

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI *LOW DENSITY*  
*POLYETHYLENE* (LDPE) DAN PATI BONGGOL PISANG UNTUK  
PEMBUATAN PLASTIK *BIODEGRADABLE***

**SKRIPSI**

Oleh:  
**ZAHROTUL MARFU'AH**  
NIM. 11640046



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2015**

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI *LOW DENSITY POLYETHYLENE*  
(LDPE) DAN PATI BONGGOL PISANG UNTUK PEMBUATAN PLASTIK  
*BIODEGRADABLE***

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada:**

**Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:**

**ZAHROTUL MARFU'AH  
NIM. 11640046**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2015**

## HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI *LOW DENSITY POLYETHYLENE* (LDPE)  
DAN PATI BONGGOL PISANG UNTUK PEMBUATAN PLASTIK  
*BIODEGRADABLE*

SKRIPSI

Oleh:

ZAHROTUL MARFU'AH

NIM. 11640046

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,  
Pada tanggal: 29 Oktober 2015

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Erna Hastuti, M.Si  
NIP. 19811119 200801 2 009

Dr. AgusMulyono,S.Pd,M.Kes  
NIP. 19750808 199903 1 003

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M. Si  
NIP. 19811119 200801 2 009

## HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI *LOW DENSITY POLYETHYLENE* (LDPE)  
DAN PATI BONGGOL PISANG UNTUK PEMBUATAN PLASTIK  
*BIODEGRADABLE*

### SKRIPSI

Oleh:  
ZAHROTUL MARFU'AH  
NIM.11640046

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan  
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 9 november 2015

Penguji Utama	:	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	
Ketua Penguji	:	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Sekretaris Penguji	:	<u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Anggota Penguji	:	<u>Dr. Agus Mulyono, S.Pd, M.Kes</u> NIP. 19750808 199903 1 003	

Mengesahkan,  
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si  
NIP. 19811119 200801 2 009

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ZAHROTUL MARFU'AH  
NIM : 11640046  
Jurusan : FISIKA  
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI  
Judul Penelitian : Pengaruh Variasi Komposisi *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan Pati Bonggol Pisang untuk Pembuatan Plastik *Biodegradable*

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang perbah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 29 Oktober 2015

Yang Membuat Pernyataan,

ZAHROTUL MARFU'AH  
NIM. 11640046

## MOTTO

وَعَسَىٰ أَنْ تَكْرَهُوا شَيْئًا وَهُوَ خَيْرٌ لَّكُمْ وَعَسَىٰ أَنْ تُحِبُّوا شَيْئًا وَهُوَ شَرٌّ لَّكُمْ

وَاللَّهُ يَعْلَمُ وَأَنْتُمْ لَا تَعْلَمُونَ

*"Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu; Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui".*

*(Q.S. Al-Baqarah : 216)*

**"بِقَدْرِ الْكَدِّ تَكْسَبُ الْمَعَالِي"**

*"Dengan kegigihan maksimal, kemuliaan akan tercapai"*

*"Seberapapun pencapaian yang telah kamu dapatkan, itu adalah hasil jerih payah diri kamu sendiri. Action is everything, No action is nothing Happen"*

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat yang telah Allah berikan Shalawat beriring salam selalu terlimpahkan keharibaan Rasulullah Muhammad SAW.*

### *Allah SWT*

*Segala puji hanya milik-Mu, Tuhan semesta alam dan seisinya, yang telah memberi kesempatan mencari bekal untuk dunia dan akhiratku di UIN Malang.. Atas karunia serta kemudahan yang Engkau berikan, akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan*

### *Rasulullah Muhammad SAW*

*Yang menjadi Suri Tauladan dalam setiap Kehidupan, Shalawat dan Salam senantiasa tercurahkan kepada Beliau Semoga kita semua mendapatkan Syafa'atnya di Hari Akhir nanti..*

### *Untuk Bapak dan Ibuku*

*Karya ini ku persembahkan sebagai tanda bakti hormat, dan rasa terima kasih tiada terhingga. Terimakasih atas segala cinta, do'a, dukungan, nasehat yang tak pernah putus dan menempe diri ini dari kecil di Pondok Al-muqoddasah hingga khotam juga Ar-risalah yang mengantarkanku kuliah di kampus ini. Tak mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas ini.*

*Untuk BU Erna, yang banyak meluangkan waktunya untuk di repoti dan penuh kesabaran membimbing penggarapan tugas akhir sampai selesi. Dan juga untuk Ustadz Awwaludin Fithroh yang mengantarkanku tetap menjaga hafalan mengiringi langkah waktu kuliah ini.*

*Untuk para Dosen, baik pengajar, pembimbing akademik, pembimbing skripsi maupun penguji skripsi, terima kasih yang sebesar - besarnya atas ilmu, bimbingan, kritik, saran, masukan dan lain sebagainya guna menjadikan penulis pribadi yang lebih baik di masa depan.*

*Untuk sahabat-sahabatq, khususnya SPecTRum Eigen (PBSB 2011), Afif, Jay, Hari, Sule, Jamal, Tsenia, Sipul, Mayang, Umay, Maya, Ifa, Al, Atul, Uswah, Ulfa, Hanif, Putri. Terima kasih atas motivasi dan kebersamaan kita. Semoga ikatan silaturahmi kita selalu terjaga sampai akhir nanti.*

Untuk sahabat-sahabatQ Fashil M2, Ismi, Elfa, Rohana, Yuzkia, Awik, Aa', Indra, Baidhowi, Pak Dhe, Jamal, Hari, Rulyz dan teman-teman yang lain. Kebersamaan dengan kalian telah memberikan warna hidup yang berarti buatQ.

Sahabat dan teman-teman fisika 2011, terima kasih atas waktu yang kalian berikan untuk berbagi rasa, cinta dan cerita. Alma, Faiz, Linda, Laili, Ita, Septian, Ica, Uswah, Zahro, Ica, Olip, Zia, Aisy, In, Nisa', Mba' ela, Atul, maaf tak bisa menyebutkan satu per satu. Semoga silaturahmi kita tetap terjaga.

Untuk teman-teman fadholi, khususnya Yeti, Alvin, Maya, Ulfa, Rizki, ulfa A, Dian dan teman-teman yang telah mendukung dan selalu menyemangatiQ ketika aku merasa ingin menyerah, maaf tak bisa menyebutkan semua.



## KATA PENGANTAR



*Assalamualaikum Wr. Wb*

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Baginda Rasulallah, Nabi besar Muhammad SAW serta para keluarga, sahabat, dan pengikut-pengikutnya. Atas ridho dan kehendak Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Pengaruh Variasi Komposisi *Low Density Polyethylene (LDPE)* dan Pati Bonggol Pisang untuk Pembuatan Plastik *Biodegradable*** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terimakasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terimakasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. ErnaHastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan yang telah banyak meluangkan waktu, nasehat dan Inspirasinya sehingga dapat melancarkan dalam proses penulisan Skripsi.
4. Erna Hastuti, M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak meluangkan waktu, pikirannya dan memberikan bimbingan, bantuan serta pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Dr. Agus Mulyono, S.Pd, M.Kes selaku Dosen Pembimbing Agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al-Qur'an serta Hadits.

6. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses perkuliahan.
7. Kedua orang tua dan semua keluarga yang telah memberikan dukungan, restu, serta selalu mendoakan disetiap langkah penulis.
8. Teman-teman dan para sahabat terimakasih atas kebersamaan dan persahabatan serta pengalaman selama ini
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan dapat menjadikan inspirasi kepada para pembaca *Amin Ya Rabbal Alamin*.

*Wassalamu'alaikumWr. Wb.*

Malang, 17 Oktober2015

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>MOTTO</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>ABSTRAK</b> .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan .....	6
1.4 Manfaat .....	6
1.5 Batasan Masalah .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Plastik .....	7
2.2 <i>Low Density Polyethylene (LDPE)</i> .....	11
2.3 Kompatibilitas ( <i>compatibility</i> ) .....	14
2.4 Xilena .....	17
2.5 Maleat Anhidrat ( <i>maleic anhidride</i> ) .....	18
2.6 <i>Plasticizer</i> .....	19
2.7 Bonggol Pisang .....	20
2.8 Pati .....	23
2.9 Sifat Mekanik .....	24
2.9.1 Kuat Tarik .....	24
2.9.2 Uji <i>Swelling</i> (ketahanan air) .....	25
2.10 <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i> .....	26
2.11 Uji Biodegradasi .....	28
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	31
3.1 Rancangan Penelitian .....	31
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	31
3.3 Rancangan Penelitian .....	31
3.3.1 Alat .....	31
3.3.2 Bahan .....	32
3.4 Prosedur Penelitian .....	32
3.4.1 Pembuatan Pati Bonggol Pisang .....	32
3.4.2 Pembuatan Poliblen .....	33
3.4.3 Pembuatan Film Plastik .....	34
3.5 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data .....	34

3.5.1	Teknik Pengumpulan Data .....	34
3.5.2	Analisis Data .....	36
3.6	Rancangan Penelitian.....	39
3.6.1	Diagram Alir Pembuatan Pati Bonggol Pisang .....	39
3.6.2	Diagram Alir Pembuatan Poliblen.....	40
3.6.3	Diagram Alir Pembuatan Film Plastik .....	41
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>42</b>
4.1	Data Hasil Penelitian .....	42
4.1.1	Pembuatan Pati Bonggol Pisang.....	42
4.1.2	Pembuatan <i>Maleicanhidride</i> .....	42
4.1.3	Pembuatan Poliblen LDPE-g-MA .....	43
4.1.4	Pembuatan Plastik <i>Biodegradable</i> .....	44
4.1.5	Karakterisasi Gugus Fungsi Menggunakan FTIR .....	45
4.1.6	Sifat Mekanik (Uji Tarik) Menggunakan <i>Universal</i> <i>TensileStrenght</i> .....	48
4.1.7	Karakterisasi Uji Ketahanan Air Menggunakan <i>Metode Swelling</i> .....	51
4.1.8	Uji Biodegradasi .....	53
4.2	Pembahasan .....	55
4.3	Hasil Penelitiandalam Perspektif Islam .....	58
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP</b> .....	<b>61</b>
5.1	Kesimpulan .....	61
5.2	Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Plastik <i>Polyethylene</i> .....	11
Gambar 2.2	Struktur Xilena .....	17
Gambar 2.3	Perubahan <i>maleic acid</i> menjadi <i>maleic anhidride</i> .....	19
Gambar 2.4	Bonggol Pisang .....	21
Gambar 2.5	Struktur Kimia Amilosa .....	24
Gambar 2.6	Struktur Kimia Amilopektin.....	24
Gambar 2.7	Skema FTIR .....	27
Gambar 3.1	Alat uji kekuatan tarik <i>universal tensile strength</i> .....	33
Gambar 3.2	Dimensi sampel untuk pengujian kuat tarik .....	34
Gambar 3.3	Diagram alir pembuatan pati bonggol pisang .....	38
Gambar 3.4	Diagram alir pembuatan poliblen .....	39
Gambar 3.5	Diagram alir pembuatan film plastik.....	40
Gambar 4.1	Struktur <i>maleic anhidride</i> .....	42
Gambar 4.2	Hasil Uji FTIR .....	44
Gambar 4.3	Dimensi Sampel untuk Pengujian elastisitas (kuat tarik) .....	47
Gambar 4.4	Grafik hubungan variasi komposisi LDPE-g-MA dan pati terhadap nilai elongasi plastik <i>biodegradable</i> .....	48
Gambar 4.5	Grafik pengaruh variasi komposisi LDPE-g-MA dan pati terhadap kuat tarik .....	49
Gambar 4.6	Hasil nilai <i>modulus young</i> plastik <i>biodegradable</i> .....	50
Gambar 4.7	Grafik hubungan variasi komposisi LDPE-g-MA dan pati terhadap nilai rata-rata uji swelling plastik <i>biodegradable</i> .....	51
Gambar 4.8	Penampakan bakteri pada plastik <i>biodegradable</i> campuran pati dan LDPE-g-MA dengan perbesaran 400x .....	52
Gambar 4.9	Hubungan variasi komposisi LDPE-g-MA dan pati terhadap rata-rata jumlah koloni plastik <i>biodegradable</i> .....	53

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Plastik-plastik Komoditi.....	8
Tabel 2.2	Perbandingan plastik konvensional, campuran dan <i>biodegradable</i> .....	10
Tabel 2.3	Persyaratan kemasan <i>biodegradable</i> menurut SNI 718.7 .....	15
Tabel 2.4	Kandungan gizi bonggol pisang.....	21
Tabel 3.1	Rancangan hasil pengujian Uji Ketahanan air.....	37
Tabel 3.2	Rancangan hasil Uji tarik .....	38
Tabel 3.3	Data pengujian biodegradasi sampel plastik <i>biodegradable</i> ....	39
Tabel 4.1	Gugus fungsi yang terbentuk pada plastik <i>biodegradable</i> .....	46
Tabel 4.2	Data hasil nilai elongasi plastik <i>biodegradable</i> .....	48
Tabel 4.3	Data hasil kuat tarik plastik <i>biodegradable</i> .....	49
Tabel 4.4	Nilai <i>modulusyoung</i> plastik <i>biodegradable</i> .....	50
Tabel 4.5	Data hasil pengujian ketahanan air ( <i>swelling</i> ) pada plastik <i>biodegradable</i> .....	52
Tabel 4.6	Data hasil pengujian biodegradasi pada plastik <i>biodegradable</i> .....	54
Tabel 4.7	Hasil analisis uji Anova faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah koloni.....	55

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Dokumentasi penelitian
- Lampiran 2 Hasil Uji FTIR
- Lampiran 3 Data Hasil Uji Biodegradasi
- Lampiran 4 Hasil Pengujian SPSS ANOVA



## ABSTRAK

Marfu'ah, Zahrotul. 2015. **Pengaruh Variasi Komposisi *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan Pati Bonggol Pisang untuk Pembuatan Plastik *Biodegradable***. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing (I) Erna Hastuti, M.Si (II) Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd, M.Kes

---

Kata kunci: Plastik *biodegradable*, *compatibility*, LDPE-g-MA, *Swelling*

Pengembangan plastik *biodegradable* adalah salah satu upaya untuk menangani kerusakan lingkungan akibat limbah sampah plastik yang terjadi di masyarakat. Pada penelitian ini dibuat plastik *biodegradable* dari LDPE dan pati bonggol pisang dengan variasi 99,5:0,5; 99:1; 98:2; 97:3; dan 96:4 (% v/v). Sampel yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan uji FTIR, tarik, *swelling*, dan bakteri. Hasil uji FTIR menunjukkan adanya interaksi kimia berupa pergeseran gelombang pada gugus fungsi CH<sub>2</sub>, Gugus lain yang terbentuk adalah hidroksida (OH), karbonil (C=O) dan ester (COO) mengakibatkan plastik mudah terdegradasi. Pada uji kuat tarik, penambahan LDPE-g-MA, pati dan gliserol secara umum menurunkan nilai kuat tarik dan elongasi plastik *biodegradable* yang dipengaruhi oleh rantai karbon. Kuat tarik plastik yang dihasilkan memenuhi standart nasional plastik *biodegradable*. Nilai *swelling* terbesar pada sampel 97:3 yaitu sebesar 77,65 %. Uji biodegradasi dengan EM4 menunjukkan variasi penambahan pati dan LDPE-g-MA meningkatkan rata-rata jumlah koloni, hal ini disebabkan senyawa penyusun plastik berupa C=O dan C-O-C merupakan senyawa organik.

## ABSTRACT

Marfu'ah, Zahrotul. 2015. **Effect Of Variation on Composition Of Low Density Polyethilene (LDPE) and Starch Of Tubers Banana to make biodegradable Plastic**. Thesis. Department of Physics Faculty of Science and Technology Islamic State University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors (I) Erna Hastuti, M.Si (II) Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd, M.Kes

---

Keywords: Biodegradable plastic, compatibility, LDPE-g-MA, swelling

The development of biodegradable plastics is one of solution in overcoming damage that caused by plastic waste that occurs in the surroundings. In this study biodegradable plastic from LPDE-g-MA and banana starch with a variation of 99.5: 0.5; 99: 1; 98: 2; 97: 3; and 96: 4; (% v / v) were made. It was characterized using FTIR testing, tensile test, test swelling and bacteria test. Based on FTIR data, it indicated a shift of chemical interaction waves on CH<sub>2</sub> functional groups. Other groups also formed hydroxide (OH), carbonyl (CO) and ester (COO). These functional groups affected degradable plastics. In the tensile test, the addition of LDPE-g-MA, starch and glycerol decreased tensile strength and elongation values of biodegradable plastic as a consequence of the carbon chain existence. Tensile strength of the forming plastic is satisfied with the national standards of biodegradable plastic. The swelling value of the plastic between LDPE-g-MA and starch (97:3 %v/v) was 77.65%. Biodegradable test with EM4 showed the addition of variation of starch and LDPE-g-MA increased the average number of colonies. This was caused by organic compound, C=O and C-O-C which formed biodegradable plastic.

## مستخلص البحث

زهرة المرفوعة. 2015. أثر تركيب لاهودنسي تي فولي اتيلن (LDPE) بسلالة من سوسة الموز لتصنيع بلاستيك بيهودكرادبلي. البحث العلمي. في قسم الفيزياء فيكلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج.

المشرفة الأولى : إيرنا هاستوتي الماجستير. المشرف الثاني : دكتور أغوس مولونو الماجستير.

الكلمات الرئيسية : بلاستيك بيهودكرادبلي، compatibility، LDPE-g-MA، تورم.

التطوير بلاستيك بيهودكرادبلي احد من السعي لإقامة فساد البيئة بسبب القمامة بلاستيك في المجتمع. هذا البحث يصنع بلاستيك بيهودكرادبلي من LDPE-g-MA وزيادة جدمور الموز مع التغيير 99:5:0,5; 98:2;99:1 (% v/v) .

مميز النموذج بالتحربة FTIR، والتحربة الجرة، والتحربة تورم ، والتحربة البكترية. النتيجة من تحربة FTIR تدل على وجود تعامل الكيمياء يعني تغيير الموج في مجموعة وظيفة  $CH_2$ ، والأخر يعني هيدروكسيدات (OH)، كربونيل (C-O)، واسترات (COO) أدى إلى انحطاط بلاستيك بسهولة. في التحربة الجرة، الزيادة LDPE-g-MA، زبدة وجلويسرول عامة. يقلل قيمة القوية الجرة واستطالة بلاستيك بيهودكرادبلي التي متأثر بمسلسل كربون. نتيجة من قوية الجرة بلاستيك توقرت معايير قومية بلاستيك بيهودكرادبلي. درجة تورم أكبر في نموذج 97:3 يعني 77,65%. تجرية التحلل البيولوجي مع EM4 تدل على تغير أن تزيد زبدة و LDPE-g-MA زيادة في متوسطة نتيجة مستعمرة. السباب من ذلك يعني تكوين بلاستيك  $C=O$  و  $C-O-C$  أي العضوية.

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Plastik merupakan bahan pengemas yang banyak digunakan masyarakat. Plastik bersifat ringan, kuat, mudah dibentuk, anti karat, tahan terhadap bahan kimia dan sebagai isolator listrik yang tinggi. Badan Pusat Statistik (BPS) memaparkan nilai impor plastik dan barang dari plastik mengalami peningkatan 40,28% pada agustus 2015 dibanding bulan juli pada tahun yang sama, atau sejumlah US\$ 441,7 juta (BPS, 2015).

Salah satu kerusakan lingkungan adalah penumpukan sampah plastik yang dapat mencemari lingkungan. Plastik merupakan bahan yang tidak dapat membusuk sehingga jika ditimbun akan memberikan banyak masalah contohnya sampah yang tercecer dapat menimbulkan bahaya banjir, selain itu plastik cenderung terangkat ke permukaan dan mengotori lingkungan karena ringan (Martono *et. al*, 2002). Kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh manusia telah dijelaskan di dalam Q.S. Ar-Rum (30) 41-42,

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي

عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”. (Q.S. Ar-rum (30): 41).

Pada firman Allah SWT (ظهر الفساد في البر والبحر بما كسبت أيدي الناس) bermakna

“telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan

*tangan manusia*". Kerusakan yang terjadi di daratan maupun dilautan disebabkan oleh perbuatan manusia, tanpa memikirkan dampak negatif yang akan muncul. Hal tersebut hendaknya didasari dengan kesadaran manusia untuk menghentikan perbuatan-perbuatan yang merusak lingkungan dengan cara melestarikannya.

Penurunan kualitas lingkungan yang disebabkan oleh penumpukan limbah plastik yang tidak dapat didegradasi dapat dikurangi dengan usaha mendaur ulang (*recycle*), pemakaian kembali (*reuse*), pengurangan penggunaan (*reduce*) dan usaha mencari formula baru dan terbarukan (*renewable resources*) agar plastik lebih mudah didegradasi. Mendaur ulang plastik membutuhkan dana yang mahal, memiliki keterbatasan masa pakai dan kualitas yang menurun.

Salah satu upaya pengurangan ketergantungan terhadap plastik adalah pengembangan ke arah plastik alternatif yang lebih ramah lingkungan dan dapat diuraikan. Plastik alternatif dapat terbuat dari bahan baku pati (*starch*), yang dihasilkan dari beberapa tanaman seperti misalnya beras, sagu, bonggol pisang, singkong, ubi kayu, tongkol jagung dsb (wardah, 2014). Perintah Allah SWT untuk memanfaatkan tumbuh-tumbuhan telah dijelaskan dalam Q.S as-syu'ara (26):7-8,

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿٧﴾ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً وَمَا كَانَ أَكْثَرُهُمْ مُؤْمِنِينَ ﴿٨﴾

“ Dan Apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik? Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat suatu tanda kekuasaan Allah. dan kebanyakan mereka tidak beriman”. (Q.S as-syu'ara (26):7-8)

Kata *زوح* bermakna macam, dan kata *نيركيلا* bermakna Yang mulia dari segala sesuatu berarti yang diridhai dan terpuji darinya (al-qurthubi, 2009). Penafsiran dari beberapa mufassir tentang ayat di atas menjelaskan banyak tanaman dan buah-buahan yang memberikan potensi dan manfaat bagi manusia. Setiap bagian dari tumbuhan mengandung manfaat yang banyak bagi manusia untuk kelangsungan hidupnya.

Wardah (2014) membuat plastik dari pati bonggol pisang, tongkol jagung dan eceng gondok dengan variasi komposisi *plasticizer* gliserol. Dihasilkan uji kuat tarik terbaik sebesar 5,77 Mpa pada konsentrasi gliserol 15% jenis pati bonggol pisang. Hal ini menyebabkan bonggol pisang berpotensi sebagai bahan yang baik dalam pembuatan plastik *biodegradable* dibandingkan pati dari tongkol jagung dan pati eceng gondok. Sedangkan uji ketahanan air (*swelling*) terbesar adalah tongkol jagung 70:30 (% b/v) dengan nilai 95,77 %.

Bonggol atau batang pisang bagian bawah merupakan limbah yang belum termanfaatkan secara optimal. Dalam 100 gram, bonggol pisang basah terkandung 43,0 kalori, 0,36 g protein, 11,60 g karbohidrat, 86,0 g air, beberapa mineral seperti Ca, P dan Fe, vitamin B1 dan C serta bebas kandungan lemak (Rukmana, 2005).

Pembuatan plastik *biodegradable* dengan memanfaatkan *Low Density Polyethilene* (LDPE) disebabkan bahan ini banyak digunakan dalam pembuatan komposit dengan bahan pengisi serat alam. *Low Density Polyethilene* (LDPE) merupakan plastik yang mempunyai sifat tembus cahaya, kuat, lentur dan kedap air. Dari segi fleksibilitas, LDPE banyak digunakan sebagai perangkat imitasi

dibandingkan LLDPE (*Linear Low Density Polyethylene*) dan HDPE (*High Density Polyethylene*) (Anonim, 2009).

Metode yang dapat digunakan dalam pembuatan plastik *biodegradable* dengan mencampurkan pati bonggol pisang dan LDPE adalah metode *grafting*. *Grafting* (pencangkakan) secara kimia pada polimer sintetik dan polimer alami diharapkan mampu menghasilkan bahan baku kemasan yang tidak tembus oleh air, berkekuatan mekanis dan ramah terhadap lingkungan (Rucitra, 2010). Metode ini dapat menambah nilai prosentase ketahanan air (*swelling*) plastik *biodegradable* yang dihasilkan.

Penggunaan pati bonggol pisang sebagai bahan campuran *Low Density Polyethylene* (LDPE) merupakan bahan alternatif disebabkan limbah pati mudah hancur dengan lingkungan. Sehingga diharapkan dapat melengkapi kekurangan plastik sintetik LDPE agar mudah terdegradasi oleh mikroorganisme dalam tanah. Seperti halnya penelitian Matondang, dkk (2013) film plastik *biodegradable* dibuat dengan menggabungkan plastik dengan bahan yang bersumber dari alam.

Penelitian yang dilakukan oleh Rucitra (2010) dengan penambahan onggok termoplastis pada berbagai jenis plastik polietilen, menunjukkan bahwa campuran HDPE dengan onggok termoplastis menghasilkan plastik dengan sifat rapuh dan getas, sehingga tidak dapat dibentuk lembaran untuk uji sifat fisik dan mekanik. Sedangkan pencampuran LDPE dan onggok termoplastis memperlihatkan resin yang tidak bercampur merata dan rapuh. Nilai *tensile stress at break* dan *tensile stress at yield* LDPE terbaik yaitu 69.39 dan 66.79 (% b/v) sedangkan pada LLDPE sebesar 47.09 dan 4.71 (% b/v). Pada uji biodegradasi,

sampel ditumbuhi oleh mikroorganisme, hal ini menunjukkan bahwa degradasi dapat terjadi pada plastik *biodegradable* campuran polimer sintetik.

Pembuatan plastik *biodegradable* LDPE dan pati bonggol pisang memiliki perbedaan polaritas antara polimer (*non polar*) dan serat alam (*polar*), untuk meningkatkan interaksi antara bahan pengisi dengan matriks polimer dilakukan dengan menambahkan senyawa penghubung (*coupling agent*) sehingga meningkatkan sifat antarmuka dan adhesi bahan pengisi dengan matriks polimer. Machado (2000) menyatakan maleat anhidrat sangat berperan dalam memodifikasi struktur polietilena dengan menggunakan pencampuran.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan plastik *biodegradable* dari campuran LDPE dan pati bonggol pisang perlu penambahan *maleic anhidride*. Variasi komposisi dari pati dan LDPE-g-MA (*Low density polyethylene grafting maleic anhidride*), diharapkan dapat meningkatkan interaksi antara LDPE dan pati bonggol pisang sehingga menghasilkan poliblen yang kompatibel dengan sifat mekanik yang baik dan mudah terdegradasi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana gugus fungsi dari plastik *biodegradable* paduan LDPE dan pati Bonggol pisang?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi LDPE dan pati bonggol pisang terhadap sifat mekanik plastik *biodegradable*?

3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi LDPE dan pati bonggol pisang terhadap uji degradasi plastik *biodegradable*?

### **1.3 Tujuan**

1. Untuk mengetahui gugus fungsi dari plastik *biodegradable* paduan LDPE dan pati bonggol pisang
2. Mengetahui sifat mekanik plastik *biodegradable* dengan pengaruh variasi komposisi LDPE dan pati bonggol pisang.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi LDPE dan pati bonggol pisang terhadap uji degradasi

### **1.4 Manfaat**

Menambah informasi tentang film plastik campuran dari bahan polimer sintetik (LDPE) dan pati bonggol pisang sebagai alternatif lain pembuatan plastik *biodegradable*.

### **1.5 Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini ditetapkan beberapa batasan masalah, antara lain sebagai berikut:

1. Plastik sintetik yang digunakan jenis LDPE
2. Pati yang digunakan berasal dari bonggol pisang
3. Variasi pati bonggol pisang yang digunakan yaitu 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 % dan 4%.

## **BAB II** **TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Plastik**

Plastik merupakan polimer tinggi yang dibentuk dari proses polimerisasi. Menurut Shereve dan brink, plastik didefinisikan sebagai materi yang bahan utamanya adalah molekul organik yang terpolimerisasi dengan bobot molekul tinggi. Produk akhirnya padat dan pada beberapa bagian tahap produksinya dapat dibentuk sesuai dengan yang diinginkan (Shreve, 1975). Plastik banyak digunakan untuk berbagai hal, diantaranya sebagai pembungkus makanan, alas makan dan minum, automotif dan berbagai sektor lainnya. Karena memiliki banyak keunggulan diantaranya fleksibel, ekonomis, transparan, kuat dan tidak mudah pecah (Nurminah, 2002).

Plastik dibagi menjadi dua klasifikasi utama berdasarkan pertimbangan-pertimbangan ekonomis dan kegunaannya yaitu plastik teknik dan plastik komoditi. Plastik teknik lebih mahal harganya dan volumenya lebih rendah, tetapi memiliki sifat mekanik yang unggul dan daya tahan yang lebih baik. Sedangkan plastik komoditi dicirikan oleh volumenya yang tinggi dan harga yang murah. Pada prinsipnya plastik komoditi terdiri dari empat jenis polimer utama: polietilena, polipropilena, poli (vinil klorida), dan polistirena. Polietilena dibagi menjadi produk massa jenis rendah ( $< 0,94 \text{ g/cm}^3$ ) dan produk massa jenis tinggi ( $> 0,94 \text{ g/cm}^3$ ). Perbedaan dalam massa jenis ini timbul dari strukturnya, Polietilena massa jenis tinggi secara esensial merupakan polimer linier dan polietilena massa jenis rendah bercabang (Stevens, 2007: 33).

Tabel 2.1 Plastik-Plastik Komoditi (Stevens, 2007: 34)

Tipe	Singkatan	Kegunaan Utama
Polietilena massa jenis rendah	LDPE	Lapisan pengemas, isolasi kawat dan kabel, bahan pelapis
Polietilena massa jenis tinggi	HDPE	Botol, drum, pipa, , film, isolasi kawat dan kabel
Polipropilena	PP	Bagian-bagian mobil dan perkakas
Poli (vinil klorida)	PVC	Bahan bangunan, pipa tegar, bahan untuk lantai, isolasi kawat
Polistirena	PS	Bahan pengemas (busa dan film), isolasi busa, perkakas, perabotan rumah, barang mainan

Kelemahan dari plastik konvensional adalah migrasi residu monomer vinil klorida sebagai unit polivinilklorida (PVC) bersifat karsinogenik. Monomer-monomer tersebut akan masuk ke dalam makanan dan selanjutnya akan masuk ke dalam tubuh orang yang mengkonsumsinya. Penumpukan bahan kimia yang telah masuk ke dalam tubuh tidak dapat larut dalam air sehingga tidak dapat keluar bersama urin maupun feses. Penumpukan bahan-bahan tersebut yang bisa menimbulkan gangguan kesehatan bagi pemakainya dan bisa mengakibatkan kanker (Siswono, 2008). Jenis plastik lain yang dapat digunakan seperti plastik konvensional adalah plastik *biodegradable*.

Istilah *biodegradable* diartikan sebagai kemampuan komponen-komponen molekuler dari suatu material untuk dipecah menjadi molekul-molekul yang lebih kecil oleh mikroorganisme hidup, sehingga zat karbon yang terkandung dalam material tersebut akhirnya dapat dikembalikan kepada *biosfer*. Plastik *biodegradable* adalah plastik yang dapat digunakan layaknya seperti plastik konvensional, namun akan hancur terurai oleh aktifitas mikroorganisme menjadi hasil akhir berupa air dan gas karbondioksida setelah habis terpakai dan dibuang

ke lingkungan. Karena sifatnya yang dapat kembali ke alam, plastik *biodegradable* merupakan bahan plastik yang ramah lingkungan (Pranamuda, 2001).

Berdasarkan bahan baku yang dipakai plastik *biodegradable* dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok dengan bahan baku petrokimia seperti poli ( $\epsilon$ - kaprolakton), PCL dan kelompok dengan bahan baku produk tanaman seperti pati dan selulosa. Jika kelompok pertama menggunakan sumber daya alam yang tidak terbarukan (*non renewable resources*), maka yang kedua menggunakan sumber daya alam yang terbarukan (Pranamuda, 2003). Beberapa contoh yang mewakili polimer plastik *biodegradable* yang sudah diproduksi oleh skala industri ialah poli ( $\epsilon$ - kaprolakton). PCL adalah polimer hasil sintesis kimia menggunakan bahan baku minyak bumi. PCL mempunyai biodegradabilitas yang tinggi, dapat dihidrolisis oleh enzim lipase dan esterase yang tersebar luas pada tanaman, hewan dan mikroorganisme (Dziendzic, 1995).

Menurut Matondang (2013) film plastik *biodegradable* adalah material polimer yang berubah kedalam senyawa yang berat molekul rendah dimana paling sedikit satu tahap pada proses degradasinya melalui metabolisme organisme secara alami. Plastik *biodegradable* biasanya dibuat dengan menggabungkan plastik dengan bahan yang bersumber dari alam. Salah satu bahan alam yang dapat digunakan sebagai bahan pembuat plastik *biodegradable* adalah pati.

Selama ini, plastik *biodegradable* yang dikembangkan adalah berbasis pati dan sudah banyak dikembangkan, diantaranya:

- a. Mencampur pati dengan plastik konvensional (PE atau PP) dalam jumlah kecil (10%-20%)
- b. Mencampur pati dengan turunan hasil samping minyak bumi, seperti PCL, dalam komposisi yang sama (50%)
- c. Mencampur pati bonggol pisang, pati gongkol jagung dan pati eceng gondok dengan *plasticizer* gliserol (wardah, 2014).

Tabel 2.2 Perbandingan plastik konvensional, campuran dan *biodegradable*. (Lim, 1999).

Pengamatan	Plastik Konvensional	Plastik Campuran	Plastik <i>Biodegradable</i>
Komposisi	Polimer sintetik	Polimer sintetik dan Polimer alam	Polimer alam
Sifat dan bahan baku	Tidak dapat diperbarui ( <i>renewable</i> )	Sebagian dapat diperbarui	Dapat diperbarui ( <i>renewable</i> )
Sifat Mekanik dan Fisik	Sangat baik dan bervariasi	Bervariasi	Baik dan bervariasi tapi penggunaannya terbatas
Biodegradabilitas	Tidak ada	Rendah	Tinggi
Kompostabilitas	Tidak ada	Rendah	Tinggi
Hasil pembakaran	Stabil	Agak stabil	Kurang stabil
Contoh	Polipropilena(PP) Polietilena(PE) Polistirena (PS)	PE + Pati PE+ Selulosa	Poli asam laktat (PLA) Polikaprolakton (PCL) Polihidroksi alkanoat (PHA)

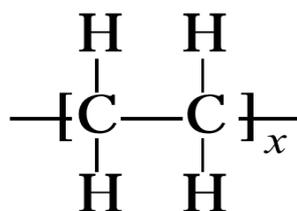
Pengembangan berbagai bahan pati sebagai campuran dengan berbagai jenis *compatibility* dan berbagai jenis PE (*polyethylene*) dalam pembuatan plastik sudah banyak dilakukan. Sumber pati yang digunakan berupa onggok (Teixeira *et*

al. 2001), pati jagung (Pedroso dan Rosa 2004), ubi kayu (Susilawati, *et al.* 2011), Pati Garut (Iswarin *et al.* 2013) dan sago kelapa sawit (Matondang 2013).

## 2.2 Low Density Polyethylene(LDPE)

Etilena ialah monomer paling sederhana yang akan berpolimerisasi. Melalui polimerisasi adisi yang diinisiasi radikal-bebas pada tekanan tinggi (1000-3000 atm) dan suhu tinggi (300-500°C), senyawa ini membentuk polietilena (Nachtrieb, 2003: 320).

Polietilena yang terbentuk dengan cara ini bukanlah rantai linier yang sempurna sebagaimana tersirat dari persamaannya yang sederhana. Radikal bebas sering mencabut hidrogen dari bagian tengah rantai dalam sintesis ini, sehingga polietilennya sangat bercabang dengan rantai samping hidrokarbon yang bervariasi panjangnya. Jenis polietilena ini dinamakan polietilena kerapatan rendah (*low density polyethylene*, LDPE) sebab kesulitan dalam mengemas rantai sampingnya yang tak beraturan ini menyebabkan kerapatannya lebih rendah (<0,94 g cm<sup>3</sup>) daripada polietilena linier sempurna. Ketidakberaturan ini juga membuatnya relatif lembut, sehingga kegunaan utamanya ialah dalam pembungkusan, plastik pengemas, kantung sampah, dan botol semprot, yang kelembutannya memang diinginkan, dan bukan suatu kelemahan (Nachtrieb, 2003: 320).



Gambar 2.1 Struktur plastik Polietilena (Brazel, 2012:26)

Pengukuran nilai densitas pada plastik sangat penting, karena densitas dapat menunjukkan struktur plastik secara umum. Aplikasi dari hal tersebut yaitu dapat dilihat kemampuan plastik dalam melindungi produk dari beberapa zat seperti air, O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. Birley, et al. (1988), mengemukakan bahwa plastik dengan densitas yang rendah menandakan bahwa plastik tersebut memiliki struktur yang terbuka, artinya mudah atau dapat ditembusi fluida seperti air, oksigen atau CO<sub>2</sub>. Jadi tidak seperti pada kertas, nilai densitas plastik sangat penting dalam menentukan sifat-sifat plastik yang berhubungan dengan pemakaiannya. Dalam perdagangan mungkin digunakan satuan gramatur, karena satuan ini cukup mewakili berat molekul dan luas plastik.

Secara kimia, polietilena sangat lembam. Polimer ini tidak larut dalam pelarut apapun pada suhu kamar, tetapi mengembang oleh hidrokarbon dan tetraklorometana (karbon tetraklorida). Polietilena tahan terhadap asam dan basa, tetapi dapat dirusak oleh asam nitrat pekat. Polietilena tidak tahan terhadap cahaya dan oksigen. Perombakan oleh sinar ultra-violet dapat dikurangi oleh penambahan sejumlah kecil jelaga. Bilamana dipanasi secara kuat, polietilena membentuk sambungan silang yang diikuti oleh pembelahan ikatan secara acak pada suhu lebih tinggi, tetapi depolimerisasi tidak terjadi (Cowd, 1982: 52).

Sifat fisika polietilena tekanan tinggi dan polietilena tekanan rendah sangat berbeda. Sebagaimana telah diterangkan, pencabangan dapat menurunkan kekristalan, massa jenis, titik lunak, dan titik leleh kristalin. Polietilena bermassa jenis rendah (LDPE) bersifat kenyal, tak mudah sobek, dan tahan terhadap kelembapan dan bahan kimia, sehingga banyak dipakai untuk film atau

pembungkus, dus, isolator listrik, pelapis kawat dan kabel, dan sebagainya. Polietilena bermassa jenis tinggi (HDPE) yang daya regang dan kekakuannya besar, digunakan untuk membuat pipa, tabung, serta berbagai bejana dan benda lainnya (Cowd, 1982: 53).

Sifat-sifat PE secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut (Julianti dan Nurminah, 2006):

1. Hubungan dengan massa jenis

Polimerisasi PE yang berbeda akan menghasilkan struktur molekul yang berbeda pula. LDPE memiliki sifat molekul yang tidak mengkristal secara baik tetapi mempunyai banyak cabang. HDPE memiliki cabang yang sedikit dan merupakan rantai lurus, sehingga massa jenisnya besar, mampu mengkristal dengan baik dan memiliki kristanilitas yang tinggi. Kristanilitas yang baik akan mempunyai gaya antar molekul kuat, sehingga memiliki kekuatan mekanik dan titik lunak yang tinggi.

2. Hubungan dengan berat molekul

Material dengan sifat kristalinitas yang sama, karakteristik mekanik dan kemampuan proses akan berbeda. Kondisi ini akan dipengaruhi oleh berat molekul. Berat molekul kecil akan memiliki sifat mencair lebih baik, namun ketahanan akan zat pelarut dan kekuatannya menurun.

3. Sifat-sifat listrik

PE merupakan senyawa non polar dengan sifat listrik yang baik, sehingga dimanfaatkan sebagai bahan isolasi untuk radar, TV dan berbagai alat komunikasi.

#### 4. Sifat-sifat kimia

PE stabil terhadap beberapa sifat kimia kecuali dengan kalida dan oksida kuat. PE larut dalam hidrokarbon terklorinasi diatas suhu 70°C, tetapi tidak ada pelarut yang dapat melarutkan PE secara sempurna pada suhu biasa.

#### 5. Permeabilitas gas

PE sangat sukar ditembus air, tetapi mempunyai permeabilitas cukup tinggi terhadap CO<sub>2</sub>, pelarut organik, parfum dan sebagainya. HDPE bersifat kurang permeabel dibandingkan LDPE.

#### 6. Kemampuan olah

PE mudah diolah dan dapat dicetak dengan penekanan, injeksi, ekstrusi peniupan dan dengan hampa udara, namun penyusutannya cukup tinggi.

### 2.3 Kompatibilitas (*compatibility*)

Pemanfaatannya PE yang sangat luas dimungkinkan karena polimer ini memiliki banyak sifat-sifat yang bermanfaat antara lain daya tahan terhadap zat kimia dan benturan yang baik, mudah dibentuk dan dicetak, ringan dan harganya yang murah (Peacock, 2000). Akan tetapi, karena kekristalan dan sifat hidrofobnya yang tinggi, energi permukaannya yang rendah, serta terbatasnya situs aktif yang ada pada permukaan PE, membatasi pemanfaatan PE tersebut dalam beberapa bidang aplikasinya seperti perekatan, pengecatan, dan pencetakan. Secara umum, beberapa sifat tertentu seperti komposisi kimia, hidrofilitas, kekasaran, kekristalan, daya hantar listrik, daya adhesi, dan kelumasan dibutuhkan untuk pemanfaatan polimer tersebut (Chan 1994; Peacock 2000). Karena dibutuhkan bahan aditif untuk memperbaiki sifat-sifat tersebut (widyasari, 2010).

Tabel 2.3 Persyaratan Kemasan *biodegradable* menurut SNI 7188.7:2011

No	Aspek lingkungan	Persyaratan	Metode Uji/Verifikasi
1.	Bahan baku dan aditif a. Termoplastik mengandung prodegradant b. Campuran yang mengandung pati dan termoplastik degradabilitas	- Prodegradant harus memenuhi RoHS ( <i>Restriction of Hazardous Substances</i> ) - Tidak mengandung zat warna azo	- Verifikasi pernyataan tertulis permohonan tentang pemenuhan persyaratan prodegradant yang dilengkapi dengan persyaratan dari pemasok - Telah divalidasi oleh laboratorium pengujian yang telah menerapkan ISO/IEC 17025:2008
2.	Degradabilitas a. Termoplastik mengandung prodegradant	- <i>Tensile elongation (elongation at break)</i> kurang dari 5% - Pertumbuhan mikroba pada permukaan produk >60% selama 1 minggu	- <i>Tensile elongation (elongation at break)</i> kurang dari 5% dicapai setelah mengalami perlakuan penyinaran sinar UV maksimal selama 250 jam

Persyaratan yang dimuat dalam kriteria dan nilai ambang batas merupakan persyaratan khusus terkait dengan kategori produk, sedangkan persyaratan yang dimuat dalam persyaratan umum merupakan persyaratan umum yang berlaku untuk berbagai kategori produk manufaktur. Berikut adalah beberapa kriteria yang harus dipenuhi dalam plastik ekolabel (Flieger, 2003):

1. Bahan baku plastik yang digunakan harus mengandung *prodegradant* (zat pendegradasi)
2. Campuran bahan baku harus menggunakan pati atau bahan yang bersumber dari alam, serta bahan termoplastik

Ketidakhomogenan pati dan polimer sintetik dikarenakan perbedaan kepolaran, sehingga ikatan antar muka keduanya rendah. Pemberian *compatibility* akan menghindari terjadinya tarikan fisik yang lemah sehingga akan menyebabkan sifat fisik polimer yang dihasilkan buruk (Kalambur dan Rivzi, 2006). Disebutkan oleh Machado (2000), untuk meningkatkan interaksi antara bahan pengisi dengan matriks polimer telah dilakukan dengan berbagai cara. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menambahkan senyawa penghubung (*coupling agent*) sehingga meningkatkan sifat antarmuka dan adhesi bahan pengisi dengan matriks polimer.

*Compatibility* berperan melalui sebuah proses reaktif, misalnya teknik *grafting*, atau melalui ikatan hidrogen berbasis polaritas material. *Compatibility* juga berfungsi sebagai surfaktan yang mampu menstabilkan campuran air-minyak dalam satu atau dua komponen utama dalam campuran. Fungsi lain dari *compatibility* dalam campuran polimer adalah memperbaiki adhesivitas antar fasa (Stevens, 2007).

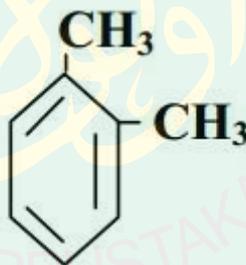
Pencampuran pati dengan polimer sintetik tanpa penggunaan *compatibility* dapat meningkatkan kemampuan biodegradasi namun sifat mekanik kuat tarik dan elongasi rendah sehingga aplikasinya menjadi terbatas. Penelitian Matondang (2013) menjelaskan bahwa reaksi radikal bebas dari monomer ke dalam hidrokarbon adalah jenis inisiasi melalui alkoksi radikal yang dibentuk dari dekomposisi peroksida. Pencangkakan maleat anhidrat ke dalam polipropilena (PP) terjadi ketika polimer tersebut menjadi radikal. Pencangkakan maleat

anhidrat ke dalam PP dapat berupa dispropionasi dan *cross linking*. BPO (*Benzoil peroxide*) merupakan inisiator yang dapat membentuk radikal bebas PP.

Diantara berbagai jenis inisiator, Peroksida (ROOR) dan hidroperoksida (ROOH) merupakan jenis yang paling banyak dipakai. Mereka tidak stabil terhadap panas dan terurai menjadi radikal-radikal pada suatu suhu dan laju yang bergantung pada strukturnya. Peroksida yang paling umum dipakai adalah Benzoil Peroksida (Stevens, 2007: 209).

#### 2.4 Xilena

Xilena merupakan salah satu dari isomer gugus hidrokarbon aromatik. Ketiga isomer xilen (o-xilen, m-xilen, p-xilen) dan etilbenzena mempunyai kesamaan berat molekul yaitu : 106,2 dan susunan yang sederhana  $C_8H_{10}$ .



Gambar 2.2 Struktur xilena (Tanno, 1997)

Prinsip kelarutan adalah “*like dissolve like*”, yaitu pelarut polar akan melarutkan senyawa polar, sebaliknya pelarut nonpolar akan melarutkan senyawa nonpolar. Pada penelitian ini digunakan pelarut xilena yang merupakan pelarut organik. Berdasarkan sifat kepolarannya, xilena bersifat polar sehingga dengan penggunaan pelarut ini diharapkan dapat melarutkan plastik dan karbohidrat untuk

memperoleh hasil yang optimum pada senyawa aktif yang terkandung pada sampel.

## 2.5 Maleat anhidrat (*maleic anhydride*)

*Maleic anhydride* adalah bahan kimia serbaguna yang dibutuhkan hampir di seluruh bidang industri kimia. Struktur kimia ini dan reaktivitas yang tinggi dari turunan *maleic anhydride* memungkinkan untuk membuat beragam jenis resin dan juga merupakan pereaksi organik untuk berbagai transformasi kimia. Penggunaan utama dari *maleic anhydride* antara lain:

### 1. *Unsaturated polyester* (polyester tidak jenuh)

*Unsaturated polyester* adalah polimer kondensasi yang terbentuk dari reaksi antara *poliols* dan *polycarbonsxylic acid* dengan ketidakjenuhan olefinik yang disebabkan oleh salah satu reaktan, biasanya *poliols acid* dan *polycarbonsxylic acid* seperti *pthialic* dan *maleic I fumaric*. Selama ini *maleic acid* (dalam bentuk *maleic anhydride*) lebih sering digunakan untuk pembuatan *Unsaturated polyester resins* untuk tujuan umum.

### 2. Produksi *rosin adduct*

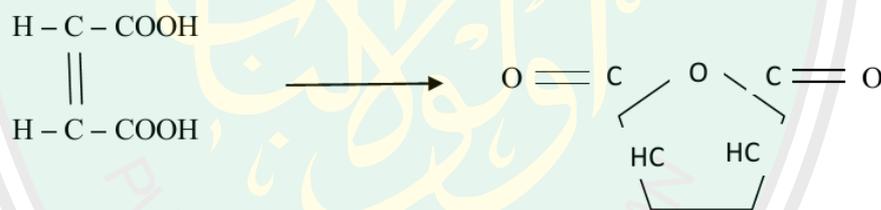
*Maleic anhydride* dapat bereaksi dengan *rosin adduct* yang aplikasinya pada industri kertas sebagai *paper sizing agent*. (*Maleic anhydride* data sheet No. MAN-0907)

### 3. Produksi *Alkyd Resins*

ASTM mendefinisikan *alkyd* sebagai resin sintesis terbuat dari *polyhydric alcohol* dan *polybasic acid* yang dimodifikasi dengan minyak nabati atau asam lemak. Resin *alkyd* banyak digunakan dalam industri cat, *coating* dan

pembentukan film. *Alkyd* juga sangat penting untuk bahan pengikat tinta, kegunaan yang lain termasuk dempul dan bahan perekat (Jayanuddin, 2011). *Alkyd* resin terbentuk dari reaksi poliesterifikasi yang merupakan salah satu jenis reaksi polimerisasi antara asam karboksilat dengan *alcohol*. Jika setiap molekul pereaksi mengandung dua gugus fungsional maka akan terbentuk polimer rantai linier. Polimer jaring (*network*) dapat terbentuk jika salah satu atau kedua pereaksi mempunyai lebih dari dua gugus fungsional. Dalam hal ini, poliesterifikasi gliserol dan *maleic anhydride* merupakan polimerisasi antara gugus  $-OH$  dan gugus  $-COOH$ .

Pembuatan *maleic anhydride* diperoleh dengan memberikan pemanasan vakum pada *maleic anhydride* yang kehilangan gugus H (airnya).



Gambar 2.3 Perubahan *maleic acid* menjadi *maleic anhydride*

## 2.6 Plasticizer

Penambahan *plasticizer* berguna untuk menurunkan sifat kaku dari pati. *Plasticizer* adalah cairan yang mempunyai titik didih tinggi, sehingga ketika dicampurkan dengan suatu polimer memberikan suatu sifat yang lembut dan fleksibel. Menurut Bader dan Goritz (1997), penambahan *plasticizer* pada material selama penanganan dan penyimpanan.

Bahan pemlastis (*plasticizer*) memegang peranan penting dalam pembuatan plastik campuran LDPE dan pati. Disebabkan pemlastis adalah bahan

organik dengan bobot molekul rendah yang ditambahkan untuk memperlemah kekuatan dari polimer sekaligus meningkatkan fleksibilitas dan ekstensibilitas polimer (Julianti dan Nurminah, 2006). Pada umumnya bahan yang bersifat kaku disebabkan karena suhu transisi gelasnya ( $T_g$ ) diatas suhu ruang dan struktur molekul bahan yang sangat kristalin (Wade, 1991). Efek penambahan pemlastis dapat mengurangi kristalinitas polimer dan menurunkan suhu transisi gelas. Namun demikian adanya bahan pemlastis dapat berpengaruh negatif terhadap sifat mekanis plastik, yakni memberikan sifat *soft* dan *weak* (Kalambur dan Rizvi, 2006). Faktor yang berpengaruh dalam pemilihan bahan pemlastis, diantaranya struktur molekul, polaritas, kualitas produk yang diinginkan, sifat dan biaya. Pertimbangan pemilihan pemlastis yang lain adalah faktor penguapan bahan yang berdampak pada keamanan proses dan stabilitas film selama penguapan.

Gliserol adalah rantai alcohol trihidrik dengan susunan molekul  $C_3H_8O_3$ . Nama gliserol diartikan sebagai bahan kimia murni, namun dalam dunia perdagangan dikenal dengan nama gliserin. Sifatnya tidak berbau, tidak berwarna, dan berbentuk cairan kental dengan rasa manis. Gliserol bersifat larut dengan sempurna didalam air dan alkohol (memiliki kelarutan tinggi yaitu 71 g/100 g air pada suhu  $25^\circ C$ ) serta dapat terlarut pelarut tertentu, misalnya eter, etil asetat, dan dioxane namun bersifat tidak larut dalam hidrokarbon (Anonim, 2009).

## 2.7 Bonggol Pisang

Pisang termasuk salah satu buah yang mudah tumbuh di daerah tropis seperti di Indonesia. Buah ini sangat mudah ditemukan, dan harganya cukup terjangkau. Pada umumnya pisang ditanam untuk diambil buahnya dan daunnya

untuk pembungkus. Tanaman pisang hanya berbuah sekali seumur hidupnya, sesudah itu batang dan bonggolnya ditebang dan dibiarkan begitu saja. Untuk menanggulangi limbah yang tak terpakai, bonggol pisang dimanfaatkan untuk diambil patinya. Pati ini menyerupai tepung sagu dan tepung tapioka.

Klasifikasi tanaman pisang adalah sebagai berikut (Rismunandar, 1990):

Kingdom : *Plantae*  
Devisi : *Spermatophyta*  
Sub. Divisi : *Angiospermae*  
Kelas : *Monocotylae*  
Bangsa : *Musales*  
Suku : *Musaceae*  
Marga : *Musa*  
Jenis : *Musa paradisiaca*



Gambar 2.4 Bonggol pisang (Prihandana, 2007)

Tabel 2.4 Kandungan Gizi Bonggol Pisang, Dir. Gizi, Depkes RI (Rukmana, 2005):

No.	Kandungan gizi	Bonggol basah	Bonggol kering
1	Kalori (kal)	43.00	245.00
2	Protein (g)	0.36	3.40
3	Lemak (g)	0.00	0.00
4	Karbohidrat (g)	11.60	66.20
5	Kalsium (mg)	15.00	60.00
6	Fosfor (mg)	60.00	150.00
7	Zat besi (mg)	0.50	2.00
8	Vitamin A (SI)	0.00	0.00
9	Vitamin B1 (mg)	0.01	0.04
10	Vitamin C (mg)	12.00	4.00
11	Air (g)	86.00	20.00
12	Bagian yang dapat dimakan (%)	100.00	100.00

Bonggol pisang cukup banyak mengandung karbohidrat (11,6 %) disamping mengandung mineral dan vitamin. Oleh sebab itu, tidak salah bila bonggol pisang juga dipergunakan sebagai bahan makanan, baik untuk manusia ataupun hewan. Karena kandungan karbohidratnya cukup tinggi maka patinya dapat dipisahkan dari ampasnya (Munajidin, 1984).

Kandungan yang sudah ada pada tanaman ataupun buah dapat direkayasa dan dijadikan barang yang berguna untuk kemaslahatan hidup manusia. Penggunaan bonggol pisang yang notebene adalah sampah yang dibuang, dalam penelitian ini diharapkan dapat membantu proses degradasi plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) di lingkungan.

Menurut Winarno (1994), Pada proses pengolahan, bonggol pisang akan mengalami pencoklatan. Reaksi pencoklatan enzimatis adalah proses kimia yang terjadi pada sayuran dan buah-buahan oleh enzim polifenol Okside yang menghasilkan pigmen warna coklat (melanin). Proses pencoklatan enzimatis memerlukan enzim polifenol oksidase dan oksigen untuk berhubungan dengan substrat tersebut. Kecepatan perubahan pencoklatan enzimatis dapat dihambat oleh beberapa inhibitor, biasanya cara yang dilakukan adalah perlakuan perendaman diantaranya adalah dengan cara perendaman air, perendaman asam sitrat dan perendaman sulfit. Perlakuan-perlakuan tersebut memiliki perbedaan kekuatan penghambat reaksi pencoklatan.

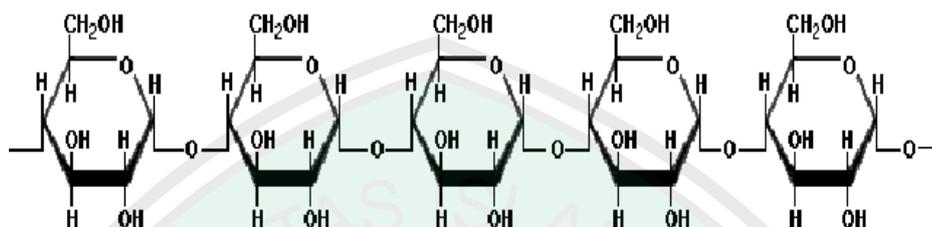
## 2.8 Pati

Pati adalah polimer alam berumus molekul  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Pati terdapat dalam terigu, beras, jewawut, kentang dan tumbuhan hijau. Dalam ekstraksi pati, bahan tumbuhan dihancurkan bersama air, dan bubur yang dihasilkan kemudian disaring untuk memisahkan jaringan kasarnya, sehingga sisanya suspensi tepung pati (Cowd. 1991: 80)

Pati merupakan polisakarida paling melimpah kedua. Pati dapat dipisahkan menjadi dua fraksi utama berdasarkan kelarutan bila dibubur (tritulasi) dengan air panas: sekitar 20% pati adalah amilosa (larut) dan 80% sisanya adalah amilopektin (tidak larut) (Fessenden, 1982: 354).

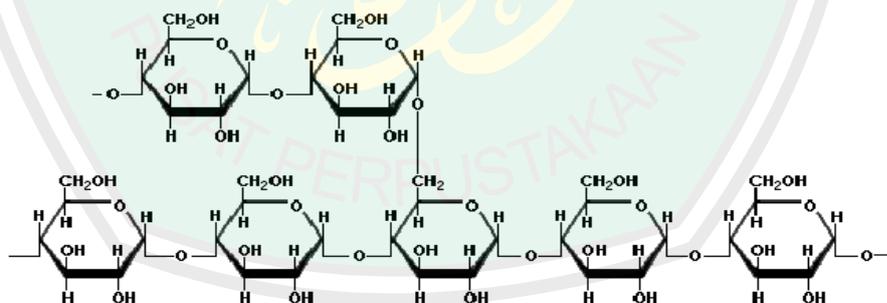
Hidrolisis lengkap amilosa menghasilkan hanya D-glukosa yaitu hidrolisis parsial menghasilkan maltosa sebagai satu-satunya disakarida. Disimpulkan bahwa amilosa adalah polimer linear dari  $\alpha$ -D-glukosa yang dihubungkan secara -

1,4'. Beda antara amilosa dan selulosa ialah ikatan glikosidanya ( $\beta$ ) dalam selulosa dan  $\alpha$  dalam amilosa. Perbedaan ini menyebabkan perbedaan sifat antara kedua polisakarida ini (Fessenden, 1982: 354).



Gambar 2.5 Struktur Kimia Amilosa (Hee-Young An, 2005)

Amilopektin, suatu polisakarida yang jauh lebih besar daripada amilosa, mengandung 1000 satuan glukosa atau lebih per molekul. Seperti rantai dalam amilosa, rantai utama dari amilopektin mengandung 1,4'- $\alpha$ -D-glukosa. Tidak seperti amilosa, amilopektin bercabang sehingga terdapat satu glukosa ujung untuk kira-kira tiap 25 satuan glukosa (Fessenden, 1982: 354).



Gambar 2.6 Struktur Kimia Amilopektin (Hee-Young An, 2005)

## 2.9 Sifat Mekanik

### 2.9.1 Kuat Tarik

Pada uji tarik, kedua ujung benda uji dijepit; salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat pengukur beban dari mesin uji dan ujung

lainnya dihubungkan ke perangkat peregang. Regangan diterapkan melalui kepala silang yang digerakkan motor dan elongasi benda uji ditunjukkan dengan pergerakan relatif benda uji. Beban yang diperlukan untuk menghasilkan regangan tersebut ditentukan dari defleksi elastis suatu balok atau *proving rid*, yang diukur dengan menggunakan metode hidrolis, optik atau elektromagnetik (Smallman, 2000: 214).

Spesimen-spesimen serat dan elastomer bentuknya berbeda, tetapi pada prinsipnya diuji dengan cara yang sama. Suatu instrumen pengujian khas yang mengukur secara otomatis *stress* dan *strain* dengan beban-beban skala penuh dari beban kurang dari satu gram ke beban tertinggi (Stevens, 1982: 192).

### **2.9.2 Uji *Swelling* (ketahanan air)**

Penggunaan plastik sebagai bahan pengemas mempunyai keunggulan dibanding bahan kemasan lain karena sifatnya yang ringan, transparan, kuat, termoplastik dan selektif dalam permeabilitasnya terhadap uap air, O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. Sifat permeabilitas plastik terhadap uap air dan udara menyebabkan plastik mampu berperan memodifikasi ruang kemas selama penyimpanan (Winarno, 1994).

Permeabilitas suatu film kemasan adalah kemampuan melewatkan partikel gas dan uap air pada suatu unit luasan bahan pada suatu kondisi tertentu. Nilai permeabilitas sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor sifat kimia polimer, struktur dasar polimer, sifat komponen permanen. Umumnya nilai

permeabilitas film kemasan berguna untuk memperkirakan daya simpan produk yang dikemas. Komponen alamiah berperan penting dalam permeabilitas. Polimer dengan polaritas tinggi (polisakarida dan protein) umumnya menghasilkan nilai permeabilitas uap air yang tinggi dan permeabilitas terhadap oksigen rendah. Hal ini disebabkan polimer mempunyai ikatan hidrogen yang besar. Sebaliknya, polimer kimia yang bersifat non polar (lipida) yang banyak mengandung gugus hidroksil mempunyai nilai permeabilitas uap air rendah dan permeabilitas oksigen yang tinggi, sehingga menjadi penahan air yang baik tetapi tidak efektif untuk menahan gas (Firdaus, 2008).

#### **2.10 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)***

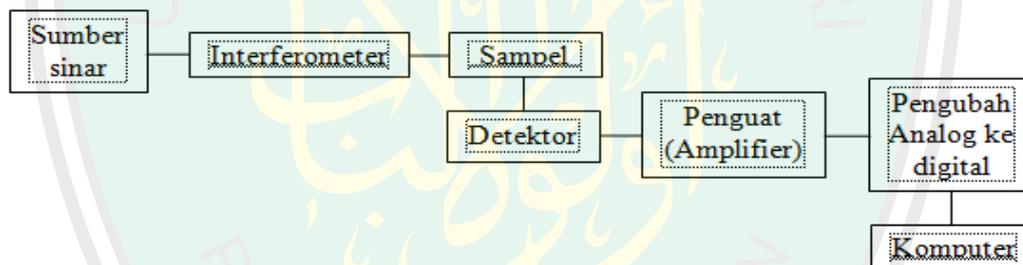
Spektrofotometer FTIR didasarkan pada ide adanya interferensi radiasi antara 2 berkas sinar untuk menghasilkan suatu interferogram. Interferogram merupakan sinyal yang dihasilkan sebagai fungsi perubahan *pathlength* antara 2 berkas sinar. Dua domain (jarak dan frekuensi) dapat ditukarbalikkan dengan metode matematik yang disebut dengan transformasi *Fourier* (Gandjar, 2012: 180).

Seberkas sinar inframerah dilewatkan pada suatu sampel polimer, maka beberapa frekuensinya diabsorpsi oleh molekul sedangkan frekuensi lainnya ditransmisikan. Transisi yang terlibat pada absorpsi IR berhubungan dengan perubahan vibrasi yang terjadi pada molekul. Jenis ikatan yang ada dalam molekul primer (C-C, C=C, C-O, C=O) memiliki frekuensi vibrasi yang berbeda. Adanya ikatan tersebut dalam molekul polimer dapat diketahui melalui identifikasi

frekuensi karakteristik sebagai puncak absorpsi dalam spektrum IR (Rohaeti, 2005).

FTIR teristimewa bermanfaat dalam meneliti paduan-paduan polimer. Sementara paduan yang tidak dapat campur memperlihatkan suatu spektrum IR yang merupakan superposisi dari spektrum homopolimer, spektrum paduan yang dapat campur adalah superposisi dari tiga komponen yaitu dua spektrum homopolimer dan satu spektrum dari interaksi kimia atau fisika antara homopolimer-homopolimer (Fessenden, 1982: 164).

Komponen dasar spektrofotometer FTIR ditunjukkan secara skematik dalam gambar berikut:



Gambar 2.7 Skema FTIR (Gandjar, 2012)

Radiasi yang berasal dari sumber sinar dilewatkan melalui interferometer ke sampel sebelum mencapai detektor. Selama penguatan (amplifikasi) sinyal, yang mana kontribusi-kontribusi frekuensi tinggi telah dihilangkan dengan filter, maka data diubah ke bentuk digital dengan suatu *analog-to-digital converter* dan dipindahkan ke komputer untuk menjalani transformasi Fourier (Gandjar, 2012: 180).

Interferogram juga memberikan informasi yang berdasarkan pada intensitas spektrum dari setiap frekuensi. Informasi yang keluar dari detektor diubah secara digital dalam komputer dan ditransformasikan sebagai domain tiap-tiap satuan frekuensi dipilih dari interferogram yang lengkap (*fourier transform*). Kemudian sinyal itu diubah menjadi spektrum IR sederhana. Spektroskopi FTIR digunakan untuk (Silverstein, 1967):

- a. Mendeteksi sinyal lemah
- b. Menganalisis sampel dengan konsentrasi rendah
- c. Analisis getaran

### **2.11 Uji biodegradasi**

Biodegradasi dari plastik *biodegradable* campuran pati dengan resin PE ditentukan oleh beberapa faktor seperti misalnya karakteristik polimer yang dihasilkan, tipe organisme yang digunakan dan kadar campuran pati yang ditambahkan (Shah et al. 2008). Perbandingan pati dengan resin PE dalam pencampuran serta metodologi pengujian biodegradabilitas juga akan mempengaruhi degradasi yang terjadi, (Arvanitoyannis et al. 1998).

Prosedur analitik untuk mengamati biodegradasi antara lain dengan: pengamatan visual, perubahan sifat mekanik dan massa molar, pengukuran pengurangan berat (penentuan polimer residu), konsumsi O<sub>2</sub> dan perubahan CO<sub>2</sub>, penentuan biogas pelabelan radioaktif, pembentukan daerah nyata (pada cawan agar), penurunan densitas optik, pengukuran ukuran partikel, dan penentuan asam bebas. Standarisasi uji biodegradasi terbagi berdasarkan lingkungan uji yakni (Muller, 2005):

1. Pengujian kompos
2. Pengujian biodegradasi anaerobik
3. Pengujian biodegradasi di tanah

Biodegradasi plastik dipengaruhi oleh karakteristik polimer, tipe organism, dan perlakuan awal. Karakteristik polimer tersebut meliputi mobilitas, kristanilitas, taksititas, berat molekul, tipe gugus fungsi, bahan pemlastis, atau bahan tambahan yang ditambahkan dalam polimer (Shah et al, 2008). Proses terjadinya biodegradasi film kemasan pada lingkungan alam dimulai dengan tahap degradasi kimia yaitu dengan proses oksidasi molekul, menghasilkan polimer dengan berat molekul rendah. Proses berikutnya (*secondary process*) adalah serangan mikroorganisme diantaranya bakteri phototrop, pembentuk endospora, gram negatif aerob. Umumnya kecepatan degradasi pada lingkungan limbah cair anaerob lebih besar daripada limbah cair aerob, kemudian dalam tanah dan air laut (Firdaus, 2008).

Penanaman dalam berbagai jenis mikroorganisme pada plastik *biodegradable* dengan 6 % pati menunjukkan hal serupa, degradasi PE ditunjukkan dengan terbentuknya lignin dari *streptomyces* dan jamur putih dari *Phanerochaete chrysosporium* (Shah et. al, 2008).

Pengomposan dapat dipercepat dengan menambah bahan stimulator. Salah satu bahan stimulator yang sering digunakan adalah mikrobia terpilih *Effective Microorganism 4* (EM4) (Prastowo, 1995). Penggunaan mikrobia terpilih EM4 dapat mempercepat dekomposisi bahan organik dari 3 bulan menjadi 7-14 hari. EM4 merupakan kultur campuran mikrobia terpilih seperti *Lactobacillus sp*,

bakteri penghasil asam laktat, bakteri fotosintetik, *Streptomyces* dan ragi yang bekerja secara sinergik dalam proses dekomposisi (Wididana dan Higa, 1993: Wardah, 2014), proses degradasi menggunakan bakteri EM4 melalui proses pemutusan rantai polimer menjadi monomer-monomernya.



## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Rancangan Penelitian**

Penelitian ini termasuk jenis eksperimen dengan variabel yang digunakan adalah *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan pati bonggol pisang dengan pelarut xylene, *Maleic anhydride* (MAH) sebagai *compatibility* dan Benzoil peroksida (BPO) sebagai oksidator. Selanjutnya dilakukan pengujian FTIR, uji ketahanan air, uji bakteri dan uji tarik untuk mengetahui sifat fisis plastik.

### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Mei 2015, bertempat di Laboratorium Kimia dan Laboratorium Riset Material Jurusan Fisika Universitas Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Laboratorium Optik Jurusan Biologi Universitas Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan Laboratorium Material Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

### **3.3 Alat dan Bahan**

#### **3.3.1 Alat**

1. Neraca Analitik digital
2. Blender
3. Magnetic stirrer
4. Hot plate
5. Beaker glass
6. Pipet tetes
7. Cawan petri

8. Cetakan plastik
9. Mikroskop
10. FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)
11. UTM (*Universal Testing Machine*)
12. Hemositometer
13. Separator magnetic
14. Ayakan 100 mesh
15. Ayakan 250 mesh
16. Mortar

### **3.3.2 Bahan**

1. Pati Bonggol pisang
2. Asam sitrat
3. Biji plastik LDPE
4. MAH(*Maleic anhidrit*)
5. Xylena teknis
6. Benzoil peroksida

## **3.4 Prosedur Penelitian**

### **3.4.1 Pembuatan Pati Bonggol Pisang (Andira dkk, 2010)**

1. Bonggol pisang dipisahkan dari batangnya
2. Bonggol pisang dicacah dan dimasukkan ke dalam larutan asam sitrat 0,5 % (w/v) selama 10 menit untuk menghilangkan enzim *browning*
3. Kemudian bonggol pisang dikeringkan di bawah terik matahari selama 24 jam

4. Setelah kering, bonggol pisang dihancurkan menggunakan blender hingga halus menyerupai tepung
5. Hasil tepung bonggol pisang kasar diayak dengan menggunakan ayakan 100 mesh
6. Tepung ditumbuk menggunakan mortar hingga halus
7. Hasil tumbukan bonggol pisang diayak kembali menggunakan ayakan 250 mesh hingga didapatkan tepung yang halus.

#### **3.4.2 Pembuatan Poliblen (Matondang, dkk, 2013)**

1. *Maleic Anhydrida* (MAH) sebanyak 1% dari berat total dilarutkan 9 ml xylena dan ditambah 10% LDPE dari berat total dimasukkan ke dalam beaker glass dan dipanaskan serta diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 20 menit sampai suhu 135°C, dengan kecepatan 400 rpm supaya mendapatkan hasil yang homogen.
2. Pada waktu yang sama, BPO 0,1% dari berat total dilarutkan dalam xylena 9 ml. Larutan BPO dan xylena dimasukkan ke dalam beaker glass yang berisi campuran MAH, xylena dan LDPE dipanaskan kembali menggunakan hotplate dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 135°C dengan kecepatan 400 rpm selama 10 menit.
3. Poliblen LDPE-g-MA ditambahkan pati bonggol pisang dan 1 ml gliserol dengan variasi 99,5: 0,5, 99: 1, 98: 2, 97:3 dan 96:4 (%v/v).
4. Selanjutnya sampel plastik biodegradable dikeringkan dibawah sinar matahari.

### 3.4.3 Pembuatan Film Plastik

1. Disiapkan campuran poliblen PE-g-MA dan pati bonggol pisang
2. Selanjutnya diletakkan di dalam cetakan plastik berbentuk lingkaran dengan diameter 8 cm.
3. Kemudian hasil sampel plastik *biodegradable* diuji FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) untuk melihat gugus fungsi yang terbentuk. Lalu melakukan uji sifat mekanik seperti kuat regang, uji ketahanan terhadap air. Kemudian diuji biodegradasi.

## 3.5 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

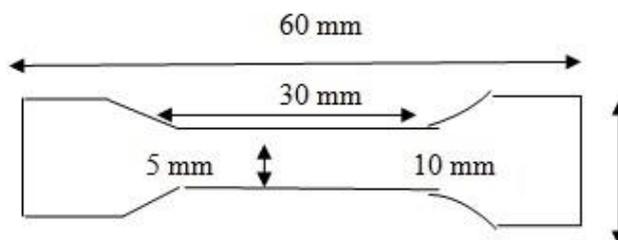
### 3.5.1 Teknik Pengumpulan Data

#### a) Uji FTIR

Sampel dibentuk lapisan tipis dan bening berukuran  $1.5 \times 1.5$  cm. Setelah itu sampel dimasukkan kedalam tabung perangkat FTIR untuk mendapatkan gugus fungsi yang terkandung dalam sampel.

#### b) Uji Tarik

Pengujian kekuatan tarik menggunakan *universal tensile strength* seperti gambar 3.1. Sampel dipotong seperti gambar 3.2, ketebalan sampel diukur pada 3 titik dan diuji tarik dengan cara kedua ujung dijepit mesin pengujian *tensile*. Sehingga diperoleh panjang awal dan panjang akhir.



Gambar 3.1 Dimensi sampel untuk pengujian kuat tarik

Hasil pengukuran berupa gaya (F) dan perpanjangan sampel dimasukkan pada rumus:

$$\text{Kekuatan tarik (kgf/mm}^2\text{)} = \frac{\text{Gaya Kuat tarik (F)}}{\text{Luas Permukaan (A)}} \quad (3.1)$$

$$1 \text{ kgf / mm}^2 = 9.80665 \text{ Mpa}$$

$$\text{Perpanjangan putus (\%)} = \frac{\text{Panjang setelah putus} - \text{Panjang awal}}{\text{Panjang awal}} \times 100\% \quad (3.2)$$



Gambar 3.2 Alat uji kekuatan tarik *universal tensile machine*

c) Uji Ketahanan Air (*swelling*)

Pengujian ketahanan air dilakukan dengan merendam sampel dalam aquades 10 ml, kemudian diamati setelah 15 menit.

d) Uji Bakteri

Plastik *biodegradable* diuji degradasinya dengan menggunakan bakteri EM4. Proses penanaman bakteri yakni:

1. Plastik dipotong dengan ukuran 1 cm x 1 cm.
2. Bakteri EM4 dimasukkan ke dalam cawan petri
3. Sampel plastik *biodegradable* dimasukkan ke dalam cawan petri
4. Sampel yang sudah dimasukkan ke dalam cawan petri dimasukkan ke dalam ruang penghangat dengan suhu sekitar 37°C

5. Bakteri dihitung jumlah selnya di hari ke-10 plastik terdegradasi dengan menggunakan hemositometer dan diamati menggunakan mikroskop.

### 3.5.2 Analisis data

#### a) Uji ketahanan air

Data hasil pengamatan uji ketahanan air berupa kualitatif, didapatkan nilai massa basah dan massa kering. Prosentase penyerapan air dihitung menggunakan rumus:

$$A = \frac{M_i - M_0}{M_i} \times 100\% \quad (3.3)$$

Keterangan:

A = Penyerapan air (%)

M<sub>0</sub> = Massa sampel uji mula-mula (g)

M<sub>i</sub> = Massa sampel setelah perendaman (g)

Data dari hasil pengukuran dan perhitungan dimasukkan ke dalam tabel

3.1.

Tabel 3.1 Rancangan Hasil Pengujian Uji ketahanan Air

Variabel		M <sub>0</sub> (g)			M <sub>i</sub> (g)			A (%)
Pati bonggol pisang (%)	PE-g-MA (%)	Ulangan			Ulangan			
		1	2	3	1	2	3	
0,5%	99,5 %							
1%	99 %							
2 %	98 %							
3 %	97 %							
4 %	96 %							

## b) Uji Tarik

Hasil dari pengujian tarik didapatkan data panjang awal, panjang akhir, luas penampang, dan gaya kuat tarik. Nilai elongasi dari sampel dihitung dengan menggunakan persamaan (3.1):

$$\text{elongasi} = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (3.1)$$

kuat tarik dihitung dengan menggunakan persamaan (3.2):

$$\text{Kekuatan Tarik} \left( \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \right) = \frac{\text{Gaya tarik (F)}}{\text{Luas penampang sampel (A)}} \quad (3.2)$$

*Modulus young* ditentukan dengan menggunakan persamaan (3.3):

$$\text{Modulus young} = \frac{\text{Kuat Tarik}}{\text{Elongasi}} \quad (3.3)$$

Nilai *elongasi*, kuat tarik, dan *modulus young* dimasukkan ke dalam tabel

3.2.

Tabel 3.2 Rancangan hasil uji tarik

LDPE-g-MA:pati bonggol pisang (% v/v)	Elongasi (%)	Kuat Tarik (kgf/mm <sup>2</sup> )	<i>Modulus young</i> (MPa)
99,5:0,5			
99:1			
98:2			
97:3			
96:4			

## c) Uji FTIR

Hasil pengujian FTIR berupa grafik fungsi bilangan gelombang dan absorbansi. Kemudian hasil dicocokkan dengan tabel gugus fungsi untuk mengetahui senyawa yang terbentuk.

## d) Uji bakteri

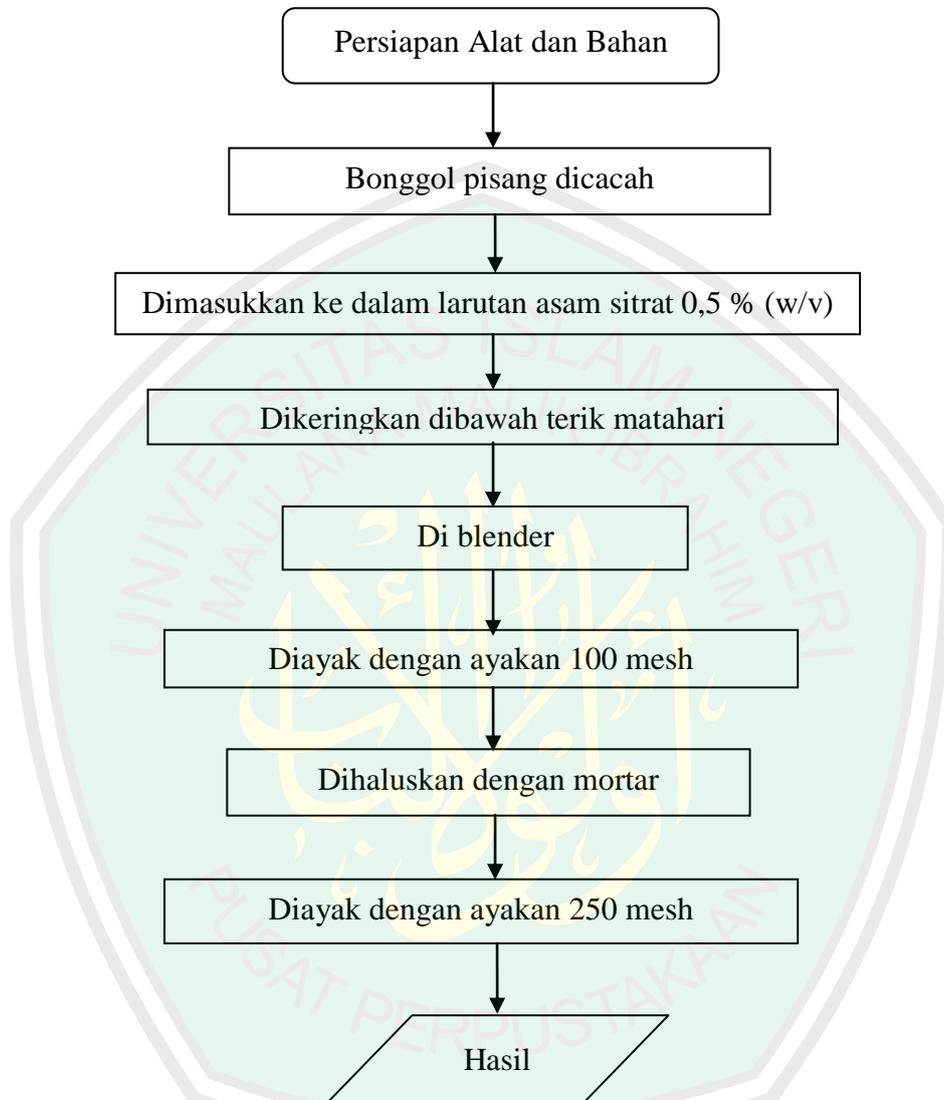
Data hasil pengujian bakteri diperoleh dengan menghitung jumlah koloni bakteri pada hari ke-10. Dari hasil penghitungan dimasukkan kedalam tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Pengujian biodegradasi sampel plastik *Biodegradable*

Variabel		Jumlah Koloni			Rata-rata jumlah koloni ( $\times 10^1$ )
Pati bonggol pisang (%)	PE-g-MA (%)	Ulangan			
		1	2	3	
0,5%	99,5 %				
1%	99 %				
2 %	98 %				
3 %	97 %				
4 %	96 %				
5 %	95 %				

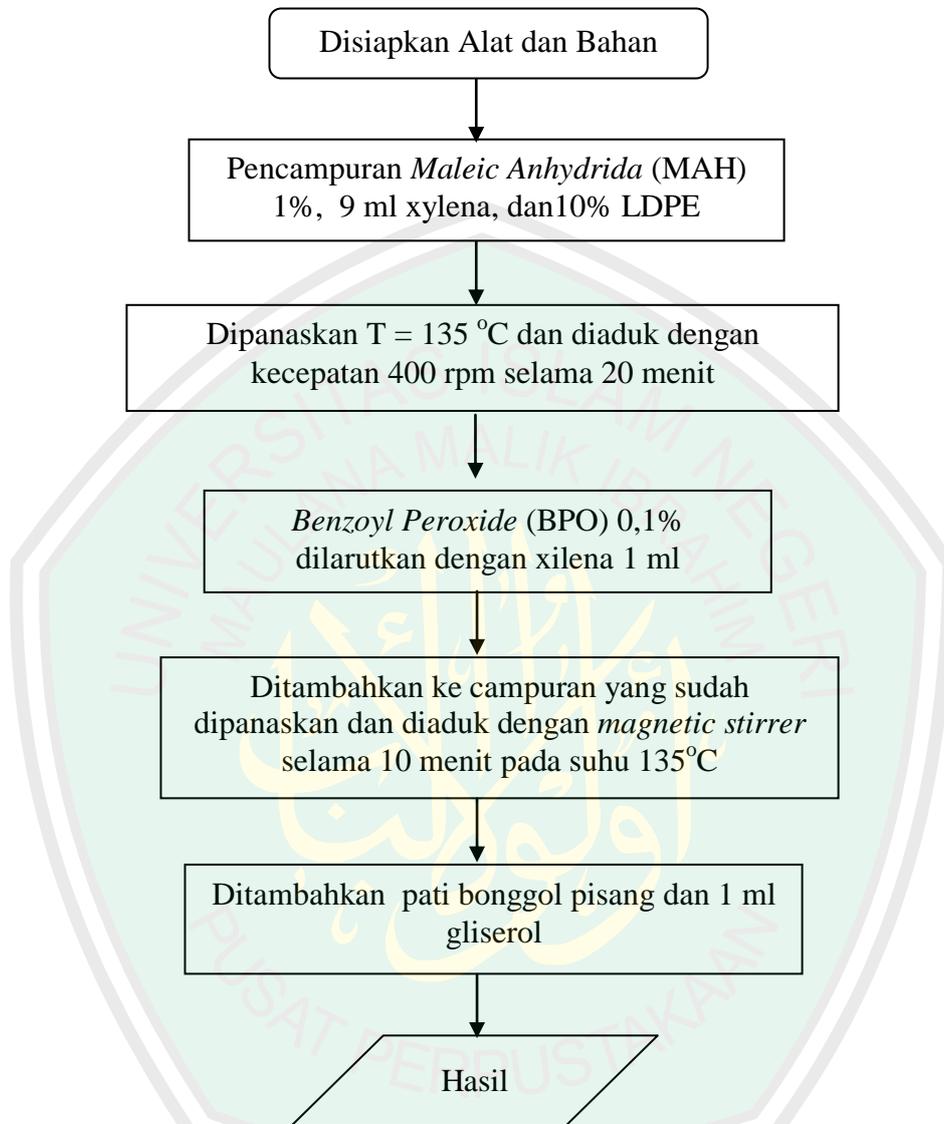
### 3.6 Rancangan Penelitian

#### 3.6.1 Diagram Alir Pembuatan Pati Bonggol Pisang



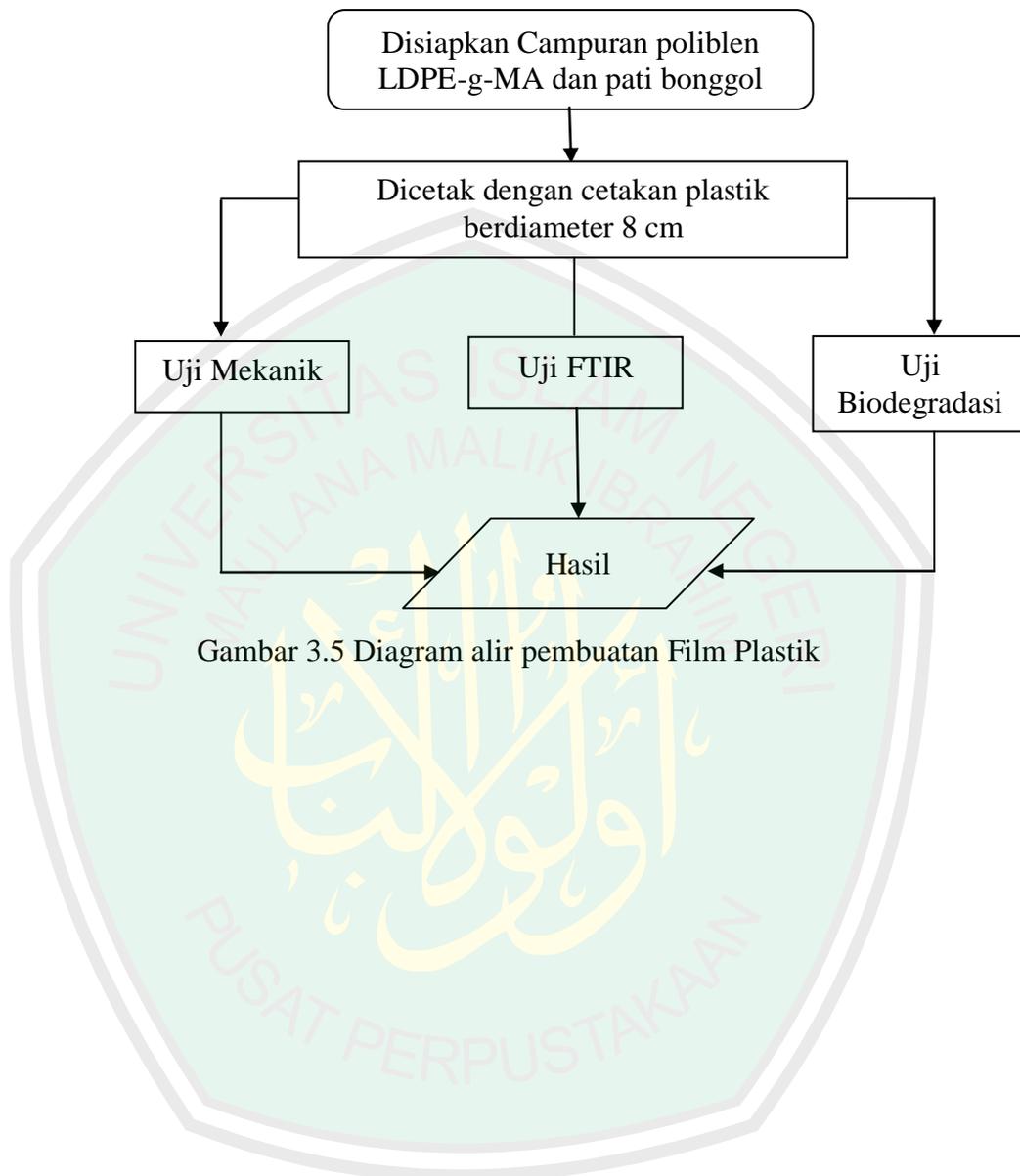
Gambar 3.3 Diagram alir pembuatan pati bonggol pisang

### 3.6.2 Diagram alir pembuatan poliblen



Gambar 3.4 Diagram alir pembuatan poliblen

### 3.6.3 Diagram alir Pembuatan Film Plastik



Gambar 3.5 Diagram alir pembuatan Film Plastik

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini terdiri dari pembuatan pati bonggol pisang, *maleic anhydride* dan plastik *biodegradable*. Analisis gugus fungsi dilakukan dengan menggunakan FTIR dan pengujian sifat mekanik untuk mengetahui nilai kuat tarik, elongasi, dan *modulus young*. Pengujian sifat fisik dilakukan dengan cara *swelling* dan biodegradasi.

#### **4.1 Data Hasil Penelitian**

##### **4.1.1 Pembuatan pati bonggol pisang**

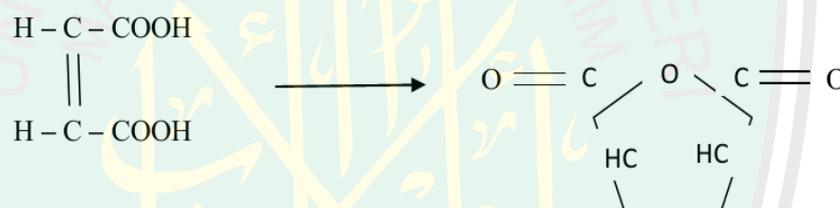
Pembuatan pati bonggol pisang dengan cara memisahkan bonggol pisang dari batangnya. Kemudian bonggol pisang dicacah dan direndam kedalam larutan asam sitrat 50% (w/v) selama 10 menit (Andira dkk, 2010). Hal ini bertujuan untuk menghilangkan enzim *browning* (warna biru) pada bonggol pisang. Bonggol pisang dipanaskan di bawah terik matahari selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air. Setelah kering, bonggol pisang dihancurkan menggunakan blender hingga halus menyerupai serbuk kasar. Hasil serbuk kasar diayak dengan menggunakan ayakan 100 mesh. Selanjutnya ditumbuk dengan mortar hingga halus dan diayak kembali menggunakan ayakan 250 mesh.

##### **4.1.2 Pembuatan *Maleic anhydride***

Pembuatan *maleic anhydride* dilakukan di laboratorium Kimia Organik Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Bahan yang digunakan dalam pembuatan *maleic anhydride* adalah *maleic acid*. *Maleic*

*acid* dimasukkan dalam labu alas bulat pada *Rotary evaporator vaccum* dan diatur suhu pada kondensor (T:80°C).

Penguapan dapat terjadi karena adanya pemanasan labu alas bulat pada temperatur tertentu diatas *waterbath* yang dipercepat oleh putaran dari labu alas bulat dibantu dengan penurunan tekanan dengan adanya pompa vakum maka uap larutan sampel akan naik ke kondensor dan mengalami kondensasi menjadi molekul-molekul cairan pelarut murni yang ditampung di dalam labu alas bulat penampung pelarut (Vogel, 1978). Proses pembentukan *maleic acid* yang melepaskan atom H sebagai berikut:



Gambar 4.1 Struktur *maleic anhydride*

#### 4.1.3 Pembuatan poliblen LDPE-g-MA

Proses pembuatan poliblen menggunakan metode *grafting* yaitu proses pencampuran dua polimer atau lebih dalam fasa larutan. 9,9 gram LDPE dan 0,9 gram *Maleic anhydride* dilarutkan dalam 9 ml xilena kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 400 rpm pada suhu 135°C selama 20 menit agar semua bahan bercampur dengan sempurna sehingga *grafting* dapat terjadi. LDPE yang telah larut ditambahkan campuran *Benzoil Peroxide* (BPO) dan xilena 1 ml diaduk kembali dengan kecepatan 400 rpm pada suhu 135°C selama 10 menit. Xilena merupakan pelarut organik yang dapat melarutkan bijih

plastik LDPE pada suhu 135°C. Sedangkan penambahan *Maleic anhidride* 1% berfungsi sebagai jembatan penghubung antara LDPE dan pati, disebabkan mempunyai 2 gugus sekaligus (*polar* dan *non polar*). Pada proses selanjutnya, penambahan *Benzoil peroxide* (BPO) bertujuan untuk menginisiasi rantai polimer sehingga membentuk radikal bebas.

#### **4.1.4 Pembuatan plastik *biodegradable***

Poliblen LDPE-g-MA kemudian diproses lanjut untuk dibentuk menjadi plastik *biodegradable*. Pembuatan plastik *biodegradable* menggunakan perbandingan LDPE-g-MA dan pati 99,5:0,5, 99:1, 98:2, 97:3, 96:4 (%v/v). Kemudian ditambahkan gliserol 1 ml.

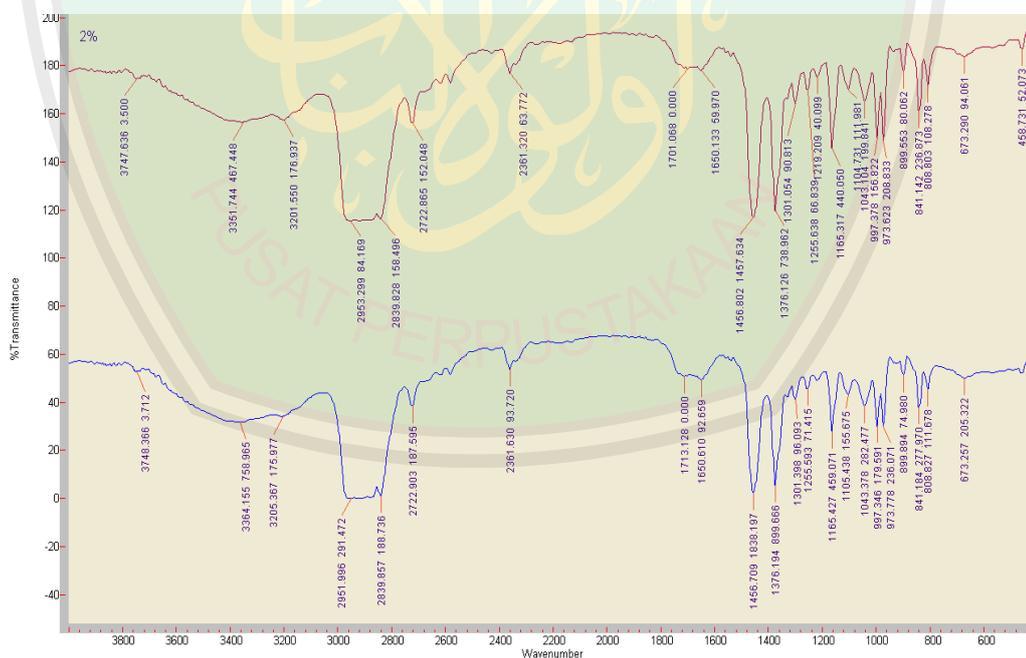
Pemberian pati dan gliserol pada poliblen LDPE-g-MA di akhir proses diharapkan tidak merusak kandungan-kandungan yang terkandung didalamnya. Dan diperhatikan pada saat pencampuran tidak sampai merubah warna pati dari warna coklat menjadi jingga. Diperkirakan perubahan warna tersebut menunjukkan pati yang sudah matang dan dapat mengurangi kandungan karbohidrat (pati) didalamnya.

Hasil dari masing-masing poliblen dimasukkan ke cetakan dan ditekan dengan silinder berdiameter 8 cm yang dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 200°C, dilakukan pengepresan selama  $\pm 1$  menit. Plastik *biodegradable* yang dihasilkan kemudian diuji sifat fisis (FTIR, uji ketahanan air), sifat mekanik (uji tarik) dan uji bakteri.

#### 4.1.5 Karakterisasi Gugus Fungsi Menggunakan FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dalam plastik *biodegradable*. Identifikasi ini dilakukan dengan FTIR *Varian FTS tipe 1000 FT-IR Scimitar Series* produksi Amerika di Laboratorium FTIR jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Malang. Spectrum yang dihasilkan FTIR berupa inframerah yang ditransmisikan melewati sampel, kemudian dibaca detektor dengan intensitas sebagai fungsi gelombang.

Sampel yang diuji berupa lembaran plastik *biodegradable* adalah hasil terbaik 98:2 (%v/v) dan terendah 99,5:0,5 (%v/v) 1.5×1.5 cm. Dari hasil pengujian, didapatkan grafik fungsi dan transmitan yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Hasil Uji FTIR

Dari puncak-puncak yang didapatkan kemudian dicocokkan dengan tabel gugus fungsi untuk mengetahui senyawa yang terbentuk seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Gugus Fungsi yang terbentuk pada plastik *biodegradable*

Bilangan gelombang (cm <sup>-1</sup> )		Gugus fungsi	Nama senyawa
Variasi Komposisi LDPE-g-MA: pati (99,5:0,5 % v/v)	Variasi Komposisi LDPE-g-MA: pati (98:2 % v/v)		
3747,636	3748,366	O-H	Alkohol, fenol
3351,74	3364,155	O-H	Fenol
3201,650	3205,367	N-H	Asam karboksilat
2963,299	2951,996	CH <sub>2</sub>	Alkana
2839,828	2839,857	O-H	Alkohol, fenol (monomer)
2722,865	2722,903	O=C-H	Aldehid, dua puncak lemah
2361,320	2361,630	N-H	Asam karboksilat
1701,068	1713,128	C=O	Maleat anhidrat
1650,133	1660,610	C=C	Alkena
1456,802	1456,709	C-H	Alkana
1376,126	1376,194	C-H	Alkana
1301,054	1301,398	O-H	Alkohol, fenol (monomer)
1255,638	1255,593	C-N	Amina, amida
1219,209	-	C-O-C	Eter, epoksida, peroksida (aril eter tak simetri)
1165,317	1165,427	C-O, C-N	Senyawa tunggal
1104,731	1105,438	C-O, C-N	Senyawa tunggal
1043,104	1043,378	C-O	Alkohol primer
997,378	997,346	C-H	Alkena
973,623	973,778	C-H	Alkena
899,553	899,894	C-H	Alkena
841,142	841,184	N-H	Amina primer
808,803	808,827	C-H	Alkena
673,290	673,257	=C-H	Siklik
458,731	-	C≡C	Alkana

Tabel 4.1 menunjukkan beberapa senyawa yang terbentuk pada kedua sampel plastik *biodegradable*, dengan variasi komposisi 0,5% dan 2% memiliki gugus fungsi O-H dengan nama senyawa alkohol, fenol pada bilangan gelombang  $3351,74\text{ cm}^{-1}$  dan  $3364,155\text{ cm}^{-1}$ . Ikatan tunggal nitrogen-hidrogen (N-H) pada puncak  $3201,650^{-1}$  dan  $3205,367\text{ cm}^{-1}$ . Pada puncak  $2963,299\text{ cm}^{-1}$  dan  $2951,996\text{ cm}^{-1}$  terbentuk gugus fungsi  $\text{CH}_2$  yang khas dari polietilena dan maleat anhidrat. Pada bilangan gelombang  $2839,828\text{ cm}^{-1}$  dan  $2839,857\text{ cm}^{-1}$  terbentuk puncak alkohol, fenol dengan gugus fungsi O-H.

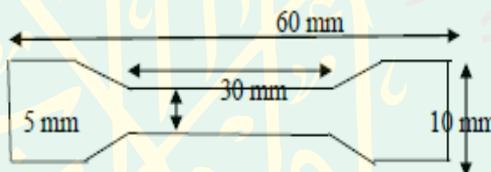
Pada puncak  $1219,209\text{ cm}^{-1}$  memiliki gugus fungsi C-C dan C-O terbentuk senyawa eter, epoksida, peroksida (aril eter tak simetri), gugus C-C merupakan rantai utama dan mempunyai pengaruh besar terhadap nilai kuat tarik. Pada puncak  $1701,068\text{ cm}^{-1}$  dan  $1713,128\text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan gugus karbonil (C=O) dari *anhidrida maleat*. Alkena dengan gugus fungsi C=C terdapat pada bilangan gelombang  $1650,133\text{ cm}^{-1}$  dan  $1660,610\text{ cm}^{-1}$ . Ikatan tunggal karbon-oksida (C-O) dan ikatan tunggal karbon-nitrogen (C-N) terdapat pada puncak,  $1104,731\text{ cm}^{-1}$  dan  $1105,438\text{ cm}^{-1}$ . ikatan tunggal karbon-oksida (C-O) terdapat pada puncak  $1043,104\text{ cm}^{-1}$  dan  $1043,378\text{ cm}^{-1}$ . ikatan tunggal hidrogen-karbon (C-H) terdapat pada puncak  $997,378\text{ cm}^{-1}$ ,  $997,346\text{ cm}^{-1}$ ,  $973,623\text{ cm}^{-1}$ ,  $973,778\text{ cm}^{-1}$ ,  $899,553\text{ cm}^{-1}$ , dan  $899,894\text{ cm}^{-1}$ .

Bilangan gelombang  $1456,802\text{ cm}^{-1}$ ,  $1456,709\text{ cm}^{-1}$ ,  $1376,126\text{ cm}^{-1}$  dan  $1376,194\text{ cm}^{-1}$  adalah ikatan tunggal hidrogen-karbon (C-H) dengan nama senyawa alkena. Puncak bilangan gelombang  $841,142\text{ cm}^{-1}$  dan  $841,184\text{ cm}^{-1}$  yang

merupakan gugus fungsi N-H. Sedangkan pada puncak  $458,731\text{ cm}^{-1}$  terbentuk senyawa asetilen, alkuna dengan ikatan rangkap tiga karbon  $\text{C}\equiv\text{C}$ .

#### 4.1.6 Sifat Mekanik (Uji Tarik) Menggunakan *Universal Tensile Strength*

Pengujian tarik dilakukan dengan membentuk sampel seperti pada gambar 4.2. Sampel plastik *biodegradable* diuji tarik dengan menggunakan *universal tensile strength* di Laboratorium material Fakultas MIPA jurusan Fisika Universitas Brawijaya Malang. Ketebalan sampel diukur pada 3 titik dan diuji tarik dengan cara kedua ujung dijepit mesin pengujian *tensile*. Sehingga diperoleh nilai panjang awal dan panjang setelah ditarik.



Gambar 4.3 Dimensi sampel untuk pengujian elastisitas ( kuat tarik)

Nilai elongasi dari sampel dapat dihitung dengan persamaan 4.1:

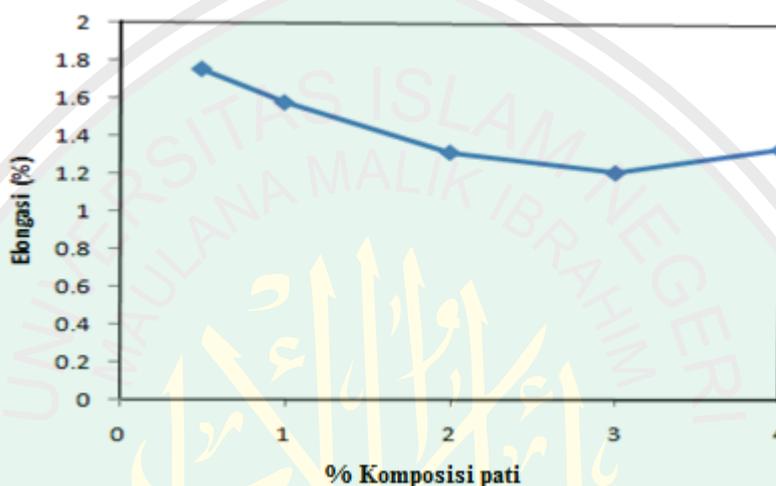
$$A = \frac{\text{panjang setelah putus} - \text{panjang sebelum putus}}{\text{panjang sebelum putus}} \times 100\% \quad (4.1)$$

Hasil pengujian pada plastik *biodegradable* dimasukkan kedalam tabel 4.2

Tabel 4.2 Data hasil nilai elongasi plastik *biodegradable*

Variasi Komposisi LDPE-g-MA dan pati (% v/v)	Panjang awal (mm)	Panjang akhir (mm)	Elongasi (%)
99,5:0,5	11,4	11,6	1,754
99:1	11,42	11,6	1,576
98:2	11,45	11,6	1,310
97:3	11,65	11,79	1,201
96:4	11,35	11,5	1,321

Tabel 4.3 menunjukkan nilai elongasi terbesar terdapat pada sampel dengan perbandingan komposisi 99,5:0,5 yaitu 1,754% dan nilai elongasi yang paling kecil adalah 1,201% dari perbandingan komposisi 97:3. Grafik hubungan plastik *biodegradable* dengan nilai elongasi ditunjukkan pada gambar 4.1.

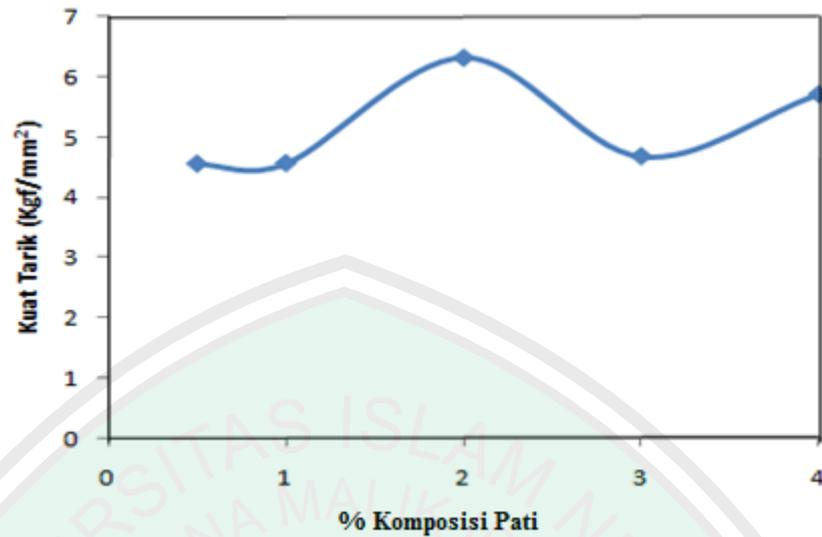


Gambar 4.4 Grafik hubungan variasi komposisi LDPE-g-MA dan pati terhadap nilai elongasi plastik *biodegradable*

Tabel 4.3 Data Hasil kuat tarik plastik *biodegradable*

Variasi komposisi	Gaya kuat tarik (N)	Luas penampang (mm)	Kuat tarik (Kgf/mm <sup>2</sup> )
99,5% dan 0,5%	1,61	0,353	4,560
99% dan 1%	2,40	0,525	4,571
98% dan 2%	1,70	0,269	6,319
97% dan 3%	1,49	0,318	4,685
96% dan 4%	2,16	0,378	5,714

Tabel 4.3 diatas merupakan hasil dari kuat tarik plastik *biodegradable*. Nilai terbaik dihasilkan pada konsentrasi 2% Sedangkan nilai terendah pada konsentrasi 0,5%.



Gambar 4.5 Grafik pengaruh variasi komposisi LDPE-g-MA dan pati terhadap kuat tarik

Gambar 4.5 menunjukkan penambahan pati dan LDPE-g-MA secara umum menurunkan kuat tarik.

Nilai kuat tarik dihitung dengan persamaan:

$$\text{Kekuatan tarik} \left( \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} \right) = \frac{\text{Gaya tarik (F)}}{\text{Luas penampang (A)}} \quad (4.2)$$

$$1 \text{ kgf/mm}^2 = 9.80665 \text{ MPa}$$

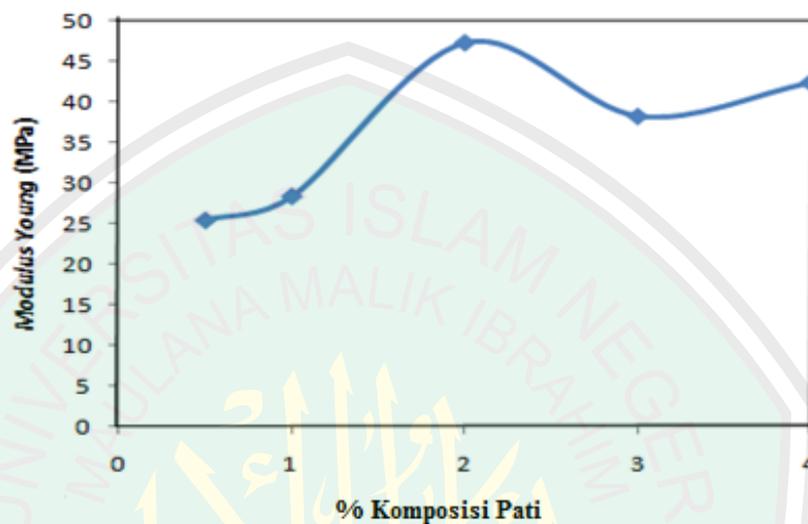
Nilai *modulus young* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Modulus Young} = \frac{\text{nilai kuat tarik}}{\text{nilai elongasi}} \quad (4.3)$$

Tabel 4.4 Nilai modulus young plastik *biodegradable*

Variasi komposisi LDPE-g-MA: pati (% v/v)	Kuat tarik (MPa)	<i>elongasi</i> (%)	<i>Modulus young</i> (MPa)
99,5:0,5	44,718	1,754	25,494
99:1	44,826	1,576	28,442
98:2	61,968	1,310	47,303
97:3	45,944	1,201	38,254
96:4	56,035	1,321	42,418

Pada tabel 4.4 menunjukkan nilai *modulus young* terbesar terdapat pada komposisi 98:2 (%v/v) yaitu 47,303 MPa. Nilai *modulus young* terendah pada komposisi 99:1 (% v/v) yaitu 28,442 MPa.



Gambar 4.6 Hasil nilai *modulus young* plastik *biodegradable*

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya pati maka nilai *modulus young* dihasilkan semakin besar, sehingga membuat plastik menjadi lebih kaku.

#### 4.1.7 Karakterisasi Uji Ketahanan Air Menggunakan Metode *Swelling*

Pengujian ketahanan air (*swelling*) dilakukan di Laboratorium Riset Material Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maliki Malang. Sampel dipotong kecil dengan ukuran 1,5 cm x 1,5 cm. Pegujian sampel dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan pada tiap variabel komposisi. Prosedur pengujiannya adalah sampel ditimbang sebelum diberi pengujian ( $M_0$ ). Kemudian sampel dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang berisi 10 ml aquades selama 15 menit. Setelah itu sampel diangkat dan dibersihkan air yang terdapat di permukaan sampel dengan

*tissue*. Selanjutnya, sampel ditimbang nilai ketahanan air dengan menggunakan persamaan:

$$A = \frac{M_i - M_o}{M_i} \times 100\% \quad (4.3)$$

Keterangan:

A = nilai prosentase ketahanan air (*swelling*)

M<sub>o</sub> = massa plastik sebelum pengujian *swelling*

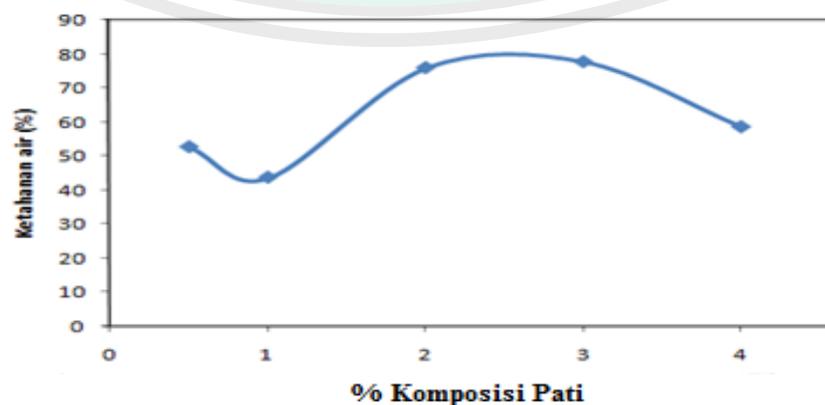
M<sub>i</sub> = massa plastik sesudah pengujian *swelling*

Dari hasil pengukuran dan perhitungan ketahanan air didapatkan data yang ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data pengujian ketahanan air (*swelling*) pada plastik *biodegradable*

Sampel	Massa sebelum (gram)			Massa sesudah (gram)			A (%)
	1	2	3	1	2	3	
0,5%	0,0082	0,0068	0,0089	0,0232	0,0085	0,0332	52,61
1%	0,021	0,023	0,0199	0,0509	0,029	0,0143	43,63
2%	0,0079	0,0162	0,0091	0,094	0,049	0,0286	75,89
3%	0,0108	0,0055	0,0094	0,062	0,017	0,0545	77,65
4%	0,0093	0,0091	0,0088	0,018	0,0249	0,0243	58,52

Dari tabel 4.6 dibuat grafik fungsi yang ditunjukkan pada grafik 4.7.



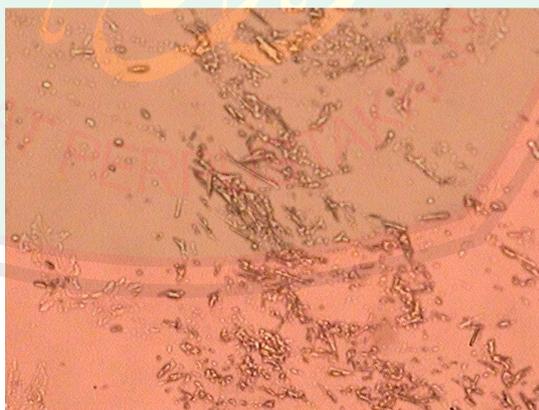
Gambar 4.7 Grafik hubungan variasi komposisi LDPE-g-MA dan pati terhadap nilai rata-rata uji *swelling*

Grafik 4.7 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi pati dan LDPE-g-MA yang digunakan maka nilai *swelling* akan semakin besar. Nilai *swelling* terbesar adalah komposisi 97:3 yaitu 77,65 (%v/v) dan nilai *swelling* terkecil adalah 43,63% dari perbandingan komposisi 99:1 (%v/v).

#### 4.1.8 Uji biodegradasi

Pengujian biodegradasi berupa pemberian bakteri EM4 terhadap plastik *biodegradable*. Penanaman bakteri EM4 dengan cara memasukkan bakteri kedalam cawan petri yang diberi molase sebagai sumber karbon. Pengamatan dilakukan selama 10 hari dengan cara penghitungan jumlah koloni dari masing-masing plastik dan tanpa pemberian sampel (blangko) sebagai pembanding. Selanjutnya, jumlah koloni dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah sel (CFU/ml)} = \text{jumlah sel} \times \frac{1}{\text{faktor pengenceran}} \quad (4.4)$$



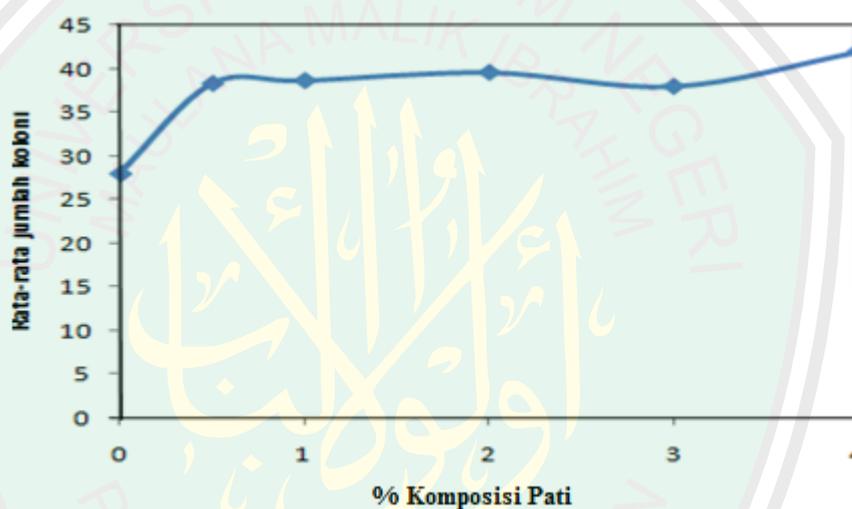
Gambar 4.8 Penampakan bakteri pada plastik *biodegradable* campuran pati dan LDPE-g-MA dengan perbesaran 400x

Gambar 4.8 memperlihatkan penampakan bakteri yang tumbuh pada sampel. Dari hasil perhitungan jumlah bakteri didapatkan data yang ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data hasil pengujian biodegradasi pada plastik *biodegradable*

Variasi komposisi LDPE-g-MA:pati (% v/v)	Rata-rata jumlah sel (CFU/ml)
Tanpa sampel	28
99,5: 0,5	38,33
99:1	38,66
98: 2	39,6
97: 3	38
96: 4	42

Dari tabel 4.7 dibuat grafik fungsi yang ditunjukkan pada grafik 4.9.



Gambar 4.9 Hubungan Variasi Komposisi LDPE-g-MA dan pati terhadap rata-rata jumlah sel bakteri pada plastik *biodegradable*

Pada Gambar 4.9 menunjukkan rata-rata jumlah koloni tanpa menggunakan sampel sebesar  $28 \times 10^1$  dibandingkan dengan variasi komposisi LDPE-g-MA terdapat banyak perubahan jumlah koloni. Hal ini ditunjukkan pada variasi LDPE-g-MA dan pati rata-rata jumlah koloni terbesar pada komposisi 96:4 yaitu  $42 \times 10^1$ . Kemudian dari hasil rata-rata jumlah koloni pada tabel 4.7 dianalisis menggunakan SPSS pada uji anova untuk mengetahui nilai signifikan seperti pada tabel 4.8.

Tabel 4.7 Hasil analisis uji Anova faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah koloni

**ANOVA**

bakteri

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	168.778	2	84.389	2.017	.168
Within Groups	627.500	15	41.833		
Total	796.278	17			

Pada tabel 4.8 hasil analisis anova menunjukkan nilai signifikan  $>0.05$ . Hal ini menunjukkan bahwa penambahan pati bonggol pisang tidak mempengaruhi rata-rata jumlah koloni.

#### 4.2 Pembahasan

Pembuatan plastik dari pati dan *Low density polyethylene* (LDPE) dilakukan sebagai alternatif plastik *biodegradable* yang lebih mudah didegradasi dibandingkan plastik pada umumnya.

Hasil pengujian FTIR gambar 4.2 menunjukkan adanya interaksi antara LDPE, *Maleic anhidride* dan *Benzoil peroxide* berupa gugus  $\text{CH}_2$  yang merupakan tekuk asimetrisme dari C-H (gugus fungsi LDPE), dan didukung gugus fungsi serapan karbonil C=O (Sitepu, 2009). Penambahan pati mengakibatkan muncul gugus fungsi C=O dan C-O-C yang ditunjukkan bilangan gelombang  $1701,068 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1713,128 \text{ cm}^{-1}$ , terjadi interaksi kimia berupa pergeseran bilangan gelombang. Gugus lain yang terbentuk adalah hidroksida (OH), karbonil (C=O) dan ester (COO) mengakibatkan plastik mudah terdegradasi. Pencampuran pati dengan LDPE dengan penambahan *Compatibility* berupa *maleic anhidride* dan *Benzoil peroxide*, merupakan reaksi radikal bebas dari monomer ke dalam

hidrokarbon (*polyolefin*) yang dibentuk dari dekomposisi peroksida (Sitepu, 2009). Proses *grafting maleic anhidride* ke dalam polietilen terjadi ketika polimer menjadi radikal. *Benzoil peroxide* merupakan inisiator yang dapat membentuk radikal bebas LDPE.

Variasi penambahan pati dan LDPE-g-MA menunjukkan secara umum menurunkan kuat tarik seperti pada gambar 4.5 disebabkan oleh penambahan gliserol. Hal ini terjadi karena *plasticizer* dapat merubah sifat mekanik sampel dengan mengurangi kohesi (gaya tarik-menarik antar molekul yang sama), ketahanan mekanik rantai polimer (Lieberman dan Gilbert, 1973). Selain konsentrasi gliserol, menurut Park et al (2002) sifat mekanik bergantung pada ikatan *interfacial* yang baik antara gugus hidroksil pada pati dan gugus karboksil pada LDPE yang telah ditambahkan *maleic anhydride*. Penambahan pati 4 % menaikkan nilai kuat tarik dan elongasi, hal ini disebabkan LDPE memiliki struktur kristalin yang molekul-molekulnya tersusun rapat, teratur, dan saling berdekatan sehingga interaksi tarik-menarik antar ikatan molekulnya menjadi lebih kuat.

Gugus fungsi pati bonggol pisang berperan kecil pada nilai kuat tarik yang dihasilkan, sebab polimer dengan rantai karbon yang panjang mempunyai struktur lebih padat dibandingkan dengan rantai karbon yang lebih pendek (Iswarin, 2013). Uji kuat tarik yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 44-62 MPa, hal ini sesuai dengan kriteria standart kuat tarik plastik *biodegradable* di Indonesia, SNI 71877.7:2011 (kategori produk kantong belanja plastik) sebesar 5-100 MPa.

Besarnya nilai kuat tarik dipengaruhi oleh gugus C=C yang merupakan rantai utama LDPE.

Gambar 4.6 pengujian ketahanan plastik campuran LDPE-g-MA dan pati terhadap air, menunjukkan semakin banyak pati bonggol pisang yang ditambahkan maka jumlah air yang diserap semakin banyak. Umumnya nilai ketahanan air (*swelling*) film kemasan berguna untuk memperkirakan daya simpan produk yang dikemas. Nilai *swelling* tertinggi terdapat pada komposisi 97:3 yaitu 77,65 (%v/v). Darni dan Utami (2008) menyatakan bahwa sifat ketahanan air suatu molekul berhubungan dengan sifat dasar penyusunnya. Sifat hidrofilik ini muncul, karena gliserol memiliki ikatan kimia berupa struktur ikatan hidrogen – OH yang cenderung untuk membentuk ikatan hidrogen intramolekuler termasuk dengan molekul air. Jadi dapat dikatakan bahwa plastik yang dihasilkan bersifat hidrofilik.

Uji biodegradasi plastik *biodegradable* campuran LDPE-g-MA dan pati dilakukan untuk mengetahui rata-rata jumlah koloni. Variasi penambahan pati dan LDPE-g-MA meningkatkan rata-rata jumlah koloni, hal ini disebabkan karena penggunaan molase (gula) mengandung ikatan karbon sebagai sumber energi yang dibutuhkan bakteri untuk mengoptimalkan pertumbuhan. Swift (1989) menyatakan bahwa plastik merupakan substrat potensial untuk mikroorganisme heterotrofik. Pencampuran dengan polimer alam dapat meningkatkan kemampuan biodegradasi plastik yang dihasilkan, karena terjadi peningkatan luasan permukaan polimer sebagai akibat dari hidrolisis pati oleh mikroorganisme. Mikroorganisme yang mengonsumsi pati akan membentuk pori-pori dalam

matrik polimer dan memberikan gugus-gugus yang rentan untuk terdegradasi (Park *et al.* 2002). Mikroorganisme yang digunakan adalah EM4, hasil pengujian menunjukkan variasi campuran LDPE-g-MA dan pati dapat meningkatkan rata-rata jumlah koloni.

Biodegradasi plastik campuran juga dipengaruhi oleh karakteristik polimer, tipe organisme dan perlakuan awal. Karakteristik polimer tersebut meliputi berat molekul, tipe gugus fungsi, bahan pemlastis atau bahan yang ditambahkan pada polimer (Shah *et al.* 2008). Analisis FTIR memperkuat hasil tersebut, adanya ikatan rangkap (C=O) dan gugus karbonil (C-O-C) menunjukkan struktur pati yang mempercepat proses degradasi sampel plastik. Selain itu gugus fungsi asam karboksilat (N-H) menandakan bahwa plastik yang dihasilkan merupakan jenis plastik *biodegradable* yang sesuai dengan pernyataan Anggraini (2013).

#### 4.3 Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam

Kerusakan lingkungan hidup terjadi sebagai ulah akibat tangan-tangan manusia yang tidak bertanggung jawab dalam memanfaatkan sumber daya yang terkandung di alam. Jika proses perusakan unsur-unsur lingkungan hidup tersebut terus menerus dibiarkan berlangsung, kualitas lingkungan hidup akan semakin parah. Sebagaimana Firman Allah SWT dalam surat Asy-syura, ayat 30:

وَمَا أَصَابَكُمْ مِّنْ مُّصِيبَةٍ فِيمَا كَسَبَتْ أَيْدِيكُمْ وَيَعْفُوا عَنْ كَثِيرٍ ﴿٣٠﴾

"Dan apa saja musibah yang menimpa kamu Maka adalah disebabkan oleh perbuatan tanganmu sendiri, dan Allah memaafkan sebagian besar (dari kesalahan-kesalahanmu)" (QS. Asy-syura (42): 30).

Dalam ayat ini Allah SWT menerangkan bahwa kerusakan lingkungan berupa bencana banjir, kebakaran hutan dan tanah longsor adalah akibat perbuatan manusia. Salah satu penyebabnya adalah limbah plastik yang sulit terurai di dalam tanah. Solusi untuk menyelesaikan problem kerusakan lingkungan dapat berupa mengurangi penggunaan plastik dan usaha untuk mencari formula baru dan terbarukan.

Upaya untuk mengelola dan melestarikan alam, salah satunya adalah memanfaatkan sumber daya alam yang diciptakan oleh Allah SWT. Selain itu, bagian-bagian dari pisang seperti daun, pelepah, dan bonggol pisang memiliki manfaat tersendiri. Beberapa manfaat dari bagian-bagiannya seperti daun pisang digunakan untuk pembungkus makanan, pelepah digunakan sebagai bahan komposit pembuat kertas, bonggol pisang digunakan sebagai bahan campuran plastik biodegradable. Sebagaimana firman Allah

وَطَلْحٍ مَّنضُودٍ

“Dan pohon pisang yang bersusun-susun (buahnya)” (QS. Al-waqiah (56): 29)

Pada penelitian ini, bagian dari pohon pisang yang dimanfaatkan adalah bonggolnya. Bonggol pisang merupakan salah satu bagian yang paling jarang dimanfaatkan, seringkali masyarakat menggunakannya sebagai pakan ternak atau dibuang. Bonggol pisang mengandung 76% pati yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuat plastik *biodegradable*. Kandungan pati yang dimiliki dapat diproses ulang menjadi plastik *biodegradable* yang dapat mempengaruhi sifat mekanik sampel dan sifat fisik saat diuji degradasi dengan menggunakan bakteri EM4. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dan lamanya

sampel bisa terurai oleh bakteri. Pengaruh penggunaan pati bonggol pisang pada penelitian ini dapat dibuktikan pada pengujian mekanik yang menghasilkan nilai *modulus young* terbaik sebesar 47,303 MPa dengan komposisi 98:2. Hal ini sesuai dengan hadist riwayat At-tirmidzi:

مَنْ أَحْيَى أَرْضًا مَيِّتَةً فَهِيَ لَهُ (رواه الترميذی)

“Barang siapa menghidupkan suatu bumi yang mati, maka bumi itu baginya” (HR.At-tirmidzi, no 1847).

Manusia memanfaatkan alam harus seperlunya sehingga tidak terjadi kerusakan dan apabila terlanjur terjadi manusia itu harus memperbaikinya. Hal ini sesuai dengan hadist Rosulullah, bahwasanya pelestarian alam dapat berupa pemanfaatan pati pada plastik *biodegradable* sehingga mudah diuraikan oleh mikroorganisme.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengaruh penambahan variasi komposisi LDPE-g-MA dan pati bonggol pisang didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian FTIR terbentuk gugus  $\text{CH}_2$  yang merupakan percabangan dari gugus fungsi LDPE didukung serapan gugus karbonil ( $\text{C}=\text{O}$ ) dari *maleat anhidride*. Puncak  $1701,068 \text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus fungsi  $\text{C}=\text{O}$  yang bergeser ke puncak  $1713,128 \text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan terjadi interaksi kimia.
2. Penambahan pati dan LDPE-g-MA mempengaruhi sifat mekanik plastik. Semakin besar konsentrasi pati, kuat tarik dan *modulus young* semakin menurun. kuat tarik yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 44-62 MPa dan sesuai dengan kriteria kuat tarik plastik *biodegradable* menurut standar SNI 71877.7:2011.
3. Penambahan konsentrasi pati dapat meningkatkan daya serap plastik. Hal ini disebabkan ikatan hidrogen pada gliserol cenderung membentuk ikatan dengan molekul air.
4. Penambahan konsentrasi pati dapat meningkatkan rata-rata jumlah bakteri. Pertumbuhan bakteri disebabkan oleh adanya molase sebagai sumber energi. Secara umum hasil dari pengujian mekanik dan fisis plastik *biodegradable* ini, komposisi LDPE-g-MA:pati sebesar 98:2 (%v/v) merupakan plastik terbaik.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian disarankan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada pengujian biodegradasi dengan metode *photobiodegradable*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Al Qurthubi, Syaikh Imam. 2009. Tafsir Al Qurthubi. Jakarta: Pustaka Azzam
- Anonymous. 2009. Karakteristik Gliserol. <http://www.wikipedia.com> (diakses 2 Oktober 2015)
- Arvanitoyannis, I, C.G. dkk. 1998. *Biodegradable Films Made from LDPE, Rice starch, Potato Starch for Food Packaging Applications* . J. Carbohydr. Polym.
- Adib, Abu. 2014. *Tafsir Al-Qur'an Al Karim*. Jakarta: Jalan Dakwah.
- Bierley, A.W. et. al. 1988. *Plastic Materials Properties and Applications*. Cations. Chapman and Hall Publishing, New York.
- BPS. 2015. *Badan Pusat Statistika Impor Plastik*. Surabaya
- Brazel, C.S. dan Stephen L.B. 2012. *Fundamental Principles of Polymeric Materials Third Edition*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Chan, C.M. 1994. *Polymer Surface Modification dan Characterization*. Hanser/Gardner Publications, Inc.
- Cowd, M.A. 1982. *Kimia Polimer, terjemahan oleh Harry Firman*. Bandung: Penerbit ITB.
- Darni, Yuli, dkk, 2008. *Sintesa Bioplastik dari Pati Pisang dan Gelatin dengan Plasticizer Gliserol*. Universitas Lampung: Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II.
- Dziendzic, S. 1995. *The Technology of Starch Production*. London: Blackie academic.
- Fessenden, R.J dan J.S. Fessenden. 1982. *Kimia Organik II, Terjemahan oleh A.H Pudjaatmaka, edisi ketiga*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Firdaus, F. 2008. *Sintesis Kemasan Film Ramah Lingkungan dari Komposit Pati, Kitosan dan Asam Polilaktat dengan Pemplastis Gliserol*. Yogyakarta: Pusat Sains dan Teknologi Universitas Indonesia.
- Flieger. 2003. *Pembuatan Plastik Biodegradabel Berbahan Dasar Pati*. International Journal of Moleculer
- Gandjar, I. G. dan A. Rohman. 2012. *Analisis Obat secara Spektrofotometri dan Kromatografi*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar

- Hee-Young An. 2005. *Effect of Ozonation and Addition of Amino acids on Properties of Rice Starches*. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana state University and Agricultural and Mechanical College.
- Iswarin et al. 2013. *Hubungan Gugus Fungsi Plastik Biodegradabel Metil Akrilat dan Pati Garut Terhadap Sifat Mekaniknya*. Malang: Fisika Universitas Brawijaya.
- Kalambur, S.B dan Rizvi, S.S.H. 2006. *Polymer Engineering and Science*. Journal of Plastic Film and Sheeting.
- Lieberman, E.R and Gilbert, S.G. 1973. Gas Permeation of Collagen Films Affected by Cross-linkage, Moisture, and Plasticizer Content. *J. Food Sci*, Vol 64 No 4: 695.
- Lim C.J. 1999. *Biodgradable Plastic*. Chemistry Social Relevance Report.
- Machado, A. V. and Covas J.A. 2000. *Monitoring Polyolefin Modification along the Axis of a Twin-Screw Extruder II. Maleic Anhidride Grafting*. *Journal of Polymer Science*. Portugal: Universitas Minho
- Matondang, T.D.S, dkk. 2013. *Pembuatan Plastik Kemasan Terbiodegradasikan dari Polipropylene Tergrafting Maleat Anhidrida dengan Bahan Pengisi Pati Sagu Kelapa Sawit*. Program studi Kimia. USU.
- Munajdim. 1984. *Teknologi Pengelolaan Pisang*. Jakarta: Gramedia
- Nachtrieb, O.G. 2003. *Prinsip-prinsip Kimia Modern Jilid 2, terjemahan oleh S. Setiati, edisi keempat*. Jakarta: Erlangga
- Nurminah, M. 2002. *Penelitian Sifat Berbagai Bahan Kemasan Plastik dan Kertas serta Pengaruhnya terhadap Bahan yang Dikemas*. Medan: Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian USU.
- Park, H.M. dkk. 2002. *Tensile Properties, Morphology, and Biodegradability of Blends Starch with Various Thermoplastics*. *J. appl Polym Sci* (86): 2907-2915.
- Peacock, A.J. 2000. *Hand Book of Polyethylene. Structures, Properties, and Applications*. Marcel Dekker, Inc.
- Pranamuda, H. 2003. *Pengembangan Bahan Plastik Biodegradable Berbahan Pati Tropis*. Jakarta: Penerbit UI Press.
- Prastowo, K. dkk. 1993. *Penambahan Pupuk untuk Mempercepat Pemuatan Kompos dari Bahan Sampah Pasar*. Bogor: Puslit tanak

- Prihandana. 2007. *Bioetanol Ubi Kayu Bahan Bakar Masa Depan*. Jakarta: Agromedia Pustaka
- Rismunandar. 1990. *Bertanam Pisang*. Bandung: C.V. Sinar Baru
- Rohaeti, Eli. 2005. *Kajian Tentang Sintesis Polieuretan dan Karakterisasinya*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA. FMIPA UNY. Yogyakarta. K1-K9
- Rukmana, R. 2005. *Aneka Olahan Limbah: Tanaman Pisang, Jambu Mete, Rosella cetakan ke -5*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius
- Shah Ali A,F. Hasan, A. dkk. 2008. *Biological Degradation of Plastic: A Comprehensive Review*. J. Biotechnology.
- Shreve. 1975. *Plastics*. London: CRC Press.
- Silverstain, R.M. dan Bassler G. C. 1986. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Sitepu, I.P. 2009. *Pengaruh Konsentrasi Maleat Anhidrat terhadap derajat Grafting Maleat Anhidrat pada High Density Polyethilene (HDPE) dengan Inisiator Benzoil Peroksida*. Skripsi Departemen Kimia. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Swift R.S. 1989. *Moleculer Weight, Size, Shape, and Characteristics of Humic Acid*. J. Sci. (62) :439.
- Smallman, R.E dan R.J. Bishop. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material, Terjemahan oleh S. Djaprie, edisi keenam*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Stevens, M.P. 2007. *Kimia Polimer, terjemahan oleh Iis Sopyan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Tano, E. 1997. *Pedoman Membuat Perekat Sistetis Edisi 78*. Jakarta: Plenum Press
- Teixeira E.M, dkk. 2001. *Comparative Study of Thermoplastic Starches Obtained From Industrialized Cassava Starch, Native Cassava and Cassava Bagasse*. Carbohydr Polym Vol 45.
- Vogel. 1985. *Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Bagian I Edisi kelima*. Jakarta: PT Kalman Media Pustaka.
- Wade LG. 1991. *Kimia Polimer*. Jakarta: PT. Pradnya Paramitha

Wardah, I. 2014. *Pengaruh Variasi Komposisi Gliserol dengan Pati dari Bonggol Pisang, Tongkol Jagung dan Eceng Gondok Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Plastik Biodegradable*. Skripsi. Jurusan Fisika UIN Malang. Tidak diterbitkan.

Wididana, G.N. dan T. Higa. 1993. *Effect of Effective Microorganism 4 (EM4) on Growth and Production of Crops*. Bulletin Kyusei Nature Farming

Widyasari, R. 2010. *Kajian Penambahan Onggok Termoplastis Terhadap Karakteristik Plastik Komposit Polietilen*. Tesis SPS. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

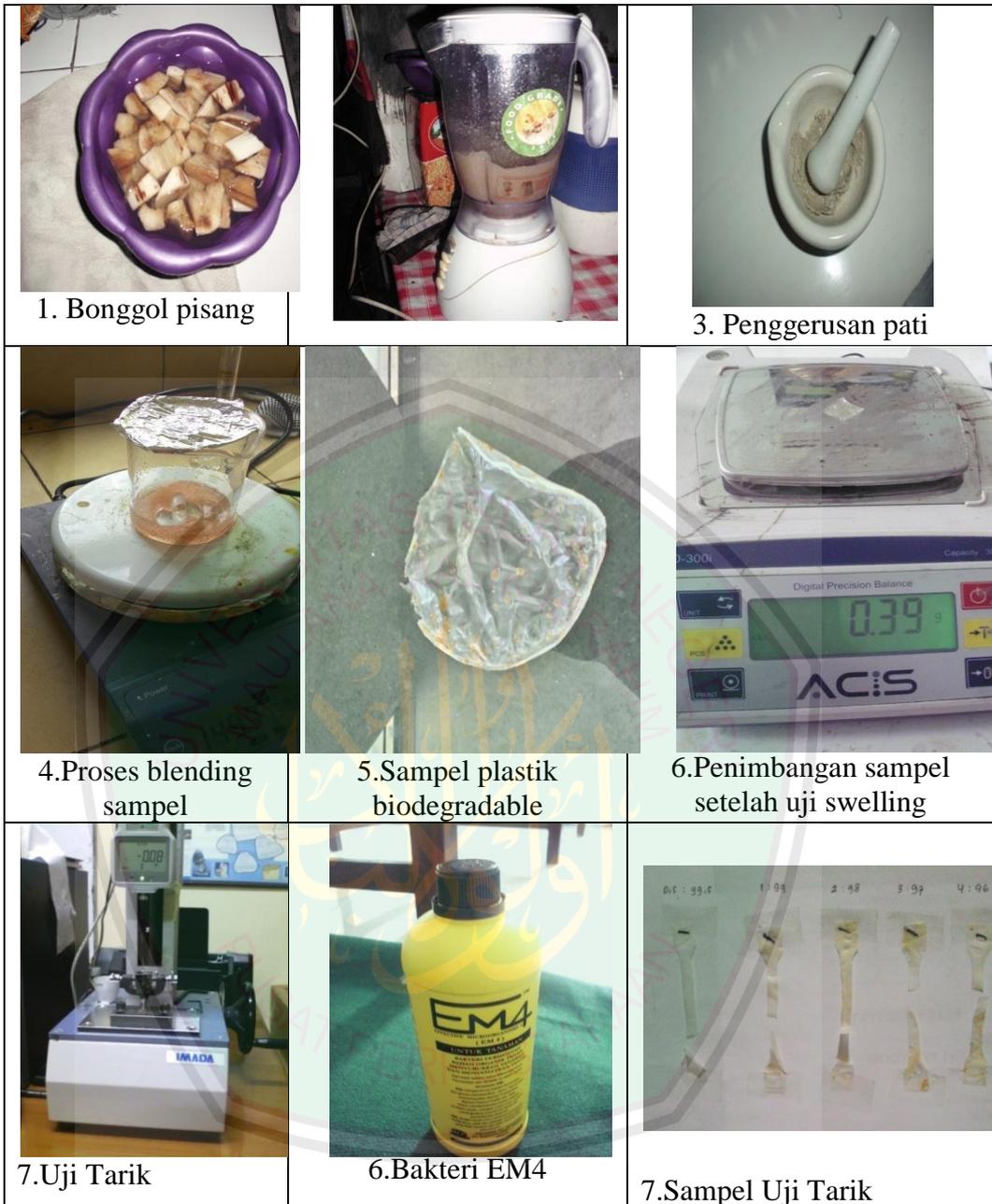
Winarno, S. 1994. *Pengantar Penelitian Ilmiah dan Dasar Metode Teknik*. Bandung: Transito.



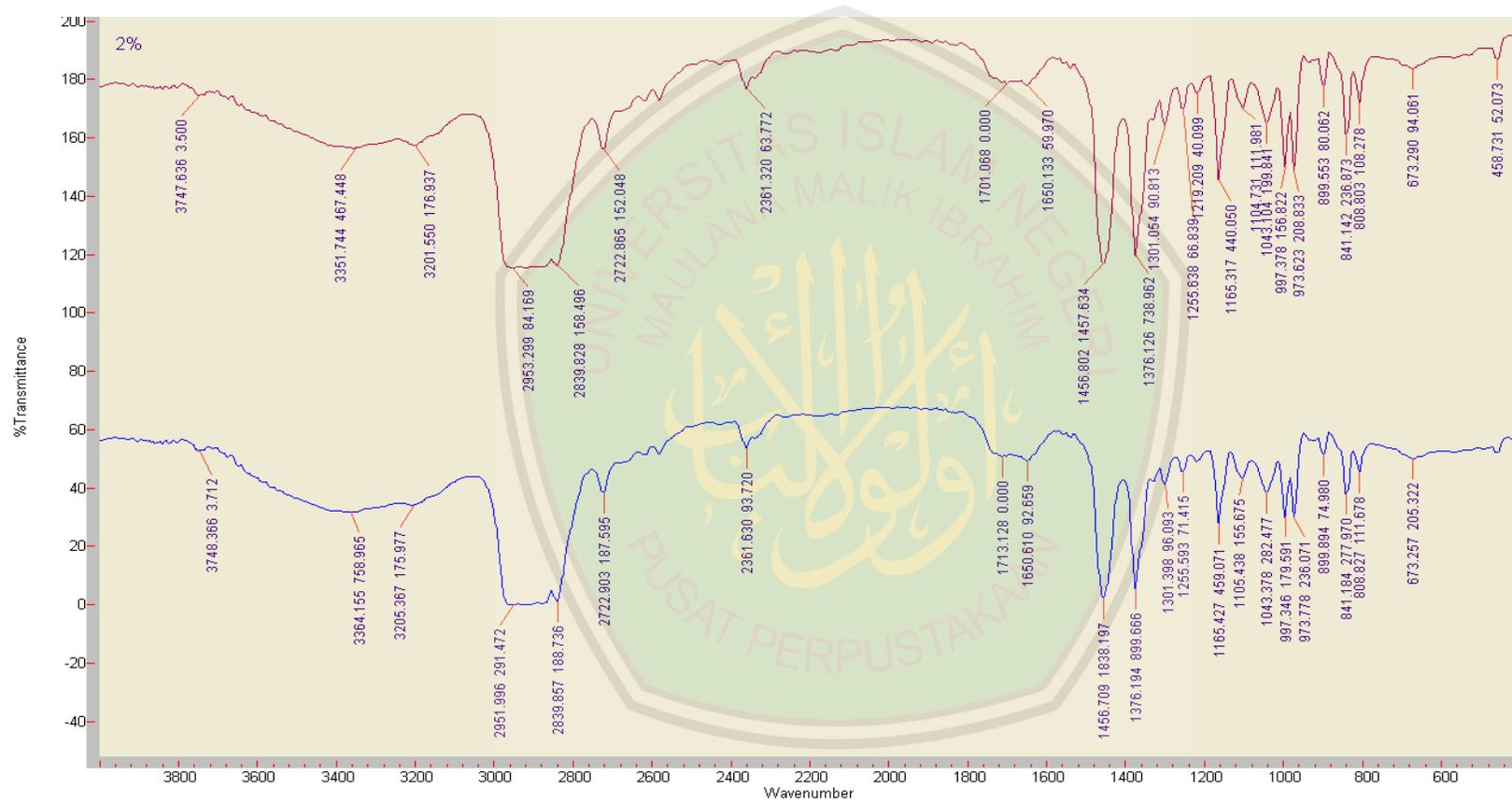


# LAMPIRAN

## LAMPIRAN 1 Dokumentasi penelitian



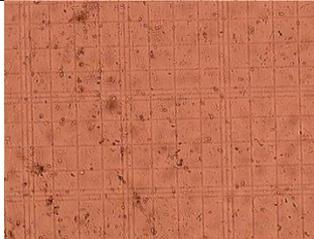
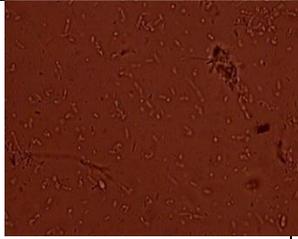
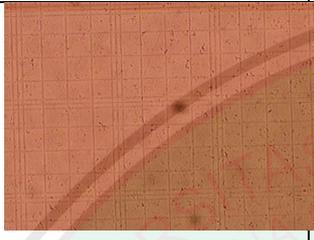
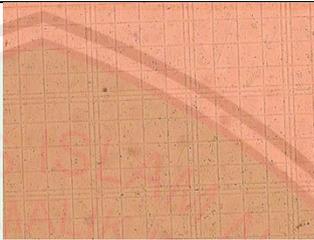
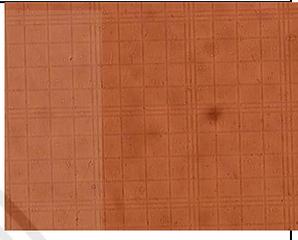
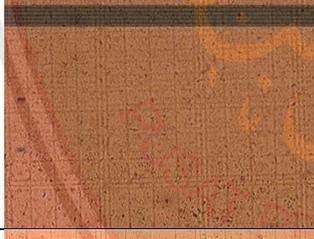
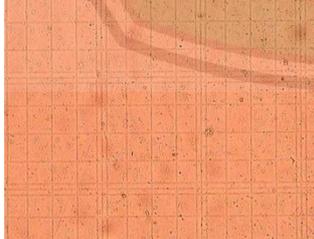
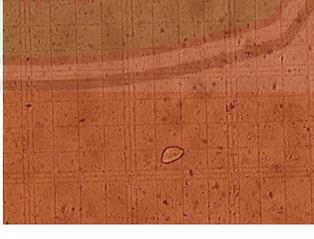
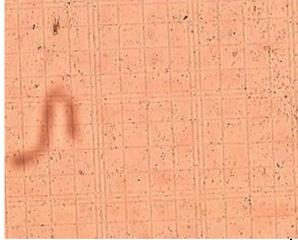
## LAMPIRAN 2 Hasil Uji FTIR



Grafik gugus fungsi plastik *biodegradable* dengan perbandingan komposisi LDPE-g-MA dan pati bonggol pisang 99,5:0,5 dan 98:2.



### LAMPIRAN 3 Data Hasil Uji Biodegradasi

Komposisi	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3
Tanpa Sampel			
99,5:0,5			
99:1			
98:2			
97:3			
96:4			

## LAMPIRAN 4 Hasil Pengujian SPSS ANOVA

### ➔ Oneway

[DataSet0]

#### Descriptives

bakteri	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
ulangan 1	6	39.17	3.430	1.400	35.57	42.77	34	43
ulangan 2	6	40.33	7.394	3.018	32.57	48.09	28	47
ulangan 3	6	33.33	7.685	3.138	25.27	41.40	18	38
Total	18	37.61	6.844	1.613	34.21	41.01	18	47

#### Test of Homogeneity of Variances

bakteri	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
	1.058	2	15	.372

#### ANOVA

bakteri		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Between Groups	168.778	2	84.389	2.017	.168
	Within Groups	627.500	15	41.833		
	Total	796.278	17			

### Post Hoc

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: bakteri						95% Confidence Interval	
	(I) komposisi	(J) komposisi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
Bonferroni	ulangan 1	ulangan 2	-1.167	3.734	1.000	-11.23	8.89
		ulangan 3	5.833	3.734	.417	-4.23	15.89
	ulangan 2	ulangan 1	1.167	3.734	1.000	-8.89	11.23
		ulangan 3	7.000	3.734	.241	-3.06	17.06
	ulangan 3	ulangan 1	-5.833	3.734	.417	-15.89	4.23
		ulangan 2	-7.000	3.734	.241	-17.06	3.06
Games-Howell	ulangan 1	ulangan 2	-1.167	3.327	.935	-10.95	8.61
		ulangan 3	5.833	3.436	.272	-4.32	15.98
	ulangan 2	ulangan 1	1.167	3.327	.935	-8.61	10.95
		ulangan 3	7.000	4.354	.287	-4.94	18.94
	ulangan 3	ulangan 1	-5.833	3.436	.272	-15.98	4.32
		ulangan 2	-7.000	4.354	.287	-18.94	4.94

