i>exfoliated composite</i> (Fauze A. Aouada, 2011) .....	22
<b>Gambar 2. 8.</b> Perbedaan mekanisme dari dispersi <i>clay</i> dengan kombinasi metode interkalasi dari larutan dan <i>melt intercalation</i> pati jagung/ MMT (Fauze A. Aouada, 2011) .....	23
<b>Gambar 2. 9.</b> Sinar-X yang masuk dalam susunan atom (Romero-Bastida, 2004) .....	24
<b>Gambar 2. 10.</b> Pengukuran Kekuatan ( <i>Strenght</i> ) (Romero-Bastida, 2004).....	26
<b>Gambar 3. 1.</b> Diagram alir penelitian .....	27
<b>Gambar 3. 2.</b> Ultrasonik processor .....	31
<b>Gambar 3. 3.</b> Magnetic stirrer.....	31
<b>Gambar 3. 4.</b> Ove.....	31
<b>Gambar 3. 5.</b> Neraca Analitis .....	32
<b>Gambar 3. 6.</b> Termometer .....	32
<b>Gambar 3. 7.</b> Cetakan 20x20 cm .....	32
<b>Gambar 3. 8.</b> UV-Vis.....	33
<b>Gambar 3. 9.</b> FT-IR .....	33
<b>Gambar 3. 10.</b> WVTR .....	33
<b>Gambar 3. 11.</b> Alat kuat tarik .....	33
<b>Gambar 3. 12.</b> <i>Micro-cal</i> .....	34
<b>Gambar 3. 13.</b> Pati Umbi Garut.....	34
<b>Gambar 3. 14.</b> ZnO .....	34
<b>Gambar 3. 15.</b> Gliserol .....	34
<b>Gambar 3. 16.</b> <i>Dessicant</i> CaCl <sub>2</sub> .....	35
<b>Gambar 3. 17.</b> Ilustrasi aliran proses dengan metode <i>melt intercalation</i> .....	37
<b>Gambar 3. 18.</b> Ilustrasi aliran proses dengan metode <i>soil burial test</i> .....	39
<b>Gambar 4. 1.</b> Biokomposit dengan 3%ZnO, 10% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 20 menit. ....	43
<b>Gambar 4. 2.</b> Bioplastik dengan 3%ZnO, 20% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 20 menit .....	44
<b>Gambar 4. 3.</b> Bioplastik dengan 0%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 30 menit .....	44

<b>Gambar 4. 4.</b> Bioplastik dengan 2%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 30 menit .....	45
<b>Gambar 4. 5.</b> Bioplastik dengan 3%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 40 menit .....	46
<b>Gambar 4. 6.</b> Bioplastik dengan 3%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 50 menit .....	46
<b>Gambar 4. 7.</b> Bioplastik dengan 2%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 50 menit .....	47
<b>Gambar 4. 8.</b> Bioplastik dengan 3%ZnO, 10%gliserol, waktu pemanasan 40 menit.....	50
<b>Gambar 4. 9.</b> Bioplastik dengan 3%ZnO, 20%gliserol, waktu pemanasan 40 menit.....	50
<b>Gambar 4. 10.</b> Bioplastik dengan 3%ZnO, 30%gliserol, waktu pemanasan 40 menit.....	50
<b>Gambar 4. 11.</b> Efek penambahan gliserol terhadap <i>tensile strenght</i> ( $\Delta$ ) dan elongasi ( $\blacksquare$ ) bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan kondisi proses lama pemanasan 40 menit.....	54
<b>Gambar 4. 12.</b> Bioplastik dengan 1%ZnO, 30%gliserol, waktu pemanasan 40 menit.....	57
<b>Gambar 4. 13.</b> Bioplastik dengan 2%ZnO, 30%gliserol, waktu pemanasan 40 menit.....	57
<b>Gambar 4. 14.</b> Bioplastik dengan 3%ZnO, 30%gliserol, waktu pemanasan 40 menit.....	57
<b>Gambar 4. 15.</b> Efek penambahan ZnO terhadap <i>tensile strenght</i> ( $\Delta$ ) dan elongasi ( $\blacksquare$ ) bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan kondisi proses pemanasan 40 menit	60
<b>Gambar 4. 16.</b> Absorbansi UV-Vis dari bioplastik pati umbi garut-ZnO dengan kadar ZnO 1%,2%,3% pada 30% wt gleserol dan lama pemanasan 40 menit.....	63
<b>Gambar 4. 17.</b> Spektrum FTIR .....	66
<b>Gambar 4. 18.</b> Ilustrasi prosedur pengujian WVTR yang mengacu pada ASTM E-96 M-05 .....	69
<b>Gambar 4. 19.</b> Efek penambahan gliserol terhadap hasil WVTR pada bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol 10,20,30%wt pada 3%wt ZnO dan waktu pemanasan 40 menit.....	70
<b>Gambar 4. 20.</b> Efek penambahan ZnO terhadap hasil WVTR pada bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3%wt pada 30%wt gliserol dan waktu pemanasan 40 menit.....	71
<b>Gambar 4. 21.</b> Pola XRD dari <i>filler</i> ZnO, matriks pati umbi garut, dan bioplastik dengan konsentrasi ZnO 1 dan 3 %wt pada 30%wt gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit .....	73
<b>Gambar 4. 22.</b> Pola XRD dari bioplastik dengan konsentrasi ZnO 1 dan 3 % wt pada 30%wt gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit .....	73
<b>Gambar 4. 23.</b> Hasil SEM dari bioplastik dengan konsentrasi ZnO 3 wt% pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit.....	75
<b>Gambar 4. 24.</b> Hasil SEM yang menunjukkan agregasi partikel ZnO pada bioplastik dengan variasi 3%wt ZnO pada 30%wt gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit.....	76
<b>Gambar 4. 25.</b> Bioplastik berukuran 2,5x1,5 cm sebagai sampel <i>soil burial test</i>	77

<b>Gambar 4. 26.</b> Biodegradabilitas dari bioplastik dengan variasi ZnO 0 (●), 1 (○), 2 (Δ), 3 (■) wt% pada 30%wt gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit.....	80
<b>Gambar 4. 27.</b> Biodegradabilitas dari bioplastik dengan variasi gliserol 10 (●), 20 (■), 30 (Δ) wt% pada 30%wt gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit.....	81
<b>Gambar 4. 28.</b> Spektra FT-IR pati kacang polong, nano ZnO, dan ZnO termodifikasi oleh Ma (2009).....	85
<b>Gambar 4. 29.</b> Spektra FT-IR pati umbi garut yang digunakan dalam penelitian bioplastik pati umbi garut/ZnO .....	85
<b>Gambar 4. 30.</b> Hasil SEM dari hasil penelitian Ma (2009) dengan konsentrasi ZnO 3 wt% pada 30% gliserol .....	87
<b>Gambar 4. 31.</b> Hasil SEM dari bioplastik dengan konsentrasi ZnO 3 wt% pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit.....	87



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1.</b> <i>State Of The Art</i> Penelitian Bioplastik .....	10
<b>Tabel 2. 2.</b> Kandungan pati pada beberapa bahan pangan (Wajira S. Ratnayake, 2009) .....	11
<b>Tabel 2. 3.</b> Penelitian-Penelitian mengenai komposit dengan pati sebagai matriks (Jose M. Lagaron, 2011) .....	14
<b>Tabel 2. 4.</b> Komposisi kimia tanaman garut (Wajira S. Ratnayake, 2009) .....	17
<b>Tabel 3. 1.</b> Variasi yang dikerjakan selama percobaan .....	37
<b>Tabel 4. 1.</b> Hasil analisis ukuran partikel menggunakan PSA ( <i>Particel Size Analysis</i> ).....	40
<b>Tabel 4. 2.</b> Kandungan pati umbi garut sebagai matriks bioplastik .....	41
<b>Tabel 4. 3.</b> Variasi yang dibuat selama percobaan awal .....	42
<b>Tabel 4. 4.</b> Karakteristik kondisi proses pemanasan selama pembuatan bioplastik .....	48
<b>Tabel 4. 5.</b> Karakteristik percobaan bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol 10,20, 30% wt pada 3% ZnO dan kondisi proses pemanasan 40 menit.....	50
<b>Tabel 4. 6.</b> Hasil ketebalan bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol 10,20,30% wt pada 3% wt ZnO dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit...	52
<b>Tabel 4. 7.</b> Hasil perhitungan sifat mekanis bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol pada 3% ZnO dan kondisi proses pemanasan 40 menit.....	53
<b>Tabel 4. 8.</b> Perbandingan <i>tensile strenght</i> dan elongasi bioplastik perlakuan 3% wt ZnO 30%wt gliserol pada lama pemanasan 40 menit dengan hasil penelitian Ma (2009).....	55
<b>Tabel 4. 9.</b> Karakteristik percobaan bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3 % wt pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit .....	57
<b>Tabel 4. 10.</b> Hasil ketebalan bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3 % wt pada 30% wt gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit .....	59
<b>Tabel 4. 11.</b> Hasil perhitungan sifat mekanis bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3% wt pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit	60
<b>Tabel 4. 12.</b> Perbandingan hasil sifat mekanis terhadap variasi konsentrasi gliserol dan konsentrasi ZnO dari bioplastik pati umbi garut/ ZnO dengan lama pemanasan 40 menit.....	61
<b>Tabel 4. 13.</b> Analisis spektra FT-IR dari pati umbi garut dan bioplastik 10,20,30% wt gliserol pada 3% wt ZnO dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit .....	67
<b>Tabel 4. 14.</b> Hasil WVTR bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol 10,20,30% wt gliserol pada 3% wt ZnO dan waktu pemanasan 40 menit.....	69
<b>Tabel 4. 15.</b> Hasil WVTR bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3% wt pada 30%wt gliserol dan waktu pemanasan 40 menit .....	71
<b>Tabel 4. 16.</b> Hasil uji biodegradabilitas untuk bioplastik 1 dengan waktu pemanasan 40 menit.....	78
<b>Tabel 4. 17.</b> Hasil uji biodegradabilitas untuk bioplastik 2 dengan waktu pemanasan 40 menit.....	79
<b>Tabel 4. 18.</b> Hasil uji biodegradabilitas untuk bioplastik 3 dengan waktu pemanasan 40 menit.....	79

**Tabel 4. 19.** Perbandingan *tensile strenght* dan elongasi bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3% wt pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit dengan hasil penelitian Ma (2009)..... 83

**Tabel 4. 20.** Perbandingan hasil UV-Vis dari bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3% wt pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit dengan hasil penelitian Ma (2009)..... 84

**Tabel 4. 21.** Perbandingan hasil FT-IR dari bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3% wt pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit dengan hasil penelitian Ma (2009)..... 86



## DAFTAR LAMPIRAN

1. Hasil pengukuran partikel ZnO menggunakan PSA ..... 94
2. Data pengujian WVTR dari bioplastik dengan variasi ZnO ..... 97
3. Data pengujian WVTR dari bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol ..... 98
4. Frekuensi gugus Inframerah..... 99



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk akan menambah penggunaan sumberdaya alam dan energi secara besar-besaran yang berakibat terciptanya sampah yang menumpuk dalam jumlah sangat besar. Pada tahun 2008, produksi tahunan berbahan polimer mencapai 180 juta ton, dengan rata-rata konsumsi plastik per kapita di negara-negara maju berkisar 80-100 kg per tahun (Gonzalez-Gutierrez, 2010). Peningkatan yang cepat dalam produksi dan konsumsi plastik telah menyebabkan masalah serius terhadap sampah plastik, sehingga para ahli menyebutnya *white pollution*, yaitu bagaimana pencemaran ini diakibatkan oleh polutan putih (asap) terutama terdiri dari kantong plastik, gelas plastik, dan bahan plastik lainnya (Avella, 2009; David Plackett, 2003). Plastik banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari umumnya berupa poliolefin (polietilen, polipropilen) karena mempunyai keunggulan-keunggulan seperti kuat, ringan dan stabil, namun sulit terombak oleh mikroorganisme dalam lingkungan sehingga menyebabkan masalah lingkungan yang sangat serius (Gonzalez-Gutierrez, 2010). Dalam memecahkan masalah sampah plastik dilakukan beberapa pendekatan seperti daur ulang, teknologi pengolahan sampah plastik, dan pengembangan bahan plastik baru yang dapat hancur dan terurai dalam lingkungan yang dikenal dengan sebutan plastik biodegradabel. Plastik biodegradabel dirancang untuk memudahkan proses degradasi terhadap reaksi enzimatik mikroorganisme seperti bakteri dan jamur (Avella, 2009). Berbeda dengan jenis polimer sintetis, polimer alami merupakan bahan dasar pembuatan plastik yang baik karena terjangkau dan cepat terdegradasi. Penggunaan material biodegradabel dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui sangat membantu mengurangi persentase limbah plastik. Oleh karena itu, beberapa upaya telah dilakukan untuk mempercepat tingkat degradasi material polimer dengan mengganti beberapa atau seluruh polimer sintetis dengan polimer alami dalam banyak aplikasi sebagai upaya untuk

meminimalisasi masalah lingkungan yang disebabkan oleh limbah plastik (Avella, 2009; Gonzalez-Gutierrez, 2010).

Pati merupakan salah satu polimer alami dari ekstraksi tanaman yang dapat digunakan untuk memproduksi material biodegradabel karena sifatnya yang ramah lingkungan, mudah terdegradasi, ketersediaan yang besar, dan terjangkau (Yihu Song, 2008; Gonzalez-Gutierrez, 2010; Sandra Domenek, 2004). Namun, pati memiliki beberapa kekurangan seperti kuatnya perilaku hidrofilik dan sifat mekanis yang lebih buruk jika dibandingkan dengan polimer sintetis. Pati juga sebagian besar larut dalam air dan tidak dapat diproses melalui proses *melting* karena akan lebih dulu terdekomposisi sebelum mengalami proses gelatinisasi. Untuk meningkatkan kekuatan mekanis dan *barrier properties* pada pati, sejumlah kecil pengisi (*filler*) berupa bahan inorganik biasanya ditambahkan ke dalam matriks polimer. ZnO merupakan salah satu *filler* yang menarik digunakan karena ZnO adalah keramik piezoelektrik dan bersifat antimikroba (Wang Z. L., 2008). ZnO juga dibutuhkan oleh tubuh sekitar 15 mg per harinya. Sayangnya dalam jumlah *filler* yang kecil, total *interface* antara polimer matriks dengan *filler* jauh lebih kecil saat proses interkalasi berlangsung. Fauze et al., 2011, melaporkan bahwa *melt-intercalation* dari rantai poliaktida akan membentuk sudut inklinasi untuk masuk ke ruang bagian dalam lapisan (*host*) dari *filler* sehingga akan mempermudah masuknya bahan pengisi ke dalam matriks polimer.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan bioplastik yang merupakan plastik biodegradabel. Banyak penelitian telah dilakukan untuk membuat bioplastik dengan berbagai polimer alami seperti protein, lemak, dan polisakarida (Avérous, 2001; Rosentrater et. all, 2006; Siracusa et al., 2008). Penelitian-penelitian tentang bioplastik yang telah banyak dilaporkan terutama dari protein sebagai sumber matriksnya seperti *wheat gluten* (Domenek et al., 2004; Gomez-Martinez et al., 2009; Jerez et al., 2005; Sun et al., 2008) dan *egg albumen* (Jerez et all. 2007). Dalam penelitian ini, pati umbi garut akan ditambahkan dengan *filler* ZnO untuk memperoleh bioplastik yang juga merupakan biokomposit ini dalam rangka meningkatkan kekuatan mekanis dan ketahanan terhadap permeabilitas air akan disiapkan dengan metode *melt intercalation*. Namun, kesulitan dalam penggunaan polimer sebagai material

adalah memerlukan bahan lain sehingga polimer dapat dibentuk sesuai keinginan. Untuk membentuk sifat plastis dari polimer alami maka diperlukan agen pemlastis (*plasticizer*). Pada umumnya, agen pemlastis yang digunakan termasuk dalam kelompok poliol seperti gliserol, xilitol, dan sorbitol, sehingga digunakan agen pemlastis gliserol untuk mengoptimasi bioplastik. Banyak penelitian telah dilakukan untuk membuat bioplastik dengan berbagai polimer alami dan metal oksida sebagai bahan pengisi dan juga material pemlastis. Namun bioplastik dari penggunaan matriks pati umbi garut dengan pengisi ZnO dan gliserol belum pernah dilaporkan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Saat ini, masalah lingkungan yang memerlukan banyak perhatian adalah pengelolaan dalam peningkatan sejumlah besar limbah padat plastik. Pemecahan masalah lingkungan dilakukan dengan membuat dan memproduksi plastik biodegradabel dengan berbagai macam cara. Penelitian mengenai pengembangan bioplastik berbasis pati pun telah dilakukan. Pati merupakan salah satu polimer alami yang dapat digunakan untuk produksi material biodegradabel karena sifatnya yang mudah terdegradasi, ketersediaan yang besar, dan terjangkau. Namun, pati memiliki kekurangan seperti kuatnya perilaku hidrofilik dan sifat mekanis yang lebih buruk. Penggunaan partikel *filler* telah dibuktikan dapat memperbaiki sifat mekanis dari material yang dihasilkan.

Dalam rangka untuk mengoptimasi pembuatan bioplastik dengan sifat mekanis yang lebih baik, maka penelitian ini mengusulkan berupa penggantian matriks bahan alam menggunakan pati umbi garut dengan ditambahkan ZnO dan agen pemlastis gliserol. Keberhasilan penelitian ini diharapkan menghasilkan plastik yang ramah terhadap lingkungan. Selain itu pemanfaatan pati umbi garut sebagai bahan baku plastik juga dapat dijadikan peluang peningkatan ekonomi para petani umbi garut karena nilai jual umbi garut yang semakin meningkat dan melestarikan umbi-umbian di Indonesia yang semakin terancam kelestariannya.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah:

- Menyelediki kelayakan penggunaan pati umbi garut sebagai bahan pembuat plastik biodegradabel.
- Mendapatkan kondisi proses optimal yaitu lamanya waktu pemanasan melalui percobaan awal pembuatan bioplastik.
- Mengetahui karakteristik plastik dari tiap-tiap variasi yang dikerjakan yaitu karakterisasi berupa struktur, morfologi, dan sifat mekanis.

### 1.3 Batasan Penelitian

Batasan-batasan yang digunakan adalah :

- Pati umbi garut yang digunakan merupakan pati yang dijual di pasaran dengan merek dagang tertentu.
- Gliserol yang digunakan merupakan gliserol proanalisis.
- Pembuatan bioplastik dilakukan dengan metode *melt-intercalation*.
- Kondisi proses optimum dari bioplastik akan diamati melalui pengamatan secara visual seperti kondisi larutan dan bioplastik yang terbentuk.

### 1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam makalah skripsi ini adalah:

#### BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini terdiri atas latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan dari penelitian pemanfaatan pati umbi garut untuk pembuatan plastik biodegradabel.

#### BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan berbagai informasi yang didapatkan dari berbagai pustaka mengenai teori yang menjadi dasar penelitian ini seperti teori-teori tentang bioplastik, pati, ZnO, pemlastis, *melt intercalation*, karakterisasi material, dan *state of the art* dari penelitian.

#### BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini terdiri atas mekanisme penelitian yang dimulai dengan kelayakan teknik pembuatan bioplastik yang terdiri atas dua pekerjaan

yaitu studi literatur, persiapan *filler* ZnO, dan percobaan awal pembuatan bioplastik. tahap selanjutnya adalah optimasi kondisi operasi pembuatan bioplastik yang terdiri atas pekerjaan seperti percobaan pembuatan bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol, percobaan pembuatan bioplastik dengan variasi ZnO. Tahap ketiga adalah karakterisasi berupa studi morfologi dengan SEM, XRD, FT-IR, dan UV-Vis, studi mekanik, serta uji biodegradabilitas. Bab ini juga dijelaskan alat dan bahan dalam penelitian, serta prosedur penelitian pembuatan bioplastik dan prosedur pengujian biodegradabilitas.

#### BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini terdiri atas hasil percobaan dan analisis data hasil pengamatan yang dimulai dari pembahasan mengenai tahap studi kelayakan teknik pembuatan bioplastik dari pati umbi garut yang terdiri atas persiapan bahan, *preliminary experiment*, kemudian tahap optimasi kondisi operasi yang terdiri atas pembuatan bioplastik dengan variasi gliserol dan variasi ZnO, serta pembahasan mengenai karakterisasi sifat mekanis, dan tahap terakhir adalah karakterisasi UV-Vis, FT-IR, WVTR, XRD, SEM, dan uji biodegradabilitas.

#### BAB V : KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan hasil percobaan pembuatan dan karakterisasi bioplastik serta analisis data hasil pengamatan.

#### DAFTAR PUSTAKA

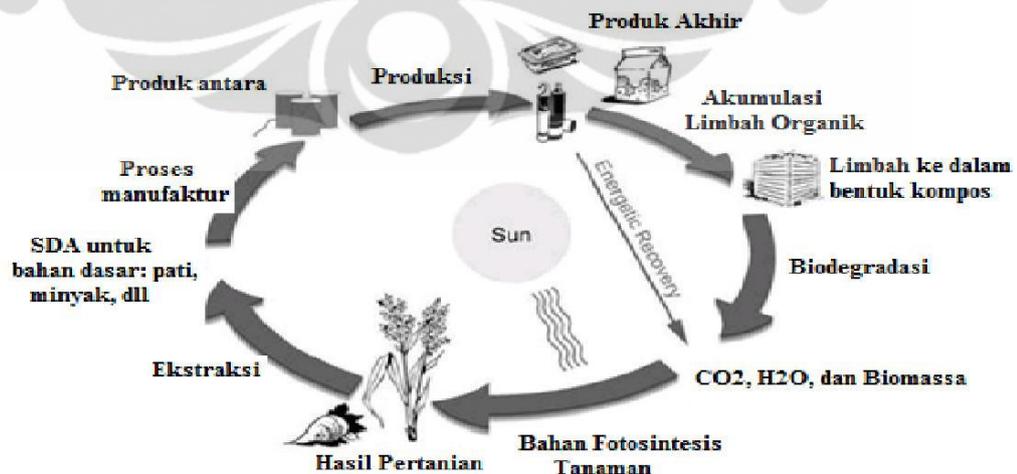
#### LAMPIRAN

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Bioplastik

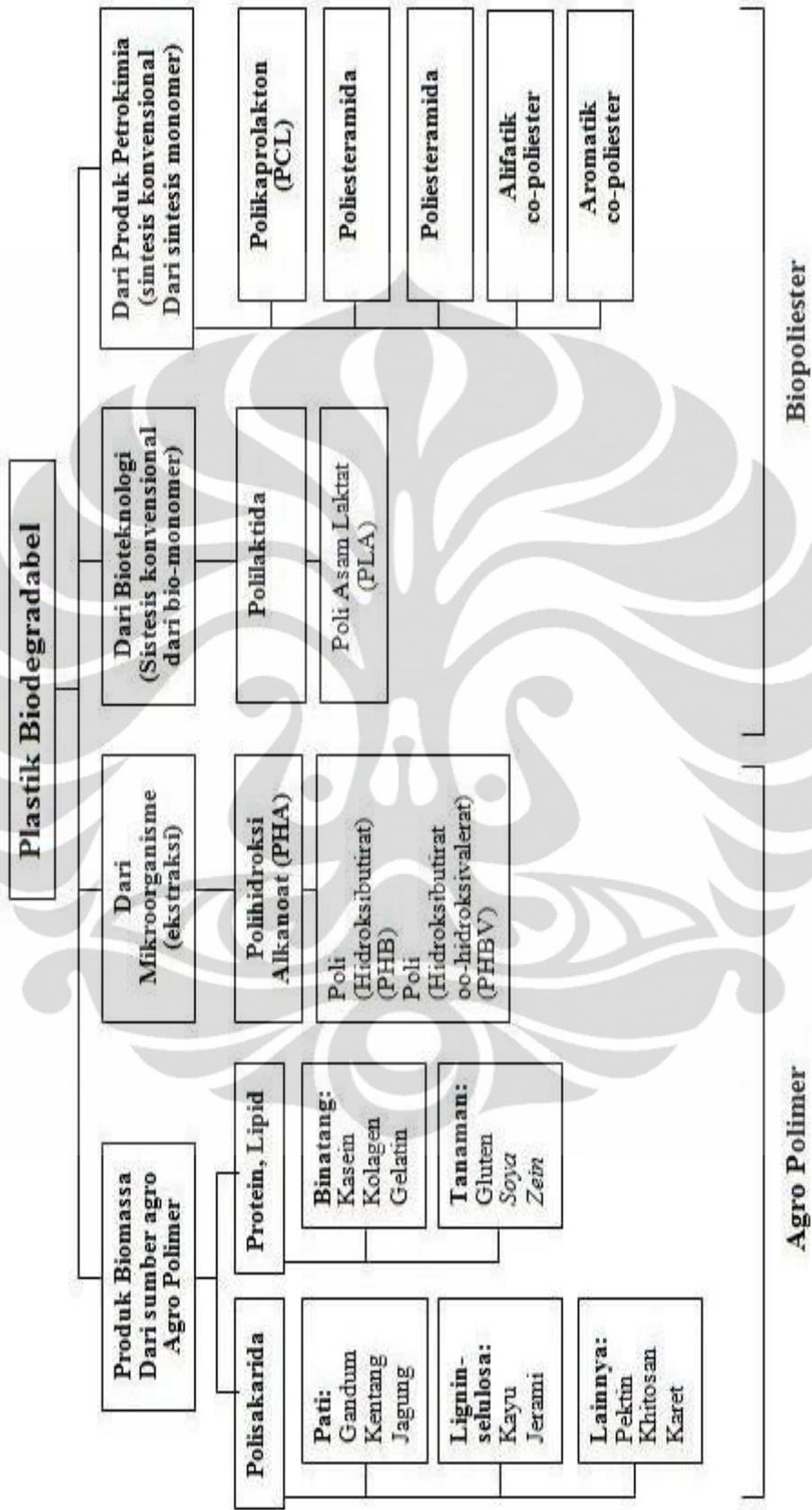
Bioplastik merupakan nama lain dari plastik biodegradabel, plastik yang dapat digunakan layaknya seperti plastik konvensional, namun akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi hasil akhir air dan gas karbondioksida setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan. Karena sifatnya yang dapat kembali ke alam, plastik biodegradabel merupakan bahan plastik yang ramah terhadap lingkungan (IBAW Publication, 2005). Plastik biodegradabel adalah polimer yang dapat berubah menjadi biomassa,  $H_2O$ ,  $CO_2$  dan atau  $CH_4$  melalui tahapan depolimerisasi dan mineralisasi. Depolimerisasi terjadi karena kerja enzim ekstraseluler (terdiri atas endo dan ekso enzim). Endo enzim memutus ikatan internal pada rantai utama polimer secara acak, dan ekso enzim memutus unit monomer pada rantai utama secara berurutan. Bagian-bagian oligomer yang terbentuk dipindahkan ke dalam sel dan menjadi mineralisasi. Proses mineralisasi membentuk  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ , air, garam-garam, mineral dan biomassa. Definisi polimer biodegradabel dan hasil akhir yang terbentuk dapat beragam bergantung pada polimer, organisme, dan lingkungan.



Gambar 2. 1. Siklus produksi dan degradasi polimer biodegradabel (IBAW Publication, 2005)

### 2.1.1 Penggolongan Plastik Biodegradabel

Averous (2008), mengelompokkan plastik biodegradabel ke dalam dua kelompok dan empat keluarga berbeda. Kelompok utama adalah: (1) *agro-polymer* yang terdiri dari polisakarida, protein dan sebagainya; dan (2) biopoliester (*biodegradable polyesters*) seperti poli asam laktat (PLA), polyhydroxyalkanoate (PHA), aromatik and alifatik kopoliester. Biopolimer yang tergolong agro polimer adalah produk-produk biomassa yang diperoleh dari bahan-bahan pertanian. seperti polisakarida, protein dan lemak. Biopoliester dibagi lagi berdasarkan sumbernya. Kelompok *Polyhydroxy-alkanoate* (PHA) didapatkan dari aktivitas mikroorganisme yang didapatkan dengan cara ekstraksi. Contoh PHA diantaranya *Poly(hydroxybutyrate)* (PHB) dan *Poly(hydroxybutyrate co-hydroxyvalerate)* (PHBV). Kelompok lain adalah biopoliester yang diperoleh dari aplikasi bioteknologi, yaitu dengan sintesis secara konvensional monomer-monomer yang diperoleh secara biologi, yang disebut kelompok polilaktida. Contoh polilaktida adalah poli asam laktat. Kelompok terakhir diperoleh dari produk-produk petrokimia yang disintesis secara konvensional dari monomer-monomer sintetis. Kelompok ini terdiri dari *polycaprolactones* (PCL), *polyesteramides*, *aliphatic co-polyesters* dan *aromatic co-polyesters*.

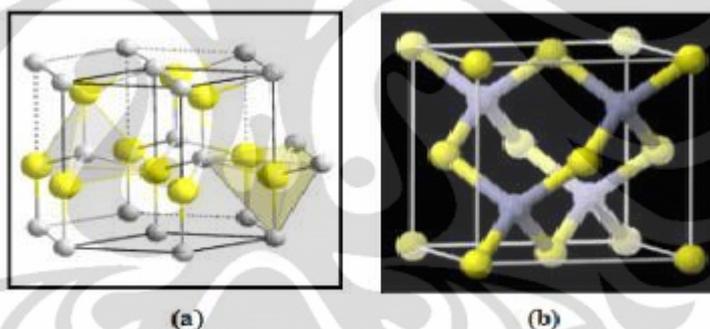


Gambar 2. 2. Klasifikasi plastik *biodegradable* (Averous, 2008)

### 2.1.2 Penggunaan ZnO dalam bioplastik

Seng oksida adalah sebuah senyawa anorganik dengan formula ZnO. Biasanya terlihat dalam bentuk bubuk putih, dan hampir tidak larut dalam air. ZnO mempunyai dua struktur kristal yang berbeda yaitu *blended* dan *wurtzite* (Wang Z.L., 2008). ZnO dengan struktur *wurtzite* dimana Zn sebagai kation dan O sebagai anion membentuk koordinasi tetrahedral. ZnO juga bersifat antimikroba dan transparan jika digunakan sebagai material *packaging*.

ZnO telah terbukti memiliki efek antimikroba terhadap bakteri gram positif dan ragi (Vijaya Kumar, 2003) menyatakan bahwa struktur kristal ZnO menjadi inhibitor potensi mikroba dalam makanan menggunakan pendekatan sistem dengan antimikroba lain. Penggabungan ZnO untuk film pati menurun terhadap kelembaban plastik karena sifat hidrofobik ikatan tersebut.



**Gambar 2. 3.** Struktur kristal ZnO a) *wurtzite* b) *blended* (Wang Z. L., 2008)

### 2.1.3 State of The Art Penelitian Bioplastik

Dalam beberapa tahun terakhir ini berbagai penelitian tentang material pembuatan bioplastik telah dilakukan. Penggunaan gliserol dan kelompok poliol lainnya sebagai agen pemlastis pembentuk bioplastik pun juga sudah dilaporkan. Penggunaan matriks dari bahan alami pun telah dilakukan. Diantaranya adalah dengan kombinasi matriks/pengisi sebagai berikut: *Corn starch*/asam laurat dengan teknik *melting* (Wang Ning, 2008), *potato starch*/gliserol (Gonzalez, 2011) maupun dengan menggunakan matriks protein (Shaomin Sun, 2008). Penggunaan pati sebagai polimer degradabel dan matriks dari suatu bioplastik dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1. State Of The Art Penelitian Bioplastik

Metode	Protein				Starch				PLA	Pemlastis
	Wheat gluten	soy protein	Zein	Egg albumen	corn	arrowroot	Potato	Wheat		
<i>In Situ Intercalative Polymerization</i>		(Mohanty, 2005), (Tummala, 2006)	(Kim, 2008)	(Gonzalez-Gutierrez, 2011)	Gonzalez-Gutierrez, 2011		(Gonzalez-Gutierrez, 2011)	(Averous, 2004)	(Jacobsen S, 2000), (Enomoto K, 1995)	
Interkalasi larutan	(Gonzalez-Gutierrez, 2010), (A. Jerez, 2005), (Shaomin Sun, 2008), (Sandra Domenek, 2004), (Yihu Song, 2008)		(Kim, 2008)	(Jerez, 2007), (Gallegos, & Guerrero, 2007), (Queiroz, 2009)	Gonzalez-Gutierrez, 2010		(Gonzalez-Gutierrez, 2010)		(David Plackett, 2003)	Gliserol
<i>Melting</i>	(Hernandez, 2001), (Munos, 2004)	Zheng, 2003	(Kim, 2008)	(Gonzalez-Gutierrez, 2011)		AREA PENELITIAN INI	(Gonzalez-Gutierrez, 2011)			
<i>Melting</i>					(Wang Ning, 2008), (Pinnolia, 2006), (Russo, A.L., 2010), (Yu, Jian Hua, 2011)		Lilichenk, 2008			Air, asam laurat, asam asetat
Interkalasi larutan					Long Yu, 2010		Muller, 2008			Sorbitol, Polietilen glikol

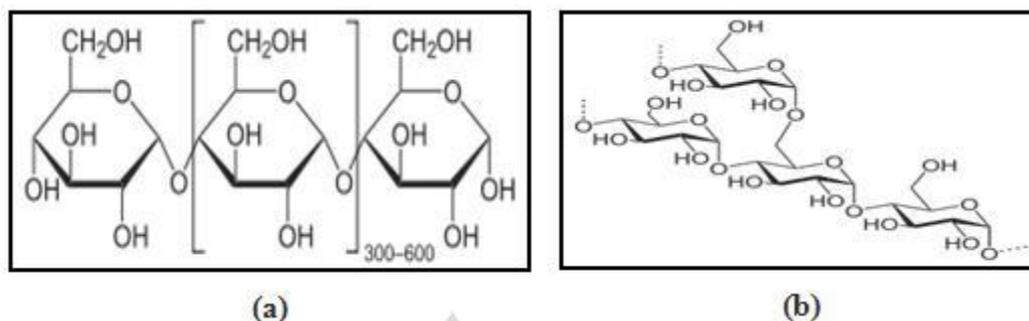
## 2.2 Pati

Pati merupakan suatu senyawa karbohidrat kompleks dengan ikatan  $\alpha$ -glikosidik. Pati dihasilkan oleh tumbuhan untuk menyimpan kelebihan glukosa (sebagai produk fotosintesis) dalam jangka panjang. Pati yang diproduksi secara komersial biasanya didapatkan dari jagung, gandum, beras, dan tanaman-tanaman umbi seperti kentang, singkong, dan ubi jalar. Jumlah produksi tahunan dunia pati adalah sekitar 60 juta MT dan diperkirakan akan meningkat sekitar 10 juta MT pada tahun tambahan 2011 (FAO, 2006b; LMC International, 2002; Patil SK dan Associates, 2007 dalam Wajira S. Ratnayake, 2009). Jagung (*Zea mays* L.), singkong/tapioka (*Manihot esculenta* Crantn), Ubi jalar (*Ipomoea batatas* L.), gandum (*Triticumaestivum* L.), dan kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan sumber utama dari pati, sedangkan padi (*Oryza sativa* L.), gandum (*Hordeum vulgare* L.), sagu (*Cycas* spp.), Garut (*Tacca leontopetaloides* (L.) Kuntze) memberikan kontribusi dalam jumlah yang lebih kecil terhadap total produksi global. Dalam Tabel. 2.2 dapat dilihat kandungan pati dari beberapa bahan pangan.

**Tabel 2. 2.** Kandungan pati pada beberapa bahan pangan (Wajira S. Ratnayake, 2009)

<b>Bahan Pangan</b>	<b>Pati (% dalam basis kering)</b>
Biji gandum	67
Beras	89
Jagung	57
Biji Sorghum	72
Kentang	75
Ubi Jalar	90
Singkong	90
Talas	68,24 -72,61

Pati terdiri dari dua fraksi yang dapat dipisahkan dengan air panas. Fraksi terlarut disebut amilosa dan fraksi tidak larut disebut amilopektin. Struktur amilosa merupakan struktur lurus dengan ikatan  $\alpha$ -(1,4)-D-glukosa. Amilopektin terdiri dari struktur bercabang dengan ikatan  $\alpha$ -(1,4)-D-glukosa dan titik percabangan amilopektin merupakan ikatan  $\alpha$ -(1,6). Amilosa memberikan sifat keras sedangkan amilopektin menyebabkan sifat lengket. Kadar kedua komponen ini nantinya akan mempengaruhi sifat mekanik dari polimer alami yang terbentuk.



Gambar 2. 4. Struktur molekul dari kandungan pati (Wajira S. Ratnayake, 2009)

(a) Amilosa (b) Amilopektin

Belakangan ini telah banyak dilakukan pengembangan penggunaan pati sebagai bahan dasar plastik biodegradabel. Di luar negeri pun, penggunaan pati sebagai bahan dasar pun telah banyak dilakukan dan telah dihasilkan plastik biodegradabel yang sudah dapat di jual-belikan. Di Indonesia pun, pengembangan penggunaan pati sebagai polimer alami bahan dasar plastik biodegradabel telah dilakukan. Pada tahun 1996, Sumari melakukan penelitian karakterisasi *poliblend* LLDPE-pati sebagai alternatif plastik yang terbiodegradasi. Pada tahun yang sama, Yuliana, Neti, melakukan penelitian proses produksi bioplastik dari pati tapioka yang dilakukan dengan memodifikasi struktur pati pada suhu 130-190°C pada tekanan  $0-50 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  dan mencampurkannya dengan termoplastik sintesis. Pada tahun 1999, Rusendi, Dedi melakukan penelitian mengenai produksi biopolimer dengan cara menghidrolisis sampah singkong menggunakan *alpha-amylase liquefaction enzyme* dan *amyloglucosidase saccharification enzyme* dari *Rhizopus* sp. Pada tahun 2005, Liesbetini Hartono, dkk. melakukan penelitian, yaitu rekayasa proses produksi poli asam laktat (PLA) dari pati sagu sebagai bahan baku plastik biodegradabel, dengan menggunakan variasi jenis bakteri dan kondisi operasi proses fermentasi untuk menghasilkan asam laktat, dan dengan proses polimerisasi kondensasi langsung dapat dihasilkan PLA. Pada tahun 2006, Hanny Widjaja, dkk. melakukan penelitian mengenai sintesa PLA dari limbah pembuatan *Indigenous Starch* untuk pembuatan plastik ramah lingkungan. Pada tahun 2006, Syamsu, K, dkk. melakukan penelitian pemanfaatan hidrolisat pati sagu sebagai sumber karbon untuk memproduksi bioplastik *Polihidroksi Alkanoat* (PHA) oleh *Ralstonia eutropha* pada sistem kultivasi *feed batch*. Iswarin, S.J, dkk, melakukan penelitian plastik pembuatan plastik biodegradabel dengan mencampur

polietilen dengan beberapa pati yang berasal dari garut, ubi jalar, ubi kayu, dan kentang. Selanjutnya, bahan plastik tersebut kemudian diuji sifat mekanik dan sifat biodegradabelnya. Pada tahun 2007, Muhammad Hasan, dkk. melakukan penelitian tentang plastik ramah lingkungan dari polikaprolakton dan pati tapioka dengan penambahan *refined bleached and deodorized palm oil* (RBDPO) sebagai pemlastis alami. Pada tahun 2007-2008, Feris irdaus, dkk. melakukan penelitian mengenai sintesis film kemasan ramah lingkungan dari komposit pati, khitosan dan asam polilaktan dengan pemlastik gliserol.

Penggunaan pati sebagai polimer alami memiliki keterbatasan, diantaranya adalah sifat mekaniknya yang kurang baik, serta kemampuannya untuk menyerap air. Untuk mengatasi hal ini, maka penelitian-penelitian untuk memperbaiki sifat-sifat ini pun telah dilakukan. Penelitian yang berkembang salah satunya adalah membuat komposit dengan menggunakan polimer yang berasal dari pati, dan menambahkan nanopartikel untuk memperbaiki sifat-sifatnya. Penggunaan pati sebagai polimer degradabel dan matriks dari suatu komposit dapat dilihat pada tabel 2.3. Tabel ini juga menunjukkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan terkait dengan pembuatan komposit dengan pati sebagai matriksnya.

**Tabel 2. 3.** Penelitian-Penelitian mengenai komposit dengan pati sebagai matriks (Jose M. Lagaron, 2011)

Jenis Pati	Bahan lain selain pati	Filler (Nanoparticles)	Kondisi proses	Referensi
Campuran dari: 1. maizena 2. maizena yang dimodifikasi	Aliphatic poliester Plasticizer	MMT Organo clay	<i>Twin screw extrusion</i> untuk membentuk pellet. <i>Single screw extrusion</i> untuk membentuk blown film	McGlashan And Halley, (2005)
Pati jagung	Gliserol	Na MMT	<i>Single screw extrusion</i> dari pati dan gliserol untuk membentuk pellet. Pellet di campur dengan nanopartikel lalu di reextrude.	Huang et al. (2006)
Corn starch	Gliserol, Air	MMT	Pencampuran suspensi ke dalam air kemudian di cetak	Pandey et al. (2004)
Pati jagung	Gliserol, CA (asam sitrat)	Na MMT	<i>Single screw extrusion</i> dari campuran pati, MMT, gliserol dan CA	Wang, Ning et al. (2008)
Pati jagung dengan kadar amilosa tinggi	Air	Na- MMT dan fluoromica sintesis	Serangkaian dari teknik premixing yang diikuti dengan <i>twin screw extrusion</i>	Dean et al. (2008)
Pati gandum	Air	Na Cloisite (MMT) dan Cloisite 30B (OMMT termodifikasi secara organik)	<i>Twin screw extrusion</i> —berbagai macam kondisi proses	Chiou et al. (2011)
Pati gandum	Gliserol	Na- MMT dan <i>three organic treated</i> MMTs (OMMTs)	<i>Premixed</i> lalu <i>melt mixed</i> di dalam pengaduk statik	Bagdi et al. (2000)
Pati kentang	Gliserol, air, poliester	MMT	<i>Twin screw mixing</i> dari pati lalu dicetak menjadi bentuk film	Avella et al. (2009)
Pati kentang	Gliserol	MMT, Hectorite, Hectorite termodifikasi, Kaolinite	<i>Premixed</i> lalu <i>twin roll milled</i>	Chen et al. (2010)
Pati kentang	Urea	Na- MMT dan ammonium dengan MMTs (NH <sub>4</sub> MMT)	<i>Twin roll mixed</i> lalu <i>foamed</i> di dalam cetakan.	Chen et al. (2010)
Pati Gandum, kentang, dan jagung Wheat,	Air	Na Cloisite (MMT) and Cloisite 10A, 15A and 30B (OMMTs termodifikasi secara organik)	<i>Twin screw extrusion</i> —berbagai macam kondisi proses	Chiou et al. (2010)
Pati kacang polong	Gliserol, Air	ZnO	<i>Melt intercalation</i> lalu dicetak membentuk film	Ma (2008)
Tapioka	Gliserol	Na Cloisite (MMT) and Cloisite 30B (OMMT termodifikasi)	<i>Melt blended</i> di dalam <i>roller mixer</i> setelah <i>premixing</i> lalu ditekan membentuk lembaran.	Qiao et al. (2007)

Penambahan nanopartikel pada komposit bertujuan untuk memperbaiki sifat dari komposit dan membuat komposit memiliki sifat tertentu. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh McGlashan dan Halley pada tahun 2003 pada kadar pati yang sama penambahan kadar nanopartikel akan meningkatkan *tensile strength* dari komposit, selain itu *young modulus* pun juga meningkat dari 17 Mpa (0% clay) menjadi 65 Mpa (5% clay). Hal yang sama juga ditunjukkan oleh hasil penelitian oleh Wilhem et al. pada tahun 2003, Huang et al. pada tahun 2004 dan Avella et al. pada tahun 2005.

### **2.2.1 Penggunaan Pati sebagai Bahan Baku Plastik Biodegradabel**

Indonesia kaya akan sumberdaya alam, diantaranya pati-patian yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan plastik biodegradabel. Pengkajian pemanfaatan sumberdaya pati Indonesia untuk produksi plastik biodegradabel dapat dilakukan melalui 3 cara yaitu :

#### **(1) Pencampuran (*blending*) antara polimer plastik dengan pati**

Pencampuran dilakukan dengan menggunakan *extruder* atau dalam mixer berkecepatan tinggi (*high speed mixer*) yang dilengkapi pemanas untuk melelehkan polimer plastik. Plastik yang digunakan dapat berupa plastik biodegradabel (PCL, PBS, atau PLA) maupun plastik konvensional (polietilen). Sedangkan pati yang digunakan dapat berupa pati mentah berbentuk granular maupun pati yang sudah tergelatinisasi. Sifat mekanik dari plastik biodegradabel yang dihasilkan tergantung dari keadaan penyebaran pati dalam fase plastik, dimana bila pati tersebar merata dalam ukuran mikron dalam fase plastik, maka produk plastik biodegradabel yang didapat akan mempunyai sifat mekanik yang baik.

#### **(2) Modifikasi kimiawi pati**

Untuk menambahkan sifat plastisitas pada pati, metode *grafting* sering digunakan. Sifat biodegradabilitas dari produk plastik yang dihasilkan tergantung daripada jenis polimer yang dicangkokkan pada pati. Jika polimer yang dicangkokkan adalah polimer yang bersifat biodegradabel, maka produk yang dihasilkan juga akan bersifat biodegradabel. Namun demikian, biasanya sifat

biodegradabilitas pati akan berkurang atau bahkan hilang sama sekali dengan proses modifikasi kimiawi.

### **(3) Penggunaan pati sebagai bahan baku fermentasi menghasilkan monomer/polimer plastik biodegradabel**

Pati dapat dipakai sebagai bahan baku fermentasi untuk menghasilkan asam laktat (monomer dari PLA), 1,4-butanediol (monomer dari PBS) atau poliester mikroba (PHB) atau biopolimer lainnya seperti pullulan.

#### **2.2.2 Pati Umbi Garut**

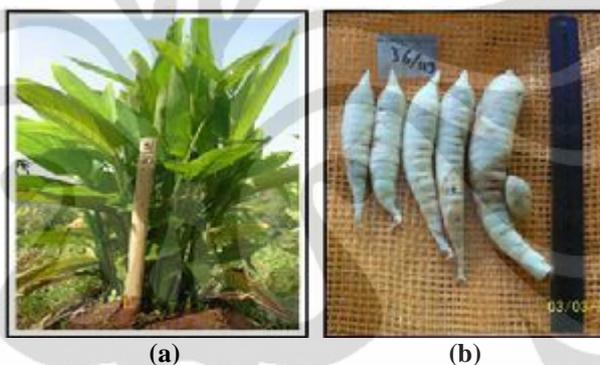
Pati umbi Garut merupakan hasil ekstraksi umbi Garut dari tanaman garut (*Maranta arundinaceae L.*) yang merupakan jenis umbi-umbian yang memiliki kandungan patinya sekitar 80 - 85% sehingga umbi garut tidak kalah dengan umbi-umbian lain yang dianggap sebagai sumber pati seperti pati ketela pohon (85%), pati ketela rambat (63%) dan pati kentang (18%). Tanaman garut (*Maranta arundinacea L*) dapat tumbuh maksimal di bawah lindungan pohon dengan kadar matahari minimum, sehingga tanaman ini potensial diusahakan di hutan rakyat, tanah pekarangan, maupun daerah-daerah penghijauan. Tanaman ini mampu tumbuh pada tanah yang miskin kesuburannya, meskipun untuk produksi terbaik harus dipupuk. Pati garut dapat digunakan sebagai alternatif untuk pengganti atau substitusi tepung terigu sebagai bahan baku pembuatan kue, mie, roti kering, bubur bayi, makanan diet pengganti nasi, disamping digunakan di industri kimia, kosmetik, pupuk, gula cair dan obat-obatan. Akan tetapi pemanfaatan tepung garut masih menghadapi beberapa kendala, terutama pemasaran dan kontinuitas pasokan bahan baku (Wajira S. Ratnayake, 2009).

Pati tersusun atas dua fraksi penting yaitu amilosa yang merupakan fraksi linier dan amilopektin yang merupakan fraksi cabang. Penanamannya masih cukup luas di pedesaan walaupun juga semakin terancam kelestariannya. Garut menghasilkan umbi yang dapat dimakan. Kandungan amilosa pada umbi garut berkisar 15,21% dengan kadar amilopektinnya 84,79%. Selain itu terbatasnya petroleum sebagai bahan baku plastik dan pembuangan limbahnya yang dapat menyebabkan polusi mendorong penelitian-penelitian untuk membuat suatu material baru sebagai pengganti material ini. Komposisi kimia tanaman garut

ditunjukkan pada tabel 2.4 dan gambar 2.5 merupakan diskripsi dari tanaman garut.

**Tabel 2. 4.** Komposisi kimia tanaman garut (Wajira S. Ratnayake, 2009)

No	Komposisi	Persentasi kandungan (%)
1	Kadar air	15.34
2	Protein kasar	0.50
3	Lemak	0.18
4	Serat	0.47
5	Abu	0.21
6	Amilosa	15.21
7	Amilopektin	84.79



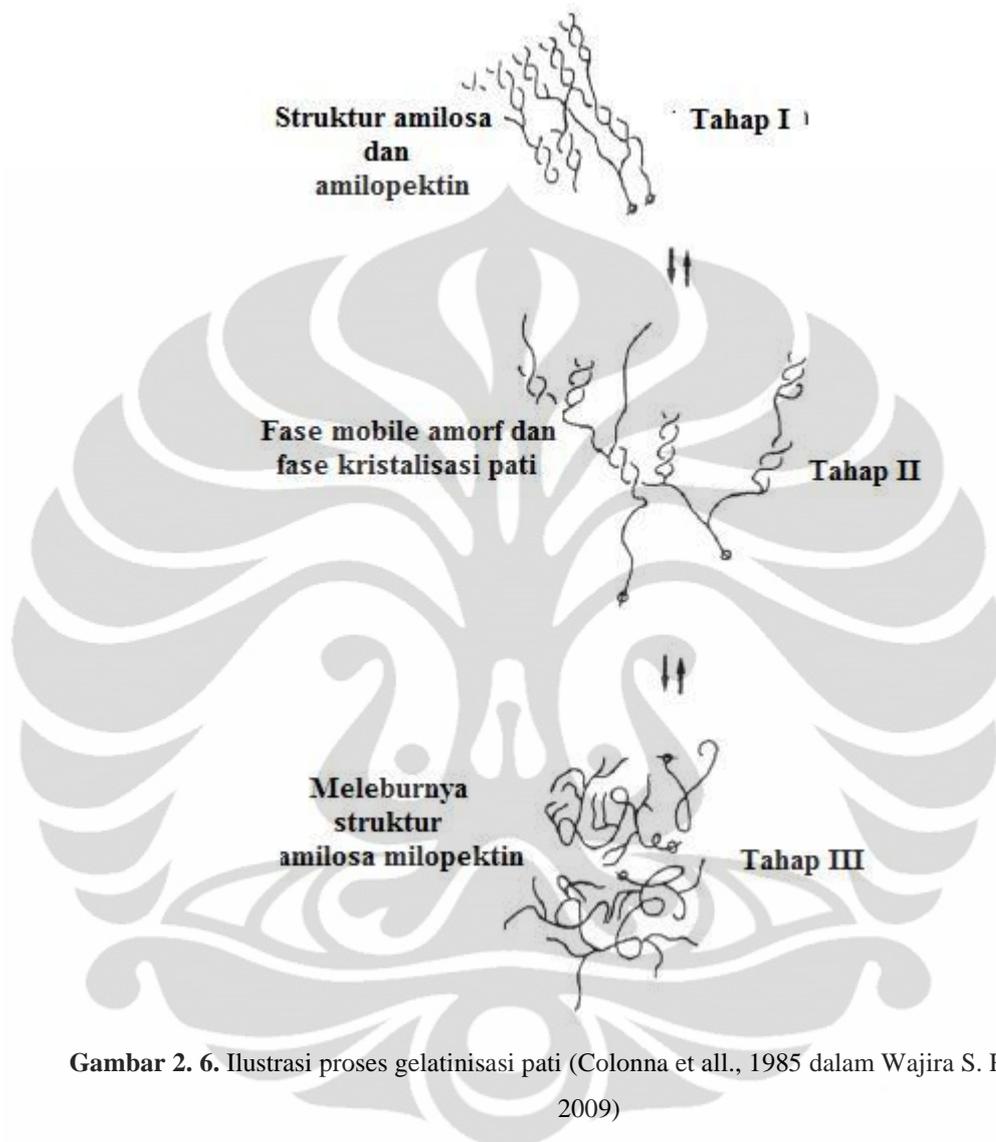
**Gambar 2. 5.** Diskripsi tanaman garut (Wajira S. Ratnayake, 2009)  
(a) Tanaman Garut (b) Umbi Garut

Umumnya pembuatan pati adalah dengan melalui proses pamaritan, pemerasan, penyaringan, pengendapan pati, dan pengeringan. Beberapa tahun belakangan ini, penelitian dengan menggunakan pati sebagai bahan baku pembuatan polimer telah dilakukan (Wajira S. Ratnayake, 2009). Dari penelitian ini diketahui bahwa pati dari umbi-umbian dapat dibentuk menjadi polimer dan dapat digunakan menjadi matriks dalam membuat suatu plastik.

### 2.2.3 Gelatinisasi Pati

Teori mengenai gelatinisasi pati pada awalnya disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk ukuran dan bentuk butiran (granular) dari pati. Bila pati dipanaskan dalam air berlebih, granular akan membengkak dan granular tersebut akan kehilangan *birefringence*. Setelah butiran-butiran membengkak mencapai

volume maksimumnya, butiran tersebut pecah dan menyebar ke seluruh bagian pati dan membentuk dispersi koloid dalam air.



Gambar 2. 6. Ilustrasi proses gelatinisasi pati (Colonna et al., 1985 dalam Wajira S. Ratnayake, 2009)

### 2.3 Pemlastis (*Plasticizer*)

Pembuatan film pati memerlukan campuran bahan aditif untuk mendapatkan sifat mekanis yang lunak, ulet, dan kuat. Untuk itu perlu ditambahkan suatu zat cair/ padat agar meningkatkan sifat plastisitasnya. Proses ini dikenal dengan plastisasi, sedang zat yang ditambahkan disebut pemlastis. Di samping itu pemlastis dapat pula meningkatkan elastisitas bahan, membuat lebih tahan beku dan menurunkan suhu alir, sehingga pemlastis kadang-kadang disebut juga dengan antibeku. Jelaslah bahwa plastisasi akan mempengaruhi semua sifat

fisik dan mekanisme film seperti kekuatan tarik, elastisitas kekerasan, sifat listrik, dan suhu alir, suhu transisi kaca, dll. (M. Tietz, 2008).

Proses plastisasi pada prinsipnya adalah dispersi molekul pemlastis ke dalam fasa polimer. Jika pemlastis mempunyai gaya interaksi dengan polimer, proses dispersi akan berlangsung dalam skala molekul dan terbentuk larutan polimer-pemlastis yang disebut kompatibel. Sifat fisik dan mekanis polimer-terplastisasi yang kompatibel ini akan merupakan fungsi distribusi dari sifat komposisi pemlastis yang masing-masing komponen dalam sistem. Bila antara pemlastis dengan polimer tidak terjadi pencampuran koloid yang tak mantap yang berarti polimer dan agen pemlastis tidak kompatibel akan menghasilkan sifat fisik berkualitas rendah.

### **2.3.1 Gliserol Sebagai *Plasticizer***

Dalam pembuatan bioplastik, gliserol mempunyai peranan yang cukup penting. Gliserol merupakan salah satu agen pemlastis yang sering digunakan. Hal ini karena gliserol merupakan bahan yang murah, sumbernya mudah diperoleh, dapat diperbaharui, dan juga akrab dengan lingkungan karena mudah didegradasi oleh alam. Pati yang merupakan polimer alam yang tidak mahal dan terbaharukan yang hadir dalam bentuk butiran tidak dapat diproses menjadi material termoplastik karena kuatnya ikatan hidrogen intermolekular dan intramolekular. Tetapi dengan adanya air dan *plasticizer* dalam hal ini gliserol, pati dapat diolah menjadi polimer yang biodegradabel yang biasa disebut *thermoplastic starch*.

Gliserol umumnya digunakan sebagai material plastisasi dalam proses pembuatan plastik yang bersifat degradabel. Material plastisasi umumnya merupakan molekul kecil yang larut dalam struktur yang amorf diantara molekul-molekul polimer yang lebih besar. Material plastisasi memacu proses pencetakan, dan meningkatkan fleksibilitas produk. Diperlukan pencampuran sempurna untuk memperoleh distribusi homogen (Zhong Lin, 2008).

### **2.3.2 Mekanisme Plastisasi**

Interaksi antara polimer dengan pemlastis dipengaruhi oleh sifat afinitas kedua komponen, jika polimer pemlastis tidak terlalu kuat maka akan terjadi

plastisasi antara struktur (molekul pemlastis hanya terdistribusi di antara struktur). Plastisasi ini hanya mempengaruhi gerakan dan mobilitas struktur.

Jika terjadi interaksi polimer-polimer cukup kuat maka molekul pemlastis akan terdifusi ke dalam rantai polimer (rantai polimer amorf membentuk satuan struktur globular yang disebut *bundle*) menghasilkan plastisasi infrastruktur intra *bundle*. Dalam hal ini molekul pemlastis akan berada di antara rantai polimer dan mempengaruhi mobilitas rantai yang dapat meningkatkan plastisasi sampai batas kompatibilitas yaitu sejumlah yang dapat terdispersi (terlarut) dalam polimer. Jika jumlah pemlastis melebihi batas ini, maka akan terjadi sistem yang heterogen dan plastisasi melebihi tidak efisien lagi.

### 2.3.3 Teori Plastisasi

Plastisasi akan mempengaruhi sifat fisik dan sifat mekanis bahan polimer seperti kekuatan tarik, kelenturan, kemuluran, sifat listrik, suhu alir, dan suhu transisi gelas ( $T_g$ ). Ada beberapa informasi teori dari Hall Star (2009) yang menjelaskan peristiwa plastisasi.

#### a. Teori pelumasan

Dalam teori ini pemlastis dipandang sebagai sebuah pelumas yang tidak menunjukkan gaya-gaya dengan ikatan polimer. Molekul pemlastis hanya terdispersi antara fasa polimer sehingga menurunkan gaya-gaya intermolekul pada rantai polimer dan oleh karenanya hanya menyebabkan plastisasi parsial. Jika pemlastis memiliki gaya interaksi dengan polimer, proses dispersi akan berlangsung dalam skala molekul dan terbentuk larutan polimer pemlastis. Dalam hal ini polimer dan pemlastis disebut kompatibel. Senyawa-senyawa pemlastis yang bertindak sebagai pelumas bukan plastis yang efektif karena hanya menurunkan viskositas lelehan sehingga mempermudah proses pengolahan bahan polimer.

#### b. Teori solvasi

Teori ini didasarkan pada konsep kimia koloid. Sistem polimer pemlastis dipandang sebagai sebuah koloid liofik dimana pemlastis membentuk lingkaran solvasi disekeliling partikel polimer (fasa dispersi). Secara fisik, tidak ada perbedaan mendasar antara bahan-bahan yang berfungsi sebagai

pelarut dan pemlastis. Dalam keduanya tidak terdapat interaksi kimia (hanya interaksi fisik) antara pemlastis atau pelarut dan polimer. Kekuatan solvasi dari plastis tergantung pada berat molekul dan gugus fungsinya. Pemlastis efektif sebagai pelarut ditentukan oleh tiga gaya intermolekular, yaitu gaya pemlastis pemlastis, gaya pemlastis polimer, dan gaya polimer polimer. Pemlastis harus memiliki molekul molekul yang kecil dan memiliki gaya atraktif yang sesuai dengan polimer dan harus lebih rendah daripada gaya atraktif antara sesama rantai polimer. Keefektifan pemlastis meningkat bila gaya pemlastis pemlastis lebih rendah daripada gaya polimer polimer.

c. Teori polaritas

Sesuai teori ini gaya intermolekul antara molekul-molekul pemlastis, molekul-molekul polimer, dan molekul-molekul pemlastis polimer harus seimbang untuk menghasilkan gel yang stabil. Oleh karena itu polaritas pemlastis yang mengandung satu atau lebih gugus polar dan non polar harus sesuai dengan polaritas dari partikel polimer. Polaritas molekul pemlastis bergantung adanya gugus yang mengandung oksigen, fosfat, dan sulfur.

## 2.4 Preparasi Bioplastik

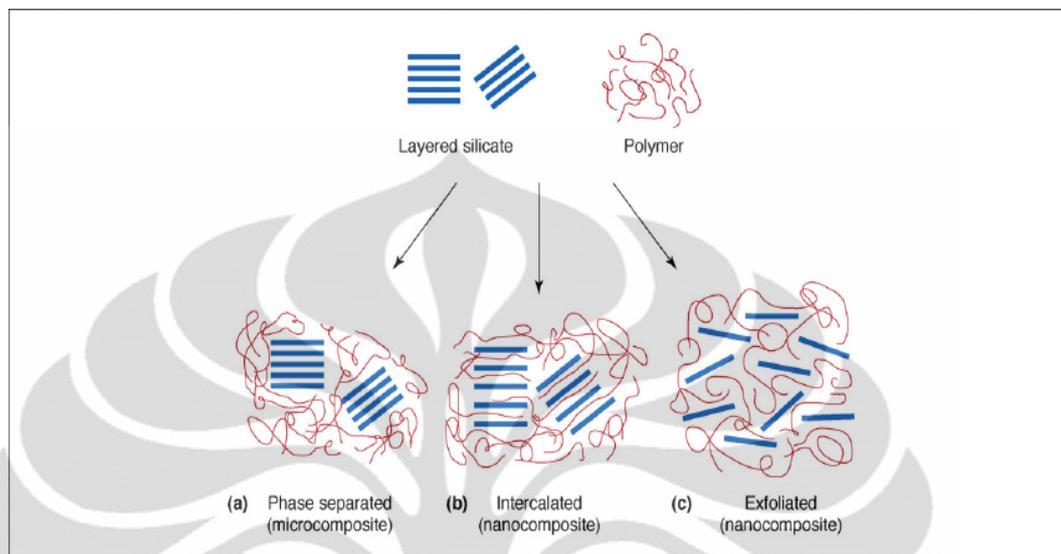
### 2.4.1 *In Situ Intercalative Polymerization*

Dalam metode ini, layer silikat mengembang dalam monomer cair atau larutan monomer sehingga pembentukan polimer dapat terjadi antara lembar yang terinterkalasi. Polimerisasi dapat dimulai baik oleh panas atau radiasi, oleh difusi sebuah inisiator yang cocok, atau oleh organik inisiator atau katalis tetap melalui pertukaran kation dalam interlayer sebelum langkah pengembangan.

### 2.4.2 *Melt Intercalation*

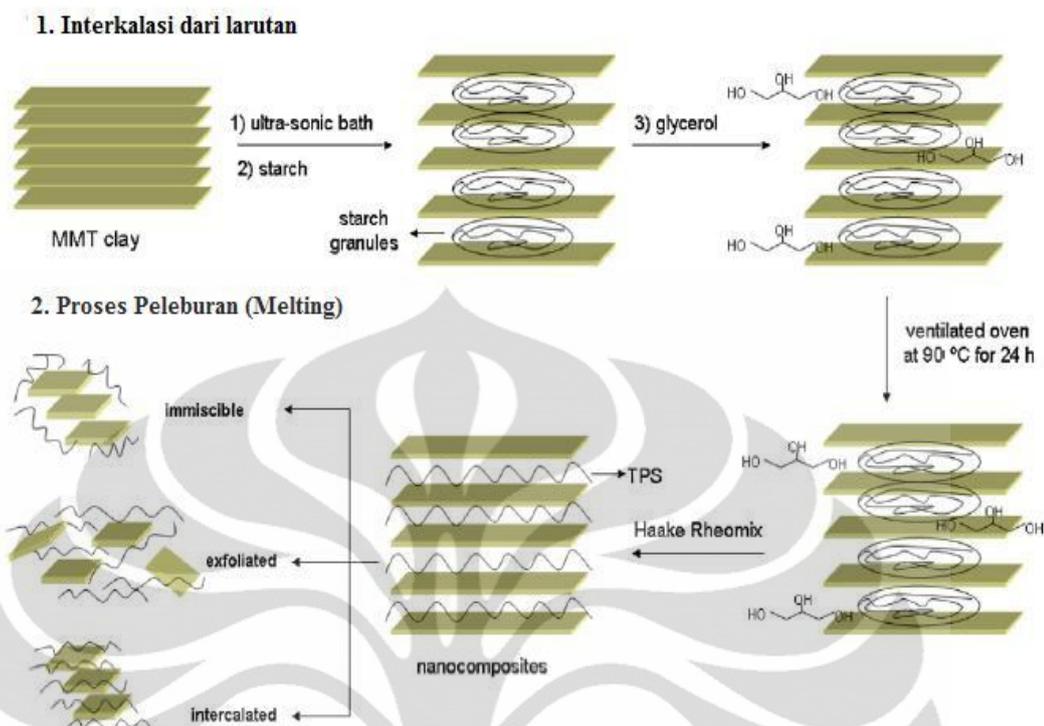
Teknik *melt intercalation* pertama-tama dilaporkan oleh Vaia et al (Ma X. C., 2008). Proses pembuatan ini tidak memerlukan penambahan pelarut dan layer silikat yang dicampur dengan matrik polimer. Proses pembuatan plastik dengan metode interkalasi, merupakan metode modifikasi dari Vigneshwaran seperti yang dilakukan oleh Ma, XF. (2008). Perilaku elastik tipikal dengan perentangan

ikatan terjadi dibawah suhu transisi gelas  $T_g$ . Gambar 2.7 merupakan ilustrasi metode *melt intercalation*.



**Gambar 2. 7.** Ilustrasi dari berbagai komposit yang dapat terbentuk dari interaksi antara *layered silicate* dan polimer. (a) *Phase - separated composite* (b) *intercalated composite* (c) *exfoliated composite* (Fauze A. Aouada, 2011)

Dengan pelurusan, persyaratan tegangan meningkat dan dihasilkan modulus elastisitas non linear. Di atas  $T_g$ , polimer amorf mengalir secara viskos. Hasilnya, regangan dan aliran elastik saling menguatkan. Besarnya aliran viskos sangat bervariasi tergantung struktur molekuler. Aliran viskos dihambat oleh pembentukan hubung-silang, berkurang dengan peningkatan kristalinitas dan tentunya bervariasi dengan waktu. Karena di atas  $T_g$  viskositas berkurang secara eksponensial, suhu merupakan faktor yang penting baik untuk pengendalian proses atau untuk aplikasi (Ma X. C., 2008).



**Gambar 2. 8.** Perbedaan mekanisme dari dispersi *clay* dengan kombinasi metode interkalasi dari larutan dan *melt intercalation* pati jagung/ MMT (Fauze A. Aouada, 2011)

## 2.4.2 Interkalasi Larutan

Proses ini didasarkan pada sistem pelarut di mana biopolimer atau bioprepolimer, seperti pati dan protein terlarut dan nanofiller anorganik yang biasanya silikat, di kembangkan. Layer silikat pertama-pertama dikembangkan di dalam suatu pelarut seperti air, kloroform, atau toluen. Ketika biopolimer dan larutan nanopartikel yang mengembang dicampur, rantai polimer akan terinterkalasi dan menggantikan pelarut dalam interlayer dari silikat. Setelah penghilangan pelarut, struktur yang telah terinterkalasi akan tertinggal dan akan membentuk biopolimer/layer silikat bioplastik.

## 2.5 Karakterisasi Material

Tahap karakterisasi bertujuan untuk mengetahui data-data spesifik material yang akan digunakan untuk menganalisis struktur bioplastik serta bahan-bahan yang digunakan seperti penggunaan matriks polimer, *filler*, maupun agen

pemlastis yang berhasil diproduksi serta aktivitasnya pada material yang dihasilkan.

### 2.5.1 Karakterisasi *X-ray Diffraction* (XRD)

*X-rays* (sinar-X) adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang sebanding dengan ukuran atom, sehingga dapat digunakan untuk menyelidiki susunan struktur dari atom dan molekul pada berbagai jenis material.

*Peak* pada pola difraksi sinar-x berhubungan langsung dengan jarak antar atom. Berkas sinar-X masuk berinteraksi dengan atom yang tersusun dalam urutan periodik seperti pada gambar 2.9.



**Gambar 2. 9.** Sinar-X yang masuk dalam susunan atom (Romero-Bastida, 2004)

Pada posisi tertentu bidang geometri dengan jarak antar bidang  $d$ , kondisi untuk difraksi (*peak*) dapat ditulis sebagai persamaan yang disebut hukum Bragg:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.1)$$

dengan :

$\lambda$  = panjang gelombang sinar x

$\theta$  = sudut pembauran

$n$  = urutan *peak* difraksi

Karakterisasi *X-ray diffraction* (XRD) dapat memberikan informasi karakteristik struktur material dalam fasa kristal dan amorfnya. Dalam karakterisasi lapisan film ZnO, XRD digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan bentuk-bentuk kristal ZnO kristal. Selain itu untuk melihat apakah matriks, *filler* ZnO, dan gliserol telah terjadi proses interkalasi.

## 2.5.2 Karakterisasi Spektroskopi

### a. Karakterisasi UV-Vis

Bahan semikonduktor, salah satu bahan yang digunakan sebagai penahan sinar UV pada ZnO, memiliki dua buah pita utama yaitu pita valensi dan pita konduksi. Pita yang lebih rendah, yaitu pita valensi, memiliki tingkat energi yang diisi oleh elektron yang dipisahkan oleh energi  $E_R$  dengan pita kedua yang ada di atasnya. Pita kedua ini kosong dan berada pada tingkat yang lebih tinggi yang disebut pita konduksi karena elektron dari pita ini cukup bebas untuk berpindah dengan bantuan elektrik yaitu konduksi. Diantara keduanya terdapat celah energi kosong (*void energy region*) yang disebut celah pita atau *band gap*, dimana tidak tersedia level-level energi untuk mempromosikan rekombinasi elektron dan *hole* yang diproduksi oleh suatu fotoaktivasi dalam bahan semikonduktor.

### b. Karakterisasi FT-IR

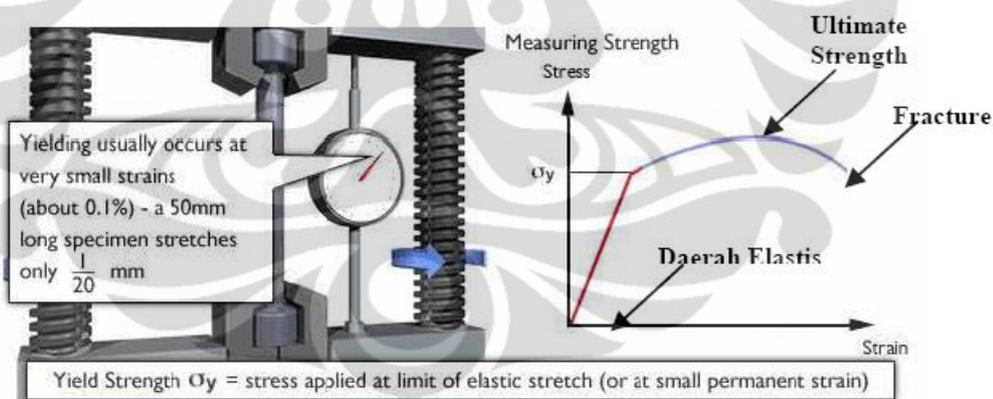
Spektroskopi Infra Merah (IR Spectroscopy) adalah salah satu teknik analisis spektroskopi absorpsi yang menggunakan sinar infra merah dari spektrum elektromagnetik. Seperti teknik spektroskopi lainnya, teknik ini dapat digunakan untuk menentukan kandungan sebuah sampel. Untuk menafsirkan keberadaan suatu gugus yang terdapat dalam senyawa tertentu, kita menggunakan peta korelasi. Contoh dari peta korelasi dapat dilihat pada bagian lampiran.

Dari peta tersebut dapat dilihat pita uluran OH dan NH terdapat antara 3000-3700/cm. Jika spektrum inframerah suatu senyawa tertentu menunjukkan serapan pada daerah ini, dapat diduga bahwa pada senyawa tersebut terdapat gugus NH atau OH. Daerah antara 1400-4000/cm, yaitu yang terletak pada bagian kiri spektra inframerah merupakan daerah khusus yang berguna bagi identifikasi gugus-gugus fungsional. Daerah ini menunjukkan absorpsi yang disebabkan oleh modus regangan. Daerah di kanan 1400/cm merupakan daerah yang rumit karena pada bagian ini terdapat modus regangan dan tekukan yang menyebabkan terjadinya absorpsi. Pada daerah ini biasanya korelasi antara suatu pita dan gugus suatu fungsional spesifik tidak dapat ditarik secara cermat; namun tiap senyawa organik mempunyai resapan yang unik di bagian ini. Karena itulah bagian kanan ini dikenal dengan daerah sidik jari (*finger print region*). Meskipun bagian kiri

suatu spektrum terlihat sama untuk senyawa-senyawa yang mirip, daerah sidik jari ini harus dipastikan juga agar dapat disimpulkan bahwa kedua senyawa tersebut sama.

### 2.5.3 Karakterisasi Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan maksimum atau kekuatan tarik adalah tegangan maksimum yang dapat dicapai pada diagram tegangan regangan. Pada gambar 2.10, terlihat bahwa tegangan maksimum yang dapat dicapai lebih besar dari pada tegangan pada waktu benda uji patah. Penurunan tegangan ini terjadi karena adanya fenomena pengecilan setempat (*necking*) pada benda uji yang berlanjut hingga benda uji patah (lihat gambar 2.10) kekuatan maksimum atau kekuatan tarik merupakan penunjuk yang bagus adanya cacat pada struktur Kristal logam, tetapi kekuatan maksimum atau kekuatan tarik tidak terlalu banyak dipakai dalam perancangan adanya deformasi plastis yang terjadi sebelum tegangan mencapai harga kekuatan maksimum atau kekuatan tarik.



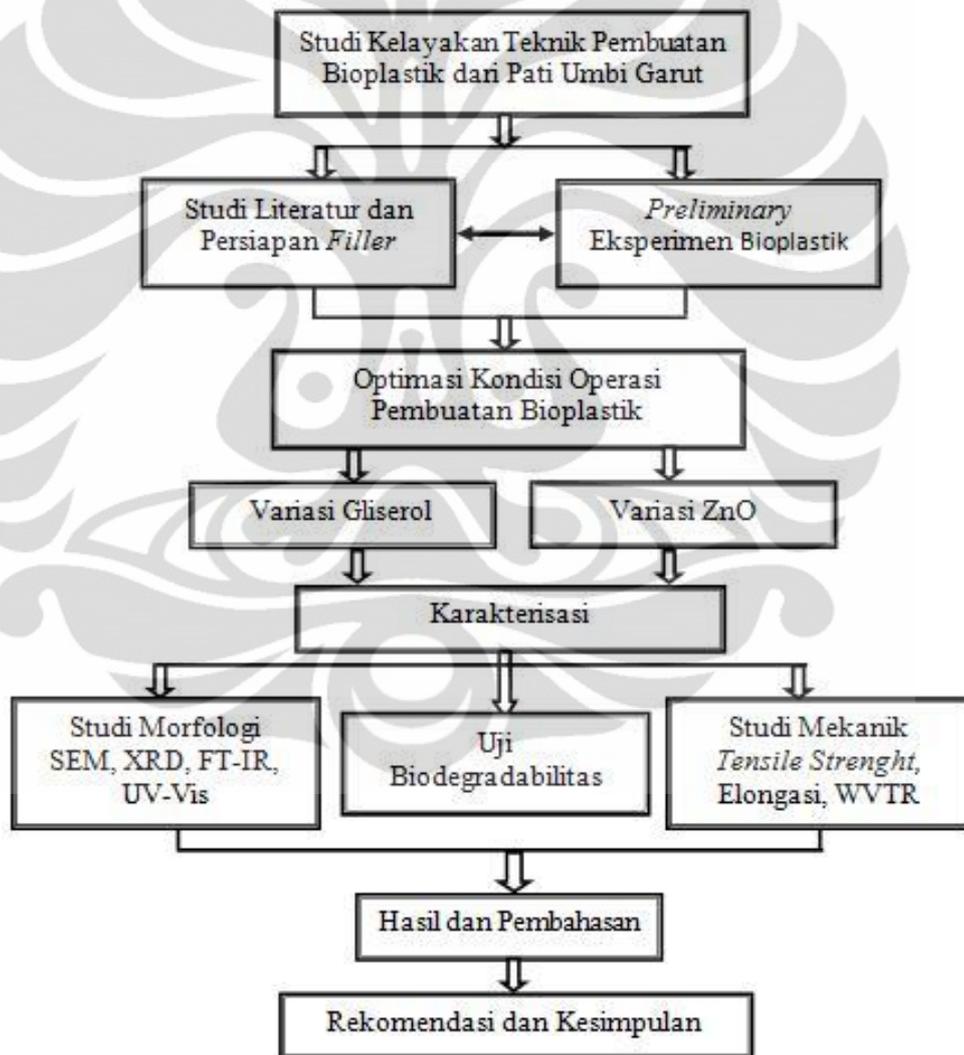
Gambar 2. 10. Pengukuran Kekuatan (*Strength*) (Romero-Bastida, 2004)

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan dibahas alur proses penelitian, peralatan dan bahan yang akan digunakan selama penelitian, variabel penelitian, dan prosedur penelitian.

### 3.1 Alur Penelitian

Diagram alir rencana penelitian ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian

Penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa pekerjaan utama, yaitu:

#### 1. Studi Kelayakan Teknik Pembuatan Bioplastik

Tahap ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan bahan baku pati umbi garut sebagai pembentuk plastik biodegradabel. Oleh karena itu, di dalam tahap ini ada dua pekerjaan yang akan dilakukan, yaitu studi literatur dan persiapan *filler* serta *preliminary Experiment* Bioplastik.

##### a. Studi literatur dan persiapan *filler*

Studi literatur untuk skrining kelayakan pati umbi garut yang akan digunakan dalam variasi penelitian pembuatan bioplastik dengan mempertimbangkan berbagai parameter seperti kandungan jenis pati, ketersediaan, dampak terhadap lingkungan, dan faktor eksternal (kondisi sosial). Selain itu juga dilakukan studi literatur dengan melakukan ringkasan untuk penggunaan jenis pati, bahan penguat/pengisi (*filler*), penggunaan *plasticizer* sebagai bahan *state of the arts* dari penelitian ini. Sebagai tambahan akan dilakukan persiapan bahan yaitu pembuatan *filler* ZnO.

##### b. *Preliminary Experiment* Bioplastik

Eksperimen awal ini bertujuan untuk menentukan kondisi proses yang dianggap optimum melalui pengamatan secara visual. Dilakukan dengan membuat bioplastik dengan jenis pati umbi garut yang divariasikan terhadap konsentrasi gliserol 10%, 20%, dan 30% pada konsentrasi ZnO 1,2, dan 3% (% menunjukkan persentase bahan dari berat pati sebesar 5 gram). Variasi gliserol dan ZnO yang tersebut divariasikan terhadap lama pemanasan dalam *magnetic stirrer* sebesar 20, 30, 40, dan 50 menit. Untuk mengetahui kondisi proses paling optimum maka pada tahap ini dilakukan dengan membuat bioplastik untuk tiap-tiap jenis variasi. Dengan melihat karakteristik tiap-tiap kondisi proses dari masing-masing variasi, kondisi proses lama pemanasan yang memiliki karakteristik visual terbaik merupakan kondisi proses optimum. Melalui eksperimen ini juga dapat diketahui fenomena yang terjadi dalam pembuatan bioplastik pada masing-masing variasi.

## 2. Optimasi Kondisi Operasi Pembuatan Bioplastik

Tahap ini bertujuan untuk mengoptimasi pembuatan bioplastik melalui kondisi operasi lama pemanasan optimum yang diperoleh dari percobaan awal. Setelah penetapan kondisi proses pemanasan optimum tersebut, dibuat bioplastik dengan berbagai variasi pada kondisi proses optimum sebanyak lima kali ulangan. Keseragaman sampel sebanyak lima ulangan dari kondisi proses optimum inilah yang akan ditetapkan sebagai dasar untuk percobaan selanjutnya. Berikut merupakan pekerjaan utama di dalam tahap ini:

### a. Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi Gliserol pada Konsentrasi ZnO Tetap

Tahap ini bertujuan untuk mencari konsentrasi gliserol optimum yang ditentukan melalui sifat mekanis bioplastik. Pembuatan bioplastik mengacu pada proses yang dilakukan oleh Vigneshwaran dan dimodifikasi oleh Ma. XF pada tahun 2008. Setelah mendapatkan kondisi proses optimum lama pemanasan pada *preliminary* eksperimen kemudian dilakukan pembuatan bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol sebesar 10%, 20%, dan 30% pada konsentrasi ZnO yang tetap yaitu 3% dari berat pati 5 gram. Alasan pemilihan konsentrasi ZnO 3% sebagai awal penentuan pada tahap ini didasarkan pada sifat kuat tarik (*tensile strenght*) yang paling besar pada rentang variasi ZnO 1-3% selama penelitian ini.

### b. Penentuan Konsentrasi Gliserol Optimum

Bioplastik telah dibuat pada tahap sebelumnya digunakan sebagai sampel untuk mengetahui sifat mekanis berupa elongasi, *tensile strenght*, dan ketebalan bioplastik yang dihasilkan. Parameter berupa sifat elongasi yang paling tinggi menjadi dasar penentuan bioplastik pada konsentrasi gliserol optimum. Kondisi konsentrasi gliserol optimum inilah yang digunakan untuk bervariasi konsentrasi ZnO pada tahap selanjutnya.

### c. Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi ZnO pada Konsentrasi Gliserol Optimum

Tahap ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik bioplastik yang dikerjakan. Pembuatan bioplastik pada variasi konsentrasi ZnO 1%, 2%,

3% dari berat pati 5 gram pada kondisi konsentrasi gliserol optimum dari tahap sebelumnya.

### 3. Karakterisasi

Setelah hasil dari pembuatan bioplastik yang dikerjakan pada tahap sebelumnya, selanjutnya akan dilakukan analisa karakterisasi. Analisa karakterisasi ini meliputi analisa terhadap kekuatan bioplastik yang dihasilkan dengan mengetahui *tensile strength*, ketebalan, dan derajat elongasi. Kemudian analisa terhadap struktur morfologi dan fisiologi menggunakan SEM, FT-IR, UV-Vis, dan XRD. Dilakukan juga analisis terhadap tingkat permeabilitas bioplastik terhadap uap air menggunakan pengujian WVTR (*Water Vapour Transmission Rate*). Selain itu untuk mencatat waktu degradasi plastik biodegradabel akan dilakukan juga uji biodegradabilitas.

### 4. Hasil dan Pembahasan

### 5. Kesimpulan dan Rekomendasi

#### 3.1.1 Tempat Penelitian

- Penelitian pembuatan bioplastik dilakukan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam (RPKA) Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Penelitian pembuatan ZnO dilakukan di Laboratorium Fisika Puspitek Serpong.
- Karakterisasi XRD dilakukan di Departemen Pasca Sarjana Fisika Salemba.
- Karakterisasi FT-IR, UV-Vis dilakukan di Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia Fakultas MIPA Universitas Indonesia.
- Karakterisasi WVTR dan sifat mekanis dilakukan di BBKK (Balai Industri Kimia dan Kemasan) Jakarta.

### 3.2 Alat dan Bahan Percobaan

#### 3.2.1 Alat Percobaan

Alat-alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ultrasonik processor, digunakan untuk mensionikasi campuran gliserol nano ZnO dalam air suling



**Gambar 3. 2.** Ultrasonik processor

2. Hot plate yang digunakan untuk memanaskan campuran gliserol, nano ZnO, pati garut dalam air suling.



**Gambar 3. 3.** Hot Plate

3. Oven, digunakan untuk pengeringan bioplastik



**Gambar 3. 4.** Oven

4. Neraca analitis, digunakan untuk menimbang berat bahan yang akan dipakai



**Gambar 3. 5.** Neraca Analitis

5. Peralatan gelas laboratorium seperti beaker glass, cawan petri, spatula besi, spatula kaca, gelas ukur, dan pipet
6. Termometer, digunakan untuk mengukur suhu selama pemanasan



**Gambar 3. 6.** Termometer

7. Magnetic stirrer digunakan dalam pengadukan selama pemanasan campuran yang keluar dari ultrasonik yang ditambahkan dengan pati garut
8. Cetakan flexiglass berukuran 20x20 cm, cetakan ini terbuat dari akrilik yang berfungsi untuk membentuk bioplastik



**Gambar 3. 7.** Cetakan 20x20 cm

9. UV- Vis (*Ultraviolet-Visible*), digunakan untuk mengetahui spektrum serapan dari bioplastik



**Gambar 3. 8.** UV-Vis

10. FT-IR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), digunakan untuk menganalisa material secara kualitatif maupun kuantitatif dengan memanfaatkan spektra infra merah



**Gambar 3. 9.** FT-IR

11. WVTR (*Water Vapour Transmission Rate*), digunakan untuk mengukur laju transmisi uap air pada bioplastik



**Gambar 3. 10.** WVTR

12. Alat kuat tarik, digunakan untuk mengukur kuat tarik dan derajat elongasi dari bioplastik dengan kekuatan mencapai 50 MPa



**Gambar 3. 11.** Alat kuat tarik

13. *Micro-cal*, digunakan untuk mengukur ketebalan dari bioplastik



Gambar 3. 12. *Micro-cal*

### 3.2.2 Bahan Percobaan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pati Umbi Garut dari *Maranta arundinaceae L.*, yang digunakan sebagai matriks bioplastik



Gambar 3. 13. Pati Umbi Garut

2. Partikel seng oksida ( $ZnO$ ) yang dibuat di Laboratorium Fisika LIPI-Serpong, digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) bioplastik



Gambar 3. 14.  $ZnO$

3. *Plasticizer*: Gliserol pro analisis diproduksi oleh PT. Merck



Gambar 3. 15. Gliserol

4. *Dessicant* CaCl<sub>2</sub>, bahan untuk absorben uap air ketika mengukur WVTR



Gambar 3. 16. *Dessicant* CaCl<sub>2</sub>

### 3.3 Prosedur Percobaan

#### 3.3.1 Percobaan Pembuatan *Filler ZnO*

Percobaan pembuatan *filler* ZnO dilakukan dengan metode sonikasi. Dalam pembuatannya dibutuhkan bahan-bahan sebagai berikut:

- ZnO
- Pelarut isopropanol

Adapun alat-alat yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- Sonikasi
- Gelas beaker dan pemanas

Prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Menimbang 10 gram ZnO dan larutan isopronol sebesar 200 ml.
2. Memasukkan campuran antara ZnO 10 gram dengan larutan isopropanol 200 ml ke dalam gelas beaker 500 ml.
3. Memasukkan campuran tersebut ke dalam sonikasi dengan memprogram alat tersebut sesuai dengan standar yang ditetapkan (amplitudo 80%).
4. Mensonikasi campuran tersebut selama 30 menit.
5. Mengeringkan campuran yang telah disonikasi ke dalam oven.

#### 3.3.2 Percobaan Pembuatan Bioplastik

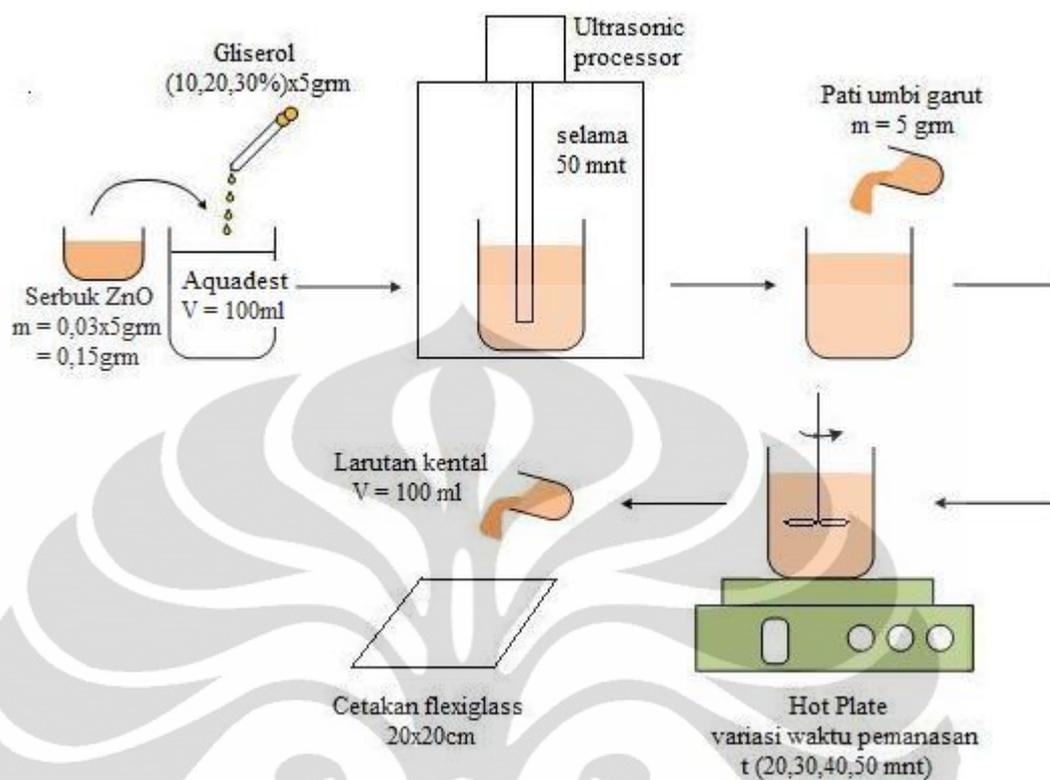
Proses pembuatan bioplastik yang dilakukan pada tahap *preliminary* eksperimen, tahap pembuatan bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol pada konsentrasi ZnO tetap, dan tahap pembuatan bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO pada konsentrasi gliserol optimum mengacu pada proses yang dilakukan oleh Vigneshwaran dan dimodifikasi oleh Ma. XF pada tahun 2008 dengan ilustrasi aliran proses seperti pada gambar 3.18.

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut:

1. Matriks: Pati Umbi Garut dari *Maranta arundinaceae L.*, yang didapat dari pasar di Ngawi Jawa Timur. Sebelum digunakan dilakukan uji proksimat untuk mengetahui kandungan amilosa dan amilopektin serta kadar air.
2. Pengisi: partikel seng oksida (ZnO) yang dibuat di Laboratorium Fisika LIPI-Serpong. Sebelum digunakan dilakukan uji kandungan ZnO.
3. *Plasticizer*: Gliserol pro analisis.

Prosedur pembuatan bioplastik dilakukan melalui proses *melt intercalation* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menimbang sejumlah bahan yang telah ditentukan menggunakan neraca analitis digital.
2. Memasukkan ZnO dengan variasi 1,2, dan 3% dan gliserol dengan variasi 10,20, dan 30% dari berat pati ke dalam gelas beaker 500 ml berisi *aquadest* dengan volume 100 ml.
3. Meletakkan gelas beaker yang telah berisi *aquadest*, ZnO dan gliserol ke dalam *ultrasonic processor* dan melakukan proses secara kontinyu selama 50 menit.
4. Membiarkan larutan yang keluar dari ultrasonik sampai suhu turun menjadi 50°C.
5. Menambahkan pati umbi garut sebanyak 5 gram sambil melakukan pengadukan. Setelah larutan teraduk dengan sempurna kemudian dilanjutkan dengan pemanasan di atas *hot plate* dan di aduk menggunakan *magnetic stirrer*.
6. Memanaskan gelas beaker yang berisi yang berisi campuran ZnO dan pati umbi garut pada *hot plate* selama waktu (t) yang ditentukan, selama pengadukan temperatur diatur pada suhu 90°C.
7. Menuang larutan pada cetakan *flexiglass* berukuran 20x20 cm.



Gambar 3. 17. Ilustrasi aliran proses dengan metode *melt intercalation*

Tabel 3. 1. Variasi yang dikerjakan selama percobaan

Pati Umbi garut	Komposisi		Lama Pemanasan T (menit)			
	ZnO	Gliserol	20	30	40	50
5 gr	0,15 gr	0,5 gr	P <sub>3</sub> T <sub>20</sub> A <sub>10</sub>	P <sub>3</sub> T <sub>30</sub> A <sub>10</sub>	P <sub>3</sub> T <sub>40</sub> A <sub>10</sub>	P <sub>3</sub> T <sub>50</sub> A <sub>10</sub>
5 gr	0,15 gr	1 gr	P <sub>3</sub> T <sub>20</sub> A <sub>20</sub>	P <sub>3</sub> T <sub>30</sub> A <sub>20</sub>	P <sub>3</sub> T <sub>40</sub> A <sub>20</sub>	P <sub>3</sub> T <sub>50</sub> A <sub>20</sub>
5 gr	0,15 gr	1,5 gr	P <sub>3</sub> T <sub>20</sub> A <sub>30</sub>	P <sub>3</sub> T <sub>30</sub> A <sub>30</sub>	P <sub>3</sub> T <sub>40</sub> A <sub>30</sub>	P <sub>3</sub> T <sub>50</sub> A <sub>30</sub>
5 gr	0,1 gr	1,5 gr	P <sub>2</sub> T <sub>20</sub> A <sub>30</sub>	P <sub>2</sub> T <sub>30</sub> A <sub>30</sub>	P <sub>2</sub> T <sub>40</sub> A <sub>30</sub>	P <sub>2</sub> T <sub>50</sub> A <sub>30</sub>
5 gr	0,05 gr	1,5 gr	P <sub>1</sub> T <sub>20</sub> A <sub>30</sub>	P <sub>1</sub> T <sub>30</sub> A <sub>30</sub>	P <sub>1</sub> T <sub>40</sub> A <sub>30</sub>	P <sub>1</sub> T <sub>50</sub> A <sub>30</sub>
5 gr	-	1,5 gr	P <sub>0</sub> T <sub>20</sub> A <sub>30</sub>	P <sub>0</sub> T <sub>30</sub> A <sub>30</sub>	P <sub>0</sub> T <sub>40</sub> A <sub>30</sub>	P <sub>0</sub> T <sub>50</sub> A <sub>30</sub>

Keterangan :

- P<sub>0-3</sub> = variasi pengisi ZnO dari 0-3% dari berat pati
- T<sub>20-50</sub> = variasi lama pemanasan dalam hot plate dari 20-50 menit
- A<sub>10-30</sub> = variasi agen pemlastis gliserol dari 10-30% dari berat pati

### 3.3.3 Uji Biodegradabilitas (*Soil Burial Test*)

Biodegradasi sampel bioplastik pada tiap-tiap variasi kemudian di uji dengan menggunakan metode yang dinamakan *soil burial test* atau metode uji penguburan dalam tanah. Metode ini bertujuan untuk melihat laju degradasi sampel sehingga akan bisa diramalkan berapa lama sampel tersebut akan terurai oleh mikroorganisme dalam tanah. Metode ini juga merupakan metode yang paling sederhana karena hanya dilakukan dengan mengubur sampel di dalam tanah yang terkontrol sifat fisik dan kimiawinya kemudian menghitung fraksi berat residual dari sampel dalam tiap satuan waktu (gram/day).

Prosedur uji biodegradabilitas bioplastik yang dilakukan dengan metode *soil burial test* akan melalui langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menyiapkan tanah humus dengan menjaga kelembapannya hingga mencapai 25% dan membuat media berdimensi balok tempat untuk meletakkan tanah tersebut.
2. Menyiapkan 3 buah sampel bioplastik berdimensi 2,5x1,5 cm untuk tiap-tiap variasi.
3. Mengeringkan sampel dalam oven sampai berat dari sampel tersebut kering ( $W_1$ ).
4. Meletakkan sampel di bagian dasar media kemudian mengubur dengan tanah yang telah disiapkan sebelumnya.
5. Mengeluarkan sampel dari media secara hati-hati tiap lima hari sekali dan membersihkan sampel dari tanah kemudian mengeringkannya sampai kering di dalam oven.
6. Menimbang sampel yang telah dikeringkan menggunakan neraca analitis dengan berat  $W_2$ .
7. Menghitung fraksi berat residual dengan menggunakan persamaan matematis sebagai berikut:

$$\% \text{ berat residual} = 100\% - \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \quad (3.1)$$



**Gambar 3. 18.** Ilustrasi aliran proses dengan metode *soil burial test*

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Studi Kelayakan Teknik Pembuatan Bioplastik dari Pati Umbi Garut

Tahap ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan bahan baku pati umbi garut sebagai pembentuk plastik biodegradabel. Oleh karena itu, di dalam tahap ini ada dua pekerjaan yang akan dilakukan, yaitu persiapan bahan dengan menganalisis kandungan pati serta ukuran partikel ZnO dan percobaan awal bioplastik. Setelah dua pekerjaan ini dilakukan dapat diketahui bahwa pati garut dapat dibentuk menjadi bioplastik.

##### 4.1.1 Persiapan *Filler* ZnO

Pada tahap awal sebelum percobaan dilakukan persiapan bahan berupa pembuatan *filler* ZnO yang dikerjakan di Laboratorium Fisika Puspitek Serpong. Setelah selesai ZnO dibuat dilakukan pengujian pengukuran partikel ZnO menggunakan alat Delsa nano c PA (*Particel Analysis*) Beckman Coulter oleh *nanotech* Indonesia. Hasil analisis ukuran partikel menggunakan alat tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Hasil analisis ukuran partikel menggunakan PSA (*Particel Size Analysis*)

Sampel	Run	<i>Polidispersity Indeks</i>	Ukuran Partikel (nm)
ZnO	1	0,357	732,4
	2	0,380	553,8
	3	0,186	870,2

Tabel 4.1 memperlihatkan bahwa untuk menganalisis ukuran partikel ZnO yang telah dibuat dilakukan sebanyak tiga kali ulangan. Dari hasil tersebut ukuran partikel sebesar 732,4 nm memiliki indeks *polidispersity* 0,357, sementara ukuran partikel 870,2 nm memiliki indeks *polidispersity* terkecil sebesar 0,186. Indeks ini menunjukkan tingkat kehomogenan dari ukuran partikel yang terukur. Semakin kecil angka indeks yang diperoleh maka akan semakin homogen ukuran partikel tersebut.

Ukuran ZnO yang telah dibuat ini belum dikategorikan sebagai ukuran yang bersifat nano. Nanopartikel adalah partikel yang berukuran sangat kecil dengan diameter antara 1-100 nm. Ukuran partikel diklasifikasikan berdasarkan pada kategori berikut:

- Kasar : ukuran partikel dengan diameter rata-rata < 10m
- Halus : ukuran partikel dengan diameter rata-rata < 2,5m
- Nanopartikel : ukuran partikel dengan diameter rata-rata antara 1-100nm

Sehingga disimpulkan bahwa ukuran mikro partikel ZnO yang dibuat memiliki ukuran antara 500 – 900 nm.

#### 4.1.2 Persiapan Matriks Pati Umbi Garut

Sementara bahan lain yang digunakan adalah pati umbi garut sebagai matriks film bioplastik. Pati umbi garut ini didapatkan dari pasar tradisional di Ngawi, Jawa Timur. Bahan ini juga dilakukan pengujian untuk mengetahui kadar amilosa dan amilopektin. Kandungan pati umbi garut yang digunakan sebagai matriks bioplastik dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4. 2. Kandungan pati umbi garut sebagai matriks bioplastik

Parameter	Satuan	Hasil	Metode Uji/ Teknik
Air	%	13,3	SNI. 01-2891-1992
Abu	%	0,37	SNI. 01-2891-1992
Protein (N x 6,25)	%	0,26	SNI. 01-2891-1992
Lemak	%	0,08	SNI. 01-2891-1992
Karbohidrat	%	86,0	Pengurangan
<b>Amilosa</b>	<b>%</b>	<b>16,2</b>	<b>Spektrofotometri</b>
<b>Amilopektin</b>	<b>%</b>	<b>69,8</b>	<b>Perhitungan</b>

Kandungan-kandungan yang terukur seperti pada tabel 4.2 merupakan hasil yang dianalisis oleh lembaga perindustrian BBIA (Balai Besar Industri Agro), Bogor. Persentase konsentrasi karbohidrat yang terukur merupakan hasil pengurangan dari persentase jumlah konsentrasi air, abu, protein, dan lemak dalam pati umbi garut. Sementara kandungan amilopektin diukur melalui perhitungan pengurangan kandungan karbohidrat dengan kandungan amilosa. Kadar kedua komponen amilosa dan amilopektin ini nantinya akan mempengaruhi sifat mekanik dari polimer alami yang terbentuk.

### 4.1.3 Preliminary Experiment Pembuatan Bioplastik

Percobaan awal (*Preliminary Experiment*) pembuatan bioplastik ini bertujuan untuk mengetahui kondisi proses optimum film yang ditentukan melalui pengamatan secara visual. Percobaan ini dilakukan dengan melihat karakteristik tiap-tiap kondisi proses dari masing-masing variasi. Kondisi proses lama pemanasan yang memiliki karakteristik visual terbaik merupakan kondisi proses optimum untuk pembuatan bioplastik selanjutnya. Untuk mengetahui variasi yang dikerjakan selama percobaan awal ini dapat dilihat pada tabel 4.3.

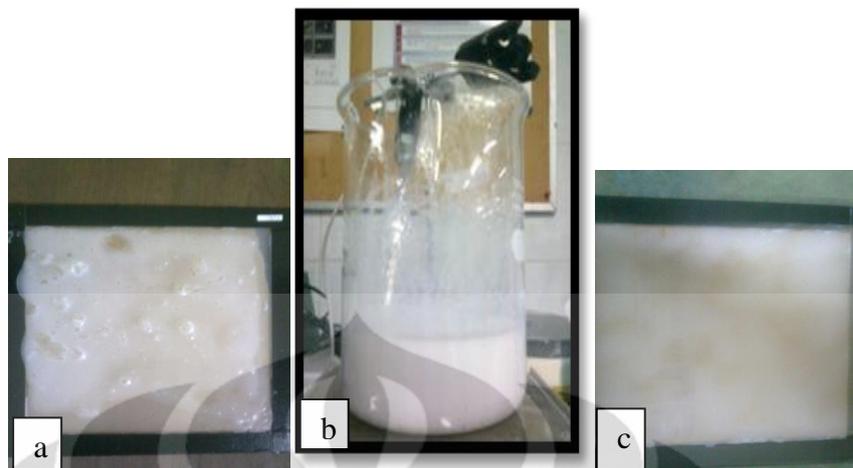
**Tabel 4. 3.** Variasi yang dibuat selama percobaan awal

Pati Umbi Garut m = 5grm		
Variasi waktu	Variasi ZnO	Variasi gliserol
20 menit	0%	-
30 menit	1%	10%
40 menit	2%	20%
50 menit	3%	30%

Dari percobaan awal yang dilakukan pada tiap-tiap jenis variasi pada tabel 4.3 dihasilkan beberapa karakteristik sebagai berikut:

**a. Bioplastik dengan 3% ZnO, 10% gliserol, dan kondisi proses pemanasan 20 menit**

Pada proses pembuatan bioplastik dengan 3% ZnO, 10% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan selama 20 menit, setelah dilakukan pemanasan dan pengadukan dihasilkan campuran yang masih terdapat granular dan gumpalan putih yang terlihat seperti pati yang belum tercampur secara merata. Suhu yang dicapai pada saat pemanasan selama 20 menit adalah 44,8°C. sampel sangat encer dan tidak bisa dicetak. Apabila dibiarkan lebih lama dalam *beaker glass* tanpa pemanasan atau pengadukan, akan muncul endapan pati pada bagian bawah beaker glass. Setelah proses pengeringan pun terbentuk bioplastik yang terdapat butiran-butiran pati, memiliki sifat yang rapuh, dan susah untuk dilepaskan dari cetakan. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan dari pembuatan bioplastik dengan proses pemanasan dan pengadukan selama 20 menit.

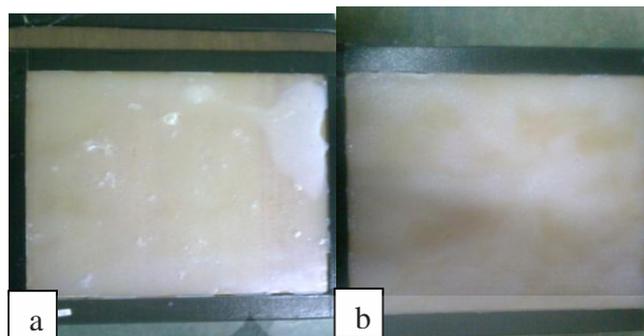


**Gambar 4. 1.** Biokomposit dengan 3%ZnO, 10% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 20 menit.

a) Setelah dicetak b) Endapan yang terbentuk c) Setelah proses pengeringan

**b. Bioplastik dengan 3% ZnO, 20% gliserol dan kondisi proses pemanasan 20 menit**

Pada proses pembuatan bioplastik dengan 3% ZnO, 20% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan selama 20 menit, setelah dilakukan pemanasan dan pengadukan dihasilkan campuran yang masih terdapat granular dan gumpalan putih yang lebih sedikit dari bioplastik dengan variasi 3% ZnO, 10% gliserol, dan waktu pemanasan 20 menit. Selain itu suhu yang dicapai pada saat pemanasan selama 20 menit lebih tinggi dari kondisi 10% gliserol sebesar 52°C. Setelah proses pengeringan pun terbentuk bioplastik yang terdapat butiran-butiran pati, memiliki sifat yang rapuh, dan susah untuk dilepaskan dari cetakan. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan dari pembuatan bioplastik dengan proses pemanasan dan pengadukan selama 20 menit.

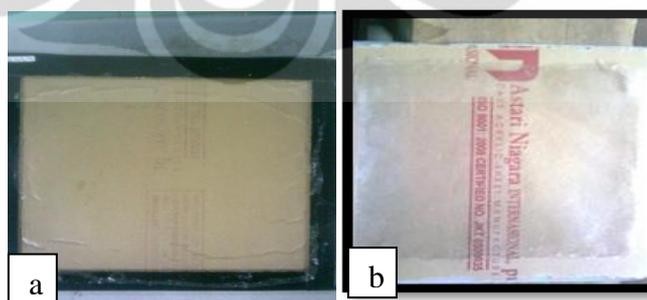


**Gambar 4. 2.** Bioplastik dengan 3%ZnO, 20% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 20 menit

a) Setelah dicetak b) setelah proses pengeringan

**c. Bioplastik dengan 0% ZnO, 30% gliserol, dan kondisi proses pemanasan 30 menit**

Pada pengamatan visual terhadap bioplastik dengan kondisi proses pemanasan dan pengadukan 30 menit dengan variasi 0% ZnO 30% gliserol, setelah dilakukan pemanasan dan pengadukan dihasilkan campuran yang masih agak cair dengan butiran pati yang tidak terlihat. Suhu yang dicapai pada saat pemanasan selama 30 menit adalah 75°C. Sampel sudah mulai mengental. Setelah proses pengeringan terbentuk bioplastik yang sangat tipis, transparan, dan terdapat gelembung udara yang terperangkap dalam film, tetapi dihasilkan bioplastik yang sangat rapuh. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan dari pembuatan bioplastik dengan proses pemanasan dan pengadukan selama 30 menit.

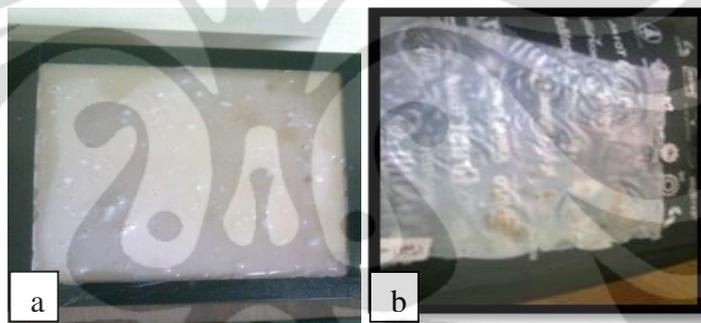


**Gambar 4. 3.** Bioplastik dengan 0%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 30 menit

a) Setelah dicetak b) setelah proses pengeringan.

**d. Bioplastik dengan 2% ZnO, 30% gliserol, dan kondisi proses pemanasan 30 menit**

Pada proses pembuatan bioplastik dengan 2% ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan selama 30 menit, setelah dilakukan pemanasan dan pengadukan dihasilkan campuran yang masih terdapat granular dan gumpalan putih yang lebih sedikit dari bioplastik dengan variasi 3% ZnO, 10% gliserol, dan waktu pemanasan 20 menit. Selain itu suhu yang dicapai pada saat pemanasan selama 30 menit ini lebih tinggi dari kondisi 0% ZnO sebesar 77°C. Setelah proses pengeringan pun terbentuk bioplastik yang terdapat gumpalan granular berwarna coklat. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan dari pembuatan bioplastik dengan proses pemanasan dan pengadukan selama 30 menit.



**Gambar 4. 4.** Bioplastik dengan 2%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 30 menit

a) Setelah dicetak b) setelah proses pengeringan.

**e. Bioplastik dengan 3% ZnO, 30% gliserol, dan kondisi proses pemanasan 40 menit**

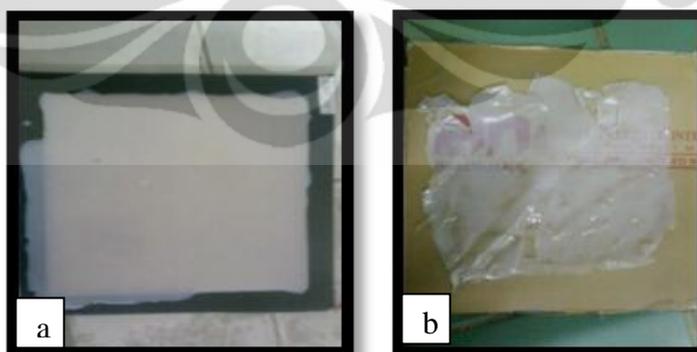
Pengamatan visual terhadap bioplastik dengan 3% ZnO, 30% gliserol dan kondisi proses pemanasan selama 40 menit, karakteristik gelembung udara yang banyak terdapat pada pemanasan 30 menit mulai tidak terlihat. Gumpalan putih halus seperti tepung juga sudah tidak terlihat. Sampel bioplastik mudah untuk dilepaskan dari cetakan dengan memiliki kondisi yang lebih baik. Suhu yang dapat dicapai saat lama pemanasan 40 menit bisa mencapai hingga 90-99°C.



**Gambar 4. 5.** Bioplastik dengan 3%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 40 menit

**f. Bioplastik dengan 3% ZnO, 30% gliserol, dan kondisi proses pemanasan 50 menit**

Pada proses pembuatan bioplastik dengan 3% ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan selama 50 menit, setelah dilakukan pemanasan dan pengadukan dihasilkan campuran yang tidak terdapat granular dan gumpalan putih. Selain itu suhu yang dicapai pada saat pemanasan selama 50 menit juga dapat mencapai 90°C. Sampel encer dan tidak bisa dicetak. Setelah proses pengeringan pun terbentuk bioplastik yang memiliki lembaran tipis sehingga sulit untuk dilepaskan dan menghasilkan bioplastik yang patah-patah. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan dari pembuatan bioplastik dengan proses pemanasan dan pengadukan selama 50 menit.



**Gambar 4. 6.** Bioplastik dengan 3%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 50 menit

a) Setelah dicetak b) setelah proses pengeringan.

**g. Bioplastik dengan 2% ZnO, 30% gliserol dan kondisi proses pemanasan 50 menit**

Pada proses pembuatan bioplastik dengan 2% ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan selama 50 menit, setelah dilakukan pemanasan dan pengadukan dihasilkan campuran yang tidak terdapat granular dan gumpalan putih. Selain itu suhu yang dicapai pada saat pemanasan selama 50 menit juga dapat mencapai 90°C. Sampel encer dan tidak bisa dicetak. Setelah proses pengeringan pun terbentuk bioplastik yang memiliki lembaran tipis. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan dari pembuatan bioplastik dengan proses pemanasan dan pengadukan selama 50 menit.



**Gambar 4. 7.** Bioplastik dengan 2%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan dan pengadukan 50 menit

Dari hasil percobaan awal yang telah dilakukan untuk masing-masing kondisi proses lama pemanasan bioplastik memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Berikut ini adalah tabel rangkuman hasil pengamatan visual dari percobaan awal pembuatan bioplastik.

**Tabel 4. 4.** Karakteristik kondisi proses pemanasan selama pembuatan bioplastik

Kondisi operasi	Lama pemanasan dan pengadukan (menit)					
	20	30	40	50	30	50
	3%ZnO; 10% gliserol	3%ZnO; 20%gliserol	0%ZnO; 30%gliserol	2%ZnO; 30%gliserol	3%ZnO; 30%gliserol	3%ZnO; 30%gliserol
<b>T</b>	44,8°C	52°C	75°C	77°C	90-99°C	90-99°C
<b>Setelah dicetak</b>	Encer; susah dicetak	Encer; susah dicetak	agak encer	agak encer	<b>kental</b>	agak encer; susah dicetak
<b>Endapan</b>	endapan berupa gumpalan putih	endapan berupa gumpalan putih	ada butiran pati	ada butiran pati	<b>rata dan tak terlihat butiran pati</b>	rata dan tak terlihat butiran pati
<b>Setelah proses pengeringan</b>	rapuh, susah dilepas; ada gelembung	rapuh, susah dilepas; ada gelembung	transparan; rapuh; ada gelembung	fleksibel; ada gelembung udara dan butiran coklat	<b>tidak ada gelembung udara; fleksibel</b>	tidak ada gelembung udara

Dari hasil pengamatan visual masing-masing variasi pada kondisi proses pemanasan terlihat bahwa lama pemanasan selama 40 menit merupakan kondisi proses yang optimum. Bioplastik hasil perlakuan proses dengan pemanasan yang lebih rendah terlihat banyak gelembung yang terperangkap dalam film dengan diameter yang cukup besar 5 mm, tetapi seiring bertambahnya proses lama pemanasan diameter gelembung semakin kecil bahkan pada pemanasan 40 menit dan 50 menit gelembung udara tersebut tidak terlihat dalam sampel bioplastik yang dihasilkan. Selain itu semakin lama proses pemanasan gumpalan atau granular seperti tepung juga semakin tidak terlihat. Hal ini mungkin disebabkan karena belum seluruh pati umbi garut tergelatinisasi sempurna karena proses pemanasan yang seharusnya dilakukan pada suhu 90°C.

## 4.2 Optimasi Kondisi Operasi Pembuatan Bioplastik

Tahap ini bertujuan untuk mengoptimasi produksi pembuatan bioplastik melalui kondisi operasi lama pemanasan optimum yang diperoleh dari *preliminary experimen*. Tahap yang dilakukan di optimasi kondisi operasi ada tiga pekerjaan yaitu pembuatan bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol pada konsentrasi ZnO tetap dan kondisi proses optimum kemudian dilanjutkan tahap karakterisasi sifat mekanis sampel dan tahap terakhir adalah pembuatan bioplastik dengan variasi ZnO pada gliserol optimum pada kondisi proses optimum.

### 4.2.1 Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi *Plasticizer* pada Konsentrasi *Filler* Tetap

Pekerjaan selanjutnya adalah pembuatan bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol sebesar 10%, 20%, dan 30% pada ZnO tetap sebesar 3% dan kondisi proses pemanasan optimum yang didapatkan pada percobaan awal yaitu selama 40 menit. Tujuannya adalah untuk menetapkan kondisi konsentrasi gliserol optimum yang divariasikan terhadap konsentrasi ZnO 1,2,3%. Metode pembuatan bioplastik pada pekerjaan ini masih menggunakan proses yang dilakukan oleh Vigneshwaran dan dimodifikasi oleh Ma. XF pada tahun 2008. Hasil eksperimen beserta karakteristiknya dapat dilihat pada tabel 4.5.

**Tabel 4. 5.** Karakteristik percobaan bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol 10,20, 30% wt pada 3% ZnO dan kondisi proses pemanasan 40 menit

Variasi Konsentrasi Gliserol	Karakteristik	Gambar
10% dari berat pati	<p>Pada konsentrasi gliserol 10%, suhu akhir pemanasan mencapai 95°C, lembaran plastik terlihat masih kaku, bisa dilepas dari cetakan secara utuh, permukaan tidak begitu licin, dan tidak terdapat gumpalan/granular.</p>	 <p><b>Gambar 4. 8.</b> Bioplastik dengan 3%ZnO, 10% gliserol, waktu pemanasan 40 menit</p>
20% dari berat pati	<p>Pada proses pemanasan 40 menit, suhu akhir pemanasan mencapai 99°C, dan gliserol 20% dihasilkan lembaran yang masih cukup kaku, namun tidak patah bila ditekuk. Tidak terdapat gumpalan, permukaan halus tapi tidak rata, dan tidak terdapat gelembung udara yang terperangkap dalam film.</p>	 <p><b>Gambar 4. 9.</b> Bioplastik dengan 3%ZnO, 20% gliserol, waktu pemanasan 40 menit</p>
30% dari berat pati	<p>Pada proses pemanasan 40 menit, suhu akhir pemanasan mencapai 99°C, dan gliserol 30% dihasilkan lembaran yang tidak terlalu kaku, mulai fleksibel dan tidak patah bila ditekuk. Tidak terdapat gumpalan, permukaan halus tapi tidak rata, dan tidak terdapat gelembung udara yang terperangkap dalam film.</p>	 <p><b>Gambar 4. 10.</b> Bioplastik dengan 3%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan 40 menit</p>

Dari hasil pengamatan pada proses dengan konsentrasi ZnO 3% dan konsentrasi gliserol makin meningkat dari 10% sampai 30% dengan lama pemanasan 40 menit. Terlihat bahwa fleksibilitas lembaran plastik makin meningkat. Ini membuktikan bahwa konsentrasi gliserol sebagai agen pemlastis mempengaruhi tingkat fleksibilitas film. Bioplastik dengan perlakuan lama pemanasan 40 menit juga tidak terdapat udara yang terperangkap dalam film. Hal ini mungkin disebabkan karena seluruh pati umbi garut telah tergelatinisasi karena proses pemanasan dapat mencapai suhu 90°C. Hal ini pula yang menyebabkan tidak timbulnya gumpalan-gumpalan sangat halus yang terlihat berwarna putih seperti tepung.

#### **4.2.2 Penentuan Gliserol Optimum**

Setelah pembuatan bioplastik pada tahap sebelumnya, maka sampel tersebut diuji sifat mekanisnya berupa sifat kuat tarik, dan derajat elongasi. Tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik sifat mekanis bioplastik pati umbi garut/ZnO dan untuk menentukan kondisi optimum konsentrasi gliserol dari derajat elongasinya. Pengujian sifat mekanis dilakukan di BBKK (Balai Besar Kimia dan Kemasan) yang mengacu pada ASTM D822-02 dengan menggunakan alat RG 3010 material tester yang memiliki kekuatan 50 kgf/cm<sup>2</sup>. Spesimen yang dibutuhkan untuk menguji sifat mekanis ini berukuran 100x15 mm. Selain itu dilakukan pengujian untuk mengetahui ketebalan film yang dibuat dengan menggunakan alat micro-cal 37031. Ketebalan film yang diuji ini diperlukan untuk menghitung sifat kuat tarik sampel. Berikut merupakan hasil sifat mekanis dari pengolahan data sampel bioplastik dengan variasi 1%, 2%, dan 3% gliserol. Ketebalan film bioplastik yang diukur menggunakan alat micro-cal dapat dilihat pada tabel 4.6. Pengukuran ketebalan ini diukur sebanyak 7 kali pada sampel yang berbeda.

**Tabel 4. 6.** Hasil ketebalan bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol 10,20,30% wt pada 3% wt ZnO dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit

Sampel Ke-	Konsentrasi gliserol pada waktu pemanasan 40 menit dan 3% ZnO		
	30% wt Ketebalan (cm)	20% wt Ketebalan (cm)	10% wt Ketebalan (cm)
1	0,0099	0,0118	0,0091
2	0,0102	0,0100	0,0099
3	0,0086	0,0101	0,0129
4	0,0073	0,0111	0,1160
5	0,0071	0,0112	0,0088
6	0,0074	0,0113	0,0093
7	0,0079	0,0116	0,0083

Untuk menghitung kuat tarik (*tensile strenght*) maka perlu diketahui ketebalan bioplastik sehingga dapat dihitung pula luas permukaan bioplastik. Luas permukaan dicari dengan menganggap tebal yang diukur sebagai lebar sedangkan lebar sebagai panjang sebesar 15 mm. Hasil grafik kuat tarik dari alat RG 3010 material tester dibagi dengan luas permukaan akan menghasilkan kuat tarik. Sementara elongasi dihitung melalui persamaan matematis berikut:

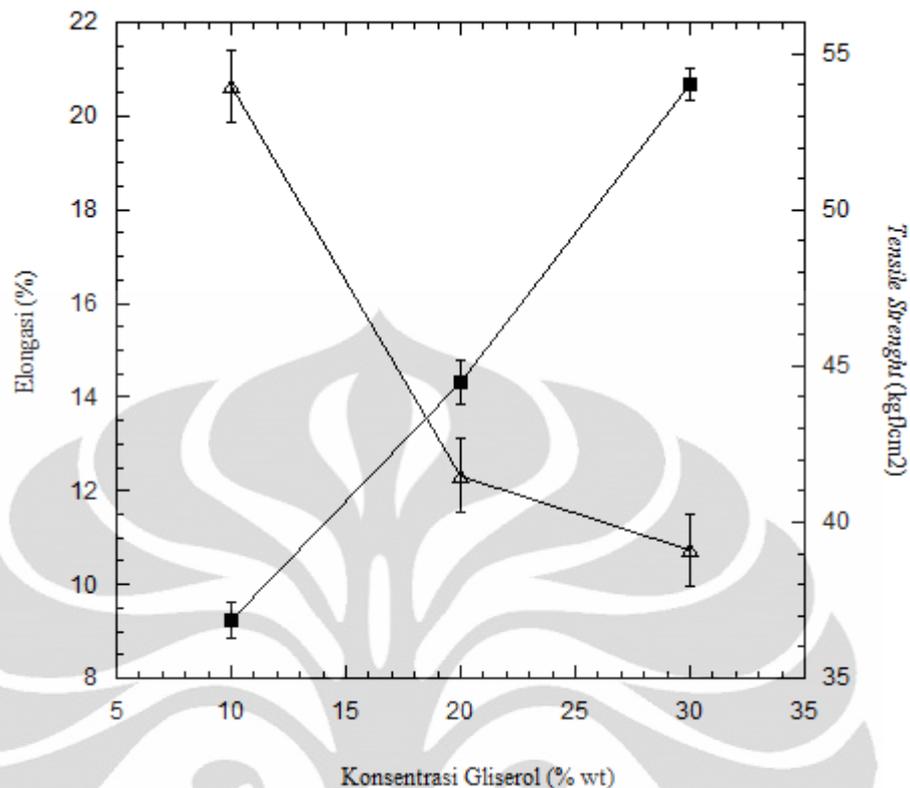
$$\% \text{ elongasi} = \frac{(\text{panjang bioplastik akhir} - \text{panjang bioplastik awal})}{\text{panjang bioplastik akhir}} \times 100\% \quad (4.1)$$

Panjang bioplastik awal yang digunakan dalam perhitungan ini sebesar 100 mm, sedangkan panjang akhir merupakan panjang yang terukur pada alat sampai bioplastik menjadi patah. Untuk mengukur panjang bioplastik ini dalam perhitungannya digunakan penggaris dengan U penggaris sebesar 0,05%. Hasil perhitungan sifat mekanis berupa kuat tarik dan elongasi bioplastik dapat dilihat pada tabel 4.6.

**Tabel 4. 7.** Hasil perhitungan sifat mekanis bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol pada 3% ZnO dan kondisi proses pemanasan 40 menit

Sampel ke-	30% gliserol		20% gliserol		10% gliserol	
	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	Elongasi	<i>Tensile Strenght</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	24,50%	30,872	15,25%	48,529	10,50%	37,853
2	24,50%	29,412	16,50%	26,846	10,50%	52,667
3	18,25%	37,209	14,00%	20,618	8,25%	58,94
4	18,25%	50,459	14,00%	57,471	8,25%	68,862
5	20,50%	46,729	14,00%	30,303	9,50%	65,868
6	20,50%	45,045	14,00%	57,143	9,50%	64,706
7	18,25%	33,898	12,50%	49,600	8,25%	28,736
<b>Rata-rata</b>	<b>20,68%</b>	<b>39,089</b>	<b>14,32%</b>	<b>41,501</b>	<b>9,25%</b>	<b>53,947</b>

Perhitungan sifat mekanis tersebut dilakukan pada tujuh sampel yang berbeda. Rata-rata dari hasil mekanis kuat tarik dan derajat elongasi diplot terhadap variasi konsentrasi gliserol seperti terlihat pada gambar 4.11. Tujuan dari grafik adalah untuk memudahkan dalam menentukan kondisi optimum konsentrasi gliserol dengan melihat nilai derajat elongasi tertinggi yang digunakan untuk melakukan percobaan selanjutnya yaitu variasi konsentrasi ZnO.



**Gambar 4. 11.** Efek penambahan gliserol terhadap *tensile strenght* (Δ) dan elongasi (■) bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan kondisi proses lama pemanasan 40 menit

Pada gambar terlihat efek penambahan fraksi berat gliserol 10,20, dan 30 % wt pada pembuatan bioplastik pati umbi garut dengan pengisi ZnO sebesar 3% wt saat kondisi proses pemanasan selama 40 menit terhadap *tensile strenght* dan elongasi (kemuluran). Pada saat penambahan konsentrasi gliserol 10% wt dapat diketahui bahwa sifat kuat tarik bioplastik 10% wt gliserol paling besar sebesar 53,947 kgf/cm<sup>2</sup> atau 5,395 MPa. Pada saat konsentrasi gliserol 20% wt diketahui bioplastik 20% wt gliserol memiliki sifat kuat tarik sebesar 41,501 kgf/cm<sup>2</sup>, sedangkan bioplastik 30 % wt gliserol dengan penambahan gliserol 30% wt terlihat sifat tariknya adalah 39,089 kgf/cm<sup>2</sup>. Untuk kurva elongasi pada penambahan gliserol 10% diketahui sebesar 9,25%. Sementara pada penambahan gliserol 20% wt diketahui derajat elongasinya adalah 14,32%, sedangkan untuk penambahan gliserol 30% wt derajat elongasinya adalah yang paling tinggi sebesar 20,68%.

Disimpulkan bahwa kurva kuat tarik dan elongasi memiliki tren yang saling berkebalikan terhadap efek dari penambahan gliserol. Semakin tinggi

konsentrasi gliserol sampai 30% maka derajat elongasi akan semakin tinggi, tetapi berkebalikan dengan sifat kuat tarik bioplastik pati umbi garut/ZnO. Tabel 4.8 merupakan perbandingan *tensile strenght* dan elongasi hasil percobaan bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan hasil yang dilakukan oleh Ma(2009) menggunakan pati kacang polong/ ZnO-starch.

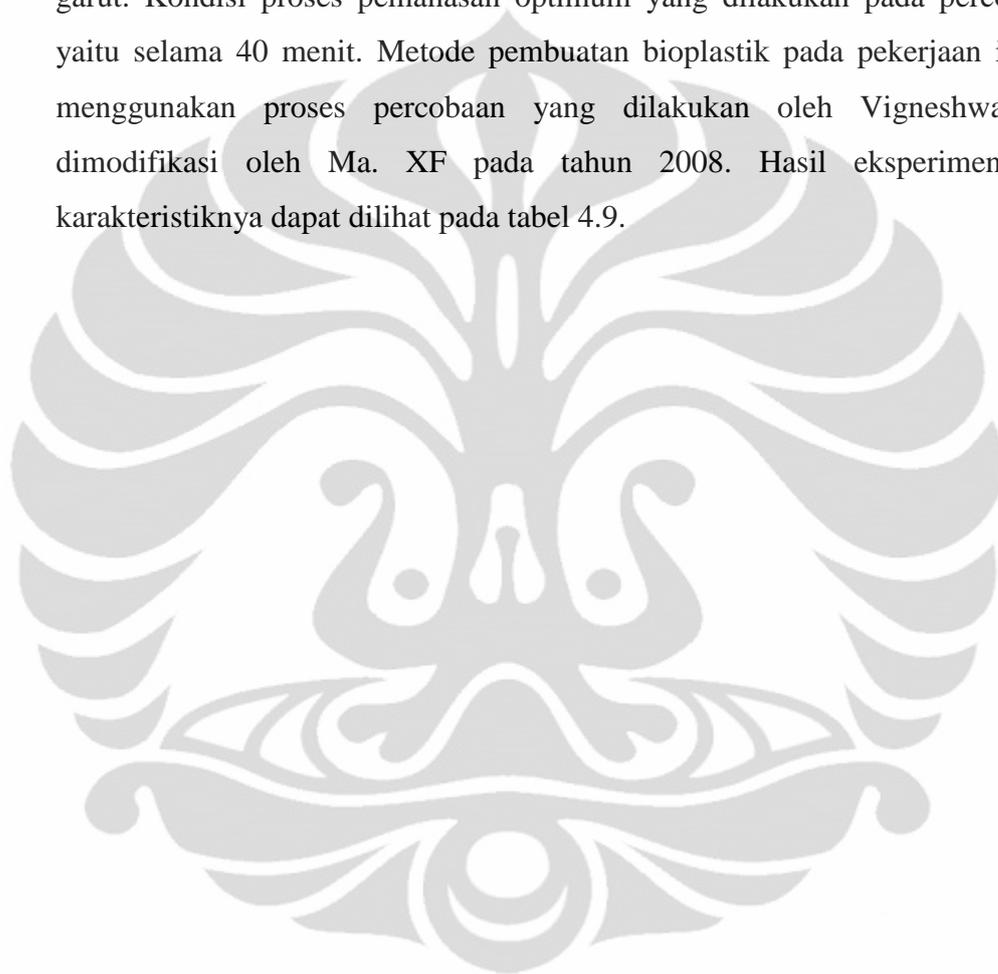
**Tabel 4. 8.** Perbandingan *tensile strenght* dan elongasi bioplastik perlakuan 3% wt ZnO 30% wt gliserol pada lama pemanasan 40 menit dengan hasil penelitian Ma (2009)

Pengujian	Bioplastik	Ma, XF (2009)
<i>Tensile strength</i>	40 kgf/cm <sup>2</sup> (3,922 MPa)	10 MPa
Elongasi	21%	24%

Perbedaan hasil *tensile strenght* dan elongasi seperti pada tabel disebabkan karena bahan baku yang digunakan mengandung kadar amilosa dan amilopektin yang jauh berbeda. Pati pea yang digunakan oleh Ma (2009) mengandung amilosa 35% dan amilopektin 35% sedangkan pada penelitian ini kadar amilosa pati umbi garut adalah 16,2% sedangkan kadar amilopektinnya sebesar 69,8%. Gliserol yang digunakan juga memiliki hubungan yang kuat dengan polimer pati (Millarynen, 2003). Gliserol dengan konsentrasi 10% dengan amilopektin menghasilkan film yang rapuh dan sulit diuji *tensile strenght*. Konsentrasi gliserol di atas 20% dengan amilosa menghasilkan film yang mempunyai kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan bahan baku amilopektin (Millarynen, 2003).

#### **4.2.3 Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi *Filler* pada Konsentrasi *Plasticizer* Optimum**

Pekerjaan selanjutnya adalah pembuatan bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO sebesar 1%, 2%, dan 3% wt pada konsentrasi gliserol optimum yang diperoleh dari percobaan sebelumnya sebesar 30% wt dari berat pati umbi garut. Kondisi proses pemanasan optimum yang dilakukan pada percobaan ini yaitu selama 40 menit. Metode pembuatan bioplastik pada pekerjaan ini masih menggunakan proses percobaan yang dilakukan oleh Vigneshwaran dan dimodifikasi oleh Ma. XF pada tahun 2008. Hasil eksperimen beserta karakteristiknya dapat dilihat pada tabel 4.9.



**Tabel 4. 9.** Karakteristik percobaan bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3 % wt pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit

Variasi Konsentrasi ZnO	Karakteristik	Gambar
1% dari berat pati	Pada konsentrasi ZnO 1%, suhu akhir pemanasan dapat mencapai 90°C, lembaran plastik agak kaku dan fleksibel, warna masih bioplastik masih transparan, bisa dilepas dari cetakan secara utuh, permukaan tidak begitu licin, dan tidak terdapat gumpalan/granular.	
2% dari berat pati	Pada proses pemanasan 40 menit, suhu akhir pemanasan mencapai 95°C, dan ZnO 2% dihasilkan lembaran yang masih cukup kaku, namun tidak terlalu fleksibel. Selain itu warna film semakin tidak transparan karena berwarna putih gelap.	
3% dari berat pati	Pada proses pemanasan 40 menit, suhu akhir pemanasan mencapai 99°C, dan ZnO 3% dihasilkan sangat kuat tapi tidak begitu fleksibel. Tidak terdapat gumpalan, dan tidak terdapat gelembung udara yang terperangkap dalam film. Bioplastik terlihat tidak transparan.	

**Gambar 4. 12.** Bioplastik dengan 1%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan 40 menit

**Gambar 4. 13.** Bioplastik dengan 2%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan 40 menit

**Gambar 4. 14.** Bioplastik dengan 3%ZnO, 30% gliserol, waktu pemanasan 40 menit

Dari hasil pengamatan pada proses dengan konsentrasi gliserol optimum 30% dan konsentrasi ZnO makin meningkat dari 1% sampai 3% dengan lama pemanasan 40 menit. Terlihat bahwa fleksibilitas lembaran plastik semakin menurun sedangkan kekerasan semakin meningkat karena bioplastik terlihat sangat kuat pada konsentrasi ZnO 3%. Ini membuktikan bahwa konsentrasi ZnO sebagai *filler* akan mempengaruhi tingkat kekuatan film. Selain itu semakin besar konsentrasi ZnO semakin tidak transparan bioplastik yang dihasilkan. Hal ini karena ZnO akan memberikan efek putih gelap sesuai dengan warna asli ZnO berupa bubuk putih.

### 4.3 Karakterisasi

Dari hasil *preliminary experiment* dapat diketahui dan diperbaiki beberapa cara pembuatan bioplastik, misalnya kontrol suhu selama pemanasan pada *magnetic stirrer* harus dijaga 90°C, pada saat pencampuran pati umbi garut ke dalam larutan yang dikeluarkan dari ultrasonik harus diturunkan suhunya baru kemudian dicampurkan dan diaduk sampai homogen. Dari percobaan ini dapat diketahui kondisi proses pemanasan optimum yang digunakan pada percobaan selanjutnya. Setelah memperhatikan hal-hal tersebut penelitian dilanjutkan dengan perlakuan yang telah ditentukan dengan melakukan percobaan pembuatan bioplastik dengan variasi gliserol dan variasi ZnO. Sampel-sampel yang telah dibuat pada percobaan tersebut kemudian diuji dan dianalisis menggunakan UV-Vis, FT-IR, XRD, SEM, dan WVTR.

#### 4.3.1 Analisis Sifat Mekanis

Setelah mendapatkan konsentrasi gliserol optimum dari percobaan sebelumnya, pembuatan bioplastik pada tahap sebelumnya adalah bioplastik dengan variasi ZnO pada gliserol optimum tersebut. Sampel bioplastik yang telah dibuat dikarakterisasi sifat mekanisnya. Tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik sifat mekanis bioplastik pati umbi garut/ZnO dan untuk menentukan karakteristik konsentrasi dari variasi ZnO 1, 2, 3 wt% terhadap sifat mekanisnya. Pengujian sifat mekanis dilakukan di BBKK (Balai Besar Kimia dan Kemasan) yang mengacu pada ASTM D822-02 dengan menggunakan alat RG 3010 material

tester yang memiliki kekuatan 50 kgf/cm<sup>2</sup>. Spesimen yang dibutuhkan untuk menguji sifat mekanis ini berukuran 100x15 mm. Selain itu dilakukan pengujian untuk mengetahui ketebalan film yang dibuat dengan menggunakan alat micro-cal 37031. Ketebalan film yang diuji ini diperlukan untuk menghitung sifat kuat tarik sampel. Berikut merupakan hasil sifat mekanis dari pengolahan data sampel bioplastik dengan variasi 1%, 2%, dan 3% wt ZnO pada 30% wt gliserol dan waktu pemanasan dan pengadukan 40 menit. Ketebalan film bioplastik yang diukur menggunakan alat micro-cal dapat dilihat pada tabel 4.10. Pengukuran ketebalan ini diukur sebanyak 7 kali pada sampel yang berbeda.

**Tabel 4. 10.** Hasil ketebalan bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3 % wt pada 30% wt gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit

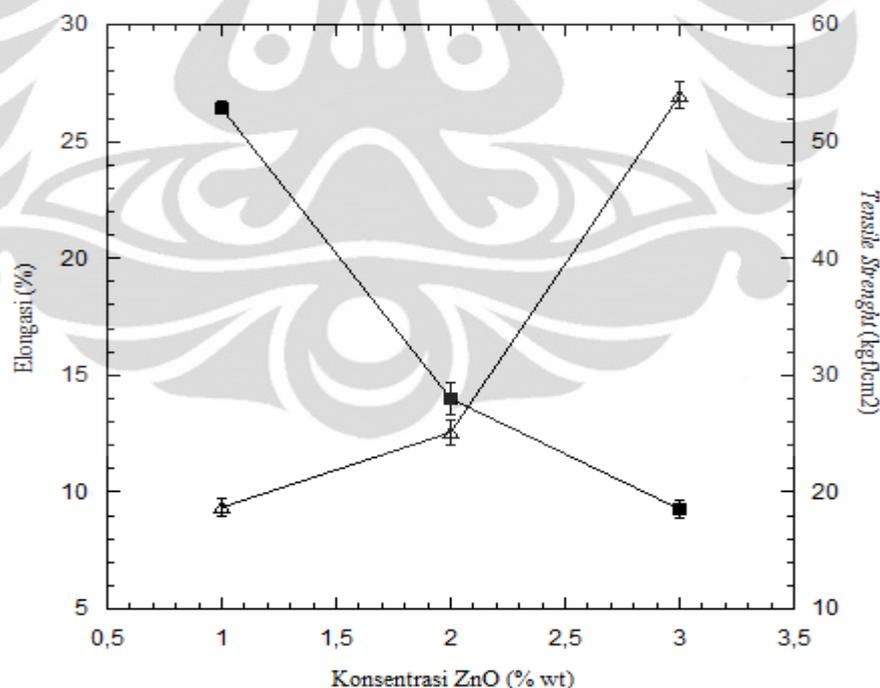
Sampel Ke-	Konsentrasi ZnO pada waktu pemanasan 40 menit dan 30% gliserol		
	1% wt Ketebalan (cm)	2% wt Ketebalan (cm)	3% wt Ketebalan (cm)
1	0,0092	0,0126	0,0099
2	0,0132	0,0115	0,0102
3	0,0112	0,1378	0,0086
4	0,0103	0,0134	0,0073
5	0,0094	0,0158	0,0071
6	0,0084	0,0158	0,0074
7	0,0114	0,0144	0,0079

Hasil perhitungan sifat mekanis berupa kuat tarik dan elongasi bioplastik dapat dilihat pada tabel 4.11. Perhitungan kuat tarik dan elongasi seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya di bagian karakterisasi variasi konsentrasi gliserol.

**Tabel 4. 11.** Hasil perhitungan sifat mekanis bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3% wt pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit

Sampel ke-	1% wt ZnO		2% wt ZnO		3% wt ZnO	
	Elongasi	<i>Tensile Strength</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	Elongasi	<i>Tensile Strength</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	Elongasi	<i>Tensile Strength</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	30%	15,907	15%	21,131	10,50%	37,853
2	15%	16,137	15%	29,565	10,50%	52,667
3	33%	20,632	15%	25,157	8,25%	58,94
4	24%	19,268	14%	23,952	8,25%	68,862
5	30%	20,725	14%	25,926	9,50%	65,868
6	20%	18,957	10%	26,455	9,50%	64,706
7	33%	19,298	15%	23,441	8,25%	28,736
<b>Rata-Rata</b>	<b>26,43%</b>	<b>18,704</b>	<b>14,00%</b>	<b>25,090</b>	<b>9,25%</b>	<b>53,947</b>

Perhitungan sifat mekanis tersebut dilakukan pada tujuh sampel yang berbeda. Rata-rata dari hasil mekanis kuat tarik dan derajat elongasi diplot terhadap variasi konsentrasi ZnO seperti terlihat pada gambar 4.15.



**Gambar 4. 15.** Efek penambahan ZnO terhadap *tensile strenght* (Δ) dan elongasi (■) bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan kondisi proses pemanasan 40 menit

Dari gambar 4.15 dapat dilihat bahwa konsentrasi *filler* (ZnO) sangat mempengaruhi sifat mekanik dari bioplastik yang dihasilkan. Kekuatan tarik (*tensile strenght*) menunjukkan kecenderungan yang semakin meningkat seiring penambahan ZnO. Dengan kadar ZnO 1 wt% kekuatan tariknya mencapai 18,704 kgf/cm<sup>2</sup>, kadar ZnO 2 wt% kuat tariknya yaitu 25,090 kgf/cm<sup>2</sup>, dan dengan kadar ZnO 3 wt% kuat tariknya mencapai 53,947 kgf/cm<sup>2</sup>. Peningkatan kuat tarik dari kadar ZnO 2 wt% dari bioplastik pati umbi garut/ZnO ini sekitar 2 kali dari dengan kadar ZnO 1 wt%, begitu juga dengan kadar 3 wt% peningkatannya menunjukkan kecenderungan menjadi 3 kalinya dari kadar ZnO 1 wt%.

Sementara jika dilihat profil derajat elongasi bioplastik pati umbi garut/ZnO grafiknya menunjukkan kecenderungan yang terbalik dengan uji kuat tariknya. Elongasi semakin menurun seiring dengan peningkatan kadar ZnO. Dengan kadar ZnO 1 wt% derajat elongasinya sebesar 26,43%, 14% untuk kadar ZnO 2%, dan 9,25 wt% untuk kadar ZnO 3 wt%. Jika kita melihat pada gambar 4.10 yang menjelaskan tentang variasi gliserol terhadap sifat mekanis bioplastik, menunjukkan kecenderungan yang berbeda. Peningkatan kuat tarik justru menurun seiring dengan penurunan konsentrasi gliserol, sementara derajat kemuluran naik seiring dengan naiknya penambahan konsentrasi gliserol. Tabel 4.12 merupakan tabel perbandingan variasi konsentrasi gliserol dan konsentrasi ZnO terhadap sifat mekanis dari bioplastik pati umbi garut/ ZnO.

**Tabel 4. 12.** Perbandingan hasil sifat mekanis terhadap variasi konsentrasi gliserol dan konsentrasi ZnO dari bioplastik pati umbi garut/ ZnO dengan lama pemanasan 40 menit

	Gliserol (wt%)			ZnO (wt%)		
	10	20	30	1	2	3
<i>Tensile Strenght</i> (kgf/cm <sup>2</sup> )	53,947	41,501	39,089	18,704	32,090	53,947
Elongasi (%)	9,25	14,32	20,68	25,14	14,71	9,25

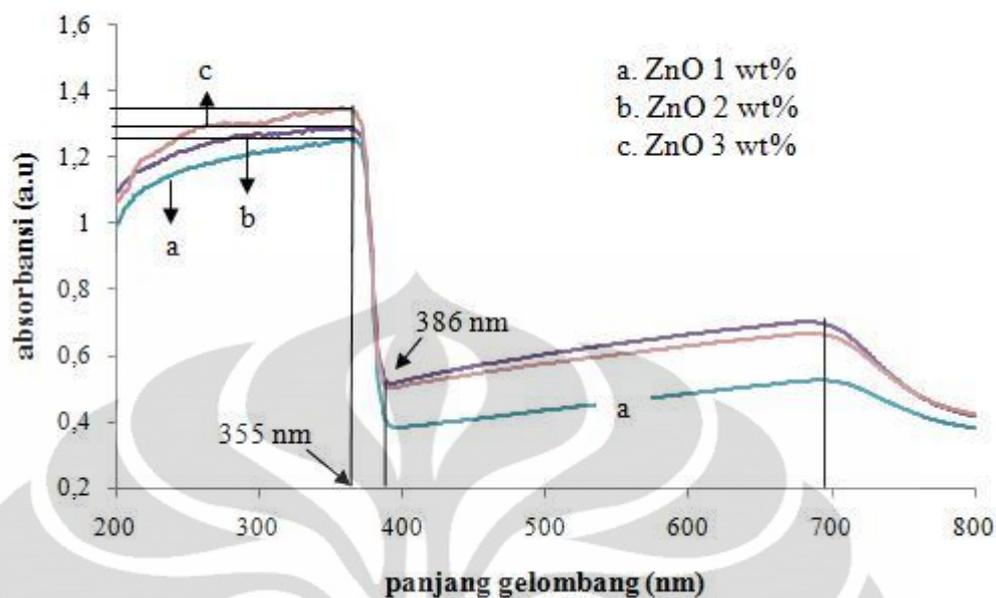
Dengan melihat kondisi elongasi pada tabel 4.12 dapat disimpulkan bahwa gliserol merupakan agen yang dapat memperbaiki dan mempercepat mekanisme plastisasi dengan matriks polimer sehingga hasil derajat elongasi menunjukkan kenaikan seiring kenaikan gliserol. Sementara bahan pengisi/ ZnO justru bertindak sebagai agen yang dapat menurunkan mekanisme plastisasi dari matriks

pati umbi garut. Akan tetapi pengisi ZnO merupakan agen yang dapat memperkuat kuat tarik dari bioplastik yang dihasilkan. M. (2006) menyatakan bahwa partikel *filler* selama proses interkalasi akan masuk dan berikatan dengan interlayer matriks polimer. Gugus-gugus pada ZnO akan menangkap  $e^-$  dari gugus hidroksil (OH) pada polimer pati sehingga gugus tersebut dapat saling berikatan. Menurut Okamoto semakin kecil ukuran partikel bahan pengisi maka semakin merata persebarannya di dalam matriks polimer. Proses masuk dan berikatannya ZnO ini akan menyokong kekuatan polimer pati sehingga menyebabkan bioplastik semakin kaku. Akan tetapi proses ini justru akan semakin membuat buruknya proses plastisasi dari matriks polimer dan juga menyebabkan kerusakan dari kontinuitas matriks polimer pati umbi garut. ZnO sebagai agen yang dapat mempengaruhi plastisasi akan dibuktikan dalam hasil dan pembahasan terhadap karakterisasi sampel bioplastik (Uv-Vis, FT-IR, WVTR, XRD, SEM, dan uji biodegradabilitas).

#### 4.3.2 Analisis UV-Vis (*Ultra Violet- Visible*)

UV-Vis atau disebut dengan spektrofotometri ultraviolet merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis bahan secara kualitatif maupun kuantitatif berdasarkan transmitansi atau absorban suatu bahan terhadap cahaya berupa ultraviolet pada panjang gelombang yang memiliki energi yang relatif tinggi. Oleh karena itu dapat mengeksitasi elektron pada sebuah molekul. Panjang gelombang dimana terjadi absorpsi yang paling besar tergantung seberapa kuat molekul tersebut mengikat elektronnya. Semakin kuat ikatannya maka semakin pendek panjang gelombangnya.

UV-Vis spektrum dari film pati umbi garut/ZnO diukur pada panjang gelombang mulai dari 200 sampai 800 nm menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis model UV-2450, Shimadzu. Gambar 4.16 menunjukkan absorbansi UV-Vis dari bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan kadar ZnO 1, 2, dan 3 %. Pengaruh penggunaan bahan pengisi ZnO memperlihatkan adanya perbedaan spektrum yang dihasilkan.



**Gambar 4. 16.** Absorbansi UV-Vis dari bioplastik pati umbi garut-ZnO dengan kadar ZnO 1%,2%,3% pada 30% wt gleserol dan lama pemanasan 40 menit

Dari gambar 4.16 tersebut dapat dilihat bahwa suatu puncak absorbansi tertinggi muncul pada panjang gelombang 355 nm kemudian menurun dengan tajam dari semua perlakuan bioplastik pati umbi garut/ ZnO. Sementara Vigneshwaran (2006) meneliti partikel ZnO memiliki puncak absorbansi tertinggi pada panjang gelombang 380 nm. Akan tetapi dalam bioplastik yang dihasilkan ini ada puncak absorbansi rendah pada panjang gelombang 700 nm. Karakteristik ini mungkin menunjukkan adanya partikel lain yang masuk ke dalam bioplastik yang dihasilkan dengan intensitas yang sangat kecil.

Puncak gelombang yang muncul pada panjang gelombang 355 nm dari bioplastik pati umbi garut/ZnO juga memiliki kecenderungan yang sama dengan perlakuan penelitian Ma tahun 2008, di mana pada penelitian itu panjang gelombang dari bioplastik dengan bahan pengisi partikel ZnO memiliki absorbansi tertinggi pada panjang gelombang 370 nm. Sementara pembelokan sinar dari bioplastik berada pada panjang gelombang 386 nm. Pembelokan sinar terjadi pada panjang gelombang 360 nm pada UV-Vis hasil penelitian Ma (2008).

UV-Vis dapat juga digunakan untuk menghitung celah pita energi. Untuk bahan semikonduktor yang mempunyai celah pita energi langsung (*direct band*

gap) hubungan antara koefisien absorpsi dengan frekuensi cahaya dapat diketahui dengan persamaan Hukum Plank (Sing, K Pramod, 2009).

$$E = h \frac{C}{\lambda} \quad (4.2)$$

dimana:

E	= band gap energi	(J)
h	= konstantan planks, $6,626 \times 10^{-34}$	(J.s)
C	= kecepatan cahaya, $3 \times 10^8$	(m.s <sup>-2</sup> )
$\lambda$	= panjang gelombang, $386 \text{ nm} = 386 \times 10^{-9}$	(m)
1 eV	= $1,6 \times 10^{-19}$	(J)

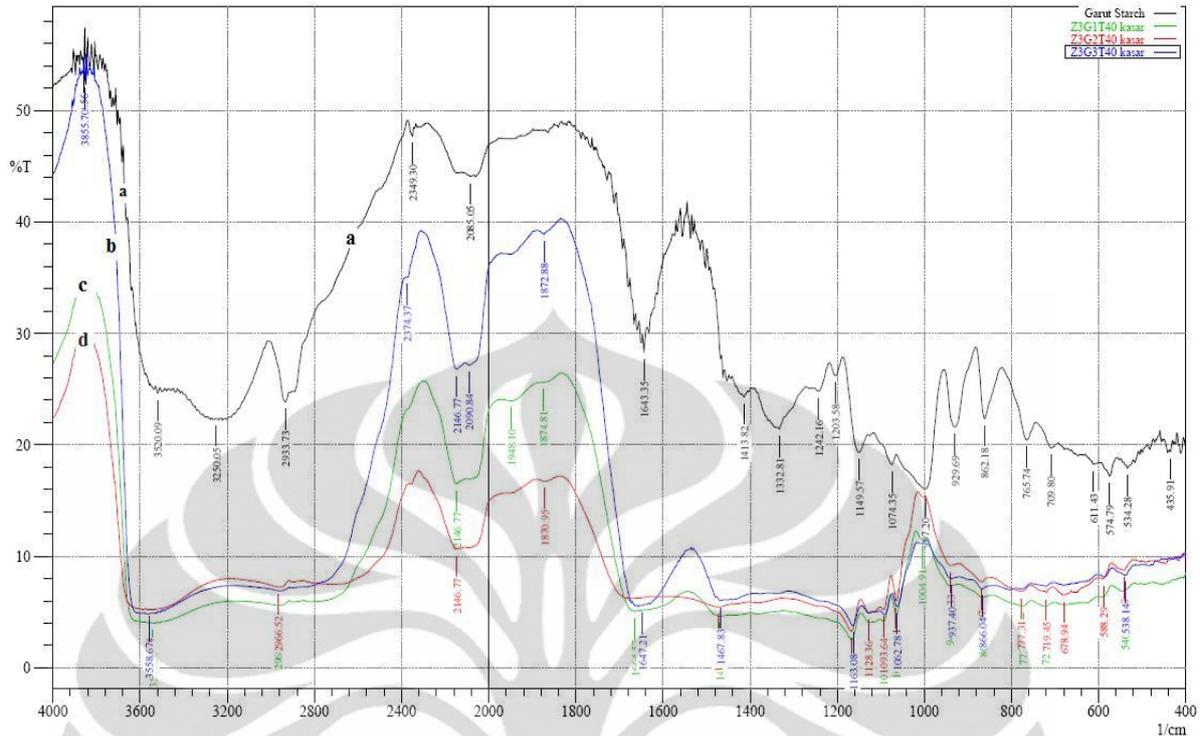
Panjang gelombang yang dimasukkan ke dalam persamaan tersebut adalah panjang gelombang saat pembelokan sinar pada bioplastik pati umbi garut/ZnO yang terbaca pada grafik dengan panjang gelombang 386 nm. Dengan menggunakan persamaan 4.2 maka celah pita energi dapat dihitung yaitu  $5,150 \times 10^{-17}$  J atau 3,219 eV. Seperti yang diketahui ZnO merupakan material yang memiliki celah pita energi sebesar 3,2 eV. Perbedaan ukuran partikel memberikan peranan yang dominan dalam mengontrol warna atau *band gap* dari film karena menghasilkan *quantum size effect*. *Band gap* tidak hanya bergantung pada struktur, tetapi juga ukuran dan *controlling factor*, ketika partikel dapat mencapai ukuran nano, efek kuantum akan berperan dan celah pita energi akan secara efektif bertambah (Jui Hung Chen, 2008).

Dapat disimpulkan bahwa absorpsi dan intensitas puncak akan meningkat dengan penambahan jumlah ZnO. Pada panjang gelombang 200-355 nm bioplastik dengan kadar ZnO 1% memiliki absorpsi paling rendah bila dibandingkan dengan bioplastik dengan kadar ZnO 2%. Sementara bioplastik dengan kadar ZnO 3% memiliki tingkat absorpsi yang paling tinggi. Nilai puncak absorpsi pada ZnO 3% adalah 1,341, 1,325 untuk ZnO 2%, dan 1,286 untuk ZnO 1%. Ini menunjukkan bahwa bioplastik dengan kadar ZnO 3% mampu untuk mengabsorb cahaya ultraviolet dan hanya 4,56 % cahaya ultraviolet bisa diteruskan. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa suatu bioplastik dengan kadar ZnO yang lebih banyak berpotensi dapat menahan sinar UV (Ma, 2009).

### 4.3.3 Analisis FT-IR (*Fourier-transform infrared spectroscopy*)

*Fourier-transform infrared spectroscopy* (FTIR) spektroskopi merupakan alat untuk menganalisis suatu material secara kualitatif dan kuantitatif dengan memanfaatkan spektra infra merah. Teknik yang dilakukan yaitu dengan mengumpulkan spektra infra merah sebagai pengganti pencatatan jumlah energi yang diserap dimana frekuensi cahaya infra merah tersebut berupa gelombang monokromatis. Teknik karakteristik secara spektroskopi infra merah merupakan teknik yang sesuai untuk identifikasi secara kualitatif material melalui analisis gugus fungsi dengan melihat puncak serapan yang muncul dalam spektrum yang selanjutnya puncak serapan tersebut dianalisis dan dibandingkan dengan tabel korelasi yang ada.

Spektrum FTIR dari film pati umbi garut/ZnO dianalisis dengan menggunakan alat IR Prestige-21 Shimadzu. Analisis FTIR dari bioplastik digunakan untuk mengidentifikasi interaksi gliserol sebagai agen pemlastis terhadap pati umbi garut sebagai matriksnya. Gambar 4.17 menunjukkan spektrum IR dari pati umbi garut dan bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan variasi konsentrasi gliserol 10, 20, dan 30%. Pada gambar tersebut sumbu x menunjukkan panjang gelombang serapan ( $\text{cm}^{-1}$ ) sementara sumbu y menyatakan % transmisi.



**Gambar 4. 17.** Spektrum FTIR

a. pati umbi garut

- b. bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan 3% ZnO, 30% gliserol, dan waktu pemanasan 40 menit  
 c. bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan 3% ZnO, 10% gliserol, dan waktu pemanasan 40 menit  
 d. bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan 3% ZnO, 20% gliserol, dan waktu pemanasan 40 menit

Seperti yang terlihat pada gambar 4.17 a spektrum di daerah area *fingerprint* pati umbi garut, ada tiga karakteristik pita serapan dari gugus spektrum regangan -C-O-. Pita serapan pada panjang gelombang  $1150\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus spektrum regangan C-O yang berasal dari ikatan grup C-H-O dan dua pita serapan pada panjang gelombang  $1080\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan gugus spektrum regangan C-O dari ikatan grup C-O-C dalam cincin *anhydroglucose strach* (Wang Ning, 2009). Pita serapan pada  $2930\text{ cm}^{-1}$  merupakan karakteristik dari gugus C-H dengan cincin metana atom hidrogen (Wang Ning, 2009). Dari serapan bilangan gelombang pada gambar 4.15 diperoleh data seperti pada tabel 4.13.

**Tabel 4. 13.** Analisis spektra FT-IR dari pati umbi garut dan bioplastik 10,20,30% wt gliserol pada 3% wt ZnO dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit

Bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Gugus Fungsi	Pati umbi garut	Bioplastik variasi gliserol (% wt)		
			10%	20%	30%
1150	Regangan C-O dari C-H-O	Ada	ada	ada	Ada
1080	C-O dari C-O-C	Ada	Ada	ada	Ada
2930	Regangan C-H alkana	Ada	Ada	ada	Ada
3210	Ikatan H dari O-H	Ada	-	-	-
3500	Ikatan H dari O-H	-	Ada	ada	Ada
2090-2146,77	-	Ada	Ada	ada	Ada
1467	C-H bending	Ada	Ada	ada	Ada
1647,21	C= C	Ada	Ada	ada	Ada
937,63; 866,04,722	-(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	Ada	-	-	-

Seperti yang terlihat pada gambar 4.17 b spektrum bioplastik dengan 3% ZnO, 30% gliserol, dan waktu pemanasan 40 menit, terlihat puncak serapan dengan % transmisi paling tinggi bila dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Gugus spektrum regangan O-H yang berasal dari gugus hidroksil, terlihat memiliki intensitas yang lemah pada pita serapan dengan panjang gelombang 3210 dan 3500  $\text{cm}^{-1}$ . Bending C-H juga ditunjukkan pada bilangan gelombang 1467  $\text{cm}^{-1}$ . Selain itu terdapat spektrum regangan karbonil C= O yang sangat lemah pada daerah 1674,21  $\text{cm}^{-1}$ . Pada pati umbi garut juga terdapat puncak dari gugus -(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub> dengan serapan yang lemah muncul pada panjang gelombang 937,63, 866,04, dan 722  $\text{cm}^{-1}$ .

Dari ketiga perlakuan terhadap variasi gliserol terlihat memiliki karakteristik area *fingerpint* yang sama. Hanya saja ketiganya memiliki % transmisi yang berbeda. Pada gambar tersebut juga terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi gliserol maka semakin tinggi pula % transmisinya. Interaksi kimia dicerminkan dengan perubahan karakteristik spektrum puncak serapan setelah bercampurnya dua atau lebih zat antara matriks dengan bahan-bahan kimia yang ditambahkan seperti ZnO dan gliserol. Penambahan gliserol menyebabkan bergesernya gugus fungsional OH dengan panjang gelombang 3210 menjadi 3500 pada bioplastik. Ini mengindikasikan bahwa terjadi proses pembentukan ikatan

baru antara matriks pati umbi garut dan gliserol sehingga memperlemah ikatan OH pada matriks pati umbi garut.

#### 4.3.4 Analisis WVTR (*Water Vapour Transmission Rate*)

Pengujian *water vapour transmission rate* dari film bioplastik pati umbi garut/ZnO bertujuan untuk mengetahui laju transmisi masuknya uap air ke dalam bioplastik. Pengujian ini mengacu pada ASTM E-96 M-05 dengan menggunakan metode *dessicant* dari material yang diuji. Langkah-langkah pengujian WVTR adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen uji berbentuk lingkaran dengan luas permukaan 50 cm<sup>2</sup> sebanyak empat buah untuk tiap-tiap variasi dari film sampel.
2. Meletakkan spesimen di atas wadah berbentuk lingkaran yang berisi material *dessicant* CaCl<sub>2</sub> dengan cara menutup wadah dengan spesimen hingga tertutup rapat dan dipastikan tidak ada udara dari luar yang masuk ke dalam wadah.
3. Menimbang spesimen dan wadah berisi *dessicant* CaCl<sub>2</sub> tersebut (m<sub>1</sub>)
4. Memasukkan spesimen uji ke dalam desikator berisi uap air dan garam.
5. Mengeluarkan spesimen dari dalam desikator setiap satu jam sekali selama empat jam dan kemudian menimbang beratnya (m<sub>2</sub>).

Perhitungan WVTR dari spesimen dapat diperoleh melalui persamaan matematis 4.3.

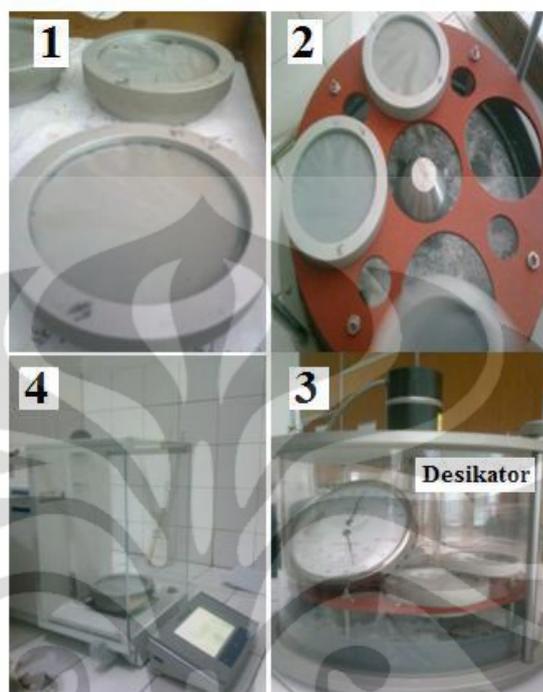
$$WVTR = \left( \frac{G}{t} \right) A \quad (4.3)$$

dimana:

G	= perubahan berat (m <sub>2</sub> -m <sub>1</sub> )	(gr)
t	= waktu terjadinya G	(h)
A	= area uji (luas spesimen)	(m <sup>2</sup> )
(G/t)	= slope garis lurus	(gr/h)

Selama proses pengujian WVTR terhadap sampel bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan variasi konsentrasi gliserol 10, 20, dan 30 wt%, sampel diukur kondisi suhu dan RH-nya di dalam desikator. Suhu di dalam desikator yang dicatat selama

proses pengujian adalah 26-27°C dengan RH sebesar 65-66%. Gambar 4.18 merupakan ilustrasi perlakuan empat sampel selama pengujian WVTR.

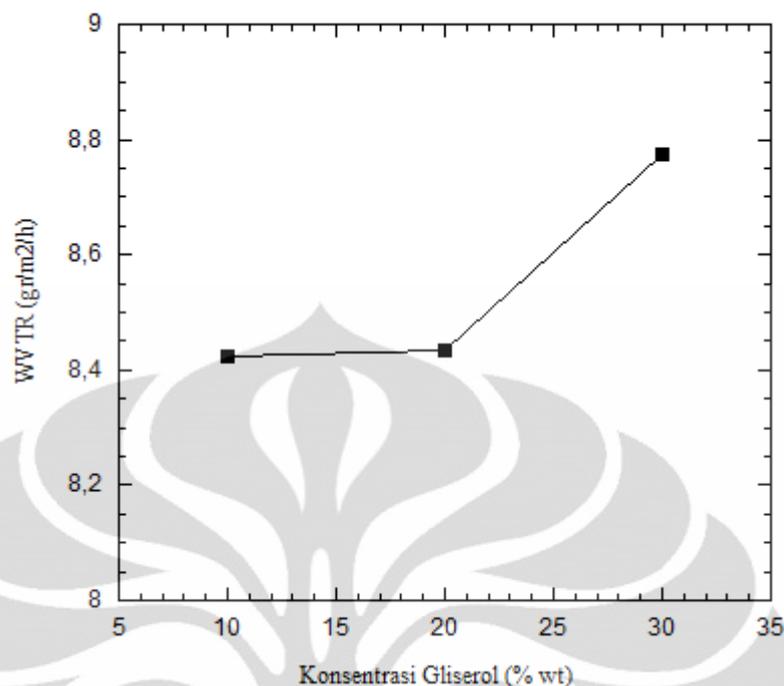


**Gambar 4. 18.** Ilustrasi prosedur pengujian WVTR yang mengacu pada ASTM E-96 M-05

Pada gambar 4.18 bagian 4 merupakan langkah penimbangan dari berat sampel bioplastik di dalam wadah yang berisi  $\text{CaCl}_2$ . Hasil penimbangan keempat sampel untuk tiap-tiap variasi setiap satu jam kemudian diolah datanya menggunakan persamaan 4.3. Tabel 4.14 merupakan hasil WVTR untuk tiap variasi konsentrasi gliserol.

**Tabel 4. 14.** Hasil WVTR bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol 10,20,30% wt gliserol pada 3% wt ZnO dan waktu pemanasan 40 menit

Sampel	WVTR ( $\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ )		
	10% wt	20% wt	30% wt
I	8,4793	7,6632	8,0812
II	9,1561	8,6186	9,3949
III	7,6234	8,3798	9,4546
IV	8,4395	9,0764	8,1608
<b>Rata-rata</b>	<b>8,4246</b>	<b>8,4345</b>	<b>8,7729</b>

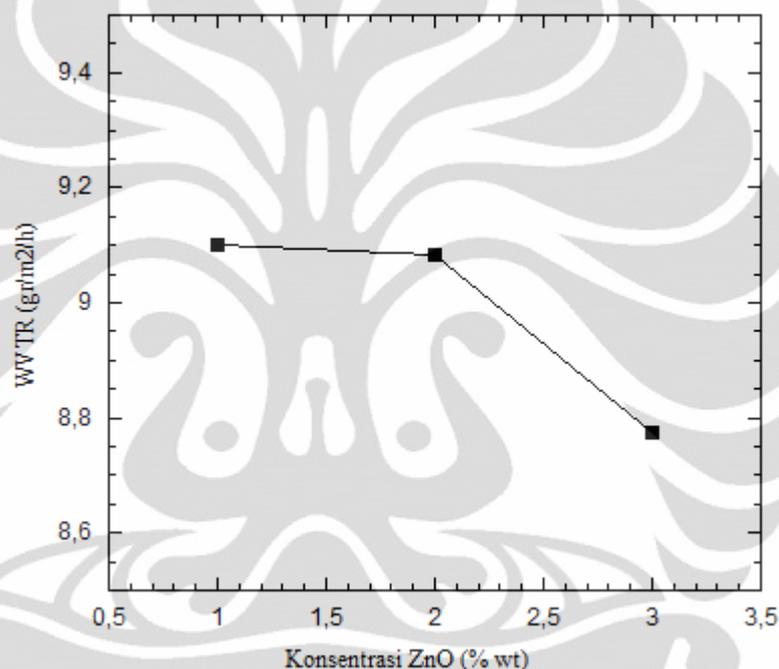


**Gambar 4. 19.** Efek penambahan gliserol terhadap hasil WVTR pada bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol 10,20,30%wt pada 3%wt ZnO dan waktu pemanasan 40 menit

Gambar 4.19 menunjukkan hasil pengujian WVTR untuk bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa konsentrasi gliserol akan mempengaruhi laju transmisi uap air dalam bioplastik. dengan konsentrasi gliserol 10% laju WVTR nya sebesar  $8,7729 \text{ gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ , konsentrasi gliserol 20% sebesar  $8,4345 \text{ gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ , kemudian secara signifikan WVTR untuk konsentrasi gliserol 30% meningkat menjadi  $8,7729 \text{ gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ . Peningkatan ini dikarenakan bahwa gliserol merupakan senyawa yang hidrofilik dan juga bersifat kompatibel dengan matriks pati (M. Krotchta, 2002). Karakteristik ini yang mempengaruhi *barrier propertiesnya* dimana bioplastik dengan konsentrasi gliserol semakin banyak akan secara mudah mengabsorb senyawa air di dalam udara. Sementara hasil WVTR dari bioplastik dengan variasi ZnO dapat dilihat pada tabel 4.15.

**Tabel 4. 15.** Hasil WVTR bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3% wt pada 30% wt gliserol dan waktu pemanasan 40 menit

Sampel	WVTR ( $\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ )		
	1% wt	2% wt	3% wt
I	8,3400	7,8225	8,0812
II	9,2556	6,9068	9,3949
III	9,3352	7,0064	9,4546
IV	9,4745	5,5135	8,1608
<b>Rata-rata</b>	<b>9,1013</b>	<b>9,0831</b>	<b>8,7729</b>



**Gambar 4. 20.** Efek penambahan ZnO terhadap hasil WVTR pada bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3% wt pada 30% wt gliserol dan waktu pemanasan 40 menit

Hasil WVTR dari percobaan pembuatan bioplastik dengan variasi ZnO dapat ditunjukkan pada gambar 4.20. Dari gambar tersebut dapat dibuktikan bahwa konsentrasi ZnO juga sangat mempengaruhi laju transmisi uap air melalui bioplastik. WVTR Bioplastik pati umbi garut/ ZnO menurun saat konsentrasi ZnO meningkat. Hasil WVTR dari film yang tertinggi memiliki nilai sebesar 9,1013. Saat konsentrasi ZnO meningkat, nilai WVTR memiliki kecenderungan mengalami penurunan yang kecil dari konsentrasi ZnO 1% ke 2% (dari 9,1013 menjadi 9,0831  $\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ ), akan tetapi menurun secara signifikan saat konsentrasi ZnO ditambah menjadi 3% menjadi 8,7729  $\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ . Hal ini karena resistensi

ZnO terhadap air lebih baik daripada matriks pati, penambahan ZnO mungkin mengawali perubahan pola molekul air dengan menahannya ketika molekul tersebut ingin masuk ke dalam film (Ma, 2008). Saat konsentrasi ZnO 3%, bahan pengisi ini berkumpul secara berlebihan, sehingga secara efektif mempengaruhi penurunan WVTR secara tajam. Pembahasan ini akan dibuktikan dengan karakterisasi SEM.

#### 4.3.5 Analisis XRD (*X-Ray Diffraction*)

*X-ray diffractometer* merupakan suatu alat yang digunakan untuk menganalisis bentuk kristal suatu material. Perubahan dalam intensitas yang terdifraksi diukur, direkam, dan diplot terhadap sudut difraksi ( $2\theta$ ). Analisis menggunakan XRD memungkinkan untuk menentukan struktur kristal, analisis fase kuantitatif dan kualitatif, ukuran kristal, maupun perhitungan kisi-kisi dari material tersebut.

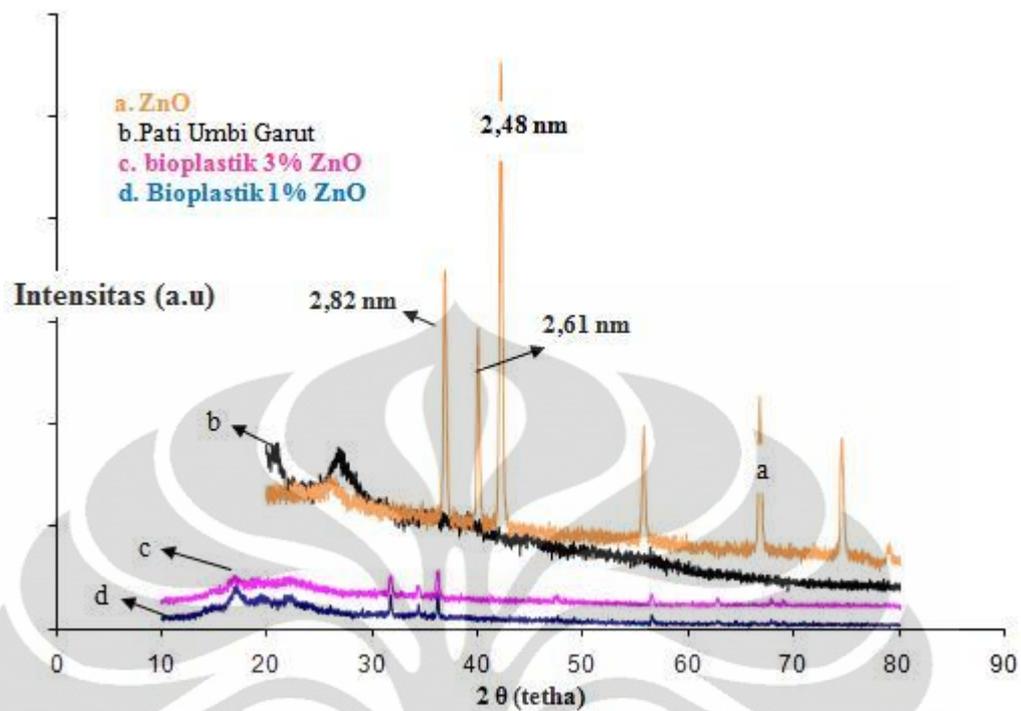
Pola difraksi *X-Ray* dari matriks pati umbi garut dan pengisi ZnO dianalisis menggunakan *X-Ray diffractometer* tipe XD-610 Shimadzu dengan target radiasi Co ( $\lambda = 0,178897$  nm) yang dioperasikan pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA. Pola difraksi diukur diantara  $2\theta = 20^\circ - 100^\circ$  dengan *scanning rate*  $0,02^\circ$ . Sementara bioplastik pati umbi garut/ ZnO dianalisis menggunakan *X-Ray diffractometer* tipe XD-610 Shimadzu dengan target radiasi Cu ( $\lambda = 0,154056$  nm) yang dioperasikan pada tegangan 40 kV dan arus 20 mA. Pola difraksi diukur diantara  $2\theta = 10^\circ - 80^\circ$  dengan *scanning rate*  $0,02^\circ$ . Pengukuran *d-spacing* dari lapisan silikat dihitung menggunakan persamaan Bragg seperti persamaan 4.4.

$$\lambda = 2d \sin \theta \quad (4.4)$$

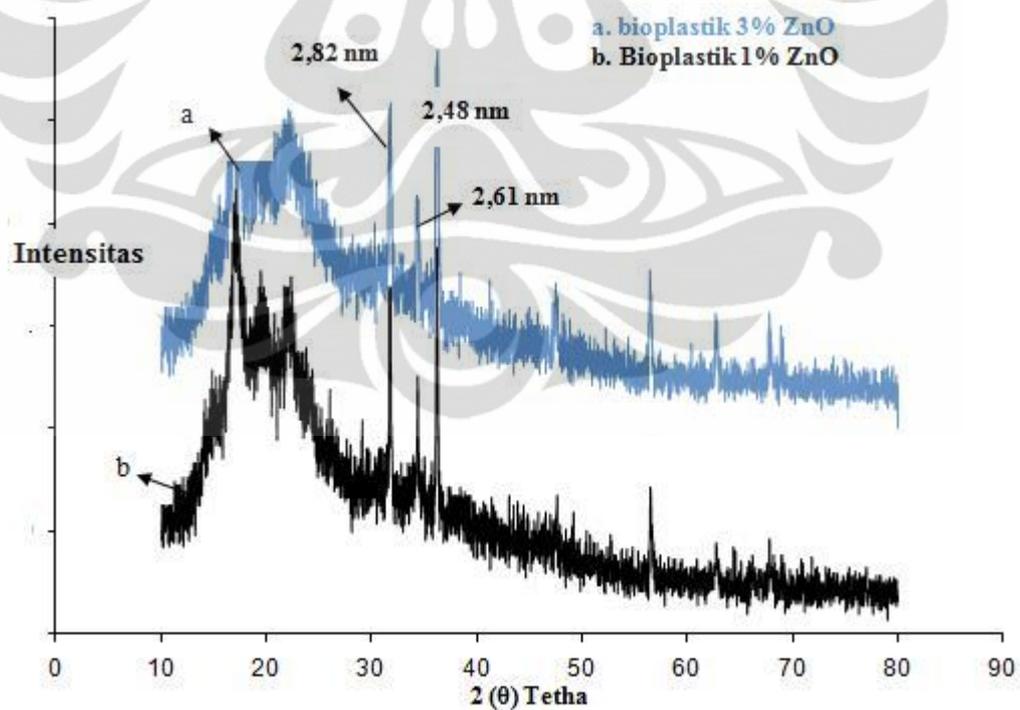
dimana:

$\lambda$	= panjang gelombang	(nm)
$\theta$	= posisi difraksi	( $^\circ$ )

Matriks, bahan pengisi (ZnO), dan bioplastik dengan konsentrasi ZnO 1% dan 3% dianalisis menggunakan XRD dan hasilnya seperti pada gambar 4.21 dan gambar 4.22.



**Gambar 4. 21.** Pola XRD dari *filler* ZnO, matriks pati umbi garut, dan bioplastik dengan konsentrasi ZnO 1 dan 3 % wt pada 30% wt gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit



**Gambar 4. 22.** Pola XRD dari bioplastik dengan konsentrasi ZnO 1 dan 3 % wt pada 30% wt gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit

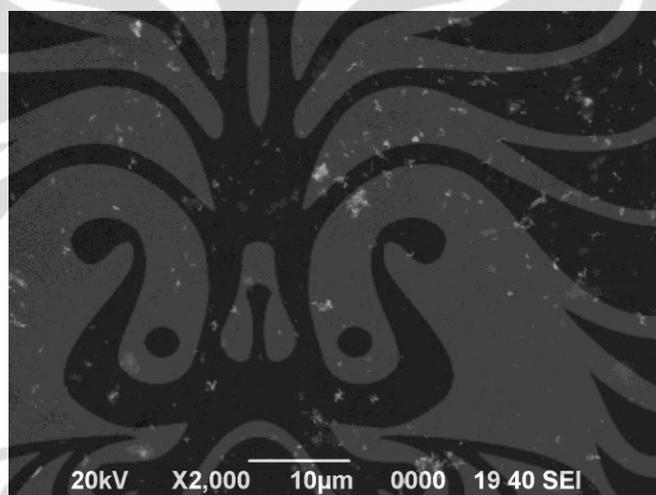
Seperti yang terlihat pada gambar 4.20, pola XRD ZnO memperlihatkan 3 puncak yang tajam (100) saat  $2\theta = 36,925^\circ$  dengan *d-spacing* sebesar 2,82 nm, sementara untuk puncak kedua (002) saat  $2\theta = 40,064^\circ$  dengan *d-spacing* sebesar 2,61 nm, dan puncak ketiga (101) saat  $2\theta = 42,234^\circ$  dengan *d-spacing* sebesar 2,48 nm diantara lapisan ZnO tunggal. Akan tetapi pada gambar 4.21, setelah ZnO dicampur dengan gliserol menggunakan ultrasonik, ketiga puncak tersebut mengalami perubahan pergeseran sudut  $2\theta$  dan ukuran puncak yang semakin kecil. Pergeseran sudut  $2\theta$  dari pola XRD tunggal ZnO dengan pola XRD bioplastik ini disebabkan oleh perbedaan penggunaan target radiasi dimana ZnO dianalisis menggunakan radiasi logam Co yang panjang gelombangnya lebih tinggi daripada target radiasi Cu yang digunakan untuk menganalisis bioplastik. Sesuai dengan persamaan 4.4 maka sudut  $2\theta$  dari pola XRD ZnO akan menjadi lebih besar.

Wang Ning et al. (2009) memperoleh hasil yang sama dengan penggunaan *filler* MMT dengan pemlastis gliserol menggunakan ultrasonik. Terjadi perluasan pergeseran sudut dan jarak interlayer dari silikat *filler* setelah mengalami percampuran. Menurut Wang Ning, hasil tersebut menjelaskan bahwa secara efektif gliserol yang dapat menginterkalasi dan memperbesar lapisan *filler*. Pada saat yang sama puncak juga mengalami pengecilan. Hal ini mengindikasikan bahwa kecepatan tinggi yang diberikan oleh ultrasonik menggeser dan bisa menghancurkan struktur multilayer dari *filler* terhadap kehadiran gliserol.

#### 4.3.6 Analisis SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Struktur morfologi film dianalisis menggunakan *scanning electron microscopy*. Sampel dipotong dengan ukuran yang kecil dan di letakkan pada karbon tape. Setelah itu sampel tersebut di *coating* menggunakan platina. Tujuannya adalah untuk memberikan sifat konduktor pada sampel. Gambar diambil menggunakan JEOL *scanning electron microscope*, JSM-6390A.

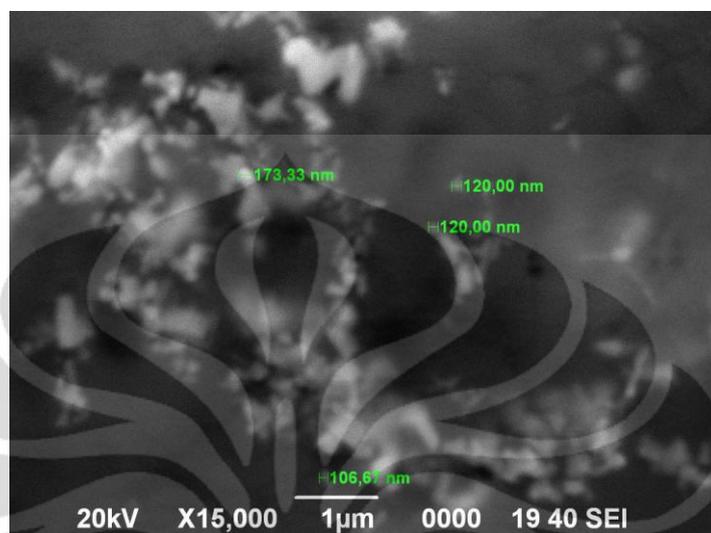
Tujuan analisis menggunakan SEM ini adalah untuk melihat struktur morfologi dari permukaan sampel dari bioplastik dan memeriksa agresi *filler* ZnO di dalam matriks. Gambar 4. 23 merupakan hasil SEM dari bioplastik dengan kadar ZnO 3%.



**Gambar 4. 23.** Hasil SEM dari bioplastik dengan konsentrasi ZnO 3 wt% pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit

Titik-titik putih yang ditunjukkan pada gambar 4.23 menggambarkan distribusi ukuran partikel ZnO. Dalam gambar tersebut juga terdapat gumpalan putih agak besar. Ini mengindikasikan bahwa partikel ZnO mengalami agregasi mengelompok sehingga menyebabkan distribusi ZnO di dalam matriks tidak tersebar secara merata. Tidak adanya tenaga yang cukup kuat seperti proses pemanasan dan pengadukan antara ZnO dengan matriks pati inilah yang mungkin menyebabkan tidak tersebar nya partikel ZnO dengan baik. Jika terdapat tenaga yang kuat seperti pengadukan yang baik selama proses pencampuran pada suhu gelatinisasi dan transisi glass akan dengan mudah menggabungkan partikel-partikel ZnO yang tidak saling larut ke dalam pati sehingga menghasilkan

distribusi ZnO yang tersebar dengan baik. Jika agregasi partikel ZnO tersebut diperbesar maka akan diperoleh ukuran partikel ZnO yang lebih jelas seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.24.



**Gambar 4. 24.** Hasil SEM yang menunjukkan agregasi partikel ZnO pada bioplastik dengan variasi 3%wt ZnO pada 30% wt gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit

Gambar 4.24 merupakan karakteristik pengelompokan partikel ZnO yang diperbesar sampai 15.000 kali. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa ukuran partikel dalam agregat memiliki ukuran 173 nm, 120 nm, maupun 106, 67 nm. Ini mengindikasikan bahwa partikel-partikel yang tersebar dalam matriks tersebut mengalami pengecilan ukuran partikel dari keadaan ZnO sebelum menjadi film. Hal ini juga menunjukkan bahwa perlakuan dari ultrasonik antara ZnO dengan gliserol mungkin menyebabkan berubahnya ukurannya.

Hasil penelitian Ma (2009) menunjukkan hasil SEM yang hampir merata persebaran partikel bahan pengisinya (ZnO). Hal ini dapat dijelaskan karena penelitian ini mampu mencapai suhu yang sangat tinggi selama proses pemanasan dan pengadukan. Suhu ini yang akan memecah ikatan hidrogen pada pati kacang polong sehingga menghasilkan distribusi partikel ZnO yang baik.

#### 4.3.7 Uji Biodegradabilitas

Untuk mengetahui biodegradabilitas dari bioplastik yang dibuat maka dilakukan pengujian *soil burial test* dengan tujuan untuk mengetahui laju degradasi sampel dengan berbagai variasi sehingga akan bisa diramalkan berapa lama sampel tersebut akan terurai oleh mikroorganisme dalam tanah. Pada metode ini hanya dilakukan dengan mengubur sampel di dalam tanah yang terkontrol sifat fisik dan kimiawinya kemudian menghitung fraksi berat residual dari sampel dalam tiap satuan waktu (gram/day).

Pengujian biodegradabilitas ini dilakukan pada sampel bioplastik berukuran 2,5x1,5 cm dengan variasi konsentrasi gliserol (wt%) 10, 20, dan 30% serta variasi konsentrasi ZnO (wt%) 0, 1, 2, dan 3% seperti pada gambar 4.25.



**Gambar 4. 25.** Bioplastik berukuran 2,5x1,5 cm sebagai sampel *soil burial test*

Pengujian dilakukan pada 3 buah sampel untuk masing-masing variasi. Pengurangan massa sampel dilihat tiap lima hari sekali selama 25 hari. Akan tetapi metode ini memiliki banyak kekurangan jika digunakan pada sampel *edible film*. Metode ini tidak dapat membedakan dan mengontrol apakah pengurangan berat sampel lebih disebabkan karena aktivitas mikroorganisme ataukah oleh degradasi absorpsi air yang masuk ke dalam film. Oleh karenanya sangat disarankan untuk mengontrol sifat fisika dan kimia dari tanah yang digunakan seperti kadar air dalam air yang tidak terlalu tinggi.

Sampel ditimbang berat bersihnya sebelum dikubur dalam tanah kemudian tiap lima hari sekali sampel dikeluarkan dari dalam tanah untuk ditimbang

beratnya dalam keadaan kering. Adapun untuk mencari fraksi berat residual digunakan persamaan matematis 3.1.

$$\% \text{ berat residual} = 100\% - \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \quad (3.1)$$

dimana:

$W_1$  = berat sampel pada hari ke- 0 (gr)

$W_2$  = berat sampel pada hari ke- 5, 10, 15, 20, dan 25 (gr)

Tabel 4.16, 4.17, dan 4.18 menunjukkan hasil uji biodegradabilitas 3 buah sampel untuk masing-masing variasi.

**Tabel 4. 16.** Hasil uji biodegradabilitas untuk bioplastik 1 dengan waktu pemanasan 40 menit

Variasi	Sampel 1	Fraksi berat residual (%)						
		0 hari	5 hari	10 hari	15 hari	20 hari	25 hari	
ZnO	0%		100	84,340	81,003	79,320	75,032	64,866
	1%	30%	100	88,303	84,211	82,113	79,660	71,765
	2%	gliserol	100	90,416	88,031	87,541	84,438	79,322
	3%		100	95,891	93,231	89,412	87,038	83,479
Gliserol	10%		100	97,891	94,209	93,772	89,801	84,389
	20%	3%	100	96,853	94,345	92,137	89,110	83,514
	30%	ZnO	100	95,891	93,231	89,412	87,038	83,479

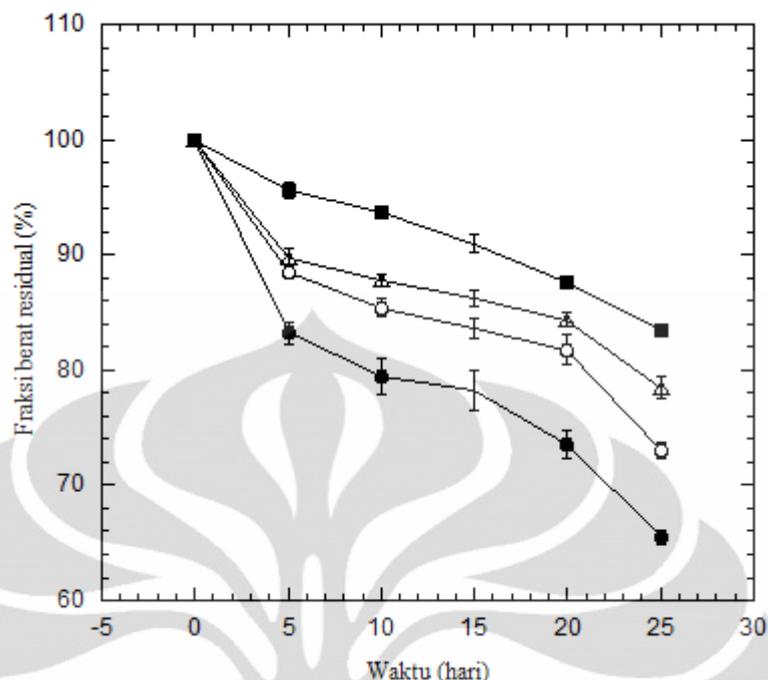
**Tabel 4. 17.** Hasil uji biodegradabilitas untuk bioplastik 2 dengan waktu pemanasan 40 menit

Variasi	Sampel 2	Fraksi berat residual (%)						
		0 hari	5 hari	10 hari	15 hari	20 hari	25 hari	
ZnO	0%	100	83,747	81,107	80,625	74,541	66,780	
	1%	30% gliserol	100	88,656	85,360	85,086	84,130	73,346
	2%		100	88,013	86,657	85,250	85,338	79,451
	3%		100	94,352	93,222	91,437	87,436	83,235
Gliserol	10%	3% ZnO	100	97,003	94,325	93,755	89,549	84,346
	20%		100	95,457	93,240	91,888	90,344	87,510
	30%		100	94,352	93,222	91,437	87,436	83,235

**Tabel 4. 18.** Hasil uji biodegradabilitas untuk bioplastik 3 dengan waktu pemanasan 40 menit

Variasi	Sampel 3	Fraksi berat residual (%)						
		0 hari	5 hari	10 hari	15 hari	20 hari	25 hari	
ZnO	0%	100	81,469	76,382	74,891	71,047	64,873	
	1%	30% gliserol	100	88,497	86,743	83,587	81,519	74,098
	2%		100	90,655	86,269	85,890	83,377	76,609
	3%		100	96,760	93,679	92,087	88,137	83,673
Gliserol	10%	3% ZnO	100	98,730	96,359	94,037	89,457	86,358
	20%		100	97,027	94,268	93,320	89,047	85,682
	30%		100	96,760	93,679	92,087	88,137	83,673

Tabel-tabel tersebut merupakan hasil perhitungan untuk mendapatkan fraksi berat residual dalam *soil burial test* terhadap 3 jenis sampel berbeda selama 25 hari menggunakan persamaan 3.1. Ketiga sampel yang berbeda tersebut kemudian dicari rata-rata untuk tiap-tiap jenis variasi pada hari ke-5, 10, 15, 20, maupun 25. Hasil rata-rata ini kemudian diplot fraksi berat residual (%) terhadap waktu (hari) dari bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 0, 1, 2, 3 wt% seperti pada gambar 4.26.

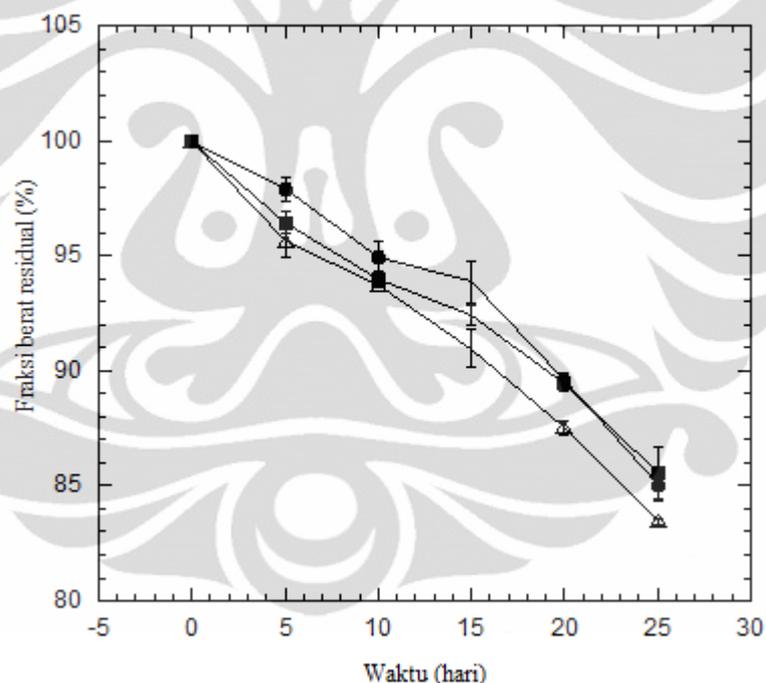


**Gambar 4. 26.** Biodegradabilitas dari bioplastik dengan variasi ZnO 0 (●), 1 (○), 2 (△), 3 (■) wt% pada 30% wt gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit

Gambar 4.26 menunjukkan biodegradabilitas dari matriks pati umbi garut murni sebagai kontrol dan variasi konsentrasi bahan pengisi ZnO dengan kadar 1, 2, 3, dan, 4 wt% dari bioplastik pati umbi garut/ZnO. Penambahan bahan pengisi ZnO menunjukkan tingkat biodegradabilitas yang lebih rendah daripada bioplastik dengan hanya tersusun atas matriks pati umbi garut dan 30% wt gliserol. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa fraksi berat residual dari sampel meningkat saat meningkatnya kadar bahan pengisi ZnO. Su kyong Lee (2005) memperoleh hasil yang sama dengan penggunaan matriks PLA dan PBS. Mereka menjelaskan bahwa gugus hidroksil O-H dalam matriks pati menginisiasi reaksi hidrolisis setelah mengabsorpsi air dari tanah. Karena reaksi hidrolisis ini, matriks polimer terdekomposisi ke dalam potongan-potongan kecil dan secepatnya menghilang dalam tanah tersebut. Reaksi ini tidak membutuhkan waktu yang cukup lama pada awalnya seperti terlihat pada degradasi matriks matriks karena juga terdapat agen pemlastis gliserol sebesar 30% yang banyak menyumbangkan gugus O-H karena sifatnya yang hidrofilik dengan pati. Akan tetapi fraksi residual dari bioplastik dengan bahan pengisi ZnO 3% lebih besar daripada bioplastik dengan kadar ZnO 1% dan 3%. Hal ini dipercaya bahwa ketika partikel ZnO

terdispersi ke dalam matriks polimer, partikel tersebut bertindak sebagai penghalang laju difusi air ke dalam polimer. Menurut Wang Z. L. (2008) partikel ZnO akan bertindak sebagai agen penyerang mikroorganisme sehingga dengan kadar ZnO lebih besar frekuensi penyerangan terhadap mikroorganisme pengurai menjadi lebih tinggi. Ini menjadi sebuah harapan bahwa ZnO dapat menjadi partikel yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Oleh karena itu, biodegradabilitas memiliki kecenderungan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan kadar ZnO 1% dan 2%.

Hal yang sama terlihat pada sampel bioplastik dengan variasi konsentrasi *plasticizer* gliserol. Gambar 4.27 menunjukkan hasil rata-rata dari 3 sampel yang diplot berdasarkan fraksi berat residual (%) terhadap waktu (hari) dari bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol 10, 20, 30 wt%.



**Gambar 4. 27.** Biodegradabilitas dari bioplastik dengan variasi gliserol 10 (●), 20 (■), 30 (Δ) wt% pada 30% wt gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit

Gambar 4.27 menunjukkan biodegradabilitas dari variasi konsentrasi pemlastis gliserol dengan kadar 10, 20, 30 %wt dari bioplastik pati umbi garut/ZnO. Penambahan agen pemlastis gliserol dengan kadar 10% menunjukkan tingkat biodegradabilitas yang lebih rendah daripada 20 dan 30% . Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa fraksi berat residual dari sampel menurun saat

meningkatnya konsentrasi gliserol. Seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya bahwa adanya gugus hidroksil O-H dalam matriks pati menginisiasi reaksi hidrolisis setelah mengabsorpsi air dari tanah. Ditambah lagi gliserol juga memiliki gugus O-H sehingga semakin banyak konsentrasi gliserol akan semakin tinggi menyumbang gugus tersebut. Karena reaksi hidrolisis ini, matriks polimer terdekomposisi ke dalam potongan-potongan kecil dan secepatnya menghilang dalam tanah tersebut. Selain itu sifat hidrofilik dari gliserol dan matriks pati mampu menyebabkan laju absorpsi air ke dalam bioplastik. Oleh karenanya semakin tinggi konsentrasi gliserol semakin tinggi laju biodegradabilitasnya. Hasil uji biodegradabilitilas ini juga semakin diperkuat oleh analisis dan hasil pengujian WVTR.

#### **4.4 Perbandingan Hasil Penelitian Pati Umbi Garut/Zno dengan Hasil Penelitian Pati Kacang Polong/ZnO oleh Xiaofei Ma**

Penelitian yang dilakukan oleh Xiaofei Ma pada tahun 2009 merupakan penelitian pembuatan bioplastik menggunakan matriks pati kacang polong yang ditambahkan dengan nano ZnO termodifikasi dan penggunaan gliserol sebagai pemlastis. Penelitian oleh Ma ini juga menggunakan metode *melt intercalation* dalam proses pembuatannya. Berikut merupakan hasil penelitian oleh Xiaofei Ma dengan hasil penelitian pati umbi garut/ZnO.

### a. Sifat Mekanis

Tabel 4.19 merupakan perbandingan *tensile strenght* dan elongasi hasil percobaan bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan hasil yang dilakukan oleh Ma (2009) menggunakan pati kacang polong/ ZnO-*starch*.

**Tabel 4. 19.** Perbandingan *tensile strenght* dan elongasi bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3% wt pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit dengan hasil penelitian Ma (2009)

	<i>Tensile Strenght</i> (MPa)			Elongasi (%)		
	1%wt	2%wt	3%wt	1%wt	2%wt	3%wt
<b>Penelitian Bioplastik</b>	2	3,2	5,4	25	15	9
<b>Penelitian Ma</b>	5,8	8,5	10	30	26	24

Perbedaan hasil *tensile strenght* dan elongasi seperti pada tabel disebabkan karena bahan baku yang digunakan mengandung kadar amilosa dan amilopektin yang jauh berbeda. Pati kacang polong yang digunakan oleh Ma (2009) mengandung amilosa 35% dan amilopektin 35% sedangkan pada penelitian ini kadar amilosa pati umbi garut adalah 16,2% sedangkan kadar amilopektinnya sebesar 69,8%. Gliserol yang digunakan juga memiliki hubungan yang kuat dengan polimer pati (Millarynen, 2003). Gliserol dengan konsentrasi 10% dengan amilopektin menghasilkan film yang rapuh dan sulit diuji *tensile strenght*. Konsentrasi gliserol di atas 20% dengan amilosa menghasilkan film yang mempunyai kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan bahan baku amilopektin (Millarynen, 2003). Selain itu bahan pengisi ZnO juga sangat mempengaruhi hasil yang diperoleh. Bahan pengisi yang digunakan oleh Ma merupakan ZnO yang berukuran 10 nm sementara ZnO yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 600 nm. Bahan ZnO yang digunakan oleh Ma merupakan ZnO yang termodifikasi oleh pati sehingga lebih stabil.

## b. Analisis UV-Vis

Tabel 4.20 merupakan perbandingan hasil UV-Vis percobaan bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan hasil yang dilakukan oleh Ma (2009) menggunakan pati kacang polong/ ZnO-starch.

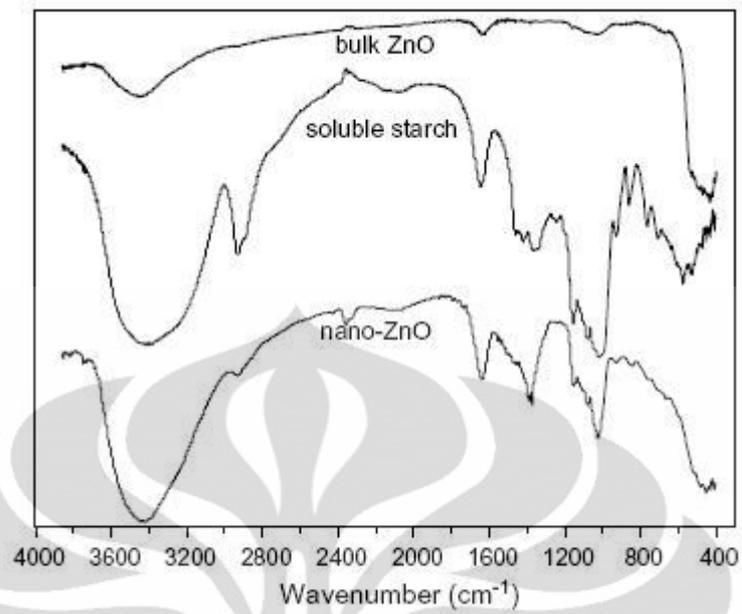
**Tabel 4. 20.** Perbandingan hasil UV-Vis dari bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3% wt pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit dengan hasil penelitian Ma (2009)

	<i>Band gap energy (eV)</i>			<i>Absorbansi (%)</i>		
	1%wt	2%wt	3%wt	1%wt	2%wt	3%wt
<b>Penelitian Bioplastik</b>	3,2	3,2	3,2	1,286	1,325	1,341
<b>Penelitian Ma</b>	3,2	3,2	3,2	0,5	0,7	1,35

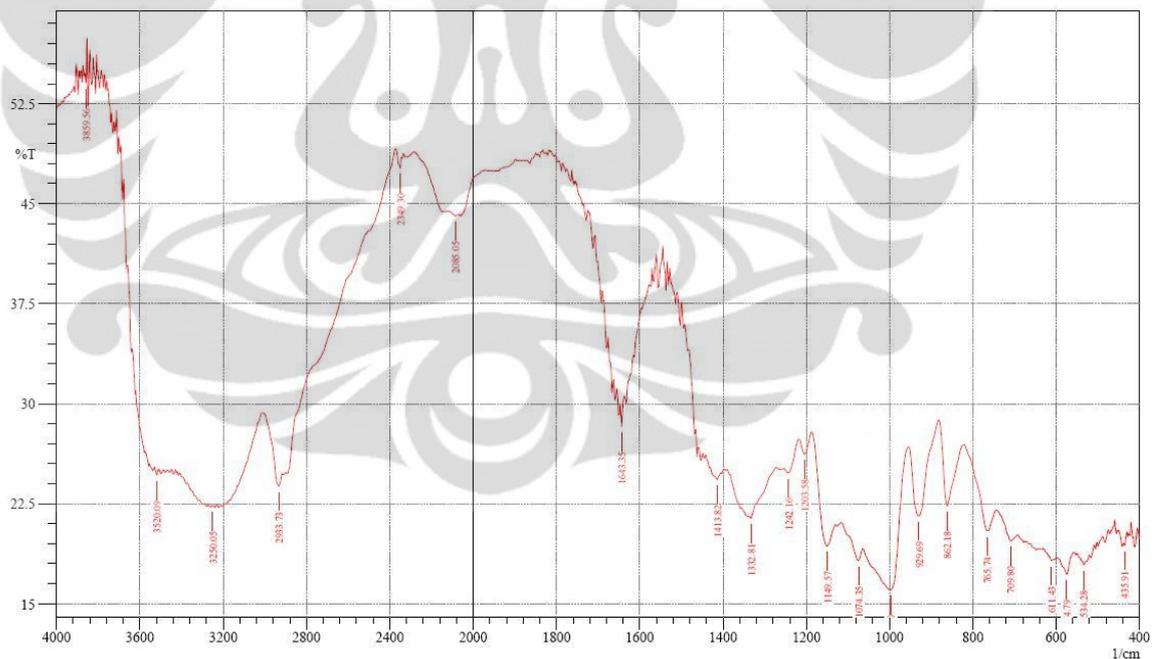
Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa *band gap energy* dari ZnO dari penelitian pati umbi garut/ZnO dengan penelitian yang dilakukan oleh Ma menghasilkan nilai yang sama yaitu 3,2 eV. Hasil absorbansi juga memiliki kecenderungan yang sama yaitu nilai yang meningkat saat kadar ZnO dinaikkan. Nilai absorbansi ini menunjukkan bahwa bioplastik memiliki potensi untuk menahan sinar UV.

## c. Analisis FT-IR

Analisis FT-IR yang dilakukan oleh Ma merupakan analisis gugus fungsi dari pati kacang polong dan bahan pengisinya nano ZnO. Berikut merupakan perbandingan hasil FT-IR pati umbi garut dengan hasil FT-IR oleh Ma.



**Gambar 4. 28.** Spektra FT-IR pati kacang polong, nano ZnO, dan ZnO termodifikasi oleh Ma (2009)



**Gambar 4. 29.** Spektra FT-IR pati umbi garut yang digunakan dalam penelitian bioplastik pati umbi garut/ZnO

Dari spektra FT-IR pati umbi garut dan pati kacang polong memiliki karakteristik yang sama. Keduanya memiliki gugus gugus spesifik yang terdapat di pati. Ada tiga karakteristik pita serapan dari gugus spektrum regangan  $-C-O-$ . Pita serapan

pada panjang gelombang  $1150\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus spektrum regangan C-O yang berasal dari ikatan grup C-H-O dan dua pita serapan pada panjang gelombang  $1080\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan gugus spektrum regangan C-O dari ikatan grup C-O-C dalam cincin *anhydroglucose strach* (Wang Ning, 2009). Pita serapan pada  $2930\text{ cm}^{-1}$  merupakan karakteristik dari gugus C-H dengan cincin metana atom hidrogen (Wang Ning, 2009).

#### d. Analisis WVTR

Tabel 4.21 merupakan perbandingan hasil WVTR percobaan bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan hasil yang dilakukan oleh Ma (2009) menggunakan pati kacang polong/ ZnO-starch.

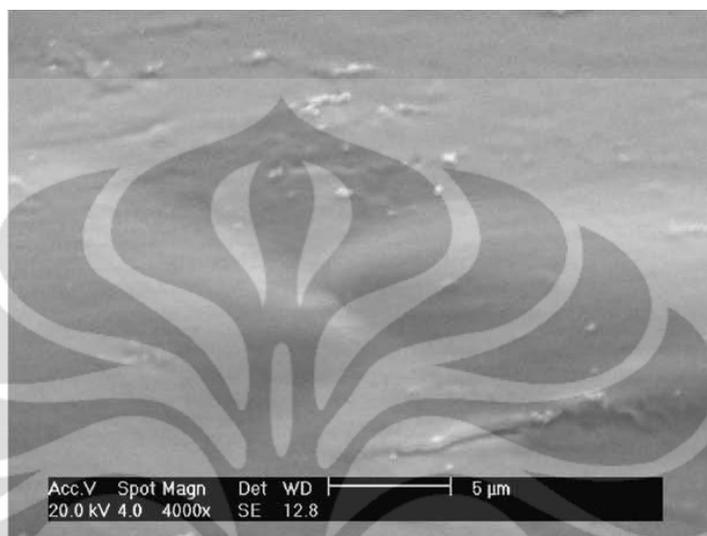
**Tabel 4. 21.** Perbandingan hasil FT-IR dari bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO 1,2,3% wt pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit dengan hasil penelitian Ma (2009)

	WVTR ( $\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ )		
	1%wt	2%wt	3%wt
<b>Penelitian Bioplastik</b>	<b>9,101</b>	<b>9,0831</b>	<b>8,7729</b>
<b>Penelitian Ma</b>	<b>0,001736</b>	<b>0,001578</b>	<b>0,001326</b>

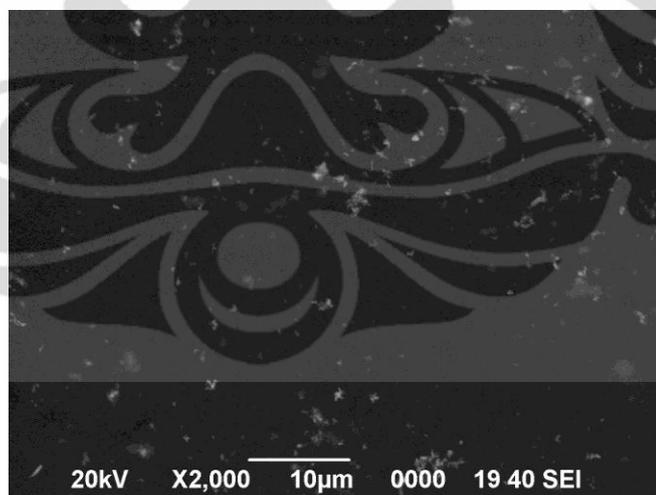
Perbedaan hasil yang sangat besar ini disebabkan oleh perbedaan penggunaan bahan pengisi ZnO. Pengisi ZnO yang berukuran nano terbukti memberikan efek WVTR yang jauh lebih kecil daripada menggunakan ukuran ZnO dalam skala mikro. Selain itu modifikasi bahan pengisi nano ZnO oleh Ma mampu memberikan hasil WVTR yang sangat rendah. Ini membuktikan bahwa nano ZnO mampu masuk ke dalam matriks pati kacang polong dan memberikan pengaruh dalam menahan uap air yang akan masuk ke dalam film plastik.

### e. Analisis SEM

Berikut merupakan perbedaan hasil gambar SEM antara bioplastik pati umbi garut/ZnO dengan pati kacang polong/ZnO hasil penelitian Ma (2009).



**Gambar 4. 30.** Hasil SEM dari hasil penelitian Ma (2009) dengan konsentrasi ZnO 3 wt% pada 30% gliserol



**Gambar 4. 31.** Hasil SEM dari bioplastik dengan konsentrasi ZnO 3 wt% pada 30% gliserol dan kondisi proses lama pemanasan 40 menit

Perbedaan hasil gambar SEM yang terlihat dari penelitian Ma adalah tidak adanya pengelompokan nano ZnO di dalam matriks pati kacang polong. Nano ZnO hampir terdistribusi secara merata dan memiliki ukuran yang sangat kecil. Sementara dari hasil penelitian bioplastik, ZnO yang terlihat pada gambar SEM

tersebut menunjukkan pengelompokan yang menjadikan ZnO tidak tersebar secara merata. Hasil ini menunjukkan dan mempengaruhi hasil karakterisasi yang lain seperti sifat mekanis, UV-Vis, dan WVTR. Hasil penelitian Ma (2009) menunjukkan hasil SEM yang hampir merata persebaran partikel bahan pengisinya (ZnO). Hal ini dapat dijelaskan karena penelitian ini mampu mencapai suhu yang sangat tinggi selama proses pemanasan dan pengadukan. Suhu ini yang akan memecah ikatan hidrogen pada pati kacang polong sehingga menghasilkan distribusi partikel ZnO yang baik.



## BAB 5

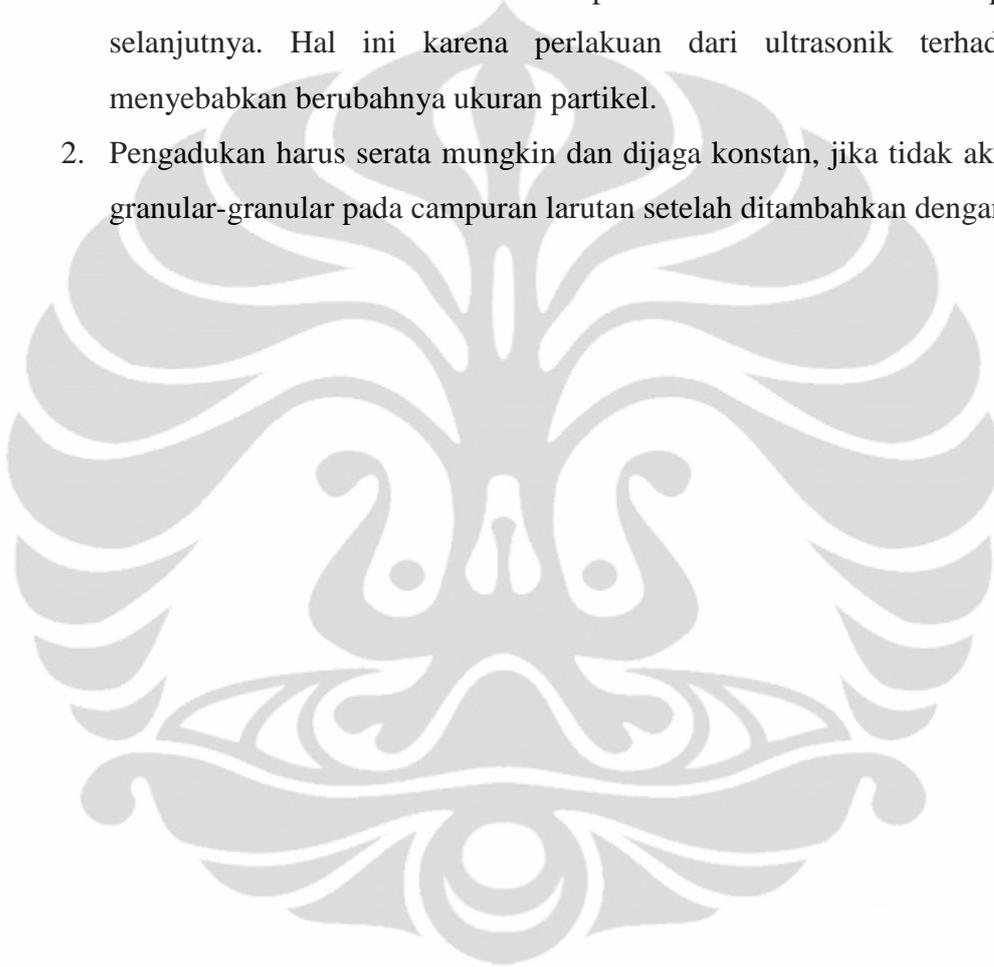
### KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dan analisis data hasil pengamatan bisa disimpulkan beberapa hal berikut ini:

1. Studi kelayakan teknik pembuatan bioplastik dari pati umbi garut dapat ditentukan oleh kandungan amilosa 16,2% dan amilopektin 69,8%, akan tetapi dengan menambah penggunaan *filler* ZnO dengan ukuran 500-900 nm akan dapat memperbaiki sifat mekanis dari bioplastik yang dihasilkan.
2. Optimasi kondisi operasi pembuatan bioplastik pada lama pemanasan dan pengadukan selama 40 menit diperoleh hasil bioplastik yang memiliki fleksibilitas yang makin meningkat seiring kenaikan gliserol sampai 30% wt. Sementara transparansi dan fleksibilitas dari bioplastik semakin menurun ketika kadar ZnO meningkat dari 1 sampai 3% wt.
3. Dari hasil karakterisasi diperoleh kesimpulan sebagai berikut:
  - a. Dari pengujian sifat mekanis peningkatan konsentrasi gliserol dari 10 %wt sampai 30 %wt dapat meningkatkan derajat elongasi bioplastik dan *barier properties*, tetapi menurunkan kekuatan tariknya. Sementara itu, kenaikan konsentrasi *filler* ZnO dari 1 %wt sampai 3 %wt akan meningkatkan kekuatan tarik, tetapi menurunkan derajat elongasi dan *barier properties*.
  - b. Uji biodegradabilitas menggunakan metode *soil burial test* menunjukkan tingkat degradasi sampel bioplastik pati umbi garut/ZnO yang mengalami peningkatan seiring dengan penambahan konsentrasi gliserol. Sementara tingkat degradasi sampel menurun seiring dengan kenaikan konsentrasi ZnO.
  - c. Dari hasil pengujian FT-IR, XRD, UV-Vis, dan SEM dapat diketahui terjadi perubahan struktur yang disebabkan adanya partikel pengisi ZnO dalam bioplastik yang dihasilkan selama percobaan.

**Saran :**

1. Dari hasil penelitian ini, proses ultrasonikasi ZnO dan gliserol sangat berpengaruh terhadap ukuran partikel ZnO. Hasil SEM menunjukkan bahwa terdapat partikel ZnO yang tersebar dalam matriks pati umbi garut yang berukuran di bawah 100 nm dalam jumlah kecil. Oleh karena itu disarankan untuk memvariasikan lama waktu proses ultrasonikasi melalui penelitian selanjutnya. Hal ini karena perlakuan dari ultrasonik terhadap ZnO menyebabkan berubahnya ukuran partikel.
2. Pengadukan harus merata mungkin dan dijaga konstan, jika tidak akan terjadi granular-granular pada campuran larutan setelah ditambahkan dengan pati.



## DAFTAR REFERENSI

- Angellier, H. M.-B. 2006. *Thermoplastic starch- waxy maize starch nanocrystals nanocomposites*. *Biomacromolecules*, 531-539
- Avella, M. e. 2005. *Eco-challenges of bio-based polymer composites*. *Materials*, 2, 911-925
- Avérous, L. 2008. *Polylactic Acid: Synthesis, Properties and Applications, in Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources* 1<sup>st</sup> Editon, Chapter 21. Amsterdam: Elsevier Ltd.
- Avérous, L. 2001. *Plasticized starch-cellulosa interactions in polysaccharide composites*. *Polymer*. 42: 6565-6572
- Carmen Sanchez. 2009. *Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi*. *Biotechnology Advances* 27: 185–194
- Colonna, P. and Mercier, C. 1985. *Gelatinization and melting of maize and pea starches with normal and high-amylose genotypes*. *Phytochemistry* 24, 1667–1674
- David Plackett. 2003. *Biodegradable composites based on l-poly lactide and jute fibres*. *Composites Science and Technology*. 63: 1287–1296
- Domenek, S., Feuilloley, P., Gratraud, J., Morel, M.H., Guilbert, S., 2004. *Biodegradability of wheat gluten bioplastics*. *Chemosphere* 54: 551–559
- Fauze A. Aouada. 2011. *New strategies in the preparation of exfoliated thermoplastic starch–montmorillonite nanocomposites*. *Industrial Crops and Products*.
- Gomez-Martinez. 2009. *Rheological behaviour and physical properties of controlled-release gluten-based bioplastics*. *Bioresour. Technol.* 100, 1828–1832.
- Gonzalez-Gutierrez. 2011. *Effect of processing on the viscoelastic, tensile and optical properties of albumen/starch-based bioplastics*. *Carbohydrate Polymers*. 84: 308-315
- Gonzalez-Gutierrez. 2010. *Development of highly-transparent protein/starch-based bioplastics*. *Bioresource Technology*. 101: 2007-2013
- Harald Kaeb. 2005. *Highlights in Bioplastics*. Berlin: IBAW Publication
- Jerez, A. 2005. *Rheology and processing of gluten based bioplastics*. *Biochemical Engineering Journal*. 26: 131-138

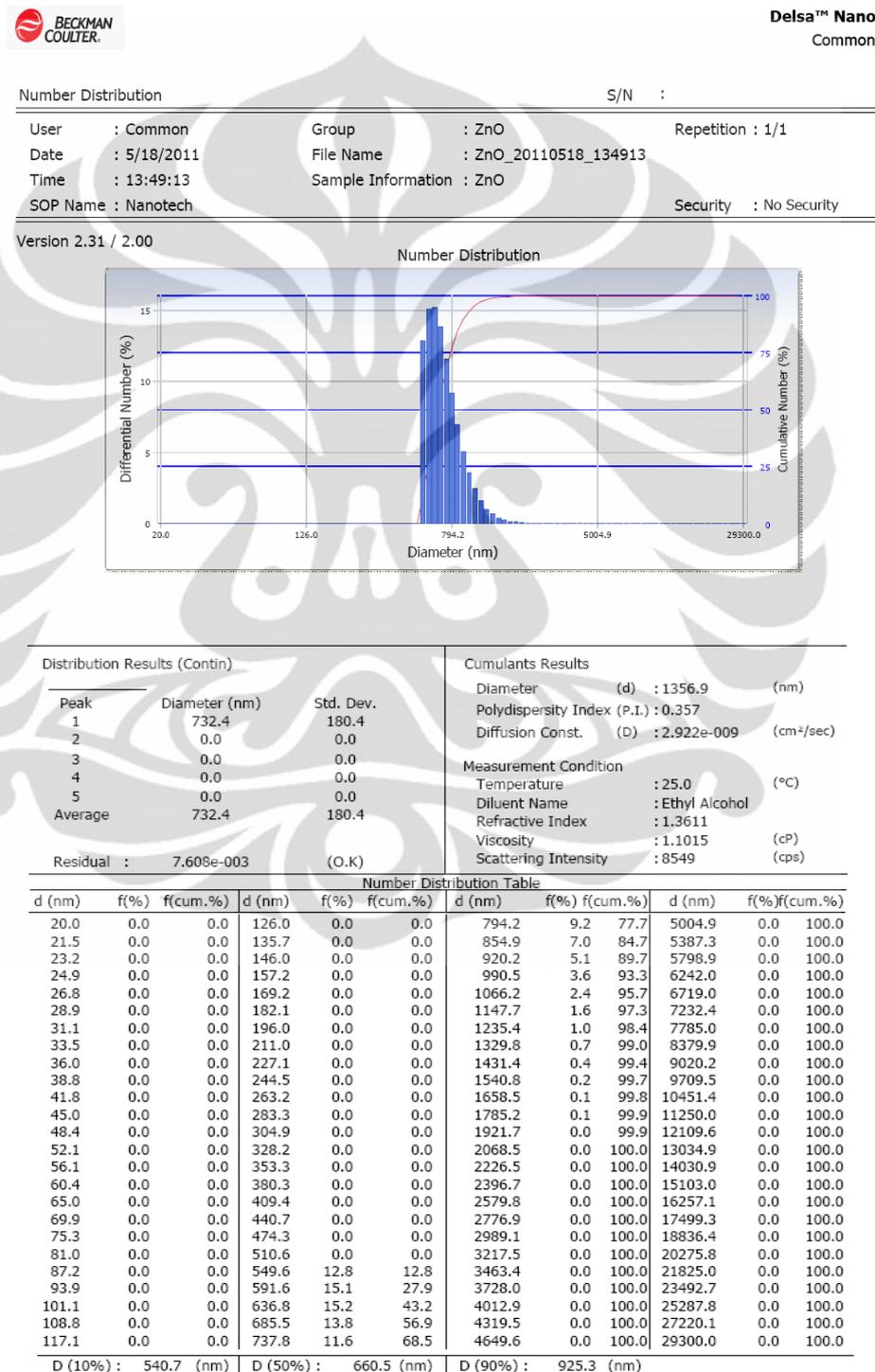
- Jerez, A. 2007. *Egg white-based bioplastics developed by thermomechanical processing*. Journal of Food Engineering. 82: 608–617
- John M. Krochta. 2002. *Edible coatings and films to improve food quality*. New York: CRC Press
- Jose M. Lagaron. 2011. *Nanotechnology for bioplastics: opportunities, challenges and strategies*. Food Science & Technology
- Jui Hung Chen. 2008. *Synthesis of ZnO/polystyrene composites particles by Pickering emulsion polymerization*. European Polymer Journal 44: 3271–3279
- Lucía Fama. 2009. *Starch-vegetable fibre composites to protect food products*. Carbohydrate Polymers 75: 230–235
- Ma, F. C. 2009. *Preparation and properties of glycerol plasticized-pea starch/zinc oxide-starch bionanocomposites*. Carbohydrate Polymers , 75, 472-478
- Melissa A.L. Russo. 2009. *The anaerobic degradability of thermoplastic starch: Polyvinyl alcohol blends: Potential biodegradable food packaging materials*. Bioresource Technology 100: 1705–1710
- M. Tietz. 2008. *Changes in structure and aroma release from starch–aroma systems upon  $\alpha$ -amylase addition*. Eur Food Res Technol, 227:1439–1446
- Myllarinen. 2003. *Effect of glycerol on behaviour of amylase and amylopectin films*. Carbohydrate Polymers. 50: p. 355-361
- Ogut, E. e. 2007. *Poly(vinylidene fluoride)/Zinc Oxide smart composite material*. Proc. of SPIE , 6526 (DOI: 10.1117/12.717703), 1-10.
- Pilar Hernandez-Munoz. 2004. *Effect of thermal treatments on functional properties of edible films made from wheat gluten fractions*. Food Hydrocolloids. 18: 647–654
- Romero-Bastida. 2004. *Effect of Plasticizer, pH, and Hydration on The Mechanical and Barrier Properties of Zein and Ethylcellulosa Film*. Cient. Tecnol. Aliment. Vol. 4, No. 4, pp 251-256
- Rosentrater, K.U., Otieno, A.W. 2006. *Considerations for manufacturing bio-based plastic products*. J. Polym. Environ. 14: 335–346.
- Sandra Domenek. 2004. *Biodegradability of wheat gluten based bioplastics*. Chemosphere. 54: 551-559
- Shaomin Sun. 2007. *Morphologies and properties of thermo-molded biodegradable plastics based on glycerol-plasticized wheat gluten*. Food Hydrocolloids. 21: 1005–1013

- Shaomin Sun. 2008. *Morphology and mechanical properties of thermo-molded bioplastics based on glycerol-plasticized wheat gliadins*. Journal of Cereal Science. 48: 613-618
- Shariffa Y.N. 2009. *Enzymatic hydrolysis of granular native and mildly heat-treated tapioca and sweet potato starches at sub-gelatinization temperature*. Food Hydrocolloids 23: 434– 440
- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., Dalla Rosa, M.. 2008. *Biodegradable polymers for food packaging: a review*. Trends Food Sci. Technol. 19: 634–643
- Su Kyong Lee. 2005. *Degradation and Rheological Properties of Biodegradable Nanocomposites Prepared by Melt Intercalation Method*. Fibers and Polymers, Vol.6 No.4 289-296
- Vigneshwaran, N., Kumar, S., & Kathe, A. A. 2006. *Functional finishing of cotton fabrics using zinc oxide-soluble starch nanocomposites*. Nanotechnology, 17, 5087–5095
- Vijaya Kumar R. 2003. *Synthesis and characterization of a micro scale zinc oxide-PVA composite by ultrasound irradiation and the effect of composite on the crystal growth of zinc oxide*. Journal of Crystal Growth 25: 409–417
- Wajira S. Ratnayake and David S. Jackson. 2009 *Starch Gelatinization*. Advances in Food and Nutrition Research, Volume 55
- Wang Ning, et al. 2009. *Effect of citric acid and processing on the performance of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposites*. Carbohydrate Polymers 76: 68-73
- Wang, Z. L. 2008. *Toward self-powered nanosystems: From nanogenerators to nanopiezotronics*. Advanced Functional Materials, 18 (DOI:10.1002/adfm.200800541), 3553-3567
- Yihu Song. 2008. *Preparation and properties of thermo-molded bioplastics of glutenin-rich fraction*. Journal of Cereal Science. 48: 77–82
- Yoshida O, Okamoto M. 2006. *Direct Melt Intercalation of Polylactide Chains into nano-Galleries: Interlayer Expansion and Nanocomposite Structure*. Macromol. Rapid Communication. 27: 751-757
- Zhao, R. 2008. *Emerging biodegradable materials: starch- and protein-based*. J Mater Sci , 43:3058–3071
- Zhong, Q.-P. X.-S. 2008. *Physicochemical properties of edible and preservative film from Chitosan/Cassava starch/gelatin blend plasticized with glycerol*. Food Techno Biotechnol, 46 (30), 262-269

## LAMPIRAN

### 1. Hasil pengukuran partikel ZnO menggunakan PSA

Run I:



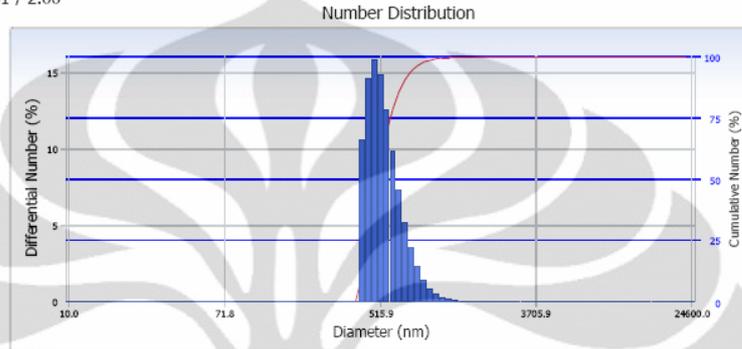
Run II :



Delsa™ Nano  
Common

Number Distribution		S/N :	
User : Common	Group : ZnO	Repetition : 1/1	
Date : 5/18/2011	File Name : ZnO_20110518_140047		
Time : 14:00:47	Sample Information : ZnO		
SOP Name : Nanotech	Security : No Security		

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)				Cumulants Results									
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.		Diameter (d)	: 1108.5	(nm)							
1	553.8	135.2		Polydispersity Index (P.I.)	: 0.380								
2	0.0	0.0		Diffusion Const. (D)	: 3.577e-009	(cm <sup>2</sup> /sec)							
3	0.0	0.0		Measurement Condition									
4	0.0	0.0		Temperature	: 25.0	(°C)							
5	0.0	0.0		Diluent Name	: Ethyl Alcohol								
Average	553.8	135.2		Refractive Index	: 1.3611								
Residual	: 9.100e-003	(O.K)		Viscosity	: 1.1015	(cP)							
				Scattering Intensity	: 12510	(cps)							
Number Distribution Table													
d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)		
10.0	0.0	0.0	71.8	0.0	0.0	515.9	14.8	55.9	3705.9	0.0	100.0		
10.8	0.0	0.0	77.7	0.0	0.0	558.3	12.6	68.4	4010.0	0.0	100.0		
11.7	0.0	0.0	84.1	0.0	0.0	604.1	9.9	78.3	4339.0	0.0	100.0		
12.7	0.0	0.0	91.0	0.0	0.0	653.7	7.3	85.6	4695.1	0.0	100.0		
13.7	0.0	0.0	98.5	0.0	0.0	707.3	5.2	90.8	5080.4	0.0	100.0		
14.8	0.0	0.0	106.6	0.0	0.0	765.3	3.5	94.3	5497.3	0.0	100.0		
16.1	0.0	0.0	115.3	0.0	0.0	828.1	2.3	96.5	5948.4	0.0	100.0		
17.4	0.0	0.0	124.8	0.0	0.0	896.1	1.4	98.0	6436.6	0.0	100.0		
18.8	0.0	0.0	135.0	0.0	0.0	969.6	0.9	98.9	6964.7	0.0	100.0		
20.3	0.0	0.0	146.1	0.0	0.0	1049.2	0.5	99.4	7536.3	0.0	100.0		
22.0	0.0	0.0	158.1	0.0	0.0	1135.3	0.3	99.7	8154.7	0.0	100.0		
23.8	0.0	0.0	171.0	0.0	0.0	1228.5	0.2	99.8	8823.9	0.0	100.0		
25.8	0.0	0.0	185.1	0.0	0.0	1329.3	0.1	99.9	9548.0	0.0	100.0		
27.9	0.0	0.0	200.2	0.0	0.0	1438.4	0.0	100.0	10331.5	0.0	100.0		
30.2	0.0	0.0	216.7	0.0	0.0	1556.4	0.0	100.0	11179.4	0.0	100.0		
32.6	0.0	0.0	234.5	0.0	0.0	1684.1	0.0	100.0	12096.7	0.0	100.0		
35.3	0.0	0.0	253.7	0.0	0.0	1822.3	0.0	100.0	13089.4	0.0	100.0		
38.2	0.0	0.0	274.5	0.0	0.0	1971.9	0.0	100.0	14163.6	0.0	100.0		
41.4	0.0	0.0	297.1	0.0	0.0	2133.7	0.0	100.0	15325.8	0.0	100.0		
44.7	0.0	0.0	321.4	0.0	0.0	2308.8	0.0	100.0	16583.5	0.0	100.0		
48.4	0.0	0.0	347.8	0.0	0.0	2498.2	0.0	100.0	17944.4	0.0	100.0		
52.4	0.0	0.0	376.3	0.0	0.0	2703.2	0.0	100.0	19416.9	0.0	100.0		
56.7	0.0	0.0	407.2	10.6	10.6	2925.1	0.0	100.0	21010.3	0.0	100.0		
61.3	0.0	0.0	440.6	14.6	25.2	3165.1	0.0	100.0	22734.4	0.0	100.0		
66.4	0.0	0.0	476.8	15.8	41.0	3424.8	0.0	100.0	24600.0	0.0	100.0		
D (10%) :		405.4 (nm)		D (50%) :		500.1 (nm)		D (90%) :				699.1 (nm)	

Run III:



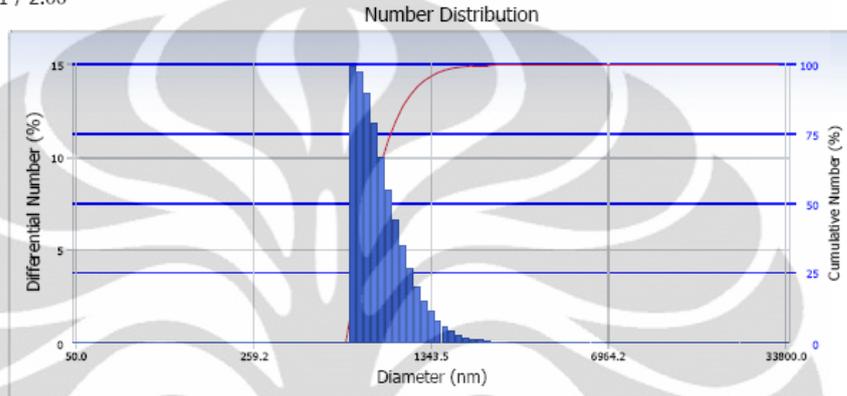
Delsa™ Nano  
Common

Number Distribution

S/N :

User : Common	Group : ZnO	Repetition : 1/1
Date : 5/18/2011	File Name : ZnO_20110518_140958	
Time : 14:09:58	Sample Information : ZnO	
SOP Name : Nanotech		Security : No Security

Version 2.31 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	870.2	247.3
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	870.2	247.3

Residual : 6.534e-003 (O.K)

Cumulants Results

Diameter (d)	: 2177.1	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.186	
Diffusion Const. (D)	: 1.821e-009	(cm <sup>2</sup> /sec)
Measurement Condition		
Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: Ethyl Alcohol	
Refractive Index	: 1.3611	
Viscosity	: 1.1015	(cP)
Scattering Intensity	: 10078	(cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
50.0	0.0	0.0	259.2	0.0	0.0	1343.5	1.7	95.9	6964.2	0.0	100.0
53.4	0.0	0.0	276.8	0.0	0.0	1434.9	1.2	97.1	7438.0	0.0	100.0
57.0	0.0	0.0	295.6	0.0	0.0	1532.5	0.9	98.0	7944.0	0.0	100.0
60.9	0.0	0.0	315.8	0.0	0.0	1636.8	0.6	98.6	8484.5	0.0	100.0
65.1	0.0	0.0	337.2	0.0	0.0	1748.1	0.4	99.0	9061.7	0.0	100.0
69.5	0.0	0.0	360.2	0.0	0.0	1867.1	0.3	99.3	9678.2	0.0	100.0
74.2	0.0	0.0	384.7	0.0	0.0	1994.1	0.2	99.6	10336.7	0.0	100.0
79.3	0.0	0.0	410.9	0.0	0.0	2129.8	0.1	99.7	11039.9	0.0	100.0
84.7	0.0	0.0	438.8	0.0	0.0	2274.7	0.1	99.8	11791.0	0.0	100.0
90.4	0.0	0.0	468.7	0.0	0.0	2429.4	0.1	99.9	12593.2	0.0	100.0
96.6	0.0	0.0	500.6	0.0	0.0	2594.7	0.0	99.9	13450.0	0.0	100.0
103.1	0.0	0.0	534.6	0.0	0.0	2771.2	0.0	99.9	14365.1	0.0	100.0
110.2	0.0	0.0	571.0	0.0	0.0	2959.8	0.0	100.0	15342.4	0.0	100.0
117.6	0.0	0.0	609.8	0.0	0.0	3161.2	0.0	100.0	16386.2	0.0	100.0
125.7	0.0	0.0	651.3	14.9	14.9	3376.2	0.0	100.0	17501.0	0.0	100.0
134.2	0.0	0.0	695.6	14.6	29.5	3605.9	0.0	100.0	18691.7	0.0	100.0
143.3	0.0	0.0	743.0	13.5	43.0	3851.2	0.0	100.0	19963.4	0.0	100.0
153.1	0.0	0.0	793.5	11.8	54.8	4113.3	0.0	100.0	21321.6	0.0	100.0
163.5	0.0	0.0	847.5	10.0	64.9	4393.1	0.0	100.0	22772.2	0.0	100.0
174.6	0.0	0.0	905.2	8.3	73.1	4692.0	0.0	100.0	24321.5	0.0	100.0
186.5	0.0	0.0	966.7	6.6	79.7	5011.2	0.0	100.0	25976.2	0.0	100.0
199.2	0.0	0.0	1032.5	5.2	84.9	5352.1	0.0	100.0	27743.5	0.0	100.0
212.7	0.0	0.0	1102.8	4.0	88.9	5716.3	0.0	100.0	29631.0	0.0	100.0
227.2	0.0	0.0	1177.8	3.0	92.0	6105.2	0.0	100.0	31646.9	0.0	100.0
242.7	0.0	0.0	1257.9	2.3	94.2	6520.5	0.0	100.0	33800.0	0.0	100.0
D (10%) : 637.3 (nm)			D (50%) : 772.5 (nm)			D (90%) : 1128.3 (nm)					

2. Data pengujian WVTR dari bioplastik dengan variasi ZnO

waktu (jam)	Spesimen P1T40A30			
	I	II	III	IV
0	168,089	166,497	163,843	163,477
1	168,134	166,552	163,897	163,527
2	168,172	166,6	163,942	163,574
3	168,21	166,643	163,987	163,624
4	168,261	166,693	164,038	163,669

waktu (jam)	Spesimen P2T40A30			
	I	II	III	IV
0	168,0886	166,4966	163,8426	163,4766
1	168,1336	166,5522	163,8970	163,5268
2	168,1723	166,6002	163,9422	163,5743
3	168,2102	166,6425	163,9873	163,6243
4	168,2608	166,6932	164,0382	163,6687

waktu (jam)	Spesimen P3T40A30			
	I	II	III	IV
0	164,261	167,053	170,145	160,385
1	164,303	167,106	170,197	160,431
2	164,342	167,151	170,243	160,47
3	164,382	167,198	170,291	160,511
4	164,425	167,247	170,339	160,553

Keterangan semua data bersatuan  $\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$

## 3. Data pengujian WVTR dari bioplastik dengan variasi konsentrasi gliserol

waktu (jam)	Spesimen P3T40A10			
	I	II	III	IV
0	169,736	166,424	168,217	164,06
1	169,772	166,46	168,254	164,098
2	169,811	166,5	168,295	164,146
3	169,851	166,545	168,342	164,193
4	169,887	166,589	168,378	164,234

waktu (jam)	Spesimen P3T40A20			
	I	II	III	IV
0	164,261	167,053	170,145	160,385
1	164,303	167,106	170,197	160,431
2	164,342	167,151	170,243	160,47
3	164,382	167,198	170,291	160,511
4	164,425	167,247	170,339	160,553

waktu (jam)	Spesimen P3T40A30			
	I	II	III	IV
0	166,792	164,558	164,824	163,67
1	166,835	164,609	164,869	163,718
2	166,882	164,66	164,91	163,764
3	166,926	164,706	164,95	163,807
4	166,963	164,747	164,984	163,844

Keterangan semua data bersatuan  $\text{gr.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$

## 4. Frekuensi Gugus Inframerah

**Tabel 19.1 Pita Absorpsi Infra Merah**

Gugus	Senyawa	Frekuensi (cm <sup>-1</sup> )	Lingkungan spektral cm <sup>-1</sup> (μ)	Nama lingkungan kungannya
OH	Alkohol	3580-3650	3333-3704	
	Asam	2500-2700	(2,7-3,0 μ)	
NH	Amina primer dan sekunder	~ 3500		
	Amida	3310-3500		
		3140-3320	2857-3333 (3,0-3,5 μ)	Lingkungan vibrasi ulur hidrogen
CH	Alkana	3300		
	Alkena	3010-3095		
	Aromatik	~ 3030		
	Alkana	2853-2962		
	Aldehida	2700-2900	2500-2857 (4,0-4,5 μ)	
SH	Sulfur	2500-2700		
C = C	Alkana	2190-2260		
C = N	Alkilnitril	2240-2260	2222-2500 (4,5-5,0 μ)	Lingkungan ikatan ganda tiga
	Iosianat	2240-2275		
-N = C = N	Arilnitril	2220-2240		
	Diimida	2130-2155	2000-2222 (5,0-5,5 μ)	
-N <sub>3</sub>	Azida	2120-2160		
> CO	Aldehid	1720-1740	(818-2000) (5,5-6,0 μ)	
	Keton	1675-1725		
CN	Asam karboksilat	1700-1725		
	Ester	2000-2300		
	Asilhalida	1755-1850	1667-1818 (6,0-6,5 μ)	Lingkungan ikatan ganda dua
	Amida	1670-1700		
CO	Oksim	1640-1690		
C = O	β-diketon	1540-1640		
C = C	Ester	1650		
N - H(b)	Alkena	1620-1680		
	Amina	1575-1650	1538-1667	
-N = N -	Azo	1575-1630	(6,5-7,5 μ)	Daerah sidik jari
-C - NO <sub>2</sub>	Nitro	1550-1570	1538-1667	
-C - NO <sub>2</sub>	Nitro aromatik	1300-1570		
C - O - C	Eter	1230-1270	1053-1333 (7,5-9,5 μ)	
-(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	Senyawaan lain	~ 722	666-900 (11-15,0 μ)	

