



UNIVERSITAS INDONESIA

**SINTESIS BIOPLASTIK DARI PATI UBI JALAR
MENGUNAKAN PENGUAT LOGAM ZnO
DAN PENGUAT ALAMI SELULOSA**

SKRIPSI

**ELDO SULARTO MARBUN
0806332963**

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**

**DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**SINTESIS BIOPLASTIK DARI PATI UBI JALAR
MENGUNAKAN PENGUAT LOGAM ZnO
DAN PENGUAT ALAMI SELULOSA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ELDO SULARTO MARBUN
0806332963**

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**

**DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Eldo Sularto Marbun

NPM : 0806332963

Tanda Tangan : 

Tanggal : 29 Juni 2012

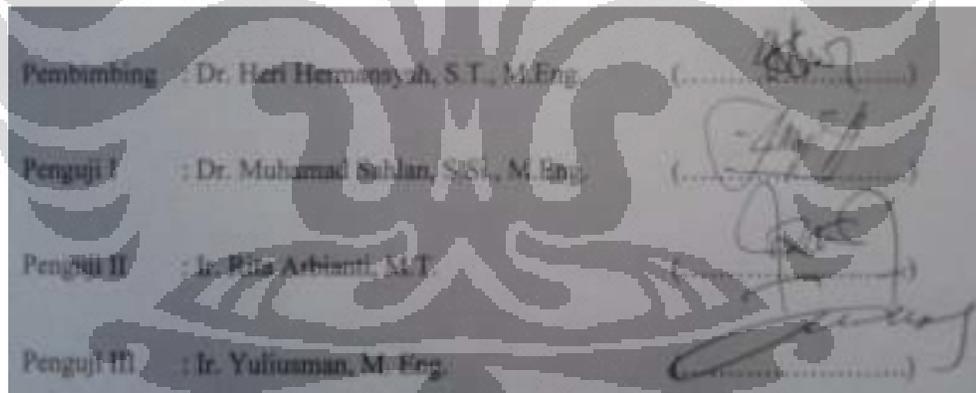


HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Eldo Sularto Marbun
NPM : 0806332963
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Sintesis Bioplastik dari Pati Ubi Jalar
Menggunakan Penguat Logam ZnO dan Penguat
Alami Selulosa

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

DEWAN PENGUJI



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yesus karena melalui berkat dan pertolongan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku skripsi ini dengan sebaik mungkin. Penulisan buku skripsi dengan judul “Sintesis Bioplastik dari Pati Ubi Jalar Menggunakan Penguat Logam ZnO dan Penguat Alami Selulosa” dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Dalam penulisan buku skripsi ini, penulis banyak memperoleh bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Heri Hermansyah, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah membimbing, memberi masukan, mengarahkan pembuatan buku skripsi ini.
2. Ibu Ir. Tania Surya Utami, M.T selaku dosen pembimbing seminar yang telah membimbing, memberi masukan, mengarahkan, dan tak henti-hentinya mendukung pembuatan buku skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
4. Ryan Ardiansyah dan Zayyanatun Zulfa yang memberi ide, saran, dan kritik kepada penulis.
5. Bu Nuryetti atas bimbingan dan sarannya selama penelitian.
6. Teman-teman satu bimbingan: Erfan, Adityo, Intan, Mondy, Khotib, Renly, Merisa atas saran, informasi, cerita, dan bantuan selama penelitian.
7. Teman-teman satu laboratorium RPKA: Yosmarina, Ario, Novriyeni, Dita, Mia, Najma, Gita, Ricky, Tania, Bernadet, Wisnu, Ramaniya, Kanya, Lolyta, Juhe atas saran, informasi, cerita, dan bantuannya selama penelitian.
8. David, Jacquin, Taher, Gabriel, Togar, Andry, Resiana, Maylen, Indri, Aira, Victor, Fazza, Dityo, Destya, Syifa, Fika, Santoso, Catur, Cicilia, Sigit, Andre, Erik, Afreza, Fami, Hario, Farah, Dirga, Ani, dan seluruh teman dari Teknik Kimia UI 2008 atas bantuan, dorongan, dan kerja samanya selama ini.

9. Seluruh dosen Departemen Teknik Kimia UI yang telah mengajar dan memberi saya wawasan sebagai mahasiswa teknik kimia.
10. Kang Jajat, Mas Sri, dan Mas Eko yang membantu segala keperluan lab dan kelengkapan administrasi.
11. Seluruh keluarga, khususnya Ayah, Ibu, kedua kakak saya: Meylina dan Rianti, Bang Hendra, adik saya Nanda, Oppung, Tante, Tulang, dan Nantulang, atas segala dorongan dan dukungan yang diberikan kepada penulis.
12. Teman-teman seperjuangan di luar Kutek: Apri, Jahotman, Jerika, Lidya, Ibeth, Kevin, Athina, Vina, dan Roberton.
13. Teman-teman seperjuangan di dalam Kutek: Danny, Yonathan, Deny, Tulus, dan Pahala.
14. Serta berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis selama ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan buku skripsi ini. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan penulis untuk perbaikan buku skripsi ini. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Depok, 29 Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Eldo Sularto Marbun

NPM : 0806332963

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 :

**Sintesis Bioplastik dari Pati Ubi Jalar Menggunakan
Penguat Logam ZnO dan Penguat Alami Selulosa**

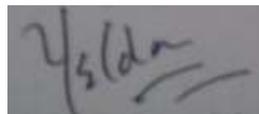
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 29 Juni 2012

Yang menyatakan



(Eldo Sularto Marbun)

ABSTRAK

Nama : Eldo Sularto Marbun
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Sintesis Bioplastik dari Pati Ubi Jalar Menggunakan Penguat Logam ZnO dan Penguat Alami Selulosa

Limbah plastik merupakan salah satu masalah lingkungan terbesar saat ini. Ini dikarenakan oleh penggunaan plastik konvensional yang berasal dari polimer sintetis yang sulit diuraikan oleh pengurai. Bioplastik menjadi salah satu solusi masalah ini. Pati merupakan polimer alami yang dapat digunakan untuk produksi bioplastik karena sumbernya melimpah, dapat diperbaharui, mudah terdegradasi, dan harga terjangkau. Namun, pati mempunyai kelemahan, yaitu sifat mekanik yang buruk. Partikel penguat telah terbukti dapat memperbaiki kelemahan pati. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan konsentrasi terbaik ZnO dan selulosa sebagai penguat pada matriks pati. Pembuatan bioplastik dilakukan dengan metode *melt intercalation*, yaitu pencampuran pati ubi jalar, gliserol, ZnO/selulosa. Penambahan konsentrasi ZnO 0, 1, 3, 6, 9% wt dan penambahan konsentrasi selulosa 0, 1, 3, 6, 9% wt berturut-turut menyebabkan peningkatan kuat tarik dari 12,812 kgf/cm² menjadi 64,187 kgf/cm² dan 12,812 kgf/cm² menjadi 59,740 kgf/cm², serta penurunan elongasi dari 43% menjadi 6% dan 43% menjadi 6,667%. Sedangkan kombinasi selulosa dan ZnO menyebabkan nilai kuat tarik dibawah 64,187 kgf/cm². Penambahan ZnO dan selulosa juga terbukti mempengaruhi hasil FT-IR, XRD, dan SEM bioplastik. Hasil WVTR bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa adalah 10,097 g/m².jam. Selain itu, tingkat biodegradabilitas bioplastik dengan penguat alami selulosa mempunyai hasil lebih baik dibandingkan dengan penguat logam ZnO.

Kata kunci:

Bioplastik, Pati Ubi Jalar, ZnO, Selulosa, Gliserol, *Melt Intercalation*

ABSTRACT

Name : Eldo Sularto Marbun
Study Program : Chemical Engineering
Title : Bioplastic Synthesis of Sweetpotato Starch Using ZnO
Metal and Cellulose Natural Reinforcement

Nowadays, plastic waste is the biggest environmental issues. Since the usage of conventional plastic which come from synthesis polymer that can not be decomposed by decomposers. One of the solutions is bioplastic. Starch is natural polymer that used to produce bioplastic because it is abundant, reneweble, degradable, and affordable resources. However, starch has some weakness such as poor mechanical properties. Reinforcement is proven to enhance that weaknesses. This research objective is to obtain the best ZnO and cellulose concentration as reinforcement for starch matrix. Bioplastic synthesis made with melt intercalation method, which is blending from sweetpotato strach, glycerol, ZnO/cellulose. The addition of ZnO concentration 0, 1, 3, 6, 9 wt% and cellulose concentrarion 0, 1, 3, 6, 9 wt%, respectively will cause increasing in tensile strength from 12.812 kgf/cm² become 64.187 kgf/cm² and 12.812 kgf/cm² become 59.740 kgf/cm², decreasing in elongation from 43% become 6% and 43% become 6.667%. While the combination of cellulose and ZnO causes tensile strength values below 64.187 kgf/cm². It is also proven by the addition of ZnO and cellulose affect the result of bioplastic FT-IR, XRD, and SEM. The result of bioplastic WVTR with 9 wt% cellulose reonforcement is 10.097 g/m².jam. Moreover, the level of bioplastic biodegradability with cellulose natural reinforcement is better than ZnO metal reinforcement.

Key Words:

Bioplastic, Sweetpotato Starch, ZnO, Glycerol, Melt Intercalation

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Komposit.....	5
2.1.1 <i>Reinforcement/Filler</i> (Pengisi).....	5
2.1.2 Matriks.....	5
2.2 Biokomposit	5
2.3 Plastik Biodegradabel (Bioplastik).....	6
2.4 Preparasi Biokomposit untuk Produksi Bioplastik.....	8
2.4.1 Eksfoliasi/adsorpsi.....	8
2.4.2 Polimerisasi In Situ Interkalatif	9
2.4.3 Interkalasi Larutan/ Interkalasi prepolimer dari larutan	9
2.4.4 <i>Melt intercalation</i>	10
2.5 Pati Ubi Jalar	11
2.6 Zinc Oxide.....	17
2.7 Selulosa	18
2.8 Gliserol.....	19
2.9 Karakterisasi Bioplastik	20
2.9.1 Karakterisasi Sifat Mekanik.....	20
2.9.2 Karakterisasi SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	21
2.9.3 Karakterisasi XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	21
2.9.4 Karakterisasi FT-IR (<i>Fourier Transform InfraRed</i>).....	23
2.9.5 Karakterisasi <i>Water Vapour Transmission Rate</i> (WVTR).....	24
2.9.6 Karakterisasi Biodegradabilitas	24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Tempat Penelitian	27
3.3 Peralatan dan Bahan Penelitian	28
3.4 Prosedur Percobaan.....	31
3.4.1 Ekstraksi Pati.....	31
3.4.2 Proses Pembuatan Bioplastik.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Hasil Studi Kelayakan Pembuatan Bioplastik dari Pati Ubi Jalar	35
4.1.1 Persiapan Bahan	35
4.2 Hasil Optimasi Konsentrasi Penguat pada Pembuatan Bioplastik	38
4.2.1 Hasil Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi Penguat ZnO	38
4.2.2 Hasil Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi Penguat Selulosa	42
4.2.3 Hasil Pembuatan Bioplastik dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO	46
4.2.4 Hasil Pembuatan Bioplastik dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO Berdasarkan Konsentrasi Massa.....	51
4.3 Hasil Karakterisasi Bioplastik	54
4.3.1 Hasil Uji Sifat Mekanik.....	54
4.3.2 Hasil Uji Morfologi	66
4.3.3 Hasil Uji Laju Transmisi Uap Air (WVTR)	72
4.3.4 Hasil Uji Biodegradabilitas.....	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1 KESIMPULAN	79
5.2 SARAN	80
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Siklus Bioplastik (IBAW Publication, 2005).....	7
Gambar 2.2. Klasifikasi Plastik Biodegradabel (Averous, 2008)	8
Gambar 2.3. Ilustrasi Pembuatan Komposit dengan Eksfoliasi (Ray & Okamoto, 2003).....	9
Gambar 2.4. Ilustrasi Pembuatan Komposit dengan Polimerisasi In Situ Interkalatif pada Nylon-6/Clay Nanocomposites (Ray & Okamoto, 2003).....	9
Gambar 2.5. Ilustrasi Pembuatan Komposit dengan Melt Intercalation Tampak diantara Dua Lapisan.....	11
Gambar 2.6. Ilustrasi Berbagai Pembuatan Komposit antara Polimer dengan <i>Layered Clay</i> pada <i>Conventional Composite, Intercalated Nanocomposite dan Exfoliated Nanocomposite</i> (Denault & Labreque, 2004).....	11
Gambar 2.7. Struktur Molekul Amilosa dan Amilopektin (Chemistry, 2008)	12
Gambar 2.8. Ubi Jalar (Departemen Pertanian, 2010).....	13
Gambar 2.9. Struktur Kristal ZnO (Morkoc & Ozgur, 2009).....	17
Gambar 2.10. Struktur Molekul Selulosa (Jumantara, 2011)	19
Gambar 2.11. Ilustrasi Operasi Kerja FT-IR pada Sampel (Thermo, 2001).....	23
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 3.2. <i>Ultrasonic Processor</i>	28
Gambar 3.3. <i>Hot Plate Stirrer</i>	28
Gambar 3.4. Neraca Analitis.....	28
Gambar 3.5. Peralatan Gelas Laboratorim.....	29
Gambar 3.6. Cetakan Flexi Glass.....	29
Gambar 3.7. Oven.....	29
Gambar 3.8. Pati Ubi Jalar.....	30
Gambar 3.9. Partikel ZnO.....	30
Gambar 3.10. Selulosa.....	30
Gambar 3.11. Gliserol.....	30
Gambar 3.12. Aquadest.....	30
Gambar 3.13. Ilustrasi Prosedur Pembuatan Bioplastik.....	34
Gambar 4.1. Ubi Jalar Putih.....	35
Gambar 4.2. Ilustrasi Persiapan Bahan Pati dari Ubi Jalar yang Telah Dikupas.....	36
Gambar 4.3. Bioplastik dengan Penguat 0% wt ZnO.....	39
Gambar 4.4. Bioplastik dengan Penguat 3% wt ZnO.....	40
Gambar 4.5. Bioplastik dengan Penguat 6% wt ZnO.....	41
Gambar 4.6. Bioplastik dengan Penguat 9% wt ZnO.....	42
Gambar 4.7. Bioplastik dengan Penguat 1% wt Selulosa.....	43
Gambar 4.8. Bioplastik dengan Penguat 3% wt Selulosa.....	44
Gambar 4.9. Bioplastik dengan Penguat 6% wt Selulosa.....	45
Gambar 4.10. Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa.....	46
Gambar 4.11. Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 9% wt Selulosa dan 1% wt ZnO.....	47

Gambar 4.12. Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 9% wt Selulosa dan 3% wt ZnO	48
Gambar 4.13. Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 9% wt Selulosa dan 6% wt ZnO	49
Gambar 4.14. Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 9% wt Selulosa dan 9% wt ZnO	50
Gambar 4.15. Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 25% wt Selulosa dan 75% wt ZnO.....	52
Gambar 4.16. Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 50% wt Selulosa dan 50% wt ZnO.....	53
Gambar 4.17. Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 75% wt Selulosa dan 25% wt ZnO.....	54
Gambar 4.18. Pengaruh Konsentrasi ZnO sebagai Penguat terhadap Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik.....	56
Gambar 4.19. Pengaruh Konsentrasi Selulosa sebagai Penguat terhadap Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik	60
Gambar 4.20. Pengaruh Kombinasi Selulosa dan ZnO sebagai Penguat terhadap Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik	63
Gambar 4.21. Pengaruh Kombinasi Selulosa dan ZnO Berdasarkan Konsentrasi Massa sebagai Penguat terhadap Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik.....	65
Gambar 4.22. Hasil SEM Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa (perbesaran 250X).....	67
Gambar 4.23. Hasil SEM Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa (perbesaran 2.500X).....	67
Gambar 4.24. Hasil SEM Bioplastik dengan Penguat 0% wt (perbesaran 250X).....	68
Gambar 4.25. Hasil SEM Bioplastik dengan Penguat 0% wt (perbesaran 2500X)	68
Gambar 4.26. Spektrum FTIR dari Pati Ubi Jalar, Selulosa, Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa, dan Bioplastik dengan Penguat 0% wt Selulosa	69
Gambar 4.27. Difraktogram dari Pati Ubi Jalar, Selulosa, dan Bioplastik	71
Gambar 4.28. Perbandingan Hasil WVTR Bioplastik 9% wt Selulosa dengan Hasil WVTR Penelitian Zulfa, 2011	74
Gambar 4.29. Bioplastik dengan Ukuran 2,5 x 1,5 cm.....	75
Gambar 4.30. Ilustrasi Uji Biodegradabilitas dengan Metode <i>Soil Burial Test</i> ...	75
Gambar 4.31. Perbandingan Biodegradabilitas Bioplastik dengan Penguat Alami Selulosa dan Penguat Logam ZnO.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kandungan Pati Beberapa Bahan Pangan	12
Tabel 2.2. <i>State of The Art</i> Penelitian Bioplastik	14
Tabel 2.3 Penelitian-Penelitian Pati sebagai Matriks dari Suatu Komposit	15
Tabel 3.1. Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO Berdasarkan Massa.....	27
Tabel 4.1. Kandungan Pati Ubi jalar	37
Tabel 4.2. Ukuran Partikel ZnO	37
Tabel 4.3. Hasil Uji Kuat Tarik dengan Variasi Konsentrasi Penguat ZnO	55
Tabel 4.4. Hasil Uji Elongasi dengan Variasi Konsentrasi Penguat ZnO	56
Tabel 4.5. Hasil Uji Kuat Tarik dengan Variasi Konsentrasi Penguat Selulosa ...	59
Tabel 4.6. Hasil Uji Elongasi dengan Variasi Konsentrasi Penguat Selulosa	59
Tabel 4.7. Hasil Uji Kuat Tarik dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO ..	62
Tabel 4.8. Hasil Uji Elongasi dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO	63
Tabel 4.9. Hasil Uji Kuat Tarik dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO ..	64
Tabel 4.10. Hasil Uji Elongasi dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO ...	65
Tabel 4.11. Hasil Uji WVTR Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa	73
Tabel 4.12. Hasil Uji WVTR Biokomposit dengan Penguat 1,3, dan 6% wt ZnO (Zulfa, 2011).....	74
Tabel 4.13. Hasil Uji Biodegradabilitas Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa	76
Tabel 4.14. Hasil Uji Biodegradabilitas Bioplastik dengan Penguat 9% wt ZnO	76
Tabel 4.15. Hasil Uji Biodegradabilitas Fraksi Residual Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa.....	77
Tabel 4.16. Hasil Uji Biodegradabilitas Fraksi Residual Bioplastik dengan Penguat 9% wt ZnO.....	77
Tabel 5.1. Hasil Uji Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik dengan.....	79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu permasalahan lingkungan di dunia pada umumnya dan di Indonesia pada khususnya adalah limbah plastik. Kebutuhan plastik sebagai kantong plastik, kemasan pangan atau barang semakin lama semakin meningkat. Ini dikarenakan plastik mempunyai keunggulan dibandingkan dengan media lain seperti logam atau gelas, yaitu jauh lebih ringan, harga lebih murah, kemudahan dalam proses pembuatan dan aplikasinya, dan tidak mudah pecah. Selain itu, peningkatan jumlah penduduk di dunia ditambah dengan penggunaan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui untuk memproduksi plastik semakin menambah penumpukan sampah plastik. Plastik konvensional yang masih sering digunakan saat ini berasal dari bahan polimer sintetis yang terbuat dari petroleum, atau gas alam yang sulit didaur ulang dan diuraikan oleh pengurai. Ini dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan berupa pencemaran tanah, air, dan udara, serta penumpukan sampah plastik.

Salah satu solusi pemecahan masalah ini adalah dengan mengganti bahan dasar plastik konvensional tersebut menjadi bahan yang mudah diuraikan oleh pengurai, yang disebut dengan plastik biodegradabel (bioplastik). Keuntungan dari bioplastik ini sangat jelas, yaitu mengurangi limbah plastik yang semakin lama jumlahnya semakin banyak. Bioplastik dirancang untuk memudahkan proses degradasi terhadap reaksi enzimatik mikroorganisme seperti bakteri dan jamur (Avella, 2009). Salah satu bahan yang mudah diuraikan adalah pati. Pati menjadi material yang menjanjikan untuk bahan plastik karena sifatnya yang universal, dapat diperbaharui, dan harga terjangkau (Ma, Chang, Yang, & Yu, 2009) Jika pati tersebut digabung dengan penguat/pengisi akan membentuk suatu biokomposit. Beberapa macam pengisi yang dapat diisi ke dalam matriks pati adalah MMT (montmorillonite), hectorite, kaolinite (Zhao, Torley, & Halley, 2008).

Adanya bahan penguat/pengisi tersebut dalam biopolimer (dalam hal ini, pati) akan memberikan pengaruh pada sifat-sifat komposit yang terbentuk (Bayandori, Badraghi, & Kazemzad, 2009). Penguat akan meningkatkan kekuatan mekanis dan *barrier properties* pada pati. ZnO merupakan bahan yang bersifat *piezoelektrik*, *bio-safe*, dan *bio-compatible* dengan pati (Wang, 2007). ZnO telah banyak digunakan sebagai penguat pada matriks pati, diantaranya: Ma, Chang, Yang, & Yu, 2009; Ardiansyah, 2011; Zulfa, 2011; dan Umar, 2011. Selain itu, terdapat juga penguat alami, selulosa dengan keunggulan sebagai material organik yang sangat melimpah pada lapisan biosfer dan merupakan material yang kuat. Dengan melakukan variasi penguat tersebut diharapkan akan diperoleh biokomposit yang mempunyai sifat mekanik, morfologi, dan biodegradabilitas yang optimal.

Sumber pati yang digunakan adalah ubi jalar. Pati ubi jalar mempunyai kadar amilosa 11,6% dan amilopektin 76,2% (Zulfa, 2011). Kadar amilosa tersebut diharapkan dapat memberikan sifat mekanik yang optimal dan kadar amilopektin yang memberikan sifat lengket yang optimal. Selain itu, kemudahan mendapatkan ubi jalar hampir di seluruh wilayah Indonesia sangat mendukung dilakukannya penelitian ini. Sampai saat ini, penelitian tentang biokomposit yang menggunakan matriks pati ubi jalar dengan penguat ZnO/selulosa pun masih belum ditemukan. Selain pati dan penguatnya, gliserol diperlukan sebagai bahan *plasticizer* yang akan memacu proses pencetakan dan fleksibilitas biokomposit. Pembuatan biokomposit dengan matriks pati ubi jalar dengan variasi ZnO/selulosa sebagai penguat dan gliserol yang tepat diharapkan dapat menghasilkan bahan bioplastik yang memiliki sifat mekanik, morfologi, dan biodegradabilitas yang optimal. Untuk mendapatkan sifat-sifat tersebut, metode dan pengujian yang tepat pun perlu dilakukan.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *melt intercalation*. Dibandingkan dengan metode interkalasi larutan, eksfoliasi, dan polimerisasi in situ interkalatif, metode ini memiliki keunggulan yaitu tidak memerlukan penambahan pelarut pada pengisi yang dicampur dengan matriks polimer sehingga ramah bagi lingkungan. Sedangkan untuk menganalisis penelitian, pengujian dilakukan dengan pengujian sifat mekanik berupa uji tarik

dan elongasi, pengujian WVTR, pengujian morfologi berupa SEM, XRD, dan FT-IR dan uji biodegradabilitas.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh dan distribusi bahan penguat/pengisi ZnO dan selulosa dalam pati terhadap sifat mekanik, morfologi, dan biodegradabilitas bioplastik yang terbentuk?
2. Pada konsentrasi berapakah, ZnO dan selulosa sebagai penguat memberikan sifat mekanik terbaik pada bioplastik?
3. Bagaimana pengaruh dan distribusi bahan penguat/pengisi antara kombinasi ZnO dan selulosa dalam pati terhadap sifat mekanik bioplastik yang terbentuk?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh penambahan ZnO dan selulosa sebagai penguat pada bioplastik yang terbentuk
2. Mendapatkan konsentrasi ZnO dan selulosa terbaik sebagai penguat pada bioplastik yang terbentuk.
3. Mengetahui sifat mekanik, morfologi, dan biodegradabilitas bioplastik yang terbentuk.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi dengan:

1. Metode yang digunakan pada pembuatan bioplastik adalah *melt intercalation*
2. Gliserol yang digunakan adalah gliserol proanalisis
3. Sumber pati yang digunakan adalah pati dari ubi jalar dengan ekstraksi pati dilakukan oleh peneliti
4. Bioplastik terbentuk ketika penguat (ZnO maupun selulosa), gliserol, aquadest, dengan pati ubi jalar terbentuk menjadi film plastik yang sudah kering
5. Bahan yang dihasilkan pada penelitian ini adalah film plastik
6. Waktu pemanasan dan pengadukan matriks pati ubi jalar dengan penguatnya adalah 40 menit (sesuai dengan hasil percobaan Zulfa, 2011)
7. Konsentrasi gliserol yang digunakan sebagai *plasticizer* adalah 25% wt (sesuai dengan hasil percobaan Zulfa, 2011)

8. Uji mekanik yang dilakukan pada bioplastik adalah kuat tarik dan elongasi
9. Uji morfologi yang dilakukan pada bioplastik adalah SEM, XRD, dan FT-IR.
10. Uji biodegradabilitas yang dilakukan pada bioplastik adalah pengujian *soil burial test*

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan teori umum tentang komposit, biokomposit, plastik biodegradabel, metode *melt intercalation* pada pembuatan biokomposit, pati ubi jalar, ZnO, selulosa, gliserol, dan karakterisasi bioplastik.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan tentang diagram alir penelitian, tempat penelitian, peralatan dan bahan yang digunakan, dan prosedur percobaan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil percobaan dan analisis data hasil pengamatan mulai dari persiapan bahan, hasil optimasi pembuatan bioplastik, dan hasil karakterisasi bioplastik

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil percobaan dan analisis pembuatan bioplastik yang telah dilakukan

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit adalah perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusun (Gibson, 1994). Komposit merupakan gabungan dari dua komponen atau lebih yang memberikan sifat kaku (Saputra, 2001). Komposit mempunyai keunggulan yaitu: daya tahan terhadap lingkungan korosif yang baik, rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, sifat mekanik, insulasi listrik yang baik serta dapat dibuat dalam berbagai bentuk. Sedangkan kekurangan komposit yaitu: tidak dapat digunakan pada temperatur lebih dari 400°F, kekakuan tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan logam dan harga bahan baku yang relatif tinggi (Gaylord, 1974). Komposit mempunyai dua komponen yaitu *reinforcement* (penguat) dan matriks.

2.1.1 *Reinforcement/Filler* (Pengisi)

Reinforcement berfungsi sebagai penguat atau penguat material dari suatu komposit (Harper, 1996). *Reinforcement* ini dapat berupa fiber, dan partikel. Contoh yang sering digunakan adalah: *glass fiber*, asbestos, katun, *organic fiber*, dan lain-lain.

2.1.2 Matriks

Matriks berfungsi untuk menjaga *reinforcement* agar tetap pada tempatnya di dalam struktur, melindungi filamen dalam struktur, membantu distribusi beban, mengendalikan sifat elektrik dari kimia komposit, serta membawa regangan interlamina (Saputra, 2001). Matriks yang paling sering dipakai adalah logam, polimer, dan keramik.

2.2 Biokomposit

Biokomposit adalah material komposit yang terdiri dari gabungan dari polimer alami sebagai fasa organik dan penguat sebagai fasa anorganik (Darder, 2008). Pengisi yang berskala nano sangat mempengaruhi sifat-sifat

komposit yang dihasilkan dan menunjukkan perbaikan pada sifat fisik dan mekanik *tensile strength, thermal stability* jika dibandingkan dengan material konvensional lainnya (Avella, 2009).

Peran biokomposit tersebut menjadikan biokomposit sebagai generasi baru dari material komposit yang turut mengembangkan ilmu pengetahuan tentang material dan nanoteknologi (Chang & Juang, 2004). Biokomposit menjadi salah satu alternatif untuk menghasilkan produk yang biodegradabel dengan peran yang lebih bermutu dibandingkan dengan material yang tidak dapat diperbaharui.

2.3 Plastik Biodegradabel (Bioplastik)

Biokomposit dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, yaitu kemasan makanan, aplikasi pertanian, dan aplikasi industri (Zhao, Torley, & Halley, 2008). Perkembangan aplikasi komposit (khususnya biokomposit) disebabkan oleh sifatnya yang biodegradabel, biokompatibel, dan meningkatkan sifat mekanik dan termal antara matriks dan pengisi pada bionanokomposit yang terbentuk (Ma, Chang, Yang, & Yu, 2009). Selain itu, yang tidak kalah menarik lainnya adalah aplikasinya sebagai plastik biodegradabel atau sering disebut juga dengan bioplastik.

Bioplastik adalah polimer yang dapat berubah menjadi biomassa, H₂O, CO₂, dan atau CH₄ 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 CO₂, CH₄, N₂, air, garam-garam, mineral dan biomassa. Definisi polimer biodegradabel dan hasil akhir yang terbentuk dapat beragam bergantung pada polimer, organisme, dan lingkungan (Kaplan et al, 1993 dalam Hartoto et al, 2005).

Bioplastik merupakan suatu material polimer yang berubah ke dalam senyawa berat molekul rendah dimana paling sedikit satu tahap pada proses degradasinya melalui metabolisme organisme secara alami (Seal & Griffin, 1994). Bioplastik akan terurai oleh aktivitas pengurai melalui proses biodegradasi.

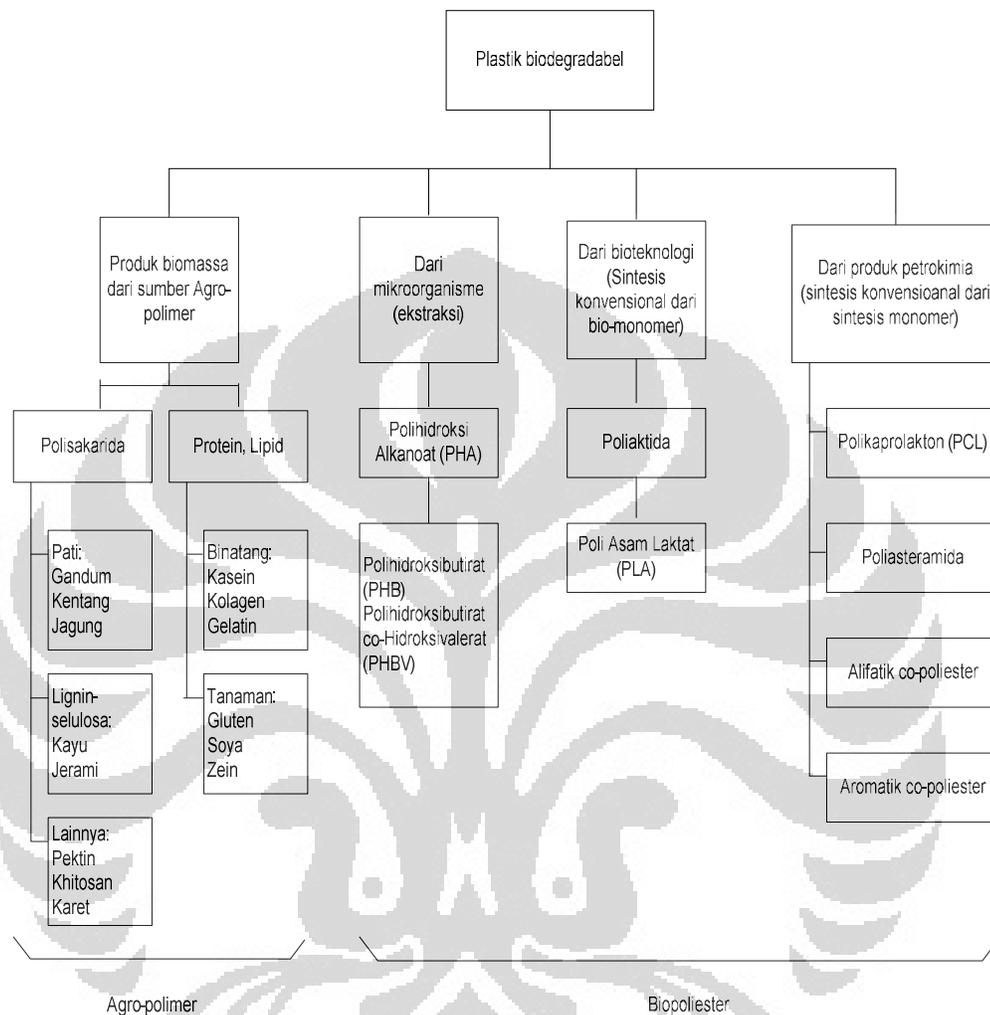
Kemudian hasil biodegradasi berupa mineral dan air akan diolah tanaman dan tanaman akan berfotosintesis. Sebagian hasil fotosintesis akan disimpan dalam bentuk cadangan makanan, salah satunya berupa umbi. Kemudian umbi diolah dapat diolah kembali menjadi bioplastik. Siklus ini dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Siklus Bioplastik (IBAW Publication, 2005)

Bioplastik dikelompokkan menjadi dua kelompok dan empat keluarga berbeda (Averous, 2008) sesuai dengan Gambar 2.2. Kelompok utama adalah: (1) agro-polimer yang terdiri dari polisakarida, protein dan sebagainya; dan (2) biopoliester (*biodegradable polyesters*) seperti poli asam laktat (PLA), polyhydroxyalkanoate (PHA), aromatik dan alifatik co-poliester. Agro-polimer adalah produk-produk biomassa yang diperoleh dari bahan-bahan pertanian, seperti polisakarida, protein dan lemak. Biopoliester dapat dikelompokkan berdasarkan sumbernya. Kelompok *Polyhydroxy-alkanoate* (PHA) didapatkan dari aktivitas mikroorganisme dengan cara ekstraksi. Contoh PHA diantaranya *PolyQiydroxybutyrate* (PHB) dan *PolyQiydroxybutyrate co-hydroxyvalerate* (PHBV). Kelompok lain adalah biopoliester yang didapatkan 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 didapatkan dari produk-produk petrokimia yang disintesis secara konvensional dari monomer-monomer sintetis.

Kelompok ini terdiri dari *polycaprolactones (PCL)*, *poly ester amides*, *aliphatic co-polyesters* dan *aromatic co-polyesters*.



Gambar 2. 2. Klasifikasi Plastik Biodegradabel (Averous, 2008)

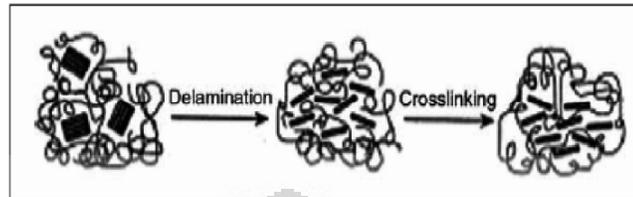
2.4 Preparasi Biokomposit untuk Produksi Bioplastik

Berbagai metode pembuatan biokomposit untuk produksi bioplastik dapat dijelaskan sebagai berikut:

2.4.1 Eksfoliasi/adsorpsi

Pertama-tama, sekumpulan lapisan (*layered host*) mengalami pengelupasan dalam pelarut (air, toluena, dll.) yang polimernya dapat larut pada pelarut tersebut. Kemudian, polimer diadsorpsi ke dalam permukaan lapisan satu demi satu dan setelah pelarut menguap ketika pengendapan, lapisan tersebut satu demi satu

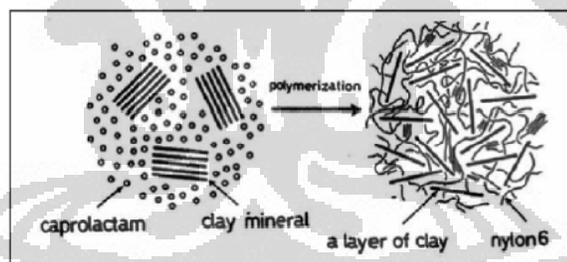
teratur kembali (E. & Zhang, 2005). Ilustrasinya dapat diperlihatkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2. 3. Ilustrasi Pembuatan Komposit dengan Eksfoliasi (Ray & Okamoto, 2003)

2.4.2 Polimerisasi In Situ Interkalatif

Pada metode ini, polimer dibentuk diantara lapisan dengan mengembangkan kumpulan lapisan dalam monomer cair atau larutan monomer sehingga pembentukan polimer dapat terjadi antara lembar yang terinterkalasi. Pembentukan polimer (polimerisasi) dapat dimulai dengan panas/radiasi/difusi (Zhao, Torley, & Halley, 2008). Ilustrasinya dapat diperlihatkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2. 4. Ilustrasi Pembuatan Komposit dengan Polimerisasi In Situ Interkalatif pada Nylon-6/Clay Nanocomposites (Ray & Okamoto, 2003)

2.4.3 Interkalasi Larutan/ Interkalasi prepolimer dari larutan

Metode ini didasarkan pada pengembangan sistem pelarut dimana biopolimer atau bio-prepolimer, seperti pati dan protein terlarut dan nanofillers anorganik (biasanya silikat). Pertama, silikat berlapis dikembangkan di dalam suatu pelarut seperti air, kloroform, atau toluena. Kedua, ketika biopolimer dan larutan nanopartikel yang mengembang dicampur, rantai polimer akan terinterkalasi dan menggantikan pelarut dalam interlayer dari silikat. Ketiga, setelah penghilangan

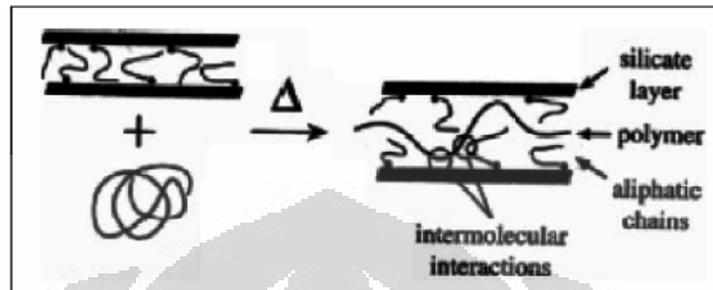
pelarut, struktur yang telah terinterkalasi akan tertinggal dan akan membentuk biopolimer/silikat berlapis bionanokomposit (Zhao, Torley, & Halley, 2008).

2.4.4 *Melt intercalation*

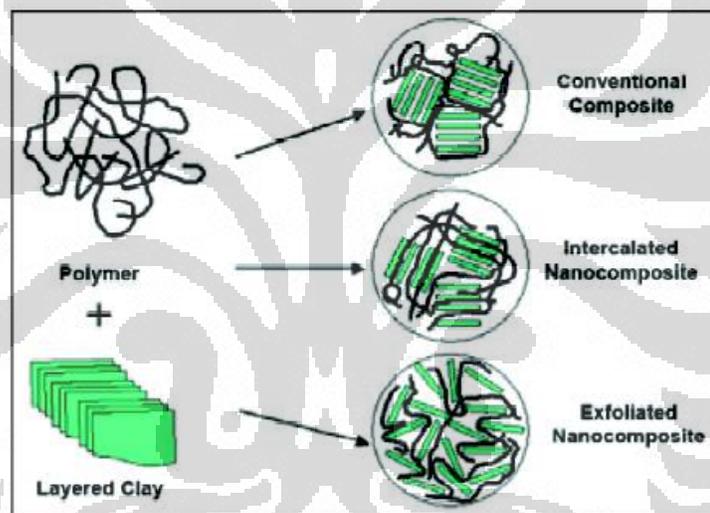
Metode *melt intercalation* pertama kali dilaporkan oleh Vaia et al (Ardiansyah, 2011). Proses pembuatan biokomposit pada metode ini tidak memerlukan penambahan pelarut. Silikat berlapis dicampur dengan matriks polimer dalam *molten state*, ikatan polimer akan bergerak perlahan-lahan ke dalam ruang antar lapisannya (Ma, 2008). Proses penyebaran ikatan polimer ke dalam galeri lapisan silikat menjadi bagian penting pada proses *melt intercalation* (Li, C.Z., Wang, & Zhao, 2002). Vaia et al. melakukan *melt intercalation* pertama kalinya pada polistirene (PS) ke dalam galeri mika untuk penelitian kinetika *melt intercalation* pada PS terhadap pengaruh suhu dan berat molekulnya. Perilaku elastik tipikal dengan perentangan ikatan terjadi dibawah suhu transisi kaca (T_g). Di atas (T_g), mungkin terjadi regangan elastik yang besar pada polimer linear, karena ikatan molekul dapat diluruskan dari keadaan tertekuk dan tergulung. Dengan pelurusan, persyaratan tegangan meningkat dan dihasilkan modulus elastisitas nonlinear. Diatas (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.

Melt intercalation merupakan metode yang ramah lingkungan karena tidak digunakannya pelarut organik yang nantinya dapat menjadi limbah, sementara metode eksfoliasi, polimerisasi in situ interkalatif dan interkalasi larutan menggunakan pelarut tersebut. Selain itu, *melt intercalation* juga kompatibel dengan proses industri seperti pada *injection molding*. Pada *melt intercalation*, pembuatan biokomposit dilakukan dengan tujuan untuk menguatkan material, yaitu dengan cara memanaskan dan mendinginkan material (E. & Zhang, 2005). Ilustrasi *melt intercalation* yang tampak dari dua lapisan ditunjukkan dalam

Gambar 2.5. Sedangkan, ilustrasi *melt intercalation* yang tampak dari banyak lapisan ditunjukkan dalam Gambar 2.6 bagian tengah.



Gambar 2. 5. Ilustrasi Pembuatan Komposit dengan Melt Intercalation Tampak diantara Dua Lapisan (Ray & Okamoto, 2003)

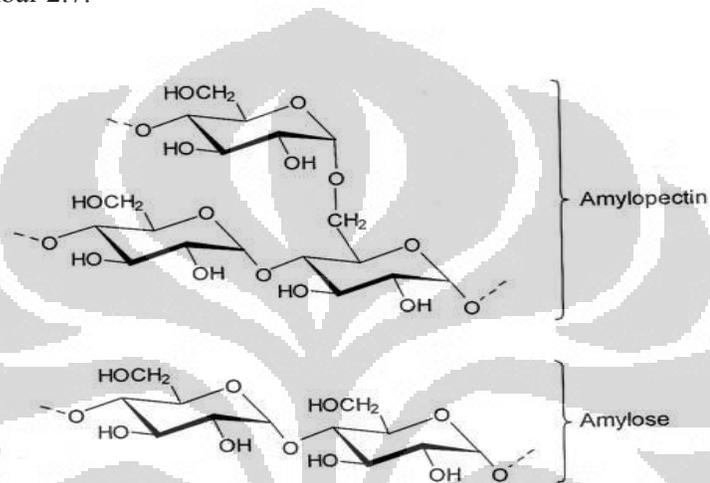


Gambar 2. 6. Ilustrasi Berbagai Pembuatan Komposit antara Polimer dengan *Layered Clay* pada *Conventional Composite*, *Intercalated Nanocomposite* dan *Exfoliated Nanocomposite* (Denault & Labreque, 2004)

2.5 Pati Ubi Jalar

Pati (amilum) mempunyai rumus molekul $(C_6H_{10}O_5)_n$, banyak terdapat dalam biji, umbi, akar, dan jaringan batang tanaman (Pasaribu, 2009). Komponen-komponen yang menyusun pati adalah amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan komponen pati yang mempunyai rantai lurus dan larut dalam air. Amilosa terdiri dari satuan glukosa yang bergabung melalui ikatan α -(1,4)-D-glukosa. Amilosa memberikan sifat keras, dan memiliki berat molekul rata-rata

10.000 – 60.000. Sedangkan amilopektin merupakan komponen pati yang mempunyai rantai cabang dan tidak larut dalam air, tetapi larut dalam butanol. Amilopektin menyebabkan sifat lengket, tidak larut dalam air dingin, dan mempunyai berat molekul 60.000-100.000 (Zulfa, 2011). Amilopektin terdiri dari satuan glukosa yang bergabung melalui ikatan α -(1,4)-D-glukosa dan α -(1,6)-D-glukosa (Ben & Z., 2007)). Struktur molekul amilosa dan amilopektin ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2. 7. Struktur Molekul Amilosa dan Amilopektin (Chemistry, 2008)

Komposisi terbesar yang terkandung dalam ubi jalar adalah pati, yaitu 90% dalam basis kering, seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.1. Gambar ubi jalar ditunjukkan dalam Gambar 2.8.

Tabel 2. 1. Kandungan Pati Beberapa Bahan Pangan

Bahan Pangan	Pati (% dalam basis kering)
Biji gandum	67
Beras	89
Jagung	57
Biji Sorghum	72
Kentang	75
Ubi Jalar	90
Singkong	90
Talas	68.24 -72.61

Sumber: Cui, S. W., 2005 dan Hartati, N. Sri,2003



Gambar 2. 8. Ubi Jalar (Departemen Pertanian, 2010)

Kandungan pati ubi jalar tersebut mendukung pengembangan ubi jalar selain menjadi makanan. Faktanya, ubi jalar masih belum banyak dikembangkan. Apalagi jika dibandingkan dengan sumber pati lain seperti ubi kayu, jagung, dan kacang-kacangan, ubi jalar masih belum banyak dikembangkan selain untuk bahan makanan. Sementara, ubi jalar banyak tumbuh di daerah Indonesia baik dari dataran rendah sampai dataran tinggi yang kaya akan bahan organik dengan kelembaban udara yang tinggi. Pengembangan ubi jalar yang belum maksimal, kandungan pati ubi jalar yang besar, dan pemanfaatan bioplastik sebagai plastik ramah lingkungan, mendorong penelitian untuk menghasilkan bioplastik. Tabel 2.2 menjelaskan *state of the art* dari penelitian bioplastik yang telah dilakukan dari tahun 2011 (Riset *Group* Dr. Heri Hermansyah, S.T., M.Eng.) oleh Ardiansyah, 2011; Nuryetti, 2011; serta Zulfa, 2011 dan dilanjutkan dengan penelitian pada tahun 2012. Sedangkan Tabel 2.3 menunjukkan beberapa penelitian tentang pati sebagai matriks dari komposit.

Penelitian tentang pati sebagai matriks dari komposit terus berkembang. Pada tahun 2008, Chen melakukan penelitian pati kacang polong dengan PHFNW-*t* sebagai pengisinya, gliserol dan air sebagai *plasticizer*-nya. Kemudian pada tahun yang sama, Magalhaes et al. melakukan penelitian pati jagung dengan sodium montmorillonite and Cloisite 30B sebagai pengisinya, gliserol sebagai *plasticizer*-nya. Selain itu, pada tahun 2007, Ma et al. melakukan penelitian pati jagung dengan MWCNT sebagai pengisinya, gliserol sebagai *plasticizer*-nya. Setahun kemudian, Ma et al. melakukan penelitian pati kacang polong dengan

ZnO sebagai pengisinya, gliserol dan air sebagai *plasticizer*-nya. Ma et al. membuat bionanokomposit dengan metode *melt intercalation*.

Penelitian Ma et al. membuat ide-ide baru bagi peneliti-peneliti lain seperti Ardiansyah, Umar dan Zulfa. Ketiga peneliti melakukan penelitian biokomposit dengan metode yang sama, yaitu *melt intercalation*. Biokomposit dibuat dengan ZnO sebagai penguatnya, gliserol dan air sebagai *plasticizer*-nya. Yang membedakannya adalah matriks pati yang digunakan. Masing-masing ketiga peneliti menggunakan pati dari umbi garut, ubi kayu, dan ubi jalar. Penelitian-penelitian tersebut menimbulkan ide baru dengan menggunakan matriks ubi jalar dengan variasi penguat logam ZnO dan penguat alami selulosa. Sedangkan *plasticizer* dan metode yang digunakan adalah sama.

Tabel 2. 2. State of The Art Penelitian Bioplastik

	PLA						George & Siddaramiah, 2012			
	Protein	Gelatin								
		Pati Jagung						Jimenez et al., 2012		Girones et al., 2012
		Pati kentang							Chang et al., 2012	
Matriks		Pati kacang polong	Ma et al., 2009							
	Pati	Pati ubi kayu	Nuryetti, 2011				Darni, Utami, & Asriah, 2009			Mbey et al., 2012
		Pati umbi garut	Ardiansyah, 2011							
		Pati ubi jalar	Zulfa, 2011							
		ZnO	ZnO-Sehulosa	ZnO-Kitosan	ZnO-Clay	Sehulosa	BCNC (Bacterial Cellulose NanoCrystal)	HPMC (Hydroxy Propyl Methyl Cellulose)	Clay	Sisal & Rami
										Pengisi/Penguat

- : Riset Group Dr. Heri Hermansyah 2011
- : Riset Group Dr. Heri Hermansyah 2012
- : Area Penelitian

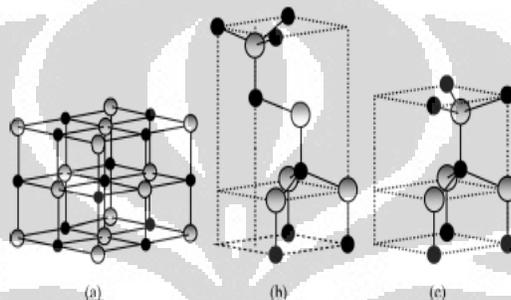
Tabel 2. 3 Penelitian-Penelitian Pati sebagai Matriks dari Suatu Komposit

Penelitian	Ma et al., 2007	Chen, 2008	Ma et al., 2008	Magalhaes et al., 2008	Chang et al., 2009	Schlemmer et al., 2009	Teixeira et al., 2009	Ardiansyah, 2011	Umar, 2011	Zulfa, 2011	Area Penelitian
Perbedaan											
jenis Matriks	Corn Starch	Pea Starch	Pea Starch	Corn Starch	Potato Starch	Cassava Starch	Cassava Starch	Umbi Garut starch	Cassava starch	Sweetpotato Starch	Sweetpotato Starch
Bahan selain matriks	Glycerol	Glycerol, water	Glycerol, Water	Glycerol	Acetic acid	pequi oil (Caryocar brasiliense), water	Glycerol/ sorbitol, Water	Glycerol, Water	Glycerol, Water	Glycerol, Water	Glycerol, Water
Filler/ Partikel	MWCNT (Multiwall Carbon Nanotube)	PHFNW-t	ZnO	Clay (sodium montmorillonite and Cloisite 30B)	Chitosan	MMT (montmorillonite)	Cellulose cassava bagasse nanofibrils (CBN)	ZnO	ZnO	ZnO	ZnO- Cellulose
Kondisi Proses	Campuran akhir mengalami proses casting dalam polystyrene tray, dikeringkan, kemudian dicetak	Solution casting and evaporation process	Melt-intercalation, kemudian dicetak membentuk film	Melt-extrusion, Clay was mixed with CS/ glycerol premixture shortly before extrusion	Melt-intercalation, kemudian dicetak untuk membuat film	Exfoliation and intercalation process	Film nanokomposit disiapkan dengan <i>melt</i> ing process	Melt-intercalation, kemudian dicetak membentuk film			

Penelitian	Wilhelm et al., 2003	Huang et al., 2004	Avella et al., 2005	Bagdi et al., 2000	Chen et al., 2008	Matusinović et al., 2008	Sharma et al., 2009	González et al., 2009	Madaleno et al., 2010	Li et al., 2010
Perbedaan										
Jenis Matriks	Cara starch	Corn starch	Potato starch	Wheat starch	Waterborne polyurethane (WPU)	Poly(styrene-co-methyl methacrylate)	Low charge swelling mica	Poly (hexamethylene terephthalate) (PHT)	PVC	Whey protein isolate (WPI)
Bahan matriks	Glycerol	Glycerol	Glycerol, water, polyester	Glycerol	Aqueous solution	A mixture of deionized water and acetone	Deionized water	Toluene, methanol, chloroform and diethyl ether	Tetrahydrofuran	Glycerol
Filler/partikel	Ca ²⁺ Hectorite	Na MMT	MMT	Na- MMT and three organic treated MMTs (OMMTs)	Starch nanocrystals from potato starch	Benzoate-intercalated layered double hydroxide (LDH-B)	Cellulose, fructose, dan Na-mica	Layered silicate	MMT	TiO2
Kondisi Proses	Clay hydrated in water Film cast from Suspension	Single screw extrusion of starch and glycerol to form pellets. Pellets mixed with nanoparticles and reextruded	Twin screw mixing of starch, then cast films	Premixed then melt mixed in static mixer	Melt intercalation and emulsification	In situ polymerization	The organic solution mixed with mica and deionized water, heated. The final products were washed with deionized water and alcohol several times	In situ ring-opening Polymerization	Solution blending and solution blending + melt compounding	WPI solutions were heated, then added glycerol, then cooled, then added TiO2, and cast.

2.6 Zinc Oxide

Zinc Oxide (ZnO) mempunyai tiga macam struktur, yaitu struktur *hexagonal wurtzite*, *cubic zinc blende*, *cubic rocksalt (Rochelle salt)* seperti yang ada dalam Gambar 2.9. Baik struktur *wurtzite* maupun *cubic zinc blende*, masing-masing anionnya diikat oleh empat kation yang membentuk koordinasi tetrahedral. Pada kondisi yang tidak sesuai dengan lingkungan, secara termodinamika struktur *wurtzite* lebih stabil dibandingkan struktur ZnO yang lain (Morkoc & Ozgur, 2009).



Gambar 2. 9. Struktur Kristal ZnO (Morkoc & Ozgur, 2009)

a. *Cubic Rocksalt* b. *Cubic zinc blende* c. *Hexagonal wurtzite*

ZnO merupakan kristal senyawa ionik, terdiri dari kation-kation dan anion-anion yang tersusun secara teratur dan berulang/periodik. Pola susunan yang teratur dan berulang dari ion-ion yang terdapat dalam suatu kristal menghasilkan kisi kristal dengan bentuk/struktur tertentu (Effendi, 2004) seperti ketiga macam struktur tersebut. Selain itu, ZnO bersifat transmitansi tinggi pada daerah panjang gelombang tampak, indeks bias yang tinggi, konstanta piezoelektrik yang besar, celah pita energi yang lebar (Adriyanto & W., 2003), konduktivitas elektrik yang baik, sifat adhesi, kekerasan yang baik, dan kestabilan kimia dan mekanik yang baik (Rosa & L., 2009)

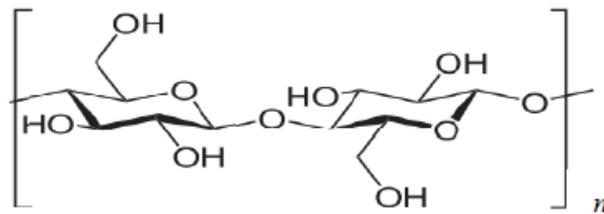
ZnO mempunyai keunggulan pada sifat-sifat berikut: ZnO adalah semikonduktor dengan *direct band gap* 3,2 – 3,4 eV (Choi, 2008), *excitation binding energy* 60 meV pada suhu kamar, dan menunjukkan *near-UV emission* serta *transparent conductivity*; memiliki struktur non-simetri sentral (*non-centrosymmetric symmetry*), yaitu adanya kekurangan pada pusat simetris yang menghasilkan efek piezoelektrik; ZnO juga bersifat *bio-safe* dan *bio-compatible*

sehingga dapat digunakan untuk aplikasi *biomedical* tanpa perlu dilapisi (Wang, 2004); serta mempunyai daya tahan radiasi yang tinggi (Walle & V., 2009). Selain itu, ZnO merupakan semikonduktor tipe-n yang mempunyai aplikasi yang multifungsional seperti pada *solar cells, sensors, displays, gas sensors, varistors, piezoelectric devices, electro-acoustic transducers, photodiodes, UV light emitting devices*, dan *antibacterial material* (Chandramouleeswaran et al., 2007).

2.7 Selulosa

Selulosa merupakan komponen utama penyusun jaringan dinding sel tumbuh-tumbuhan pada umumnya. Sumber selulosa didapatkan dari tumbuh-tumbuhan, alga, sebagian makhluk hidup di laut, dan bakteri. Selulosa merupakan zat karbohidrat (polisakarida) yang mempunyai rumus molekul $2(C_6H_{10}O_5)_n$ (n adalah derajat polimerisasi) seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.10 (Pulp, 2009). Panjang suatu rangkaian selulosa tergantung pada derajat polimerisasinya. Jika suatu rangkaian selulosa semakin panjang, maka rangkaian selulosa tersebut akan mempunyai serat yang lebih kuat, lebih tahan terhadap pengaruh kimia, cahaya, dan mikroorganisme. Keunggulan material selulosa sangat luas, diantaranya *edibility, biocompatibility*, tidak beracun, *non-polluting*, dan biaya murah (Moura, Mattoso, & Zucolotto, 2012), serta melimpah luas di bumi (Azeredo & C.M., 2009). Selain itu selulosa mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Dapat terdegradasi oleh hidrolisa, oksidasi, fotokimia, maupun secara mekanis sehingga berat molekulnya menurun.
2. Tidak larut dalam air maupun pelarut organik, tetapi sebagian larut dalam larutan alkali
3. Dalam keadaan kering, selulosa bersifat higroskopis, keras, dan rapuh. Jika selulosa mengandung cukup banyak air, maka selulosa akan bersifat lunak.
4. Selulosa dalam kristal mempunyai kekuatan lebih baik jika dibandingkan dengan bentuk amorfnya.



Gambar 2. 10. Struktur Molekul Selulosa (Jumantara, 2011)

2.8 Gliserol

Gliserol atau 1,2,3-propanetriol, merupakan senyawa organik yang tidak berwarna, tidak berbau, dan higroskopis dengan rumus kimia $\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$. Gliserol adalah senyawa trihidrik alkohol yang mempunyai titik beku $17,8^\circ\text{C}$ dan titik didih 290°C . Senyawa ini dapat larut dan bercampur dengan air dan etanol. Gliserol hadir dalam bentuk ester (gliserida) pada semua hewan dan lemak dan minyak nabati. Sifatnya yang mudah menyerap air dan kandungan energi yang dimilikinya membuat gliserol banyak digunakan pada industri makanan, farmasi, dan kosmetik (Afrozi, 2010).

Gliserol diperoleh secara komersial sebagai produk sampingan ketika lemak dan minyak yang dihidrolisis untuk menghasilkan asam lemak. Gliserol juga disintesis pada skala komersial dari propylene (diperoleh dengan *cracking* minyak bumi), karena pasokan gliserol alam tidak memadai. Selain sintesis dengan menggunakan propylene, gliserol juga dapat diperoleh selama fermentasi gula natrium bisulfit jika ditambahkan dengan ragi (Wang, 2008).

Pada pembuatan biokomposit, gliserol memiliki peranan yang cukup penting. Pati merupakan polimer alam dalam bentuk butiran yang tidak dapat diproses menjadi material termoplastik karena kuatnya ikatan *hydrogen intermolecular* dan *intramolecular*. Namun, dengan adanya air dan *plasticizer* (gliserol), ikatan hidrogen tersebut dapat diputuskan dan pati dapat diolah menjadi polimer yang biodegradabel yang biasa disebut *thermoplastic starch*. Material plastisasi memacu proses pencetakan, dan meningkatkan fleksibilitas produk. Pencampuran sempurna diperlukan untuk memperoleh distribusi yang homogen (Tjong, 2006). Hasilnya, gliserol dengan polimer berbasis pati memiliki hubungan yang kuat. Pada kadar gliserol rendah, polimer yang terbentuk memiliki

struktur yang rapuh Pada kadar gliserol 10% wt, amilopektin sangat rapuh. Namun pada kadar diatas 20% wt, amilopektin pada film menunjukkan sifat yang tidak kuat dan tidak fleksibel (Myllarinen, 2001).

Penambahan *plasticizer* berperan untuk meningkatkan sifat plastisitasnya, yaitu sifat mekanis yang lunak, ulet, dan kuat. Dalam konsep sederhana, *plasticizer* merupakan pelarut organik dengan titik didih tinggi yang ditambahkan ke dalam resin yang keras atau kaku sehingga akumulasi gaya intermolekuler pada rantai panjang akan menurun, akibatnya kelenturan, pelunakan dan pemanjangan resin akan bertambah (Yadav & Satoskar, 1997). Oleh karena itu, plastisasi akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanisme film seperti kekuatan tarik, elastisitas kekerasan, sifat listrik, suhu alir, suhu transisi kaca, dan sebagainya (Pasaribu, 2009).

Prinsip proses plastisasi adalah dispersi molekul *plasticizer* ke dalam polimer. Jika *plasticizer* mempunyai gaya interaksi dengan polimer, proses dispersi akan berlangsung dalam skala molekul dan terbentuk larutan polimer-*plasticizer*. Sifat fisik dan mekanis polimer-*plasticizer* ini merupakan fungsi distribusi dari sifat komposisi *plasticizer*. Oleh karena itu, ramalan karakteristik polimer yang terplastisasi dapat dilakukan dengan variasi komposisi *plasticizer* (Wirjosentono, 1995).

2.9 Karakterisasi Bioplastik

Berbagai pengujian/karakterisasi pada bioplastik, yaitu:

2.9.1 Karakterisasi Sifat Mekanik

Sifat mekanik suatu material berupa kuat tarik dan elongasi menunjukkan kekuatan material tersebut. Penggunaan suatu material di dalam industri maupun kehidupan sehari-hari sangat tergantung pada sifat mekanik material. Sifat mekanik ini meliputi kuat tarik yang tinggi dan elastisitas yang baik (Muthawali, 2011).

Karakterisasi uji tarik suatu material dilakukan dengan menambah beban secara perlahan-lahan hingga material tersebut patah. Pada waktu yang bersamaan, pertambahan panjang material dapat diukur. Pertambahan panjang (Δl) yang terjadi akibat beban atau gaya yang diberikan pada material disebut

dengan deformasi. Sedangkan elastisitas suatu material (elongasi) dapat dicari dengan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang semula seperti ditunjukkan dalam Persamaan 2.1 berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \quad (2.1)$$

Keterangan:

ε = elastisitas/regangan (%)

l_0 = panjang mula-mula material yang diukur (cm)

Δl = pertambahan panjang (cm)

Kuat tarik dapat diukur berdasarkan beban maksimum (F_{maks}) yang digunakan untuk mematahkan material dibagi dengan luas penampang awal (A_0) yang ditunjukkan pada Persamaan 2.2 berikut:

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0} \quad (2.2)$$

Keterangan:

σ = kuat tarik (kgf/cm^2)

F_{maks} = beban maksimum (kgf)

A_0 = luas penampang awal

2.9.2 Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Struktur morfologi film dianalisis menggunakan *scanning electron microscopy*. Sampel dipotong dengan ukuran yang kecil dan di letakkan pada karbon tape (Ardiansyah, 2011). Hasil analisis SEM juga memperlihatkan penyebaran partikel pengisi pada matriks sehingga dapat diketahui distribusi partikel pengisi pada matriks tersebar dengan merata atau tidak.

2.9.3 Karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*)

Difraksi sinar-X berdasarkan pada interferensi konstruktif dari sinar-X monokromatik dan kristal sampel. Sinar-X dihasilkan oleh tabung sinar katoda, disaring untuk menghasilkan radiasi monokromatik, dan diarahkan terhadap sampel. Interaksi antara sinar-X dengan sampel menghasilkan interferensi konstruktif ketika kondisinya memenuhi Hukum Bragg (Burrke, 1988) seperti ditunjukkan dalam Persamaan 2.3.

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (2.3)$$

Keterangan:

n = bilangan bulat yang menyatakan fasa pada fraksi yang menghasilkan terang

λ = panjang gelombang sinar X yang tergantung dari tabung anoda dari generator penghasil sinar X yang digunakan

d = lebar celah

θ = sudut difraksi (sudut pengukuran dalam derajat)

Hukum ini menyatakan hubungan antara panjang gelombang radiasi elektromagnetik terhadap sudut difraksi dan jarak kisi dalam kristal sampel. Kemudian, difraksi sinar-X terdeteksi, diproses, dan dihitung. Dengan *scanning* sampel berjarak sudut 2θ , semua arah difraksi yang mungkin dari kisi tercapai. Perubahan puncak difraksi untuk jarak (d) memungkinkan untuk melakukan identifikasi bahan karena masing-masing bahan mempunyai satu set jarak (d) yang khas. Biasanya, kondisi tersebut dicapai ketika membandingkan jarak (d) dengan rujukan standar bahan.

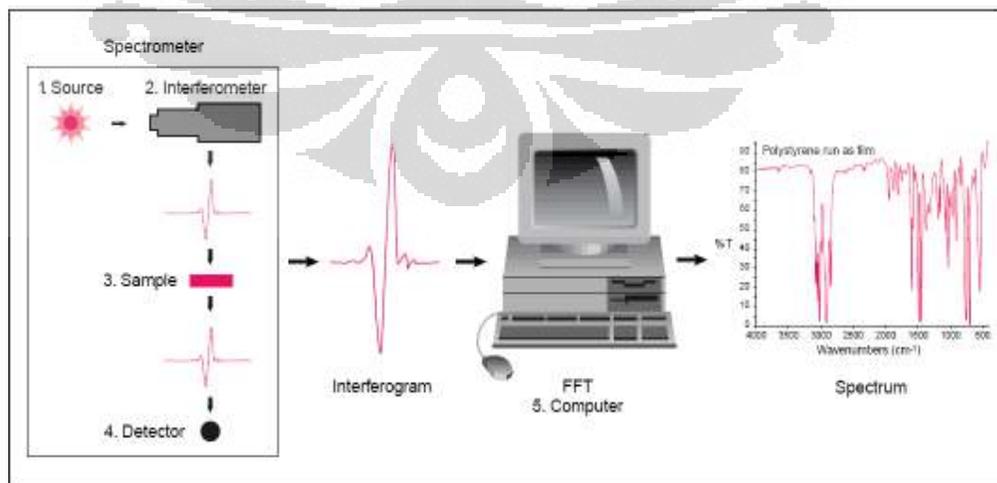
Menurut Bragg, di dalam kristal terdapat atom-atom yang membentuk susunan bidang datar. Masing-masing bidang datar mempunyai jarak karakteristik antara bidang-bidang komponennya yang disebut bidang Bragg. Setiap unsur atau senyawa mempunyai harga lebar celah (d) dan intensitas yang berbeda dan spesifik. Berdasarkan sifat tersebut, XRD dapat dipakai untuk menguji suatu zat secara kualitatif untuk mengetahui struktur dari film biokomposit.

Karakterisasi XRD bertujuan untuk menganalisis struktur kristal. Prinsip kerja XRD adalah difraksi sinar-X yang disebabkan oleh adanya hubungan fasa tertentu antara dua gerak gelombang atau lebih sehingga paduan gelombang tersebut saling menguatkan. Sinar-X dihamburkan oleh atom-atom dalam zat padat material. Ketika sinar-X jatuh pada kristal dari material maka akan terjadi hamburan ke segala arah yang bersifat koheren. Sifat hamburan sinar-X yang koheren mengakibatkan sifat saling menguatkan atau saling melemahkan pada paduan gelombang (Afrozi, 2010).

2.9.4 Karakterisasi FT-IR (*Fourier Transform InfraRed*)

FT-IR (*Fourier Transform InfraRed*) merupakan metode yang menggunakan spektroskopi inframerah. Pada spektroskopi infra merah, radiasi inframerah dilewatkan pada sampel. Sebagian radiasi inframerah diserap oleh sampel dan sebagian lagi dilewatkan/ditransmisikan. Hasil dari spektrum merupakan besarnya absorpsi molekul dan transmisi yang membentuk sidik jari molekul dari suatu sampel. Seperti sidik jari pada umumnya, struktur sidik jari dari spektrum inframerah yang dihasilkan tidak ada yang sama. Inilah yang membuat spektroskopi inframerah berguna untuk beberapa jenis analisis. Manfaat informasi/data yang dapat diketahui dari FT-IR untuk dianalisis adalah identifikasi material yang tidak diketahui, menentukan kualitas sampel, dan menentukan banyaknya komponen dalam suatu campuran (Thermo, 2001).

Spektrum inframerah berupa sidik jari dari suatu sampel menunjukkan puncak absorpsi yang sesuai dengan frekuensi dari getaran yang dihasilkan antara ikatan atom dari sampel. Karena setiap material berbeda antara satu dengan yang lain yang memiliki masing-masing kumpulan atom yang berbeda, maka tidak ada dua senyawa yang menghasilkan spektrum inframerah yang sama. Oleh karena itu, spektroskopi inframerah dapat digunakan untuk analisis kualitatif dari setiap jenis material yang berbeda. Selain itu, ukuran puncak pada spektrum menunjukkan langsung jumlah dari material yang ada. Dengan *software* algoritma yang canggih, inframerah juga merupakan alat yang sangat baik untuk analisis kuantitatif.



Gambar 2. 11. Ilustrasi Operasi Kerja FT-IR pada Sampel (Thermo, 2001)

Spektrometer tipe FT-IR dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan instrumen jenis *dispersive* yang semula digunakan sebelum adanya tipe FT-IR. Keterbatasan utamanya adalah proses *scanning* yang lambat. Tipe FT-IR dapat mengukur semua frekuensi inframerah secara bersamaan, tidak secara individual. Selain itu, tipe FT-IR menggunakan interferometer yang menghasilkan jenis sinyal yang khas untuk setiap frekuensi inframerah yang masuk ke dalamnya. Sinyal dapat diukur dengan sangat cepat, hanya beberapa detik. Sinyal yang keluar dari interferometer disebut dengan interferogram. Sinyal interferogram tidak dapat ditafsirkan langsung. Sinyal interferogram dapat ditafsirkan dengan cara *decoding* frekuensi, yaitu melalui teknik matematika yang disebut Transformasi Fourier. Transformasi ini dilakukan oleh komputer yang menyajikan informasi spektrum frekuensi. Ilustrasi operasi kerja FT-IR hingga menghasilkan spektrum frekuensi ditunjukkan dalam Gambar 2.11.

2.9.5 Karakterisasi *Water Vapour Transmission Rate* (WVTR)

Pengujian WVTR ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan bioplastik untuk mentransmisikan uap air. Transmisi uap air sangat dipengaruhi oleh RH (*Relative Humidity*) dan temperatur (Ardiansyah, 2011). Selain itu, WVTR ini dapat menunjukkan pengaruh gliserol sebagai *plasticizer*, ZnO dan selulosa sebagai penguat terhadap kemampuan bioplastik untuk mentransmisikan uap air.

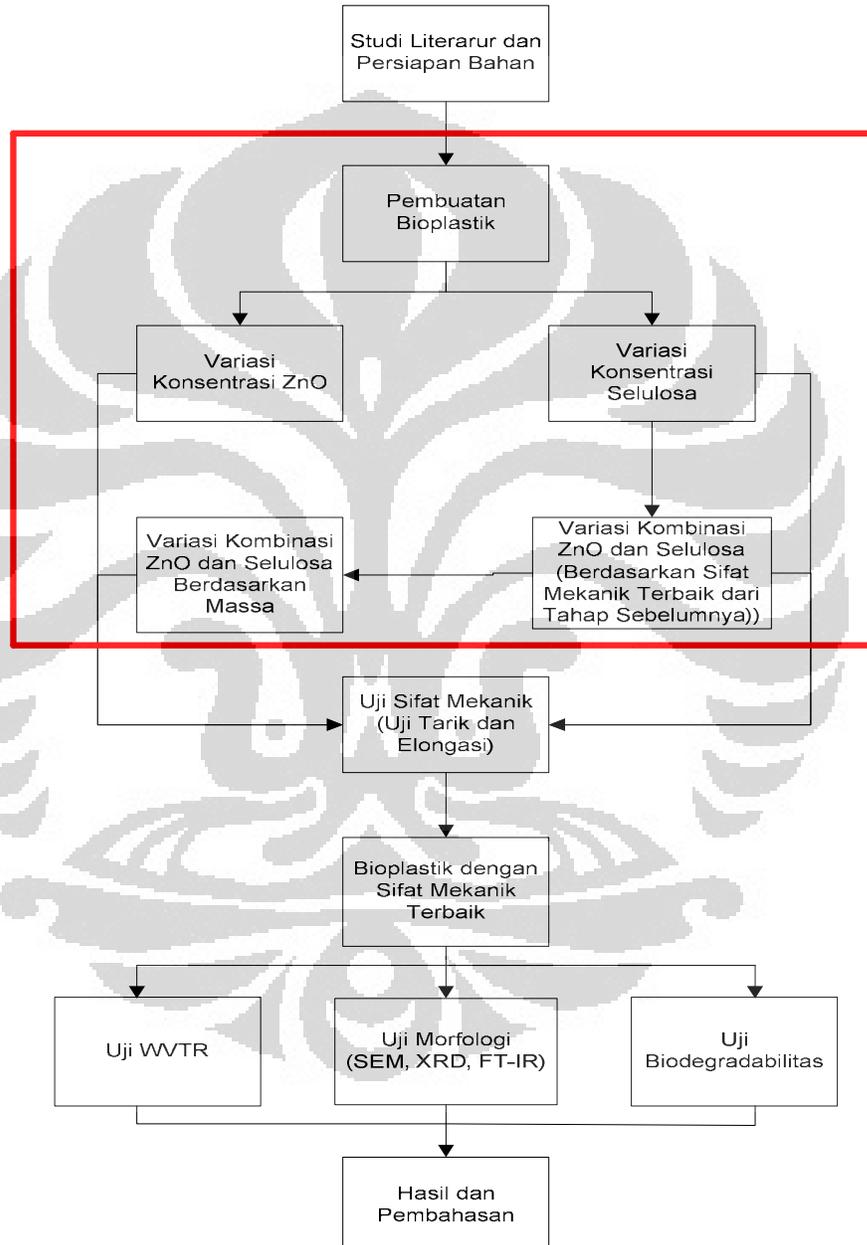
2.9.6 Karakterisasi Biodegradabilitas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui biodegradabilitas dari bioplastik yang dihasilkan adalah pengujian *soil burial test*. Pengujian ini berguna untuk mengetahui laju degradasi sampel dengan berbagai variasi sehingga waktu yang dibutuhkan sampel tersebut untuk diuraikan oleh mikroorganisme dalam tanah dapat diprediksi (Ardiansyah, 2011).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dapat digambarkan pada diagram alir berikut:



Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian

Keterangan : dilakukan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam (RPKA) Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia

Diagram alir dalam Gambar 3.1 menjelaskan aliran proses penelitian bioplastik dari tahap studi literatur dan persiapan bahan, pembuatan bioplastik, uji sifat mekanik, uji WVTR, uji morfologi, dan uji biodegradabilitas bioplastik. Berdasarkan Gambar 3.1, tahap-tahap penelitian yang dilakukan terdiri dari:

1. Studi literatur dan Persiapan Bahan

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui proses pembuatan bioplastik dengan mempertimbangkan berbagai parameter seperti kandungan jenis pati, ketersediaan, serta dampak terhadap lingkungan bioplastik yang dihasilkan. Pada studi literatur ini juga dilakukan pembuatan ringkasan mengenai penggunaan jenis pati, bahan penguat/pengisi dan penggunaan *plasticizer* sebagai bahan *state of the arts* dari penelitian ini.

Salah satu persiapan bahan yang dilakukan adalah proses ekstraksi ubi jalar yang dilakukan untuk mendapatkan pati ubi jalar yang merupakan salah satu bahan utama dalam pembuatan bioplastik ini.

2. Pembuatan Bioplastik

Kondisi proses yang digunakan pada percobaan ini adalah berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Zulfa, 2011, yaitu kondisi proses optimum dengan waktu proses pengadukan dan pemanasan pembuatan bioplastik selama 40 menit, konsentrasi gliserol 25% wt (dari berat pati). Sebagai basisnya, berat pati yang digunakan adalah 5 gram (berdasarkan penelitian yang dilakukan Zay, 2011).

Pembuatan bioplastik dilakukan dengan empat tahap, yaitu bioplastik dengan variasi konsentrasi penguat ZnO (0%, 1%, 3%, 6%, dan 9% wt dari 5 gram pati), konsentrasi penguat selulosa (0%, 1%, 3%, 6%, dan 9% wt dari 5 gram pati), kombinasi penguat selulosa dan ZnO, kombinasi penguat selulosa dan ZnO berdasarkan massa. Variasi kombinasi penguat selulosa dan ZnO dilakukan setelah mengetahui hasil pengujian sifat mekanik bioplastik dengan variasi konsentrasi penguat selulosa yang terbaik. Konsentrasi selulosa yang terbaik akan dijadikan sebagai basis dan pembuatan bioplastik akan dilakukan dengan kombinasi penguat selulosa dengan konsentrasi yang terbaik dan penguat ZnO. Selanjutnya, pembuatan bioplastik dilakukan dengan kombinasi penguat selulosa dan

ZnO berdasarkan massa/konsentrasi selulosa yang terbaik dengan variasi yang ditunjukkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3. 1. Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO Berdasarkan Massa

No.	Selulosa	ZnO
1	100% wt	0% wt
2	75% wt	25% wt
3	50% wt	50% wt
4	25% wt	75% wt
5	0% wt	100% wt

Keterangan : persentase massa yang dilakukan dikali dengan massa selulosa yang paling optimal yang diperoleh dari hasil pengujian sifat mekanik terbaik dari bioplastik pada variasi konsentrasi selulosa.

3. Pengujian

Setelah pembuatan bioplastik yang dilakukan pada tahap pertama dan kedua, yaitu variasi konsentrasi penguat ZnO dan variasi konsentrasi selulosa, bioplastik tersebut diuji sifat mekaniknya berupa uji tarik dan elongasi. Hasil pengujian sifat mekanik akan memberikan hasil terbaik. Dari hasil tersebut, selanjutnya tahap ketiga dan keempat dapat dilakukan, seperti telah dijelaskan sebelumnya. Hasil percobaan dari tahap ketiga dan keempat tersebut diuji sifat mekaniknya mekaniknya berupa uji tarik dan elongasi. Dari tahap ini akan diperoleh varian bioplastik dengan sifat mekanik terbaik. Selanjutnya, varian bioplastik dengan sifat mekanik terbaik pada tahap kedua diuji sifat morfologinya, yaitu SEM, XRD, dan FT-IR; laju transmisi uap airnya (WVTR), dan biodegradabilitasnya.

4. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini akan dilakukan analisis dan evaluasi dari tahap-tahap sebelumnya yang dilakukan dalam penelitian ini. Dari hasil analisis dan evaluasi ini akan diperoleh kesimpulan tentang penelitian.

3.2 Tempat Penelitian

- Penelitian pembuatan bioplastik dilakukan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam (RPKA) Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

- Karakterisasi XRD dilakukan di Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Karakterisasi FT-IR dilakukan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam (RPKA) Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Karakterisasi WVTR dan sifat mekanis dilakukan di BBKK (Balai Besar Kimia dan Kemasan), Pasar Rebo, Jakarta Timur.
- Karakterisasi SEM dilakukan di LIPI-Puspitek, Serpong

3.3 Peralatan dan Bahan Penelitian

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

1. ***Ultrasonic processor***

Digunakan untuk mencampurkan gliserol, aquadest dan penguat.



Gambar 3. 2. *Ultrasonic Processor*

2. ***Hot plate stirrer***

Digunakan untuk memanaskan sekaligus mengaduk campuran pati ubi jalar, gliserol, penguat, dan aquadest.



Gambar 3. 3. *Hot Plate Stirrer*

3 ***Neraca analitis***

Digunakan untuk menimbang massa bahan yang digunakan



Gambar 3.4. *Neraca Analitis*

- 4 Gelas ukur, pengaduk kaca, termometer, cawan petri, *magnetic bar*, gelas beaker, dan spatula besi.



Gambar 3. 5. Peralatan Gelas Laboratorim

- 5 **Cetakan *flexi glass* berukuran 20x20 cm**

Cetakan ini terbuat dari akrilik yang berfungsi sebagai wadah untuk mencetak bioplastik



Gambar 3. 6. Cetakan Flexi Glass

- 6 **Oven**
Digunakan untuk mengeringkan bioplastik



Gambar 3. 7. Oven

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

1. **Pati Ubi Jalar**

Digunakan sebagai matriks dalam pembuatan bioplastik



Gambar 3. 8. Pati Ubi Jalar

2. **ZnO**

Digunakan sebagai bahan penguat dalam pembuatan bioplastik. Diperoleh dari Laboratorium Fisika LIPI-Serpong.



Gambar 3. 9. Partikel ZnO

3. **Selulosa**

Digunakan sebagai bahan penguat dalam pembuatan bioplastik. Diperoleh dari pabrik kertas PT. Tjiwi Kimia, Jawa Timur dalam bentuk lembaran.



Gambar 3. 10. Selulosa

4. **Gliserol**

Digunakan sebagai bahan *plasticizer* dalam pembuatan bioplastik. Gliserol yang digunakan merupakan gliserol proanalisis (PT.Merck).



Gambar 3. 11. Gliserol

5. **Aquadest**

Digunakan dalam pencampuran bahan-bahan untuk membentuk bioplastik



Gambar 3. 12. Aquadest

3.4 Prosedur Percobaan

Prosedur penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

3.4.1 Ekstraksi Pati

Pengambilan kandungan pati dari ubi jalar dapat dilakukan dengan:

1. Mengupas kulit ubi jalar, kemudian mencuci bagian daging ubi jalnya
 2. Memarut daging ubi jalar hingga halus
 3. Menambahkan air pada bahan yang sudah diparut dengan perbandingan 1 kg bahan : 2 liter air
 4. Melakukan penyaringan menggunakan kain saring sampai diperoleh ampas dan cairan (suspensi pati)
 5. Mengekstraksi kembali ampas yang diperoleh dari proses penyaringan dengan penambahan air (1 kg ampas : 2 liter air), kemudian menyaring kembali untuk mendapatkan pati
 6. Mencampurkan cairan pati yang diperoleh dari penyaringan pertama dan kedua dan mengendapkannya selama 1 jam, kemudian air hasil pengendapan dibuang sehingga diperoleh pati basah
 7. Mengeringkan pati basah sampai diperoleh produk yang kering
- Setelah pati disiapkan, selanjutnya adalah pembuatan bioplastik.

3.4.2 Proses Pembuatan Bioplastik

Proses pembuatan bioplastik dibagi ke dalam empat tahap, yaitu:

3.4.2.1 Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi Penguat ZnO

1. Mencampurkan 25% wt gliserol (dari 5 gram pati) dengan ZnO yang massanya divariasikan 0, 1, 3, 6, dan 9% wt (dari 5 gram pati) dan 100 ml aquadest
2. Memasukkan campuran ke dalam *ultrasonic processor* selama 50 menit
3. Menambahkan matriks pati ubi jalar sebanyak 5 gram, lalu memanaskan pada suhu 80-90⁰C, dan melakukan pengadukan menggunakan *stirrer* dengan waktu 40 menit

4. Menuangkan campuran yang telah diaduk pada cetakan *flexi glass* ukuran 20x20 cm
5. Mengeringkan campuran dalam oven dengan suhu 40-50⁰C selama 5-6 jam
6. Mengeluarkan campuran dari oven, kemudian membiarkannya pada suhu kamar hingga campuran dapat dilepaskan dari cetakan

3.4.2.2 Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi Penguat Selulosa

1. Mencampurkan 25% gliserol wt (dari 5 gram pati) dengan selulosa yang massanya divariasikan 0, 1, 3, 6, dan 9% wt (dari 5 gram pati) dan 100 ml aquadest
2. Memasukkan campuran ke dalam *ultrasonic processor* selama 50 menit
3. Menambahkan matriks pati ubi jalar sebanyak 5 gram, lalu memanaskan pada suhu 80-90⁰C, dan melakukan pengadukan menggunakan *stirrer* dengan waktu 40 menit
4. Menuangkan campuran yang telah diaduk pada cetakan *flexi glass* ukuran 20x20 cm
5. Mengeringkan campuran dalam oven dengan suhu 40-50⁰C selama 5-6 jam
6. Mengeluarkan campuran dari oven, kemudian membiarkannya pada suhu kamar hingga campuran dapat dilepaskan dari cetakan

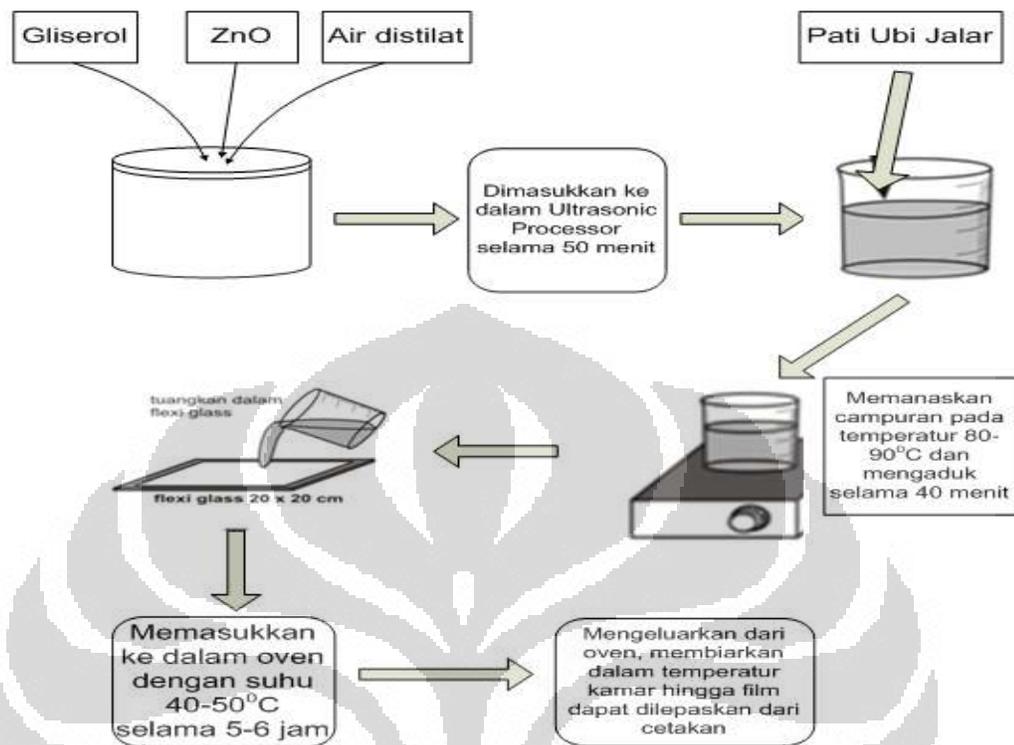
3.4.2.3 Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO

1. Mencampurkan 25% gliserol (dari 5 gram pati), kombinasi penguat selulosa dengan konsentrasi terbaik (berdasarkan sifat mekanik terbaik dari bioplastik dengan variasi konsentrasi selulosa) dan 0, 1, 3, 6, dan 9% wt ZnO (dari 5 gram pati) dan 100 ml aquadest
2. Memasukkan campuran ke dalam *ultrasonic processor* selama 50 menit
3. Menambahkan matriks pati ubi jalar sebanyak 5 gram, lalu memanaskan pada suhu 80-90⁰C, dan melakukan pengadukan menggunakan *stirrer* dengan waktu 40 menit
4. Menuangkan campuran yang telah diaduk pada cetakan *flexi glass* ukuran 20x20 cm

5. Mengeringkan campuran dalam oven dengan suhu 40-50⁰C selama 5-6 jam
6. Mengeluarkan campuran dari oven, kemudian membiarkannya pada suhu kamar hingga campuran dapat dilepaskan dari cetakan

3.4.2.4 Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO Berdasarkan Massa

1. Mencampurkan 25% wt gliserol (dari 5 gram pati) dengan kombinasi penguat 0% wt selulosa dan 100% wt ZnO, 75% wt selulosa dan 25% wt ZnO, 50% wt selulosa dan 50% wt ZnO, 25% wt selulosa dan 75% wt ZnO, serta 100% wt selulosa dan 100% ZnO, dari konsentrasi massa selulosa terbaik (berdasarkan sifat mekanik terbaik dari bioplastik dengan variasi konsentrasi selulosa) dan 100 ml aquadest
2. Memasukkan campuran ke dalam *ultrasonic processor* selama 50 menit
3. Menambahkan matriks pati ubi jalar sebanyak 5 gram, lalu memanaskan pada suhu 80-90⁰C, dan melakukan pengadukan menggunakan *stirrer* dengan waktu 40 menit
4. Menuangkan campuran yang telah diaduk pada cetakan *flexi glass* ukuran 20x20 cm
5. Mengeringkan campuran dalam oven dengan suhu 40-50⁰C selama 5-6 jam
6. Mengeluarkan campuran dari oven, kemudian membiarkannya pada suhu kamar hingga campuran dapat dilepaskan dari cetakan. Ilustrasi pembuatan bioplastik ditunjukkan dalam Gambar 3.13.



Gambar 3. 13. Ilustrasi Prosedur Pembuatan Bioplastik

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Studi Kelayakan Pembuatan Bioplastik dari Pati Ubi Jalar

Tahap studi ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan pati ubi jalar sebagai bahan pembuatan bioplastik. Oleh karena itu, tahap awal penelitian ini dilakukan dengan persiapan bahan. Selain itu, kandungan pati serta ukuran partikel ZnO dan selulosa perlu untuk diketahui. Selanjutnya adalah pembuatan bioplastik itu sendiri.

4.1.1 Persiapan Bahan

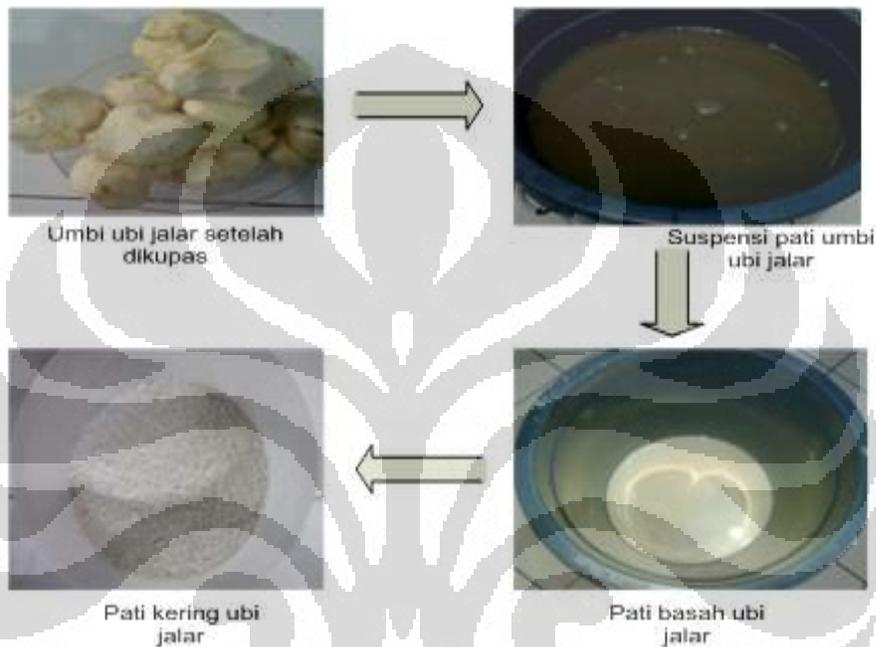
Salah satu persiapan bahan yang dilakukan adalah melakukan ekstraksi pati ubi jalar dari ubi jalar putih yang ditunjukkan dalam Gambar 4.1. Ubi jalar putih dipilih karena ubi jalar ini tidak atau sangat sedikit mengandung vitamin A dan C, tetapi dimiliki oleh ubi jalar yang berwarna kuning atau ungu. Selain itu, ubi jalar putih berpotensi dijadikan tepung karena berkadar bahan kering tinggi (Purwono & Purnamawati, 2007).



Gambar 4. 1. Ubi Jalar Putih

Ubi jalar yang digunakan adalah sebanyak 5 kg. Selama proses ekstraksi pati, endapan yang didapatkan tidak dipindahkan dari wadahnya. Tujuannya adalah untuk mengurangi kemungkinan berkurangnya massa pati yang dihasilkan selama proses pemindahan. Proses pengeringan dilakukan dengan cara dijemur dibawah sinar

matahari. Setelah pengeringan dilakukan selama dua hari, pati mulai mengering. Setelah proses pengeringan didapatkan pati kering ubi jalar sebanyak 728,36 gram. Ilustrasi persiapan bahan pati ubi jalar mulai dari hasil ubi jalar yang telah dikupas hingga mendapatkan pati keringnya dapat ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2. Ilustrasi Persiapan Bahan Pati dari Ubi Jalar yang Telah Dikupas Hingga Mendapatkan Pati Kering

Selanjutnya, kandungan pati ubi jalar perlu diketahui kadar amilosa dan amilopektinnya. Pengujian ini telah dilakukan Zulfa, 2011 pada pati ubi jalar putih yang diperoleh dengan proses pembuatan yang sama. Kadar amilosa dan amilopektin ini akan berpengaruh pada karakteristik bioplastik yang dihasilkan sehubungan dengan interaksi antara keduanya dengan gliserol yang digunakan sebagai *plasticizer*. Pengujian kandungan pati ubi jalar ini telah dilakukan di Balai Besar Industri Agro (BBIA) Bogor. Hasil dari pengujian tersebut ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Kandungan Pati Ubi jalar

Parameter	Hasil	Satuan	Metode Uji/ Teknik
Air	11,4	%	SNI. 01-2891-1992
Abu	0,48	%	SNI. 01-2891-1992
Protein (N x 6,25)	0,30	%	SNI. 01-2891-1992
Lemak	0,07	%	SNI. 01-2891-1992
Karbohidrat	87,8	%	Pengurangan
Amilosa	11,6	%	Spektrofotometri
Amilopektin	76,2	%	Perhitungan

Selain itu, persiapan bahan yang dilakukan adalah persiapan bahan penguat ZnO. Bahan ZnO diperoleh dari Balai Inkubator Teknologi Nanotech Indonesia. Kemudian, ukuran partikel ZnO diukur dengan menggunakan PSA (*Particle Size Analysis*). Tabel 4.2 menunjukkan hasil ukuran partikel ZnO yang diperoleh. Dari hasil pengujian tersebut, ukuran partikel ZnO adalah antara 200-700 nm. Hasil tersebut menunjukkan ukuran partikel sebesar 257,7 nm mempunyai indeks *polydispersity* 0,276. Sementara ukuran partikel 663,9 nm mempunyai indeks *polydispersity* terkecil sebesar 0,244. Kemudian, ukuran partikel 410,5 nm mempunyai indeks *polydispersity* 0,377. Indeks *polydispersity* menunjukkan tingkat kehomogenan dari ukuran partikel yang terukur. Semakin kecil angka indeks yang didapatkan maka akan semakin homogen ukuran partikel yang terukur.

Tabel 4. 2. Ukuran Partikel ZnO

Sampel	Run	Polydispersity Index	Size (nm)	Standar deviasi
ZnO	1	0,276	257,7	74,4
	2	0,244	663,9	187,0
	3	0,377	410,5	176,6

Sedangkan selulosa yang digunakan adalah selulosa yang berasal dari selulosa jerami. Selulosa diperoleh dari salah satu pabrik kertas di Jawa Timur, PT. Tjiwi Kimia. Selulosa tersebut merupakan selulosa berbentuk lembaran yang kemudian diubah dalam bentuk bubuk (*powder*) melalui mesin penggiling, yang disebut PBM (*Pressure Ball Mill*) dengan waktu penggilingan 48 jam. Ukuran partikel selulosa lebih kecil dari 150 μm .

4.2 Hasil Optimasi Konsentrasi Penguat pada Pembuatan Bioplastik

Tahap ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi bahan penguat yang terbaik pada pembuatan bioplastik. Tahap ini dilakukan dengan melakukan variasi konsentrasi ZnO dan selulosa sebagai penguat. Berikut ini adalah pembahasan dari hasil penelitian yang dilakukan.

4.2.1 Hasil Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi Penguat ZnO

Pembuatan bioplastik dengan melakukan variasi konsentrasi ZnO bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi ZnO terhadap sifat fisik dan mekanik bioplastik yang dihasilkan. Pembuatan bioplastik akan divariasikan dengan konsentrasi penguat 0, 1, 3, 6, dan 9% wt ZnO dari 5 gram pati. Bioplastik yang dihasilkan dari percobaan ini diuji kuat tarik dan elongasinya untuk mengetahui sifat mekaniknya. Konsentrasi gliserol yang digunakan adalah sama disetiap variasi, yaitu 25% wt dari berat matriks pati ubi jalar. Kondisi lama pemanasan dan pengadukan selama 40 menit dengan suhu pemanasan hingga 80-90⁰C merupakan kondisi proses optimum yang telah dibuktikan dan dilakukan oleh Zulfa, 2011. Pada kondisi tersebut, matriks pati ubi jalar telah mengalami proses gelatinisasi. Gelatinisasi merupakan fenomena terbentuknya gel yang diawali dengan pembengkakan granula pati akibat penyerapan air (Zulfa, 2011). Jika pati mentah dimasukkan ke dalam air dingin, granula pati akan menyerap air dan mulai membengkak namun terbatas, sekitar 30% wt dari berat pati. Suhu saat terjadinya pembengkakan maksimal disebut dengan suhu gelatinisasi.

4.2.1.1 Bioplastik dengan Penguat 0% wt ZnO

Pada konsentrasi 0% wt ZnO atau tidak ada sama sekali penguat yang ditambahkan, bioplastik yang dihasilkan sangat transparan dan cukup elastis. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan tidak terlalu kaku dan ketika sudah kering, bioplastik agak sulit dilepaskan dari cetakan. Gambar bioplastik dengan penguat 0% wt ZnO ditunjukkan dalam Gambar 4.3 berikut:



Gambar 4. 3. Bioplastik dengan Penguat 0% wt ZnO Setelah Dicetak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

4.2.1.2 Bioplastik dengan Penguat 3% wt ZnO

Bioplastik dengan konsentrasi penguat 3% wt ZnO yang dihasilkan tidak transparan, lebih keruh jika dibandingkan dengan bioplastik yang tidak ada penguat sama sekali dan tidak seelastis bioplastik yang tidak ada penguat sama sekali. Bioplastik yang tampak keruh dikarenakan adanya penambahan penguat ZnO yang berwarna putih. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan agak kaku dan ketika sudah kering, bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan dengan cukup mudah. Gambar bioplastik dengan penguat 3% wt ZnO ditunjukkan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4. 4. Bioplastik dengan Penguat 3% wt ZnO Setelah Dicetak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

4.2.1.3 Bioplastik dengan Penguat 6% wt ZnO

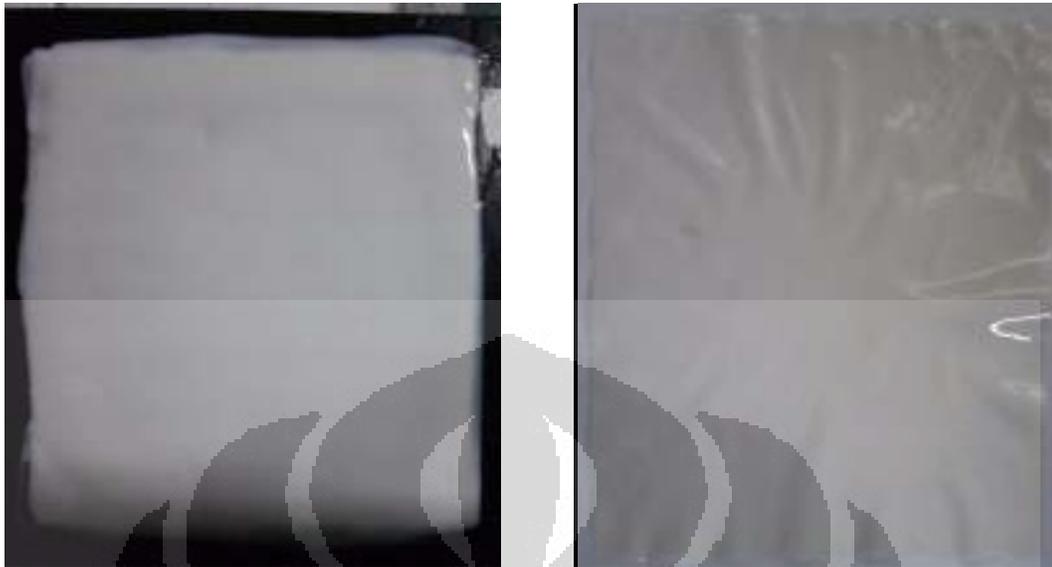
Pada konsentrasi 6% wt ZnO, bioplastik yang dihasilkan tidak transparan, lebih keruh jika dibandingkan dengan bioplastik yang mempunyai konsentrasi ZnO 3% wt, dan tidak seelastis bioplastik yang tidak ada penguat sama sekali. Bioplastik yang lebih keruh dikarenakan adanya penambahan penguat ZnO dengan konsentrasi yang lebih besar. Bioplastik yang dihasilkan juga semakin kaku dan ketika sudah kering, bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan dengan mudah. Gambar bioplastik dengan penguat 6% wt ZnO ditunjukkan dalam Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4. 5. Bioplastik dengan Penguat 6% wt ZnO Setelah Dicitak (kiri) dan Setelah Pengerinan (kanan)

4.2.1.4 Bioplastik dengan Penguat 9% wt ZnO

Bioplastik dengan konsentrasi penguat 9% wt ZnO yang dihasilkan tidak transparan, lebih keruh jika dibandingkan dengan bioplastik dengan penguat 6% wt ZnO, dan tidak seelastis bioplastik yang tidak ada penguat sama sekali. Bioplastik yang lebih keruh dikarenakan adanya penambahan penguat ZnO dengan konsentrasi yang lebih besar. Bioplastik yang dihasilkan juga semakin kaku dan ketika sudah kering, bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan dengan mudah. Gambar bioplastik dengan penguat 9% wt ZnO ditunjukkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4. 6. Bioplastik dengan Penguat 9% wt ZnO Setelah Dicitak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

Dari keseluruhan bioplastik dengan variasi penguat ZnO, bioplastik dengan konsentrasi ZnO yang semakin meningkat, yaitu dari 0% hingga 9% wt akan menghasilkan bioplastik yang semakin kaku. Sedangkan tingkat fleksibilitas bioplastik semakin berkurang. Ini menunjukkan bahwa konsentrasi ZnO yang semakin meningkat akan mempengaruhi kekuatan bioplastik yang dihasilkan sehingga sifat mekanik bioplastik pun akan berpengaruh pula. Secara visual, konsentrasi ZnO yang terbaik belum dapat ditentukan. Oleh karena itu, sifat mekanik bioplastik diuji sifat mekaniknya untuk menentukan kondisi konsentrasi terbaik, yang ditunjukkan pada hasil karakterisasi bioplastik.

4.2.2 Hasil Pembuatan Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi Penguat Selulosa

Pembuatan bioplastik dengan melakukan variasi konsentrasi selulosa bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi selulosa terhadap sifat fisik dan mekanik bioplastik yang dihasilkan. Pembuatan bioplastik akan divariasikan dengan konsentrasi penguat 1, 3, 6, dan 9% wt selulosa dari 5 gram pati. Hasil percobaan bioplastik dengan penguat 0% wt ZnO akan digunakan untuk bioplastik dengan penguat 0% wt selulosa, yaitu bioplastik dengan tidak ada penguat yang

ditambahkan. Bioplastik yang dihasilkan dari percobaan ini juga diuji kuat tarik dan elongasinya untuk mengetahui sifat mekaniknya. Sama halnya dengan perlakuan pada pembuatan bioplastik dengan variasi konsentrasi penguat ZnO, konsentrasi gliserol yang digunakan adalah sama disetiap variasi, yaitu 25% wt dari berat matriks pati ubi jalar. Kondisi lama pemanasan dan pengadukan selama 40 menit dengan suhu pemanasan hingga 80-90⁰C.

4.2.2.1 Bioplastik dengan Penguat 1% wt Selulosa

Pada konsentrasi 1% wt selulosa, bioplastik yang dihasilkan sudah transparan, tetapi tidak setransparan bioplastik yang tidak ada penguat sama sekali, dan tidak seelastis bioplastik yang tidak ada penguat sama sekali. Bioplastik menjadi sedikit keruh dikarenakan adanya penambahan penguat selulosa. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan tidak terlalu kaku dan ketika sudah kering, bioplastik agak sulit dilepaskan dari cetakan. Gambar bioplastik dengan penguat 1% wt selulosa ditunjukkan dalam Gambar 4.7 berikut:



Gambar 4. 7. Bioplastik dengan Penguat 1% wt Selulosa Setelah Dicitak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

4.2.2.2 Bioplastik dengan Penguat 3% wt Selulosa

Bioplastik dengan konsentrasi penguat 3% wt selulosa yang dihasilkan mempunyai tingkat transparan yang semakin berkurang, tidak setransparan bioplastik yang tidak ada penguat sama sekali dan bioplastik dengan penguat 1% wt selulosa, dan tidak seelastis bioplastik yang tidak ada penguat sama sekali. Bioplastik yang sedikit keruh dikarenakan bertambahnya konsentrasi selulosa menjadi 3% wt. Bioplastik yang dihasilkan tidak terlalu kaku dan ketika sudah kering, bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan dengan cukup mudah. Gambar bioplastik dengan penguat 3% wt selulosa ditunjukkan dalam Gambar 4.8 berikut:



Gambar 4. 8. Bioplastik dengan Penguat 3% wt Selulosa Setelah Dicitak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

4.2.2.3 Bioplastik dengan Penguat 6% wt Selulosa

Pada konsentrasi 6% wt selulosa, bioplastik yang dihasilkan juga mempunyai tingkat transparan yang semakin berkurang, tidak setransparan bioplastik dengan penguat 3% wt selulosa, dan tidak seelastis bioplastik yang tidak ada penguat sama sekali. Bioplastik yang semakin keruh jika dibandingkan dengan bioplastik dengan penguat 3% wt selulosa dikarenakan bertambahnya konsentrasi selulosa menjadi 6% wt. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan mulai agak kaku dan ketika sudah kering,

bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan dengan mudah. Gambar bioplastik dengan penguat 6% wt selulosa ditunjukkan dalam Gambar 4.9 berikut:



Gambar 4. 9. Bioplastik dengan Penguat 6% wt Selulosa Setelah Dicetak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

4.2.2.4 Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa

Bioplastik dengan konsentrasi penguat 9% wt selulosa yang dihasilkan mempunyai tingkat transparan yang semakin menurun dari bioplastik dengan penguat 6% wt selulosa, dan tidak seelastis bioplastik yang tidak ada penguat sama sekali. Bioplastik yang semakin keruh jika dibandingkan dengan bioplastik dengan penguat 6% wt selulosa dikarenakan bertambahnya konsentrasi selulosa menjadi 9% wt. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan kaku dan ketika sudah kering, bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan dengan mudah. Gambar bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa ditunjukkan dalam Gambar 4.10 berikut:



Gambar 4. 10. Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa Setelah Dicitak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

Dari keseluruhan bioplastik dengan variasi penguat selulosa, bioplastik dengan konsentrasi selulosa yang semakin meningkat, yaitu dari 0% hingga 9% wt akan menghasilkan bioplastik yang semakin kaku. Sedangkan tingkat fleksibilitas bioplastik semakin berkurang. Ini menunjukkan bahwa konsentrasi selulosa yang semakin meningkat akan mempengaruhi kekuatan bioplastik yang dihasilkan sehingga sifat mekanik bioplastik pun akan berpengaruh pula. Secara visual, konsentrasi selulosa yang terbaik belum dapat ditentukan. Oleh karena itu, untuk menentukan kondisi konsentrasi terbaik, bioplastik diuji sifat mekaniknya yang ditunjukkan pada hasil karakterisasi bioplastik.

4.2.3 Hasil Pembuatan Bioplastik dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO

Pembuatan bioplastik pada tahap ini dilakukan dengan mengkombinasikan penguat selulosa dan ZnO. Selulosa yang digunakan adalah selulosa dengan konsentrasi terbaik nilai kuat tariknya yaitu 9% wt selulosa dari 5 gram pati, dengan nilai kuat tarik $59,74 \text{ kgf/cm}^2$ dan elongasi 6,67% (hasil ini dibahas dalam karakterisasi bioplastik). Oleh karena itu, tahap ini akan dilakukan pembuatan bioplastik dengan konsentrasi 9% wt selulosa dari 5 gram pati dengan kombinasi

penguat 1, 3, 6, dan 9% wt ZnO. Sedangkan hasil percobaan bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya akan digunakan untuk bioplastik dengan kombinasi 9% wt selulosa dan 0% wt ZnO. Selanjutnya, bioplastik pada tahap ini diuji kuat tarik dan elongasinya hingga diperoleh bioplastik dengan sifat mekanik yang terbaik.

4.2.3.1 Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 9% wt Selulosa dan 1% wt ZnO

Bioplastik dengan kombinasi penguat 9% wt selulosa dan 1% wt ZnO yang dihasilkan sudah tidak transparan. Bioplastik yang dihasilkan keruh dikarenakan adanya penambahan penguat selulosa dengan konsentrasi 9% wt dan ZnO yang mempunyai konsentrasi 1% wt. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan juga agak kaku dan ketika sudah kering, bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan dengan mudah. Gambar bioplastik dengan kombinasi penguat 9% wt selulosa dan 1% wt ZnO ditunjukkan dalam Gambar 4.11 berikut:



Gambar 4. 11. Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 9% wt Selulosa dan 1% wt ZnO Setelah Dicetak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

4.2.3.2 Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 9% wt Selulosa dan 3% wt ZnO

Bioplastik dengan kombinasi penguat 9% wt selulosa dan 3% wt ZnO yang dihasilkan sudah tidak transparan. Bioplastik yang dihasilkan lebih keruh dikarenakan adanya penambahan penguat selulosa dengan konsentrasi 9% wt dan ZnO yang mempunyai konsentrasi lebih besar, yaitu 3% wt. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan juga lebih kaku dan ketika sudah kering, bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan dengan mudah. Gambar bioplastik dengan kombinasi penguat 9% wt selulosa dan 3% wt ZnO ditunjukkan dalam Gambar 4.12 berikut:



Gambar 4. 12. Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 9% wt Selulosa dan 3% wt ZnO Setelah Dicitak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

4.2.3.3 Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 9% wt Selulosa dan 6% wt ZnO

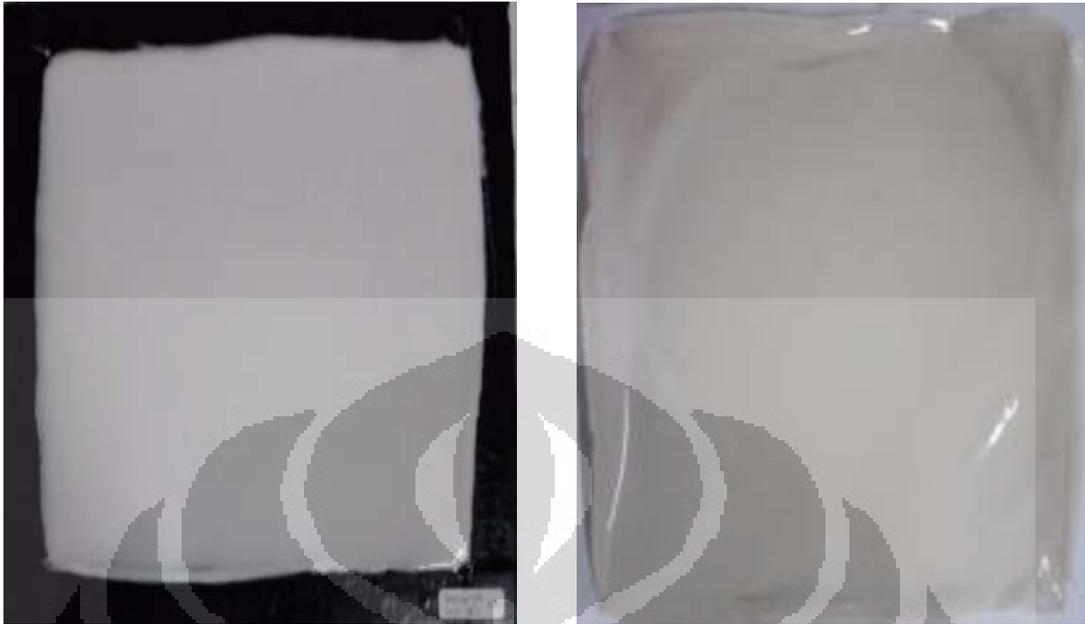
Bioplastik dengan kombinasi penguat 9% wt selulosa dan 6% wt ZnO yang dihasilkan sudah tidak transparan. Bioplastik yang dihasilkan semakin keruh dikarenakan adanya penambahan penguat selulosa dengan konsentrasi 9% wt dan ZnO yang mempunyai konsentrasi lebih besar, yaitu 6% wt. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan juga semakin kaku dan ketika sudah kering, bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan dengan mudah. Gambar bioplastik dengan kombinasi penguat 9% wt selulosa dan 6% wt ZnO ditunjukkan dalam Gambar 4.13 berikut:



Gambar 4. 13.Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 9% wt Selulosa dan 6% wt ZnO Setelah Dicetak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

4.2.3.4 Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 9% wt Selulosa dan 9% wt ZnO

Bioplastik dengan kombinasi penguat 9% wt selulosa dan 9% wt ZnO yang dihasilkan sudah tidak transparan. Bioplastik yang dihasilkan semakin keruh lagi dikarenakan adanya penambahan penguat selulosa dengan konsentrasi 9% wt dan ZnO yang mempunyai konsentrasi lebih besar, yaitu 9% wt. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan juga semakin kaku lagi dan ketika sudah kering, bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan dengan mudah. Gambar bioplastik dengan kombinasi penguat 9% wt selulosa dan 9% wt ZnO ditunjukkan dalam Gambar 4.14 berikut:



Gambar 4. 14. Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 9% wt Selulosa dan 9% wt ZnO Setelah Dicetak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

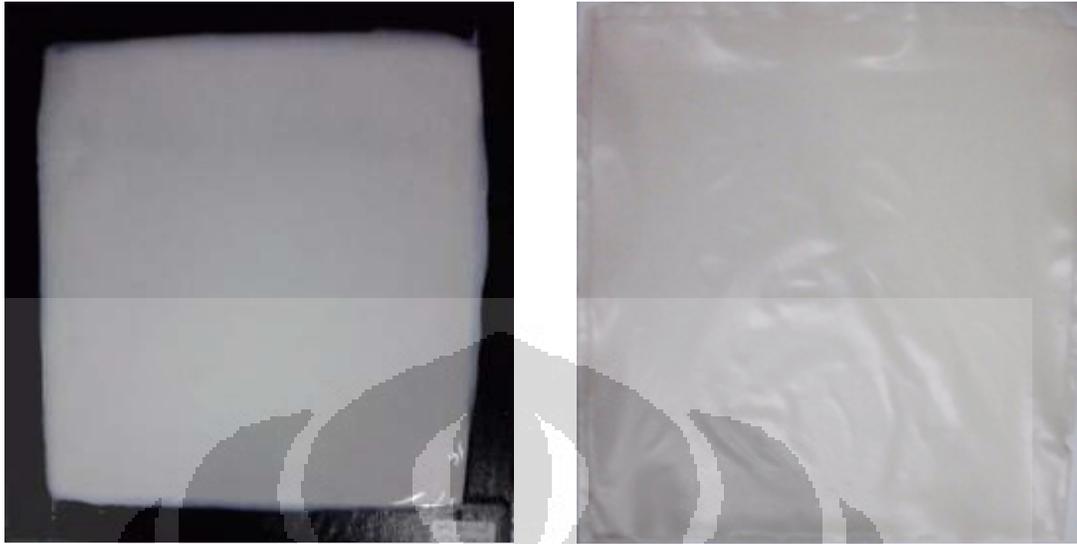
Dari keseluruhan bioplastik dengan variasi kombinasi penguat selulosa dan ZnO, dengan konsentrasi selulosa yang tetap sebesar 9% wt dari 5 gram pati dan konsentrasi ZnO yang divariasikan 0%, 1%, 3%, 6%, dan 9% wt dari 5 gram pati, bioplastik yang dihasilkan juga semakin kaku sejalan dengan penambahan konsentrasi ZnO dari variasi 0% hingga 9% wt. Namun, berkebalikan dengan tingkat fleksibilitas bioplastik yang semakin berkurang dengan penambahan konsentrasi ZnO dari variasi 0% hingga 9% wt. Ini juga menunjukkan bahwa konsentrasi selulosa yang tetap, yaitu sebesar 9% wt dari 5 gram pati dan variasi ZnO yang semakin meningkat dari 0% hingga 9% wt akan mempengaruhi sifat mekanik bioplastik. Secara visual, bioplastik dengan kombinasi penguat selulosa 9% wt dan ZnO yang divariasikan konsentrasinya dari 0% hingga 9% wt, yang terbaik belum dapat ditentukan. Oleh karena itu, untuk menentukan kondisi konsentrasi terbaik, bioplastik diuji sifat mekaniknya yang dapat dilihat pada hasil karakterisasi bioplastik.

4.2.4 Hasil Pembuatan Bioplastik dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO Berdasarkan Konsentrasi Massa

Pembuatan bioplastik pada tahap ini dilakukan dengan mengkombinasikan penguat selulosa dan ZnO. Namun, konsentrasi penguat yang digunakan berdasarkan hasil pengujian sifat mekanik, yaitu konsentrasi selulosa 9% wt dari 5 gram pati, yang mempunyai kuat tarik terbaik, yaitu $59,74 \text{ kgf/cm}^2$ dan elongasi 6,67%. Oleh karena itu, jumlah massa tetap penguat yang dikombinasikan antara ZnO dan selulosa adalah 9% wt dari 5 gram pati, yaitu 0,45 gram. Variasi kombinasi penguat yang akan dilakukan adalah penguat 0% wt selulosa dan 100% wt ZnO, 25% wt selulosa dan 75% wt ZnO, 50% wt selulosa dan 50% wt ZnO, 75% wt selulosa dan 25% wt ZnO, serta 100% wt selulosa dan 0% wt ZnO. Varian kombinasi 0% wt selulosa dan 100% wt ZnO serta varian 100% wt selulosa dan 0% wt ZnO telah dilakukan pada percobaan sebelumnya, sehingga pada tahap ini, varian bioplastik tersebut tidak dilakukan, tetapi data-data hasil pengujian sampel tersebut akan digunakan. Berikut adalah hasil pembuatan bioplastik dengan variasi 75% wt ZnO dan 25% wt selulosa, 50% wt ZnO dan 50% wt selulosa, serta 25% wt ZnO dan 75% wt selulosa.

4.2.4.1 Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 25% wt Selulosa dan 75% wt ZnO

Tahap ini dilakukan dengan mengkombinasikan penguat 25% wt selulosa dari 0,45 gram, yaitu 0,1125 gram dan 75% wt ZnO dari 0,45 gram, yaitu 0,3375 gram. Bioplastik yang dihasilkan juga tidak transparan. Bioplastik yang dihasilkan juga keruh dikarenakan adanya penambahan penguat selulosa dan ZnO. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan juga agak kaku dan ketika sudah kering, bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan dengan mudah. Gambar bioplastik dengan kombinasi penguat 25% wt selulosa dan 75% wt ZnO ditunjukkan dalam Gambar 4.15 berikut:



Gambar 4. 15. Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 25% wt Selulosa dan 75% wt ZnO Setelah Dicetak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

4.2.4.2 Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 50% wt Selulosa dan 50% wt ZnO

Tahap ini dilakukan dengan mengkombinasikan penguat 50% wt selulosa dari 0,45 gram, yaitu 0,225 gram dan 50% wt ZnO dari 0,45 gram, yaitu 0,225 gram. Bioplastik yang dihasilkan juga tidak transparan. Bioplastik yang dihasilkan juga keruh dikarenakan adanya penambahan penguat selulosa dan ZnO. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan juga agak kaku dan ketika sudah kering, bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan dengan mudah. Gambar bioplastik dengan kombinasi penguat 50% wt selulosa dan 50% wt ZnO ditunjukkan dalam Gambar 4.16 berikut:



Gambar 4. 16. Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 50% wt Selulosa dan 50% wt ZnO
Setelah Dicitak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

4.2.4.3 Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 75% wt Selulosa dan 25% wt ZnO

Tahap ini dilakukan dengan mengkombinasikan penguat 75% wt selulosa dari 0,45 gram, yaitu 0,3375 gram dan 25% wt ZnO dari 0,45 gram, yaitu 0,1125 gram. Bioplastik yang dihasilkan tidak transparan. Bioplastik yang dihasilkan juga keruh dikarenakan adanya penambahan penguat selulosa dan ZnO. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan juga agak kaku dan ketika sudah kering, bioplastik dapat dilepaskan dari cetakan dengan mudah. Gambar bioplastik dengan kombinasi penguat 75% wt selulosa dan 25% wt ZnO ditunjukkan dalam Gambar 4.17 berikut:



Gambar 4. 17. Bioplastik dengan Kombinasi Penguat 75% wt Selulosa dan 25% wt ZnO Setelah Dicetak (kiri) dan Setelah Pengeringan (kanan)

Selanjutnya, bioplastik pada tahap ini diuji kuat tarik dan elongasinya hingga diperoleh bioplastik dengan sifat mekanik yang optimal.

4.3 Hasil Karakterisasi Bioplastik

Setelah bioplastik terbentuk dari hasil eksperimen, beberapa pengujian/karakterisasi dilakukan untuk mendukung tujuan pembuatan bioplastik, yaitu sebagai kantong plastik yang dapat memuat barang tertentu dengan kapasitas dan massa tertentu. Karakterisasi meliputi uji sifat mekanik bioplastik, struktur morfologi menggunakan SEM, FT-IR, dan XRD. Dilakukan pula pengujian laju transmisi uap air dalam bioplastik menggunakan pengujian WVTR (*water vapour transmission rate*). Dan yang terakhir adalah uji biodegradabilitas.

4.3.1 Hasil Uji Sifat Mekanik

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik bioplastik pati ubi jalar/ZnO, bioplastik pati ubi jalar/selulosa, maupun bioplastik pati ubi jalar dengan kombinasi penguat ZnO dan selulosa. Pengujian sifat mekanik dilakukan di

BBKK (Balai Besar Kimia dan Kemasan) yang mengacu pada ASTM D882. Berikut ini adalah hasil pengujian sifat mekanik yang dilakukan.

4.3.1.1 Hasil Uji Sifat Mekanik Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi Penguat ZnO

Tujuan dari pengujian sifat mekanik pada tahap ini adalah untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik terbaik dari bioplastik dengan variasi konsentrasi penguat 0, 1, 3, 6, dan 9% wt ZnO. Tabel 4.3 dan Tabel 4.4, masing-masing menunjukkan hasil pengujian sifat mekanik berupa kuat tarik dan elongasi yang dilakukan pada bioplastik dengan variasi konsentrasi penguat ZnO. Sedangkan Gambar 4.18 menunjukkan grafik hubungan kuat tarik dan elongasi bioplastik pada setiap variasi konsentrasi ZnO.

Tabel 4. 3. Hasil Uji Kuat Tarik dengan Variasi Konsentrasi Penguat ZnO

Sampel ke-	Z0 (kgf/cm ²)	Z1 (kgf/cm ²)	Z3 (kgf/cm ²)	Z6 (kgf/cm ²)	Z9 (kgf/cm ²)
1	12,230	26,180	50,290	47,410	61,430
2	13,710	23,190	59,740	57,500	62,560
3	12,570	20,450	57,410	45,590	64,670
4	10,840	21,130	39,430	58,820	68,610
5	14,320	26,670	41,560	65,140	63,980
6	13,200	28,670	46,360	60,000	63,870
7	-	26,490	-	-	-
Rata-rata	12,812	24,680	49,132	55,743	64,187

Keterangan Kode Sampel :

Z0 = Bioplastik dengan 0% wt ZnO

Z1 = Bioplastik dengan 1% wt ZnO

Z3 = Bioplastik dengan 3% wt ZnO

Z6 = Bioplastik dengan 6% wt ZnO

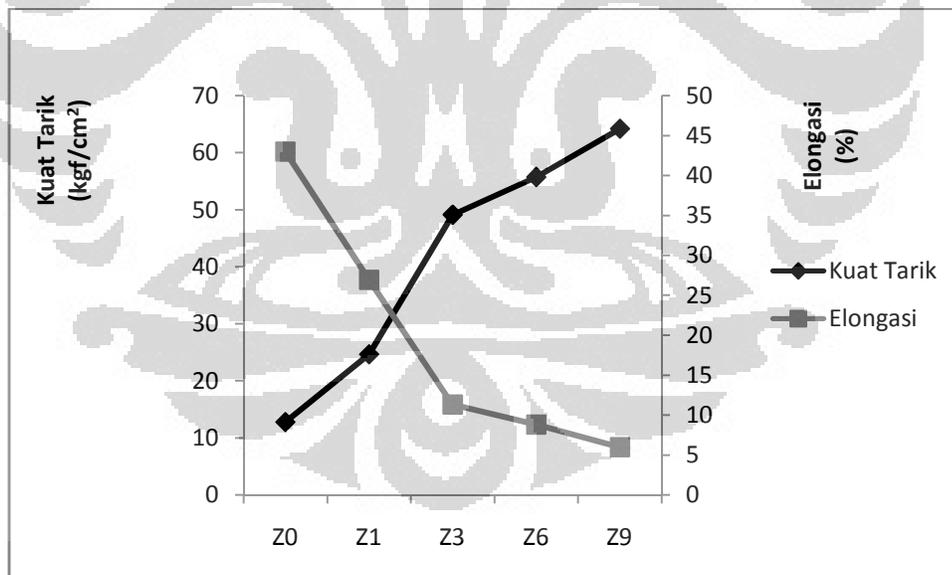
Z9 = Bioplastik dengan 9% wt ZnO

(sama halnya untuk keterangan kode sampel pada elongasi bioplastik)

Tabel 4. 4. Hasil Uji Elongasi dengan Variasi Konsentrasi Penguat ZnO

Sampel ke-	Z0 (%)	Z1 (%)	Z3 (%)	Z6 (%)	Z9 (%)
1	44,0	31,25	12,0	9,0	5,0
2	40,0	35,00	12,0	8,0	5,0
3	45,0	18,75	14,0	7,0	7,0
4	43,0	25,00	9,0	10,0	5,0
5	42,0	28,75	10,0	10,0	6,0
6	44,0	31,25	11,0	9,0	8,0
7	-	18,75	-	-	-
Rata-rata	43,0	26,96	11,33	8,83	6,0

Nilai kuat tarik dan elongasi bioplastik dengan variasi konsentrasi penguat ZnO tersebut dihasilkan dari enam sampel yang berbeda. Data kuat tarik dan elongasi bioplastik dengan penguat 1% wt ZnO diperoleh dari hasil penelitian Zulfa, 2011. Nilai rata-rata dari hasil mekanik kuat tarik dan elongasi diplot terhadap konsentrasi ZnO yang ditunjukkan dalam Gambar 4.18.



Gambar 4. 18. Pengaruh Konsentrasi ZnO sebagai Penguat terhadap Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik

Dari Gambar 4.18, pengaruh penambahan konsentrasi penguat ZnO terhadap sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan menunjukkan sifat yang berkebalikan antara kuat tarik dan elongasi. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan nilai kuat tarik seiring dengan penambahan konsentrasi penguat ZnO, yaitu penguat 0% wt ZnO mempunyai kuat tarik 12,812 kgf/cm², diikuti dengan penguat 1% wt ZnO dengan kuat tarik 24,680 kgf/cm², penguat 3% wt ZnO dengan kuat tarik 49,132 kgf/cm², penguat 6% wt ZnO dengan kuat tarik 55,743 kgf/cm², dan terakhir penguat 9% wt ZnO dengan kuat tarik 64,187 kgf/cm².

Sedangkan sifat elongasi bioplastik menunjukkan hal yang berlawanan dengan kuat tarik bioplastik. Hasil elongasi bioplastik mengalami penurunan seiring dengan penambahan konsentrasi ZnO. Bioplastik dengan penguat 0% wt ZnO mempunyai elongasi yang tinggi sebesar 43,000%. Penambahan konsentrasi ZnO selanjutnya menyebabkan penurunan elongasi menjadi 26,960% pada bioplastik dengan penguat 1% wt ZnO. Begitu juga dengan penambahan konsentrasi selanjutnya, elongasi bioplastik dengan penguat 3% wt ZnO mengalami penurunan menjadi 11,333%, bioplastik dengan penguat 6% wt ZnO elongasinya 8,833% dan bioplastik dengan penguat 9% wt ZnO elongasinya 6%.

Hasil pengujian tersebut menunjukkan dua sifat yang berlawanan. Penambahan konsentrasi ZnO dari konsentrasi 0% hingga 9% wt menunjukkan nilai kuat tarik yang semakin meningkat. Sebaliknya, penambahan konsentrasi selulosa dari konsentrasi 0% hingga 9% wt menunjukkan elongasi yang semakin menurun. Perubahan sifat mekanik tersebut dikarenakan sifat mekanik bioplastik dipengaruhi oleh banyaknya penguat yang digunakan. Konsentrasi penguat yang semakin meningkat mengakibatkan kuat tarik yang semakin meningkat pula. Sebaliknya, konsentrasi penguat yang semakin meningkat mengakibatkan elongasi yang semakin menurun. Peningkatan nilai kuat tarik juga ditunjukkan oleh penelitian Ma, Chang, Yang, & Yu, 2009 yang membuat bionanokomposit dalam penelitiannya, yaitu dari pati kacang polong dengan penguat ZnO. Nilai kuat tarik yang ditunjukkan semakin meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi ZnO dari 0% hingga 4% wt, yaitu dari 3,94 MPa hingga 10,80 MPa. Sedangkan nilai elongasinya mengalami penurunan

seiring dengan penambahan konsentrasi ZnO dari 0% hingga 4% wt, yaitu 42,200% menjadi 20,400%. Perubahan sifat mekanik ini berhubungan dengan interaksi ZnO dengan pati dan juga gliserol sebagai *plasticizer*. Selama proses interkalasi, partikel penguat ZnO akan masuk dan berikatan dengan lapisan permukaan matriks polimer. ZnO berperan sebagai agen yang dapat meningkatkan nilai kuat tarik dari bioplastik, tetapi menurunkan elongasi karena turunya mekanisme plastisasi dari matriks pati ubi jalar.

Hasil pengujian tersebut juga menunjukkan hal yang sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Zulfa, 2011. Nilai kuat tarik semakin meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi ZnO dari 1% hingga 3% wt, yaitu 24,68 kgf/cm² dan 49,45 kgf/cm². Begitu juga dengan nilai elongasinya yang semakin menurun, yaitu dari 26,96% menjadi 7,43%. Namun, terdapat perbedaan yang ditunjukkan dari penambahan konsentrasi ZnO dari 3% dan 6% wt. Nilai kuat tarik yang ditunjukkan mengalami penurunan dari 49,45 kgf/cm² menjadi 35,36 kgf/cm². Sedangkan nilai elongasinya mengalami kenaikan dari 7,43% menjadi 9,14%. Hasil tersebut dikarenakan partikel ZnO yang digunakan oleh Zulfa, 2011 mempunyai ukuran yang lebih besar (500-900 nm), jika dibandingkan dengan ukuran partikel ZnO yang digunakan dalam penelitian ini (200-700 nm) sehingga interaksi antara permukaan ZnO dengan matriks pati tidak optimal. Sebagian ZnO sebagai pengisi sekaligus penguat keluar dari matriks tanpa berkontribusi terhadap kekuatan dan kekakuan material (Zulfa, 2011).

4.3.1.2 Hasil Uji Sifat Mekanik Bioplastik dengan Variasi Konsentrasi Penguat Selulosa

Pengujian sifat mekanik pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik terbaik dari bioplastik dengan variasi konsentrasi penguat 0, 1, 3, 6, dan 9% wt selulosa. Tabel 4.5 dan Tabel 4.6, masing-masing menunjukkan hasil pengujian sifat mekanik berupa kuat tarik dan elongasi yang dilakukan pada bioplastik dengan variasi konsentrasi penguat selulosa. Sedangkan Gambar 4.19 menunjukkan grafik hubungan kuat tarik dan elongasi bioplastik pada setiap variasi konsentrasi selulosa.

Tabel 4. 5. Hasil Uji Kuat Tarik dengan Variasi Konsentrasi Penguat Selulosa

Sampel ke-	S0 (kgf/cm ²)	S1 (kgf/cm ²)	S3 (kgf/cm ²)	S6 (kgf/cm ²)	S9 (kgf/cm ²)
1	12,230	21,930	33,670	53,320	59,320
2	13,710	18,940	38,990	54,100	61,090
3	12,570	17,650	37,040	50,090	62,190
4	10,840	22,560	36,270	53,650	59,030
5	14,320	29,370	33,670	52,250	58,880
6	13,200	21,210	32,550	51,780	57,930
Rata-rata	12,812	21,943	35,365	52,532	59,740

Keterangan Kode Sampel :

S0 = Bioplastik dengan 0% wt Selulosa

S1 = Bioplastik dengan 1% wt Selulosa

S3 = Bioplastik dengan 3% wt Selulosa

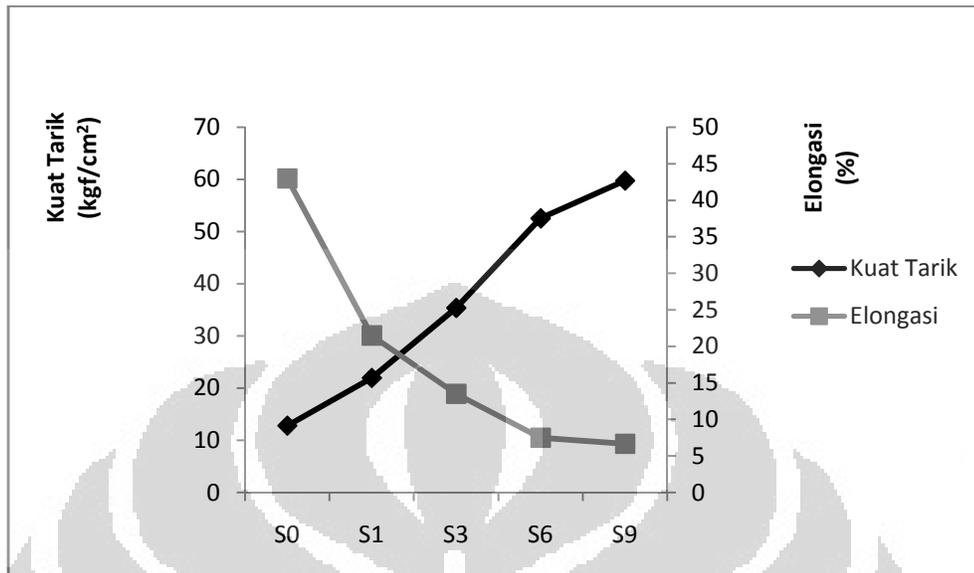
S6 = Bioplastik dengan 6% wt Selulosa

S9 = Bioplastik dengan 9% wt Selulosa

(sama halnya untuk keterangan kode sampel pada elongasi bioplastik)

Tabel 4. 6. Hasil Uji Elongasi dengan Variasi Konsentrasi Penguat Selulosa

Sampel ke-	S0 (%)	S1 (%)	S3 (%)	S6 (%)	S9 (%)
1	44,0	14,0	15,0	6,0	6,0
2	40,0	21,0	11,0	6,0	5,0
3	45,0	26,0	12,0	10,0	5,0
4	43,0	15,0	13,0	8,0	7,0
5	42,0	27,0	14,0	6,0	9,0
6	44,0	26,0	16,0	9,0	8,0
Rata-rata	43,0	21,5	13,5	7,5	6,667



Gambar 4. 19. Pengaruh Konsentrasi Selulosa sebagai Penguat terhadap Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik

Sama halnya dengan penguat ZnO, dari Gambar 4.19, pengaruh penambahan konsentrasi penguat selulosa terhadap sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan menunjukkan sifat yang berlawanan antara kuat tarik dan elongasinya. Nilai kuat tarik semakin meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi selulosa. Kuat tarik bioplastik dengan penguat 0% wt selulosa 12,812 kgf/cm². Kemudian terjadi penambahan nilai kuat tarik menjadi 21,943 kgf/cm² pada bioplastik dengan penguat 1% wt selulosa. Peningkatan nilai kuat tarik juga terjadi pada bioplastik dengan penguat 3, 6, dan 9% wt selulosa berturut-turut menjadi 35,365 kgf/cm², 52,532 kgf/cm², dan 59,740 kgf/cm².

Sedangkan nilai elongasi bioplastik menunjukkan hal yang berlawanan dengan nilai kuat tarik bioplastik. Nilai elongasi mengalami penurunan seiring dengan penambahan konsentrasi penguat selulosa. Elongasi bioplastik dengan penguat 0% wt selulosa 43,000%, diikuti dengan penurunan elongasi pada bioplastik dengan penguat 1% wt selulosa menjadi 21,500%. Penurunan nilai elongasi juga terjadi pada

bioplastik dengan penguat 3%, 6%, dan 9% wt selulosa berturut-turut menjadi 13,500%; 7,500%; dan 6,667%.

Terjadinya perubahan sifat mekanik bioplastik dengan penguat selulosa tersebut disebabkan oleh pengaruh banyaknya penguat yang digunakan. Konsentrasi penguat yang semakin meningkat mengakibatkan kuat tarik yang semakin meningkat pula. Sebaliknya, konsentrasi penguat yang semakin meningkat mengakibatkan elongasi yang semakin menurun. Selain Ma, Chang, Yang, & Yu, 2009, peningkatan nilai kuat tarik juga ditunjukkan oleh penelitian yang dilakukan oleh Darni, Utami, & Asriah, 2009. Darni, Utami, & Asriah, 2009 membuat bioplastik dengan matriks pati tapioka dan penambahan selulosa serta gliserol sebagai *plasticizer*. Hasil kuat tarik bioplastik yang dihasilkan menunjukkan kuat tarik yang semakin meningkat dari penambahan selulosa 0 gram, 1 gram, dan 2 gram berturut-turut, yaitu dari 6,29 MPa; 6,30 MPa; hingga 10,28 MPa. Sedangkan elongasinya mengalami penurunan dari 21%, 14%, dan 3%.

Selain itu, penelitian Muller, Laurindo, & Yamashita, 2009 juga menunjukkan hal yang sama. Penambahan selulosa pada pati tapioka memberikan pengaruh yang sama, yaitu naiknya nilai kuat tarik seiring dengan bertambahnya konsentrasi selulosa. Penambahan selulosa dari 0,1 gram; 0,3 gram; dan 0,5 gram menunjukkan kenaikan kuat tarik, berturut-turut sebesar 10 MPa, 23 MPa, dan 26,5 MPa. Sebaliknya, nilai elongasi mengalami penurunan, berturut-turut 18%, 15%, dan 11%. Perubahan sifat mekanik ini berhubungan dengan interaksi selulosa dengan pati dan juga gliserol sebagai *plasticizer*. Selama proses interkalasi, partikel pengisi/penguat akan masuk dan berikatan dengan lapisan permukaan matriks polimer.

Perbandingan kuat tarik antara bioplastik penguat logam ZnO dengan penguat alami selulosa tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Bioplastik penguat logam ZnO dengan sifat mekanik terbaik, yaitu konsentrasi 9% wt ZnO mempunyai kuat tarik 64,19 kgf/cm²; elongasi 6%. Sedangkan bioplastik penguat alami selulosa dengan sifat mekanik terbaik, yaitu konsentrasi 9% wt selulosa mempunyai kuat tarik 59,74 kgf/cm²; elongasi 6,67%. Perbedaan kuat tarik dan elongasi (bioplastik penguat ZnO mempunyai kuat tarik yang lebih tinggi) dapat terjadi karena ukuran partikel

ZnO yang jauh lebih kecil, yaitu 200-700 nm. Sedangkan ukuran partikel selulosa hanya berkisar lebih kecil dari 150 μm . Ukuran partikel tersebut akan mempengaruhi interaksi antara partikel penguat/pengisi dengan matriks pati, yaitu tidak optimalnya interaksi antara permukaan penguat alami selulosa dengan matriks pati jika dibandingkan dengan penguat logam ZnO terhadap matriks pati. Bagian penguat/pengisi yang mempunyai ukuran partikel yang besar dapat keluar dari matriks tanpa berkontribusi terhadap kekuatan material.

4.3.1.3 Hasil Uji Sifat Mekanik Bioplastik dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO

Pengujian sifat mekanik pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik terbaik dari bioplastik dengan kombinasi selulosa dan ZnO sebagai penguat dalam matriks pati. Tabel 4.7 dan Tabel 4.8, masing-masing menunjukkan hasil pengujian sifat mekanik berupa kuat tarik dan elongasi yang dilakukan pada bioplastik dengan konsentrasi 9% wt selulosa dikombinasikan dengan 1, 3, 6, dan 9% wt ZnO. Sedangkan Gambar 4.20 menunjukkan grafik hubungan kuat tarik dan elongasi bioplastik pada setiap bioplastik dengan kombinasi penguat selulosa dan ZnO.

Tabel 4. 7. Hasil Uji Kuat Tarik dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO

Sampel ke-	S9Z1 (kgf/cm ²)	S9Z3 (kgf/cm ²)	S9Z6 (kgf/cm ²)	S9Z9 (kgf/cm ²)
1	21,880	33,560	22,510	21,400
2	22,480	19,840	23,400	21,610
3	23,960	30,640	21,920	19,160
4	23,860	28,330	20,860	15,240
5	15,040	32,340	23,820	22,420
Rata-rata	21,444	28,942	22,502	19,966

Keterangan Kode Sampel :

S9Z1 = Bioplastik dengan 9% wt Selulosa dan 1% wt ZnO

S9Z3 = Bioplastik dengan 9% wt Selulosa dan 3% wt ZnO

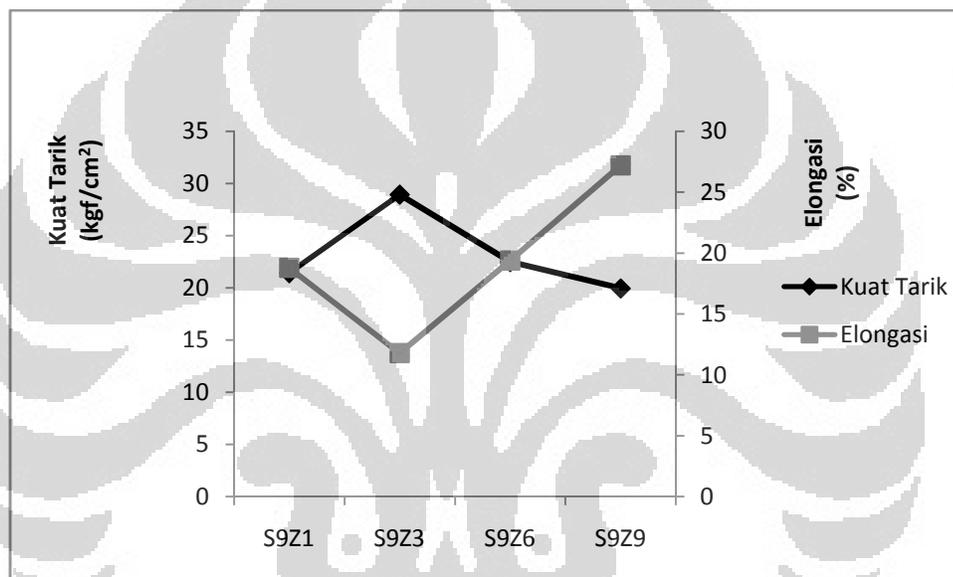
S9Z6 = Bioplastik dengan 9% wt Selulosa dan 6% wt ZnO

S9Z9 = Bioplastik dengan 9% wt Selulosa dan 9% wt ZnO

(sama halnya untuk keterangan kode sampel pada elongasi bioplastik)

Tabel 4. 8. Hasil Uji Elongasi dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO

Sampel ke-	S9Z1 (%)	S9Z3 (%)	S9Z6 (%)	S9Z9 (%)
1	24,0	10,0	19,0	32,0
2	22,0	21,0	17,0	20,0
3	18,0	10,0	20,0	31,0
4	12,0	8,0	22,0	27,0
5	18,0	10,0	19,0	26,0
Rata-rata	18,8	11,8	19,4	27,2

**Gambar 4. 20.** Pengaruh Kombinasi Selulosa dan ZnO sebagai Penguat terhadap Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik

Dari Gambar 4.20, pengaruh penambahan kombinasi selulosa dan ZnO sebagai penguat dalam matriks pati menunjukkan perbedaan dengan tahap sebelumnya. Nilai kuat tarik yang dihasilkan mengalami penurunan dari kuat tarik maksimum yang diperoleh dari tahap sebelumnya, yaitu bioplastik dengan konsentrasi 9% wt selulosa 59,740 kgf/cm². Kombinasi penguat alami 9% wt selulosa dengan penguat logam 1, 3, 6, dan 9% wt ZnO ke dalam matriks pati menghasilkan kuat tarik masing-masing: 21,44 kgf/cm²; 28,942 kgf/cm²; 22,502 kgf/cm²; dan 19,906 kgf/cm². Sedangkan elongasinya, berturut-turut adalah: 18,800%; 11,800%; 19,400%; dan 27,200%. Sifat mekanik berupa kuat tarik dan elongasi tersebut menunjukkan bioplastik yang

dihasilkan dengan kombinasi 9% wt selulosa dan 1, 3, 6, dan 9% ZnO tidak sebaik bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa. Perubahan sifat mekanik ini berhubungan dengan interaksi antara ZnO dengan selulosa terhadap pati dan gliserol sebagai *plasticizer*. Selain itu, persamaan antara hubungan kuat tarik dan elongasi yang telah dibuktikan pada percobaan sebelumnya juga sama, yaitu hubungan timbal balik. Kuat tarik yang semakin meningkat akan menyebabkan penurunan elongasi. Sebaliknya, kuat tarik yang semakin menurun akan menyebabkan kenaikan elongasi.

4.3.1.4 Hasil Uji Sifat Mekanik Bioplastik dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO Berdasarkan Konsentrasi Massa

Pengujian sifat mekanik pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik terbaik dari bioplastik dengan kombinasi selulosa dan ZnO berdasarkan konsentrasi massa yang tetap, seperti telah dijelaskan sebelumnya. Tabel 4.9 dan Tabel 4.10, masing-masing menunjukkan hasil pengujian sifat mekanik berupa kuat tarik dan elongasi yang dilakukan pada bioplastik dengan konsentrasi penguat 100% wt ZnO, 75% wt ZnO dan 25% wt selulosa, 50% wt ZnO dan 50% wt selulosa, 25% wt ZnO dan 75% wt selulosa, serta 100% wt selulosa. Sedangkan Gambar 4.21 menunjukkan grafik hubungan kuat tarik dan elongasi bioplastik pada setiap bioplastik dengan kombinasi penguat selulosa dan ZnO berdasarkan konsentrasi massa yang tetap.

Tabel 4. 9. Hasil Uji Kuat Tarik dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO Berdasarkan Konsentrasi Massa

Sampel ke-	S0Z100 (kgf/cm ²)	S25Z75 (kgf/cm ²)	S50Z50 (kgf/cm ²)	S75Z25 (kgf/cm ²)	S100Z0 (kgf/cm ²)
1	61,430	12,030	24,060	16,220	59,320
2	62,560	13,170	24,750	18,320	61,090
3	64,670	14,720	20,600	12,770	62,190
4	68,610	13,080	14,710	16,250	59,030
5	63,980	13,030	16,230	16,910	58,880
6	63,870	-	-	-	57,930
Rata-rata	64,187	13,206	20,070	16,094	59,740

Keterangan Kode Sampel :

S0Z100 = Bioplastik dengan 0% wt Selulosa dan 100% wt ZnO

S25Z75 = Bioplastik dengan 25% wt Selulosa dan 75% wt ZnO

S50Z50 = Bioplastik dengan 50% wt Selulosa dan 50% wt ZnO

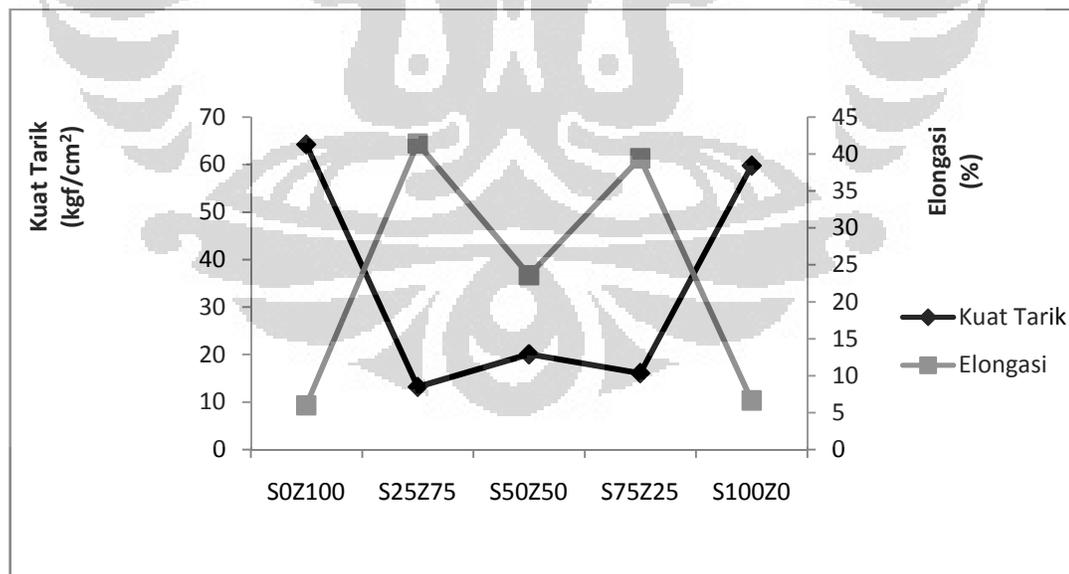
S75Z25 = Bioplastik dengan 75% wt Selulosa dan 25% wt ZnO

S100Z0 = Bioplastik dengan 100% wt Selulosa dan 0% wt ZnO

(sama halnya untuk keterangan kode sampel pada elongasi bioplastik)

Tabel 4. 10. Hasil Uji Elongasi dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO Berdasarkan Konsentrasi Massa

Sampel ke-	S0Z100 (%)	S25Z75 (%)	S50Z50 (%)	S75Z25 (%)	S100Z0 (%)
1	5,0	36,0	30,0	56,0	6,0
2	5,0	42,0	32,0	42,0	5,0
3	7,0	48,0	25,0	30,0	5,0
4	5,0	33,0	9,0	24,0	7,0
5	6,0	48,0	22,0	45,0	9,0
6	8,0	-	-	-	8,0
Rata-rata	6,0	41,4	23,6	39,4	6,667



Gambar 4. 21. Pengaruh Kombinasi Selulosa dan ZnO Berdasarkan Konsentrasi Massa sebagai Penguat terhadap Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik

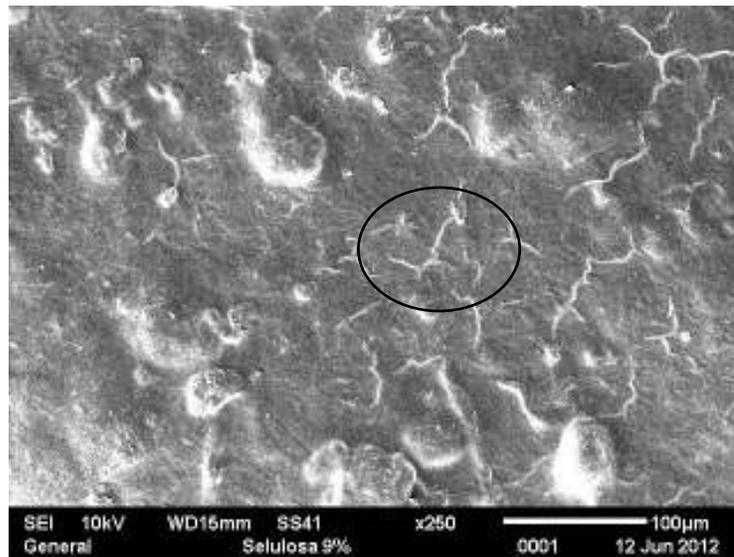
Berdasarkan Gambar 4.21, pengaruh penambahan kombinasi selulosa dan ZnO pada bioplastik berdasarkan konsentrasi massa yang tetap juga menunjukkan penurunan kuat tarik jika dibandingkan dengan bioplastik tanpa adanya kombinasi antara selulosa dengan ZnO. Bioplastik dengan konsentrasi 100% wt selulosa mempunyai kuat tarik 59,740 kgf/cm² dan elongasi 6,667%. Bioplastik dengan konsentrasi 100% wt ZnO mempunyai kuat tarik 64,187 kgf/cm² dan elongasi 6%. Sedangkan bioplastik dengan kombinasi 75% wt ZnO dan 25% wt selulosa, 50% wt ZnO dan 50% wt selulosa, 25% wt ZnO dan 75% wt selulosa mempunyai nilai kuat tarik yang lebih kecil dari bioplastik tanpa adanya kombinasi antara selulosa dan ZnO, nilai kuat tariknya berturut-turut: 13,206 kgf/cm²; 20,070 kgf/cm²; dan 16,094 kgf/cm². Sedangkan elongasinya berturut-turut: 41,400%; 23,600%; dan 39,400%. Hasil ini juga menunjukkan sifat mekanik bioplastik dengan kombinasi 75% wt ZnO dan 25% wt selulosa, 50% wt ZnO dan 50% wt selulosa, 25% wt ZnO dan 75% wt selulosa tidak sebaik bioplastik tanpa adanya kombinasi antara selulosa dan ZnO, yaitu bioplastik dengan 100% wt selulosa dan 100% wt ZnO. Perubahan sifat mekanik ini berhubungan dengan interaksi antara ZnO dengan selulosa terhadap pati dan gliserol sebagai *plasticizer*. Disamping itu, persamaan antara hubungan kuat tarik dan elongasi menunjukkan hubungan yang sama, yaitu hubungan timbal balik. Kuat tarik yang semakin meningkat akan menyebabkan penurunan elongasi. Sebaliknya, kuat tarik yang semakin menurun akan menyebabkan kenaikan elongasi.

4.3.2 Hasil Uji Morfologi

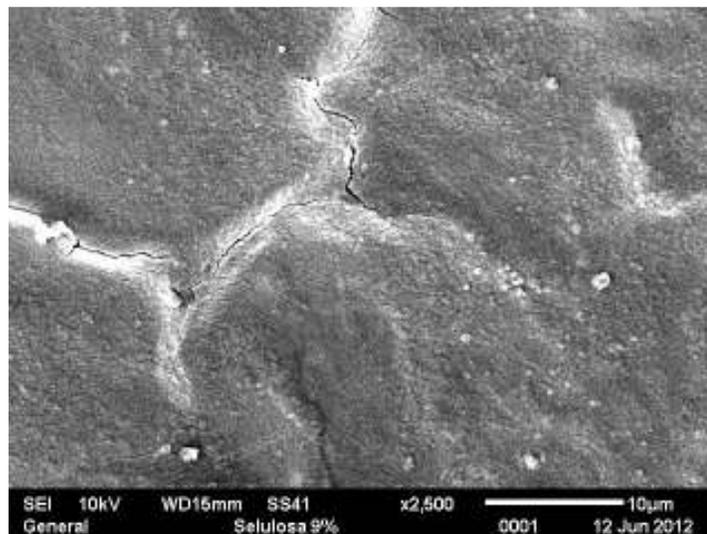
Uji morfologi meliputi uji SEM, FT-IR dan XRD, yaitu sebagai berikut:

4.3.2.1 Hasil Uji SEM

Uji morfologi bioplastik secara langsung ditunjukkan dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Bioplastik yang diuji adalah bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa. Hasil SEM ditunjukkan dalam Gambar 4.22 dan Gambar 4.23.

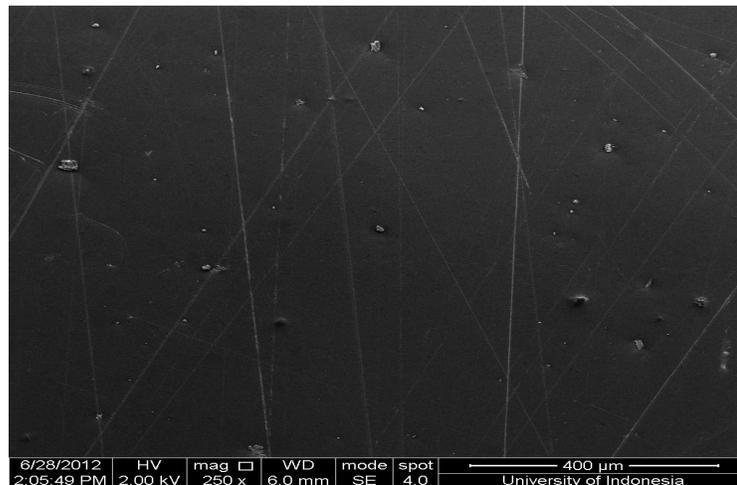


Gambar 4. 22. Hasil SEM Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa (perbesaran 250X)

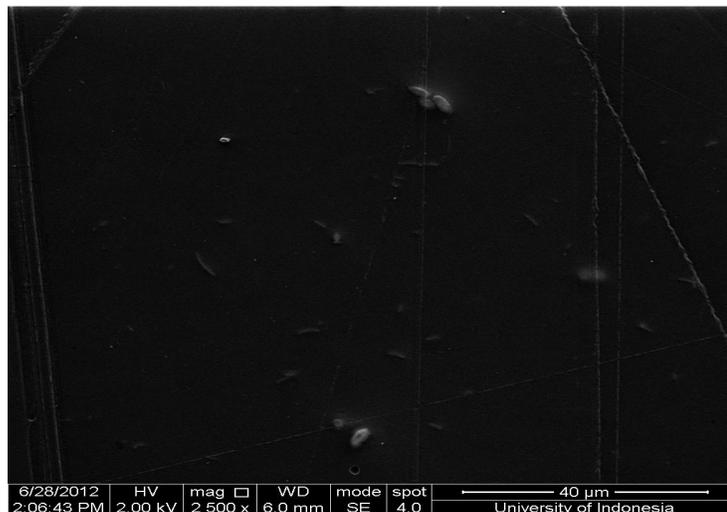


Gambar 4. 23. Hasil SEM Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa (perbesaran 2.500X)

Dari Gambar 4.22 dengan perbesaran 250 kali, adanya penguat/pengisi selulosa yang digambarkan oleh garis-garis serat putih terlihat tidak rapat pada matriks pati. Terdapat suatu retakan seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.23 (perbesaran 2.500 kali). Retakan diduga terjadi karena ukuran partikel selulosa masih terlalu besar. Ukuran partikel selulosa yang masih terlalu besar mengakibatkan tidak rapatnya partikel selulosa pada matriks pati. Sedangkan ukuran partikel selulosa yang lebih kecil/halus mengakibatkan struktur morfologi yang lebih rapat dalam matriks pati.



Gambar 4. 24. Hasil SEM Bioplastik dengan Penguat 0% wt (perbesaran 250X)

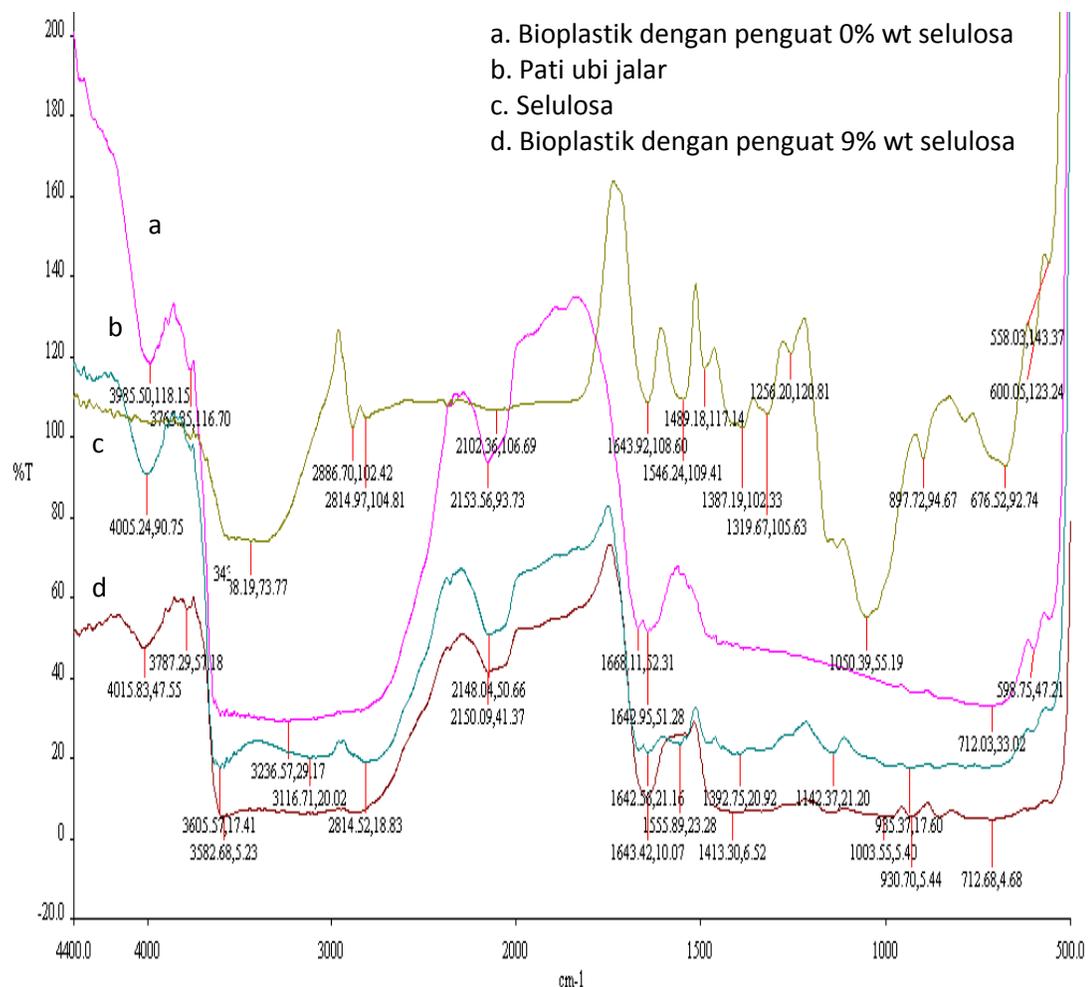


Gambar 4. 25. Hasil SEM Bioplastik dengan Penguat 0% wt (perbesaran 2500X)

Perbedaan antara bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa dan bioplastik tanpa adanya pengisi/penguat sangat jelas terlihat seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.24 dan Gambar 4.25. Bioplastik tanpa adanya pengisi/penguat tidak menunjukkan serat seperti yang ditemukan dalam bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa. Namun, terdapat sedikit gumpalan pati yang tidak tergelatinisasi secara sempurna.

4.3.2.2 Hasil Uji FT-IR

Spektrum FT-IR diukur dengan menggunakan alat IR Prestige-21 Shimadzu. Bahan yang dianalisis dengan pengujian FT-IR adalah pati ubi jalar, selulosa, dan film bioplastik dengan penguat selulosa 9% wt. Pengujian FT-IR digunakan untuk mengidentifikasi interaksi antara pati ubi jalar sebagai matriks dan selulosa sebagai penguat. Spektrum FT-IR dari pati ubi jalar, selulosa, dan bioplastik dengan penguat selulosa 9% wt ditunjukkan pada Gambar 4.26. Dari Gambar 4.26, sumbu-X menunjukkan panjang gelombang serapan (cm^{-1}) dan sumbu-Y menunjukkan % transmisi.



Gambar 4. 26. Spektrum FTIR dari Pati Ubi Jalar, Selulosa, Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa, dan Bioplastik dengan Penguat 0% wt Selulosa

Gambar 4.26-b menunjukkan spektrum di daerah *fingerprint* pati ubi jalar. Pita serapan pada panjang gelombang yang mendekati 1150 cm^{-1} menyatakan adanya regangan ikatan C-O yang berasal dari gugus C-O-H (Ning, Xingxiang, Na, & Shihe, 2009). Pita serapan pada panjang gelombang $3605,57\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus fungsi O-H. Pita serapan yang mendekati 2930 cm^{-1} merupakan karakteristik dari gugus C-H (Ma, Chang, Yang, & Yu, 2009).

Selain itu, spektrum di daerah *fingerprint* bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa tidak menunjukkan pita serapan yang sangat berbeda dengan pati ubi jalar. Spektrum bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.26-d, hampir seluruhnya berada dibawah spektrum pati ubi jalar. Gambar 4.26-d menunjukkan pita serapan pada panjang gelombang $1643,42\text{ cm}^{-1}$ menandakan adanya regangan gugus C=O yang sangat lemah. Gugus O-H dengan intensitas lemah ditunjukkan pada pita serapan dengan panjang gelombang $3582,68\text{ cm}^{-1}$. Banyaknya gugus OH pada bioplastik sangat memungkinkan untuk berikatan dengan air. Sedangkan spektrum dari selulosa ditunjukkan pada Gambar 4.26-c. Pita serapan dengan panjang gelombang $2886,70\text{ cm}^{-1}$ juga menunjukkan regangan C-H. Gugus O-H dengan intensitas yang lemah juga ditunjukkan pada pita serapan dengan panjang gelombang $3438,19\text{ cm}^{-1}$. Panjang gelombang yang mendekati 1060 cm^{-1} , yaitu $1050,39\text{ cm}^{-1}$ juga ditunjukkan pada spektrum selulosa yang menandakan adanya regangan C-O (Alemdar & Sain, 2008).

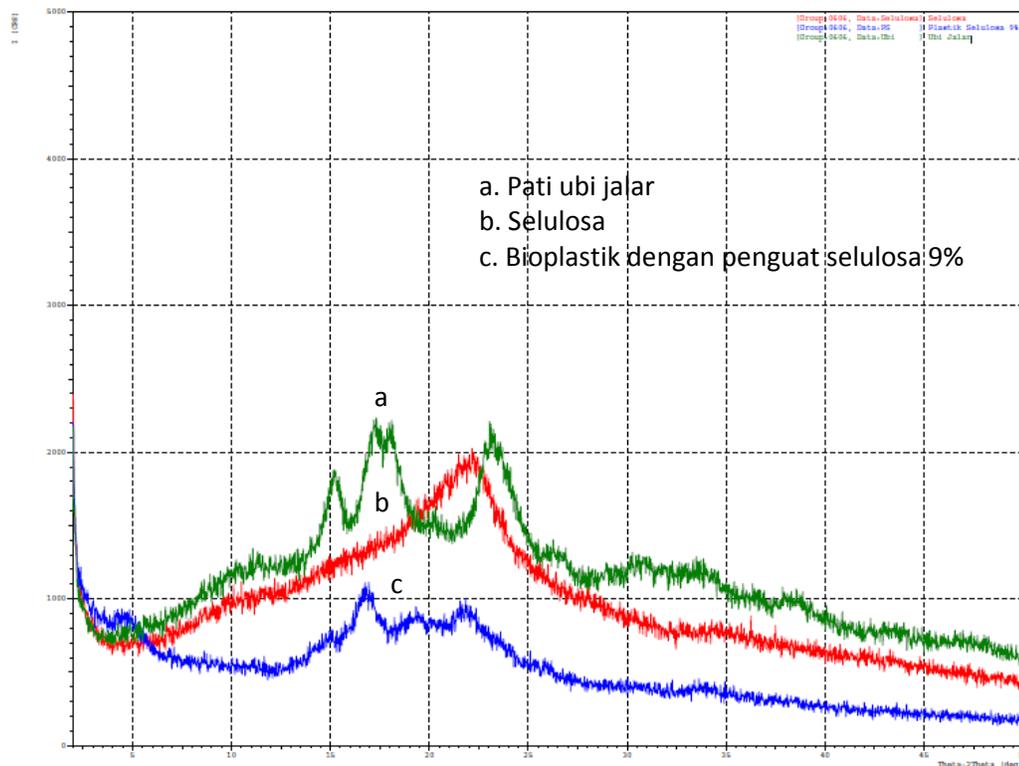
Gambar 4.26-d menunjukkan seluruh spektrum bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa berada dibawah spektrum bioplastik tanpa adanya penambahan penguat (Gambar 4.26-a). Perubahan ini dikarenakan adanya penambahan selulosa dalam matriks pati. Jika bioplastik yang mempunyai penguat 9% wt selulosa dibandingkan dengan bioplastik tanpa adanya penambahan penguat/pengisi, tidak ada perbedaan pita serapan yang sangat menonjol.

Penambahan gliserol sebagai *plasticizer* dan selulosa sebagai penguat bertujuan untuk memodifikasi sifat pati. Namun, dari hasil spektrum Gambar 4.26, panjang gelombang yang terbaca tidak menunjukkan gugus fungsi baru yang terbentuk sehingga proses pembuatan bioplastik merupakan proses *blending* secara fisika.

Penambahan gliserol dan selulosa pada pati ubi jalar hanya menyebabkan penurunan nilai transmisi dan bergesernya gugus fungsional OH, yaitu pati ubi jalar dengan panjang gelombang $3625,24 \text{ cm}^{-1}$, selulosa dengan panjang gelombang $3438,58 \text{ cm}^{-1}$, setelah penambahan gliserol dan selulosa pada pati ubi jalar, panjang gelombang bioplastik menjadi $3584,27 \text{ cm}^{-1}$.

4.3.2.3 Hasil Uji XRD

Pengujian *X-Ray Diffractometer* (XRD) bertujuan untuk menguji suatu zat secara kualitatif dan untuk mengetahui struktur dari film bioplastik. Pola difraksi *X-Ray* dari matriks pati ubi jalar, penguat selulosa, dan bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa dianalisis menggunakan XRD tipe XD-7000 Shimadzu dengan target radiasi Cu. XRD tersebut dioperasikan pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA. Pola difraksi diukur diantara $2\theta = 0^{\circ}$ - 50° dengan *scanning rate* $0,02^{\circ}$.



Gambar 4. 27. Difraktogram dari Pati Ubi Jalar, Selulosa, dan Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa

Gambar 4.27 menunjukkan hasil analisis XRD matriks pati ubi jalar, penguat selulosa, dan bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa. Dari gambar difraktogram 4.27-b dapat ditunjukkan bahwa selulosa merupakan suatu material yang berbentuk amorf dan kristalin. Daerah yang mempunyai puncak tertinggi, yaitu di titik 22,16; 22,22; dan 22,24 pada daerah sudut 2θ merupakan daerah yang menunjukkan daerah kristalin yang sangat menonjol. Sama halnya dengan selulosa, pati ubi jalar juga mempunyai bagian yang bersifat kristalin dan amorf (Fitri, 2012). Bagian kristalin selulosa sangat menonjol di daerah puncak tertinggi seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.27-a, yaitu 15,22; 17,32; 18,1; 23,04 pada daerah sudut 2θ . Namun, setelah penambahan selulosa terhadap pati ubi jalar, difraktogram bioplastik mengalami penurunan intensitas dari difraktogram pati ubi jalar dan selulosa seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.27-c. Penurunan intensitas tersebut dapat terjadi karena gugus hidroksil pati ubi jalar dan selulosa, ditambah dengan gliserol yang mempunyai gugus yang sama mengalami substitusi dengan gugus lainnya yang mengakibatkan penurunan sifat kristalinitas (Muthawali, 2011). Selain itu, proses gelatinisasi yang dialami oleh pati pada suhu 80-90⁰C juga mengubah struktur polimer pada pati menjadi amorf (Yusiasih & Subowo, 1994) yang berdampak pada perbedaan intensitas difraktogram bioplastik dengan pati ubi jalar dan selulosa.

4.3.3 Hasil Uji Laju Transmisi Uap Air (WVTR)

Pengujian WVTR (*Water Vapour Transmission Rate*) bertujuan untuk mengetahui kecepatan uap air menembus film bioplastik pada kondisi temperatur dan kelembaban udara tertentu. Standar acuan pengujian WVTR yang dilakukan adalah ASTM E 96/96 M. Pengujian WVTR dilakukan pada film bioplastik dengan penguat alami selulosa yang mempunyai sifat mekanik terbaik, yaitu penguat 9% wt selulosa. Hasil pengujian WVTR bioplastik dengan penguat 9% selulosa ditunjukkan dalam Tabel 4.11.

Tabel 4. 11. Hasil Uji WVTR Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa

Sampel ke-	WVTR (g/m².jam)
1	9,992
2	11,166
3	10,669
4	8,559
Rata-rata	10,097

Jika dibandingkan dengan penelitian Zulfa, 2011, yang melakukan variasi konsentrasi 1, 3, dan 6% wt ZnO pada pati ubi jalar seperti ditunjukkan Tabel 4.12 dan Gambar 4.28, nilai WVTR semakin berkurang seiring dengan penambahan konsentrasi ZnO dari 1 hingga 6% wt ZnO. Penurunan nilai WVTR terjadi karena ZnO mempunyai resistansi yang lebih baik terhadap air jika dibandingkan dengan matriks pati. Penambahan ZnO memberikan penghalang bagi molekul air untuk lewat (Ma, Chang, Yang, & Yu, 2009). Sedangkan bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa mempunyai nilai WVTR yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan ketiga variasi yang dilakukan Zulfa, 2011. Dari hasil penelitian Zulfa, 2011, yaitu nilai WVTR yang cenderung menurun dari 8,627 g/m².jam; 6,217 g/m².jam; hingga 4,581 g/m².jam, nilai WVTR dengan konsentrasi 9% wt ZnO diduga akan mempunyai nilai WVTR yang lebih kecil dari ketiga variasi ZnO yang dilakukan Zulfa, 2011. Oleh karena itu, perbandingan antara bioplastik yang mempunyai konsentrasi penguat 9% wt selulosa dengan bioplastik yang mempunyai konsentrasi penguat 9% wt ZnO semakin jelas, yaitu nilai WVTR bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa mempunyai nilai WVTR yang lebih besar daripada bioplastik dengan penguat 9% wt ZnO. Hal tersebut dikarenakan penguat selulosa mempunyai ikatan OH yang menghasilkan ikatan polimer-penguat yang menggantikan beberapa interaksi ikatan polimer-polimer dalam bioplastik. Gugus OH tersebut dapat mengabsorpsi dan mengikat air.

Tabel 4. 12. Hasil Uji WVTR Biokomposit dengan Penguat 1,3, dan 6% wt ZnO (Zulfa, 2011)

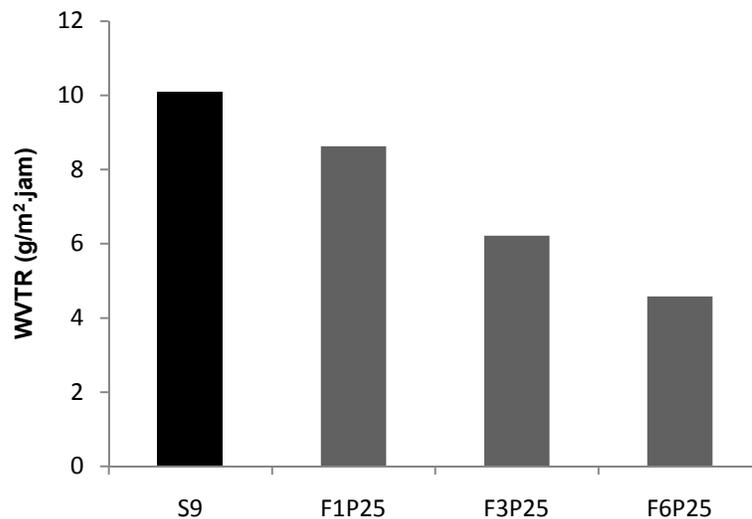
Sampel ke-	WVTR ($\text{g/m}^2\text{jam}$)		
	F1P25	F3P25	F6P25
1	9,781	6,212	3,280
2	8,615	7,506	3,541
3	7,675	6,754	6,523
4	8,438	4,614	4,980
Rata-rata	8,627	6,217	4,581

Keterangan Kode Sampel :

F1P25= Biokomposit dengan 1% wt ZnO dan 25% wt Gliserol

F3P25= Biokomposit dengan 3% wt ZnO dan 25% wt Gliserol

F6P25= Biokomposit dengan 6% wt ZnO dan 25% wt Gliserol



Gambar 4. 28. Perbandingan Hasil WVTR Bioplastik 9% wt Selulosa dengan Hasil WVTR Penelitian Zulfa, 2011

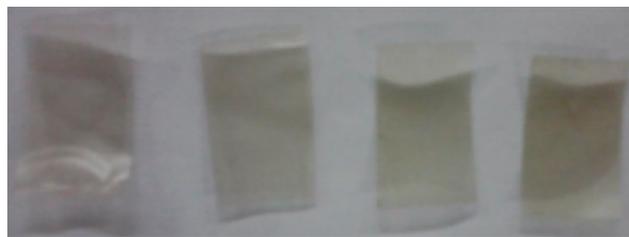
4.3.4 Hasil Uji Biodegradabilitas

Pengujian biodegradabilitas bertujuan untuk mengetahui laju degradasi bioplastik sehingga dapat diperkirakan berapa lama waktu yang dibutuhkan bioplastik hingga terurai. Uji biodegradabilitas dilakukan dengan *soil burial test*. Sampel bioplastik dikubur di dalam tanah dengan menjaga kestabilan suhu dan kelembaban

tanah. Kemudian, bioplastik yang dikubur di dalam tanah ditimbang tiap satuan waktu.

Uji biodegradabilitas dengan metode *soil burial test* ini menunjukkan beberapa kelemahan. Sampel bioplastik yang berupa film sulit dikontrol saat pengujian. Berkurangnya fraksi massa bioplastik tidak dapat ditentukan penyebabnya secara menyeluruh apakah disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme atau degradasi absorpsi air yang masuk ke dalam bioplastik. Oleh karena itu, pengontrolan suhu dan kelembaban dari tanah yang digunakan perlu dijaga kestabilannya.

Pengujian biodegradabilitas ini dilakukan pada sampel bioplastik dengan sifat mekanik yang terbaik, yaitu bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa dan bioplastik dengan penguat 9% wt ZnO. Ukuran sampel plastik yang dikubur ke dalam tanah adalah 2,5x1,5 cm seperti dalam Gambar 4.29. Tanah yang digunakan adalah tanah yang bersumber dari tempat sampah. Pengujian dilakukan pada empat buah sampel bioplastik. Fraksi massa bioplastik ditimbang setiap dua hari sekali selama delapan hari. Gambar 4.30 menunjukkan ilustrasi pengujian biodegradabilitas dengan metode *soil burial test*.



Gambar 4. 29. Bioplastik dengan Ukuran 2,5 x 1,5 cm



Gambar 4. 30. Ilustrasi Uji Biodegradabilitas dengan Metode *Soil Burial Test*

Sebelum dikubur ke dalam tanah, bioplastik terlebih dahulu ditimbang. Kemudian tiap dua hari sekali sampel dikeluarkan dari dalam tanah untuk ditimbang dalam keadaan kering. Persamaan 4.1 dapat digunakan untuk menghitung fraksi berat residual.

$$\% \text{ berat residual} = 100\% - \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \quad (4.1)$$

dimana:

W_1 = massa sampel pada hari ke- 0 (mg)

W_2 = massa sampel pada hari ke- 2, 4, 6, 8, dan 10 (mg)

Tabel 4.13 dan Tabel 4.14, berturut-turut menunjukkan hasil uji biodegradabilitas 4 buah sampel bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa dan bioplastik dengan penguat 9% wt ZnO. Setelah proses perhitungan, Tabel 4.15 dan Tabel 4.16, berturut-turut menunjukkan fraksi berat residual pada pengujian biodegradabilitas.

Tabel 4. 13. Hasil Uji Biodegradabilitas Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa

	Sampel ke-	Massa bioplastik (mg)					
		0 hari	2 hari	4 hari	6 hari	8 hari	10 hari
Bioplastik Selulosa 9% wt	1	63,800	55,600	54,800	54,200	53,300	52,800
	2	97,300	84,100	83,800	78,500	77,500	76,000
	3	70,600	61,600	61,000	58,800	57,700	56,700
	4	76,600	68,800	68,100	66,700	66,300	65,000
	Rata-rata	77,075	67,525	66,925	64,550	63,700	62,625

Tabel 4. 14. Hasil Uji Biodegradabilitas Bioplastik dengan Penguat 9% wt ZnO

	Sampel ke-	Massa bioplastik (mg)				
		0 hari	2 hari	4 hari	6 hari	8 hari
Bioplastik ZnO 9% wt	1	63,200	59,400	57,500	57,300	56,500
	2	70,500	68,200	61,900	61,700	60,700
	3	79,000	72,500	66,600	66,500	65,800
	4	68,600	64,100	60,100	59,700	59,300
	Rata-rata	70,325	66,050	61,525	61,300	60,575

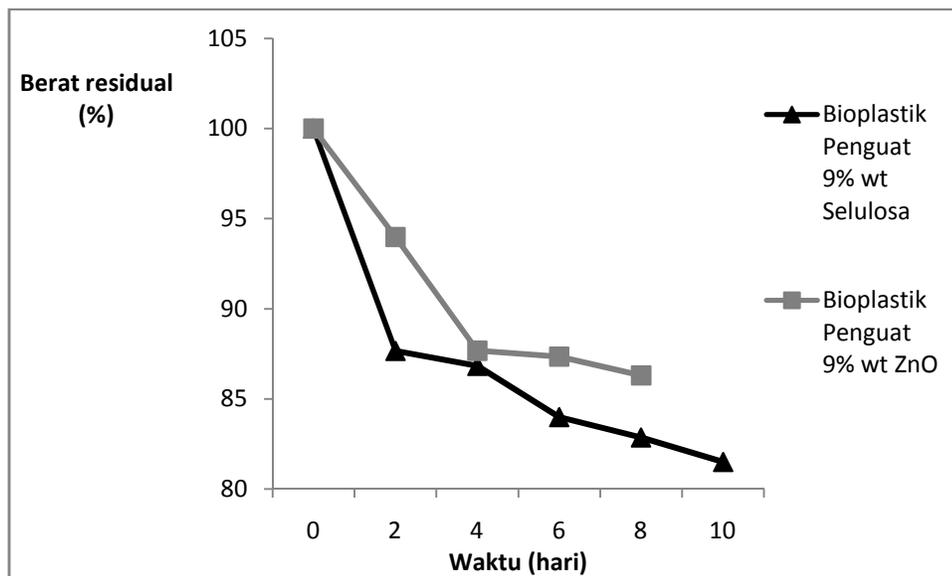
Tabel 4. 15. Hasil Uji Biodegradabilitas Fraksi Residual Bioplastik dengan Penguat 9% wt Selulosa

	Sampel ke-	Fraksi berat residual (%)					
		0 hari	2 hari	4 hari	6 hari	8 hari	10 hari
Bioplastik Selulosa 9% wt	1	100	87,147	85,893	84,953	83,542	82,759
	2	100	86,434	86,125	80,678	79,651	78,109
	3	100	87,252	86,402	83,286	81,728	80,312
	4	100	89,817	88,903	87,076	86,554	84,856
	Rata-rata	100	87,663	86,831	83,998	82,869	81,509

Tabel 4. 16. Hasil Uji Biodegradabilitas Fraksi Residual Bioplastik dengan Penguat 9% wt ZnO

	Sampel ke-	Fraksi berat residual (%)				
		0 hari	2 hari	4 hari	6 hari	8 hari
Bioplastik ZnO 9% wt	1	100	93,987	90,981	90,665	89,399
	2	100	96,738	87,801	87,518	86,099
	3	100	91,772	84,304	84,177	83,291
	4	100	93,440	87,609	87,026	86,443
	Rata-rata	100	93,984	87,674	87,346	86,308

Kemudian, nilai rata-rata keempat sampel tersebut dicari untuk tiap hari ke-2, 4, 6, 8, dan 10. Setelah itu, nilai rata-rata tersebut diplot fraksi berat residual (%) terhadap waktu (hari) yang ditunjukkan pada Gambar 4.31.

**Gambar 4. 31.** Perbandingan Biodegradabilitas Bioplastik dengan Penguat Alami Selulosa dan Penguat Logam ZnO

Gambar 4.31 tersebut menunjukkan tingkat biodegradabilitas dari bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa dan bioplastik dengan penguat 9% wt ZnO. Penambahan bahan penguat alami selulosa menunjukkan tingkat biodegradabilitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan penguat logam ZnO. Hal tersebut dapat terjadi karena selulosa mempunyai gugus hidroksil OH yang menginisiasi reaksi hidrolisis setelah mengabsorpsi air dari tanah. Polimer dari selulosa dan pati yang juga mempunyai gugus hidroksil OH akan terdekomposisi menjadi potongan-potongan kecil hingga menghilang dalam tanah. Polimer akan terdegradasi karena proses kerusakan atau penurunan mutu karena putusnya ikatan rantai pada polimer (Marhamah, 2008). Proses dekomposisi tidak membutuhkan waktu yang cukup lama karena selain matriks pati ubi jalar, dan penguat selulosa, terdapat gliserol sebagai *plasticizer* yang menyumbangkan gugus OH karena sifatnya yang hidrofilik dengan pati (Ardiansyah, 2011). Bioplastik dengan penguat 9% wt ZnO mempunyai tingkat biodegradabilitas yang lebih rendah karena partikel ZnO bertindak sebagai penghalang laju difusi air ke dalam polimer. Partikel ZnO bertindak sebagai agen penyerang mikroorganisme sehingga dengan kadar ZnO yang cukup besar, frekuensi penyerangan terhadap mikroorganisme pengurai menjadi tinggi (Wang, 2007). Oleh karena itu, biodegradabilitas bioplastik dengan penguat 9% wt ZnO mempunyai kecenderungan lebih lambat daripada bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dan analisis data hasil pengamatan, kesimpulan yang dapat diberikan adalah:

1. Sifat mekanik terbaik dari bioplastik dengan penguat logam ZnO diperoleh dengan konsentrasi 9% wt ZnO, yaitu kuat tarik 64,187 kgf/cm²; elongasi 6,0% dan bioplastik dengan penguat alami selulosa juga diperoleh dengan konsentrasi 9% wt selulosa, yaitu kuat tarik 59,740 kgf/cm² dan elongasi 6,667%.
2. Baik bioplastik dengan kombinasi penguat selulosa dan ZnO (berdasarkan sifat mekanik terbaik dari variasi konsentrasi selulosa) maupun bioplastik dengan kombinasi penguat selulosa dan ZnO (berdasarkan konsentrasi massa) tidak memberikan hasil sifat mekanik terbaik (seperti ditunjukkan Tabel 5.1) dibandingkan dengan bioplastik dengan variasi konsentrasi ZnO dan variasi konsentrasi selulosa.

Tabel 5. 1. Hasil Uji Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik dengan Kombinasi Penguat Selulosa dan ZnO

Bioplastik	Kuat Tarik (kgf/cm²)	Elongasi (%)
S9Z1	21,444	18,80
S9Z3	28,942	11,80
S9Z6	22,502	19,40
S9Z9	19,966	27,20
S25Z75	13,206	41,40
S50Z50	20,070	23,60
S75Z25	16,094	39,40

3. Kuat tarik bioplastik semakin meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi ZnO (0, 1, 3, 6, dan 9% wt), yaitu dari 12,812; 24,680; 49,312; 55,743; 64,187 kgf/cm² dan penambahan konsentrasi selulosa (0, 1, 3, 6, dan 9% wt), yaitu 12,812; 21,943; 35,365; 52,532; 59,740 kgf/cm². Namun, elongasi bioplastik akan semakin menurun seiring dengan penambahan konsentrasi ZnO (0, 1, 3, 6, dan 9% wt), yaitu dari 43,0; 26,96; 11,33; 8,83; 6,0% dari dan selulosa (0, 1, 3, 6, dan 9% wt), yaitu dari 43,0; 21,5; 13,5; 7,5; 6,667%.
4. Hasil analisis SEM bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa menunjukkan penguat/pengisi selulosa tidak rapat dalam matriks pati.
5. Dari hasil analisis FT-IR, bioplastik dengan penguat selulosa tidak menunjukkan gugus fungsi baru yang terbentuk sehingga proses pembuatan bioplastik merupakan proses *blending* secara fisika.
6. Hasil analisis XRD membuktikan bahwa bioplastik dengan penguat 9% wt selulosa menunjukkan sifat kristalinitas yang rendah.
7. Hasil analisis WVTR menunjukkan bahwa bioplastik penguat 9% wt ZnO mempunyai laju transmisi uap air yang lebih optimal, yaitu diduga lebih kecil dari 4,581 g/m².jam dibandingkan dengan bioplastik penguat 9% wt selulosa, yaitu 10,097 g/m².jam.
8. Dari hasil uji biodegradabilitas, tingkat biodegradabilitas bioplastik penguat alami selulosa lebih optimal jika dibandingkan dengan bioplastik penguat logam ZnO. Biodegradabilitas bioplastik dengan penguat alami selulosa mencapai 82,869 % dalam waktu 8 hari. Sedangkan bioplastik dengan penguat logam ZnO mempunyai biodegradabilitas 86,308 %.

5.2 SARAN

1. Saat melakukan pemanasan dan pengadukan campuran matriks pati; penguat; *plasticizer*; dan aquadest, sebaiknya menjaga pengadukan tetap konstan untuk menghindari munculnya granular-granular setelah penambahan matriks pati.

2. Setelah pemanasan campuran matriks pati; penguat; *plasticizer*; dan aquadest, sebaiknya membiarkan campuran tersebut selama 5 menit sebelum dituang ke cetakan untuk menghindari banyaknya gelembung-gelembung udara yang muncul.
3. Pengujian sifat mekanik bioplastik yang akurat sebaiknya menggunakan waktu lama pengeringan sampel bioplastik yang sama. Misalnya, jika lama pengeringan bioplastik selama 10 hari maka semua sampel bioplastik setelah 10 hari pengeringan, segera diuji sifat mekaniknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriyanto, F., & W., A. (2003). Sifat Listrik dan Optik dari Lapisan Tipis ZnO: B yang Ditumbuhkan dengan Metode Metalorganic Chemical Vapor Deposition. *Jurnal Fisika Indonesia* , 7.
- Afrozi, A. (2010). *Sintesis dan karakterisasi katalis nanokomposit berbasis titania untuk Produksi Hidrogen dari Gliserol dan Air*. Depok: Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Alemdar, A., & Sain, M. (2008). Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues—Wheat straw and soy hulls. *Bioresource Technology* , 99, 1664-1671.
- Ardiansyah, R. (2011). *Pemanfaatan Pati Umbi Garut untuk Pembuatan Plastik Biodegradable*. Depok: Universitas Indonesia.
- Avella, & M. (2009). Eco-challenges of bio-based polymer composites. *Materials* , 2, 911-925.
- Averous, L. (2008). *Polylactic Acid: Synthesis, Properties and Applications, in Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources* (1st Edition ed.). Amsterdam: Elsevier Ltd.
- Azeredo, & C.M., H. (2009). Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International* , 42, 1240-1253.
- Bayandori, M. A., Badraghi, T. N., & Kazemzad, M. (2009). Synthesis of ZnO nanoparticles and electrodeposition of Polypyrrole/ZnO nanocomposite film. *Int J Electrochem Sci* , 4, 247-257.
- Ben, E., & Z., H. A. (2007). Studi Awal Pemisahan Amilosa dan Amilopektin Pati Singkong Dengan Fraksinasi Butanol-Air. *Jurnal Sains dan Teknologi Farmasi* , 12, 1-11.
- Chandramouleeswaran, S., Mhaskel, S., Kathe, A., Varadarajan, P., Viendra, P., & Vigneshwaran, N. (2007). Functional behaviour of polypropylene/ZnO soluble starch nanocomposites. *Nanotechnology* , 18, 385702-385709.

- Chang, M., & Juang, R. (2004). Adsorption of tannic acid, humic acid and dyes from water using the composite of chitosan and activated clay. *J. Colloid Interface Sci.* , 278, 18-25.
- Chemistry, P. (2008, October 29). *Making a Plastic from Potato Starch*. Dipetik June 18, 2011, dari <http://www.practicalchemistry.org/experiments/making-a-plastic-from-potato-starch,149,EX.html>.
- Choi, K. S. (2008). *Band Gap Tuning of Zinc Oxide Films for Solar Energy Conversion*. West Lafayette: Departement of Chemistry Purdue University.
- Darder, M. (2008). Design and preparation on layered solids with functional and structural properties. *J Materials Science and Technology* , 24, 1100-1110.
- Darni, Y., Utami, H., & Asriah, S. N. (2009). *Peningkatan Hidrofobisitas dan Sifat Fisik Plastik Biodegradabel Pati Tapioka dengan Penambahan Selulosa Residu Rumput Laut Eucheama spinossum*. Universitas Lampung, Teknik Kimia. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Denault, J., & Labreque, B. (2004). *Technology Group on Polymer Nanocomposites*. Quebec: National Research Council Canada.
- E., W. G., & Zhang, J. (2005). Nanocomposites: Synthetic and Natural Fillers. *Maderas* , 159-178.
- Effendi. (2004). *Ikatan Ionik dan Cacat-Cacat pada Kristal Ionik*. Malang: Bayumedia Publishing.
- Fitri, M. (2012). *Pati dan Sifat-Sifat Pati*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Gaylord, M. (1974). *Reinforced Plastics, Theory and Practise, 2nd edition*. Massachusetts: Chaner Books.
- Gibson, R. F. (1994). *Principles of Composite Material Mechanism*. New York: McGraw-Hill. Inc.
- Harper, C. A. (1996). *Handbook of Plastics, Elastomers and Composites*. New York: McGraw Hill Companies, Inc.
- Jawaid, M., & Khalil, H. A. (2011). Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. *Carbohydrate Polymers* , 86, 1-18.

- Jumantara, B. A. (2011). *Modifikasi Selulosa Ampas Sagu dengan Polimerisasi Pencangkakan dan Penautan-Silangan*. Bogor: Departemen Kimia Fakultas MIPA Institut Pertanian Bogor.
- Li, J., C.Z., Wang, G., & Zhao, D. (2002). Study on Kinetics of Polymer Melt Intercalation by a Rheological Approach. *Applied Polymer Science* , 89, 318-323.
- Ma, X., Chang, P. R., Yang, J., & Yu, J. (2009). Preparation and properties of glycerol plasticized-pea starch/zinc oxide bionanocomposite. *Carbohydrate Polymers* , 75, 472-478.
- Marhamah. (2008). *Biodegradasi Plastisiser Poliglisierol Asetat (PGA) dan Dioktil Ftalat (DOP) dalam Matriks Polivinil Klorida (PVC) dan Toksisitasnya terhadap Pertumbuhan Mikroba*. Medan: Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara.
- Morkoc, H., & Ozgur, U. (2009). *Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology*. Weinheim: Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KgA.
- Moura, M. R., Mattoso, L. H., & Zucolotto, V. (2012). Development of cellulose-based bactericidal nanocomposites containing silver. *Journal of Food Engineering* , 109, 520-524.
- Muller, C. M., Laurindo, J. B., & Yamashita, F. (2009). Effect of cellulose fibers addition on the mechanical properties and water vapor barrier of starch-based films. *Food Hydrocolloids* , 23, 1328–1333.
- Muthawali. (2011). *Kayu Kelapa Sawit*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Myllarinen. (2001). Effect of glycerol on behaviour of amylose and amylopectin films. *Carbohydrate Polymers* , 50, 355-361.
- Ning, W., Xingxiang, Z., Na, H., & Shihe, B. (2009). Effect of citric acid and processing on the performance of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposites. *Carbohydrate Polymers* , 76, 68–73.
- Pasaribu, F. (2009). *Peranan Gliserol Sebagai Plastisiser Dalam Film Pati Jagung Dengan Pengisi Serbuk Halus Tongkol Jagung*. Medan: Sekolah PascaSarjana Universitas Sumatera Utara.

- Pulp, P. (2009). *Pabrik Pulp dari Jerami Padi dengan Proses Biochemical Pulping*. Surabaya: Teknik Kimia FTI-ITS.
- Purwono, & Purnamawati, H. (2007). *Budidaya 8 Jenis Tanaman Pangan Unggul*. Depok: Penebar Swadaya.
- Ray, S., & Okamoto, M. (2003). Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. *Prog. Polym. Sci.* , 28, 1539-1641.
- Rosa, E. S., & L., S. (2009). Pembuatan Film Oksida Konduktif Transparan ZnO: Al Menggunakan Metoda Screen Printing. *Jurnal Elektronika* , 9.
- Saputra, A. H. (2001). *Diktat Kuliah Komposit*. Depok: Departemen Teknik Gas dan Petrokimia.
- Seal, K., & Griffin, G. (1994). *Test Methods and Standards for Biodegradable Plastic: Chemistry and Technology of Biodegradable Polymer*. Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall.
- Thermo, N. C. (2001). *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*. Madison: Author.
- Walle, A., & V., G. (2009). *Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor*. Santa Barbara: University of California.
- Wang, Z. (2007). Nanopiezotronics. *Advanced Materials* , 19, 889-892.
- Wang, Z. (2004). Semiconducting and piezoelectric oxide nanostructures induced by polar surfaces. *Advanced Functional Materials* , 14, 943-956.
- Wirjosentono, B. (1995). *Perkembangan Industri Polimer di Indonesia*. Medan: FMIPA USU.
- Yadav, G., & Satoskar. (1997). Kinetic of Expositation of alkyl Esters of Undercylenic Acid: Comparison of traditional Route us Ishii. *Venturello Chemistry* , 74, 397-401.
- Yusiasih, R., & Subowo, W. S. (1994). Blending Low Density Polyethylene, Asam Oleat dan Gelatin Sistem Pati-Air-Urea untuk Polimer Biodegradabel. *Prosiding Seminar Ilmiah* , 53-67.
- Zhao, R., Torley, P., & Halley, P. J. (2008). Emerging biodegradable materials: starch- and protein-based. *J. Master Sci* , 43, 3058-3071.

Zulfa, Z. (2011). *Pemanfaatan Pati Ubi Jalar untuk Pembuatan Biokomposit Semikonduktor*. Depok: Universitas Indonesia.

LAMPIRAN

1. Hasil Pengujian Kandungan dari Pati Ubi Jalar (Zulfa, 2011).

Parameter	Satuan	Hasil	Metoda Uji/Teknik
Air	%	11,4	SNI. 01-2891-1992, butir 5.1
Abu	%	0,48	SNI. 01-2891-1992, butir 6.1
Protein (N x 6,25)	%	0,30	SNI. 01-2891-1992, butir 7.1
Lemak	%	0,07	SNI. 01-2891-1992, butir 8.2
Karbohidrat	%	87,8	Pengurangan
Amilosa	%	11,6	Spektrofotometri
Amilopektin	%	76,2	Perhitungan

H A S I L
TEST RESULT

Nomor Seri / Serial Number : 4754 Nomor / Number : 4754/LHUBd/ABICAL.1/V/2011
 Nomor Analisis / Analysis Number : 4975
 Halaman / Page : 2 Dari / of : 2

ASLI
ORIGINAL

Laboratorium Analisis dan Kalibrasi
Balai Besar Industri Agro
Analytical and Calibration Laboratories
Center for Agro-Based Industry

Deputi Manajer Teknis
Revisian II
Wina Sundari



urtp

HASIL PENGUJIAN INI TIDAK UNTUK DIGUNAKAN
DAN HANYA BERLAKU UNTUK CONTOH-CONTOH
TERSEBUT DIATAS.
PENGAMBILAN CONTOH BERTANGGUNG JAWAB
ATAS KEBENARAN TANDING BARANG.

2. Hasil pengukuran partikel ZnO menggunakan PSA


 Advancing Nanotechnology to Life

REPORT OF ANALYSIS

Report No. : 006/KRT-NT/II/2012 Date: 27/02/2012
 Applicant : Ervan FT Kimia UI
 Type of sample : Powder
 Sample receive on : February 24th 2012
 Type of analysis : Particle Size Analyzer

RESULT

I. Particle Size Analyzer

No.	Sample	Run	Polydispersity Index	Size (nm)	Method
1	ZnO	1	0.276	257.7 ± 74.4	PCS
		2	0.244	663.9 ± 187.0	
		3	0.377	410.5 ± 176.6	

Chief Inspector :  

Notes:
 1. These analysis results are only valid for the tested samples.
 2. This report will be invalid if deleted or partly duplicated.
 3. This report is valid if it signed by authorized inspector and with a special stamp for inspection.

Training - Nano Laboratory Testing - Technology & Management Consultant
 Kawasan PUSRIPTK Serpong Gd. 410 Balai Inkubator Teknologi BPPT, 15310, Serpong - Tangerang Banten
 Telp/ fax: 021- 7587 0479 | www.nanotech.co.id

3. Standarisasi kriteria ekolabel kategori produk kantong belanja plastik berupa kriteria, ambang batas, dan metoda uji/verifikasi (Sumber: SNI 7188.7:2011)

No	Aspek Lingkungan	Persyaratan	Metoda uji/verifikasi
1	Bahan baku dan aditif a. Thermoplastik mengandung <i>prodegradant</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Prodegradant</i> harus memenuhi persyaratan <i>RoHS (Restriction of Hazardous Substances)</i>. - Tidak mengandung zat warna azo. 	<p>Verifikasi pernyataan tertulis pemohon tentang pemenuhan persyaratan <i>prodegradant</i> yang dilengkapi dengan pernyataan dari pemasok.</p> <p>Verifikasi pernyataan tertulis pemohon tentang jenis dan sifat bahan dilengkapi dengan pernyataan dari pemasok atau pengukuran dengan GC-MS atau metode pengujian lainnya yang divalidasi atau diverifikasi, yang dilakukan oleh laboratorium pengujian yang telah menerapkan ISO/IEC 17025 : 2008.</p>

No	Aspek Lingkungan	Persyaratan	Metoda uji/verifikasi
	b. Campuran yang mengandung pati (<i>starch</i>) dan thermoplastik.	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak mengandung zat warna azo . 	<p>Verifikasi pernyataan tertulis pemohon tentang jenis dan sifat bahan dilengkapi dengan pernyataan dari pemasok atau pengukuran dengan GC-MS atau metode pengujian lainnya yang divalidasi atau diverifikasi, yang dilakukan oleh laboratorium pengujian yang telah menerapkan SNI ISO/IEC 17025 :2008.</p>
2	Degradabilitas a. Thermoplastik mengandung <i>prodegradant</i> b. Campuran yang mengandung pati (<i>starch</i>) dan thermoplastik	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Tensile Elongation (Elongation at break)</i> kurang dari 5% dicapai setelah mengalami perlakuan penyinaran sinar UV maksimal selama 250 jam. - Pertumbuhan mikroba pada permukaan produk > 60% selama 1 minggu. 	<p>Verifikasi pernyataan pemohon tentang pemenuhan persyaratan disertai laporan hasil pengujian menurut metode uji berikut ini:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ASTM D5208-09 - ASTM D3826-98 (2008) - ASTM G21-09 <p>atau metode pengujian lainnya yang divalidasi atau diverifikasi, yang dilakukan oleh laboratorium pengujian yang telah menerapkan SNI ISO/IEC 17025:2008.</p>
3	Kandungan logam berat	<p>Kandungan logam berat dalam produk:</p> <p>Cd < 0,5 ppm Pb < 50 ppm Hg < 0,5 ppm Cr¹⁶ < 50 ppm</p>	<p>Verifikasi pernyataan pemohon tentang pemenuhan persyaratan disertai laporan hasil pengujian menurut metode uji:IEC-62321 Ed 1.0 2008</p> <p>atau metode pengujian lainnya yang divalidasi atau diverifikasi, yang dilakukan oleh laboratorium pengujian yang telah menerapkan SNI ISO/IEC 17025 :2008.</p>

4. Standarisasi kriteria ecolabel kategori produk kantong belanja plastik (persyaratan umum) (Sumber: SNI 7188.7:2011)

No	Aspek	Persyaratan	Metoda uji/verifikasi
1	Penaatan peraturan perundang-undangan pengelolaan lingkungan hidup	Produsen harus berkomitmen pada penaaatan peraturan perundang-undangan pengelolaan lingkungan yang relevan	Verifikasi pernyataan tertulis produsen tentang pemenuhan ketentuan peraturan perundang-undangan pengelolaan lingkungan hidup yang relevan melalui kajian dokumen dan atau verifikasi kepada instansi pemerintah yang berwenang.
2	Sistem Manajemen Lingkungan	Produsen harus menerapkan Sistem Manajemen Lingkungan yang menjamin konsistensi pemenuhan persyaratan kriteria dan ambang batas sertifikasi ecolabel, pengendalian dampak lingkungan serta pemenuhan prasyarat penaaatan peraturan perundang-undangan pengelolaan lingkungan.	Verifikasi pernyataan produsen tentang penerapan sistem manajemen lingkungan dilengkapi dengan dokumen pendukung dan hasil verifikasi yang dilakukan oleh evaluator yang mengacu pada SNI 19-14001- 2005
3	Kualitas produk	Menerapkan sistem manajemen mutu.	Verifikasi pernyataan produsen tentang penerapan sistem manajemen mutu produk dilengkapi dengan dokumen hasil verifikasi yang dilakukan oleh evaluator yang mengacu pada SNI ISO 9001:2008.
4	Bahan kemasan	Kemasan tidak mengandung PVC (<i>Polyvinyl chloride</i>) atau PVDC (<i>Polyvinyl dichloride</i>).	Verifikasi pernyataan tertulis pemohon tentang pemenuhan persyaratan; atau identifikasi dengan alat FTIR; atau metode pengujian lainnya yang telah divalidasi atau diverifikasi oleh laboratorium pengujian yang telah menerapkan SNI ISO/IEC 17025 :2008.