

**PENGARUH PENAMBAHAN POLIETILEN GLIKOL (PEG) PADA
CAMPURAN POLI ASAM LAKTAT DENGAN SELULOSA DARI
LIMBAH PADAT TAPIOKA**

(Skripsi)

Oleh

SHELA ANGGUN SEPTIANA



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

2017

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN POLIETILEN GLIKOL (PEG) PADA CAMPURAN POLI ASAM LAKTAT DENGAN SELULOSA DARI LIMBAH PADAT TAPIOKA

Oleh

Shela Anggun Septiana

Pada penelitian ini telah dilakukan isolasi selulosa dari limbah padat tapioka (onggok) dan pencampuran antara poli asam laktat (PAL) sebagai polimer sintetik dan selulosa sebagai polimer alam. PAL dan selulosa tidak homogen sehingga terjadi pemisahan saat pencampuran. Untuk memperbaiki stabilitas dan kompatibilitas kedua bahan digunakan polietilen glikol (PEG) sebagai *plasticizer*. Proses isolasi selulosa menghasilkan 10 gram dari 75 gram sampel menggunakan metode delignifikasi. Selulosa diproses dengan metode delignifikasi untuk mendapatkan kadar α -selulosa yang baik yaitu 94,23%. Karakterisasi dilakukan dengan analisis FTIR, SEM, dan TGA/DTA. Pada analisis IR, spektrum campuran selulosa-PEG-PAL sedikit bergeser ke bilangan gelombang yang lebih rendah jika dibandingkan dengan campuran selulosa-PAL. Hal ini diakibatkan karena gugus C-O-C dan -OH dari PEG dapat membentuk ikatan hidrogen atau interaksi dipolar dengan selulosa-PAL. Pada analisis SEM, dengan penambahan PEG mengakibatkan morfologi permukaan campuran selulosa-PAL menjadi semakin tidak merata yang menandakan bahwa sifat mekanik material semakin baik, dan uji dekomposisi menggunakan TGA/DTA menunjukkan bahwa campuran selulosa-PAL (1:5 w/w) memiliki kestabilan termal yang paling rendah dan campuran selulosa-PEG-PAL (1:1,0:5 w/w) memiliki kestabilan paling tinggi.

Kata Kunci : Limbah Padat Tapioka, Selulosa, Polietilen Glikol (PEG), Poli Asam Laktat (PAL)

ABSTRACT

EFFECT ADDITION OF POLYETHYLENE GLYCOL (PEG) IN MIXED POLY LACTID ACID WITH CELLULOSE FROM TAPIOCA SOLID WASTE

By

Shela Anggun Septiana

In this study, cellulose had been isolated from tapioca solid waste and poly lactic acid (PLA) as a synthetic polymer had been mixed with cellulose as a natural polymer. At the time of mixing, PLA and cellulose couldn't be homogeneous, and there was separation of both. Because of that polyetylen glycol (PEG) was used as a plasticizer to improve the stability and compatibility of both materials. The yield of delignification cellulose was 10 grams from 75 grams of sample. Cellulose was processed by delignification method to get a good α -cellulose that yield was 94.23%. Characterization was performed by using FTIR, SEM, and TGA/DTA analysis. In the FTIR analysis, the cellulose-PEG-PLA mixed spectrum slightly shifted to a lower wave number than a PLA-cellulose mixture. This indicates that the C-O-C and -OH groups of PEG may form hydrogen bonds or dipolar interactions with cellulose-PLA. In SEM analysis, the addition of PEG was causing morphological change, to be unevenly which indicate that the mechanical properties of the material was improved, and the decomposition test using TGA/DTA showed that the cellulose-PLA (1:5 w/w) was to be the lowest thermal stability and cellulose-PEG-PAL (1:1.0:5 w/w) was to be highest thermal stability.

Keyword: Solid Waste Tapioca, Cellulose, Polyethylene Glycol (PEG), Poly Lactic Acid (PAL)

**PENGARUH PENAMBAHAN POLIETILEN GLIKOL (PEG) PADA
CAMPURAN POLI ASAM LAKTAT DENGAN SELULOSA DARI
LIMBAH PADAT TAPIOKA**

**Oleh
Shela Anggun Septiana**

**Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA SAINS**

**pada
Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

2017

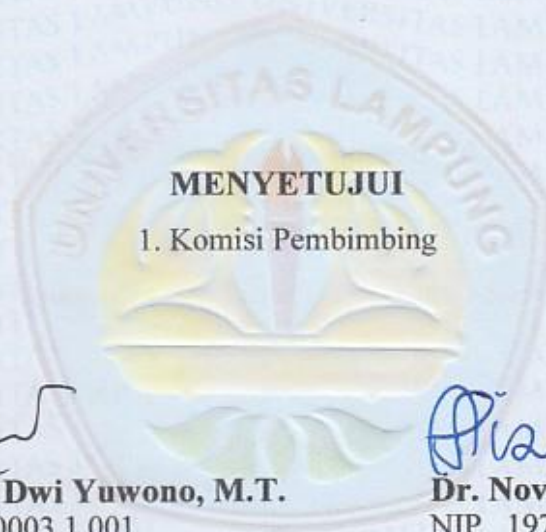
Judul Skripsi : **PENGARUH PENAMBAHAN POLIETILEN
GLIKOL (PEG) PADA CAMPURAN POLI ASAM
LAKTAT DENGAN SELULOSA DARI LIMBAH
PADAT TAPIOKA**

Nama Mahasiswa : **Shela Anggun Septiana**

No. Pokok Mahasiswa : 1317011065

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Dr. Noviany, S.Si., M.Si.
NIP 19731119 199802 2 001

2. a.n Ketua Jurusan Kimia FMIPA
Sekretaris

Mulyono, Ph.D.
NIP 19740611 200003 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.**



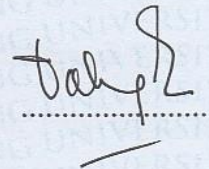
Sekretaris

: **Dr. Noviany, S.Si., M.Si.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Tati Suhartati, M.S.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D.

NIP 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **11 Juli 2017**

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kibang tanggal 14 Juli 1995, anak pertama dari dua bersaudara, dari Bapak Heru Susanto dan Ibu Anjarwati. Penulis mulai menempuh pendidikan dimulai pada tahun 2001 di TK Al-Qur'an Lampung Selatan, lalu melanjutkan di SD Negeri 1 Kibang dan lulus pada tahun 2007, Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Kibang dan lulus pada tahun 2010. Pada tahun yang

sama penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 4 Metro dan lulus tahun 2013.

Penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Lampung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam jurusan Kimia pada tahun 2013 melalui Jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menempuh pendidikan di kampus penulis pernah menjadi Asisten Dosen pada praktikum Kimia Dasar pada tahun 2015-2016, praktikum kimia Organik I pada tahun 2015/2016 dan Kimia Organik II pada tahun 2016/2017. Selama kuliah, penulis pernah mengikuti Olimpiade Sains Nasional Perguruan Tinggi Indonesia (OSNPTI-Pertamina) pada tahun 2014 dan 2015. Penulis pernah Memperoleh Beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) pada tahun 2014. Pengalaman organisasi penulis dimulai sejak menjadi Kader Muda Himaki tahun 2013-2014 FMIPA Unila. Penulis pernah menjadi Anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) HIMAKI FMIPA Unila pada

tahun 2014-2015, dan beberapa unit Kegiatan Mahasiswa Universitas (UKM U) yakni sebagai Anggota Bidang Eksakta di UKM Penelitian Unila pada tahun 2013-2015, Anggota Bidang Seni Tari di Unit kegiatan Mahasiswa Bidang Seni (UKMBS) Unila pada tahun 2013-2014, dan Anggota Bidang *Offair* di Radio Kampus Unila (RAKANILA) tahun 2014-2015. Selain itu, penulis juga mengikuti beberapa komunitas baik di kampus atau diluar kampus seperti Komunitas Sastra Suka Cipta (KOSAKATA) dan komunitas Sedeqah Rombongan (SR).



“ Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya...” (Q.S Al-Baqorah: 286)

sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan maka apabila telah selesai (dari suatu urusan) kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain dan hanya kepada Tuhalah hendaknya kamu berharap...” (Q.S Al- Nasyroh: 5,6)

Berfikit Cerdas, Melangkah Cepat, Bertindak Tepat (penulis)



Atas Rahmat Allah SWT
Kupersembahkan Karya sederhana ini
Teruntuk

Bapak dan Ibu tercinta
yang senantiasa memberikan do'a, kasih sayang, dukungan,
motivasi
dan semangat kepada ananda selama ini

Dr. Eng. Satripto Dwi Yuwono, M.T dan semua Dosen Jurusan
Kimia yang telah membimbing dan mendidik ananda selama
menempuh pendidikan di kampus

Seluruh keluarga besarku, sahabatku dan
Partner yang akan mendampingi hidupku

Almamater tercinta
Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillah tsummal hamdulillah, segala puji hanya bagi Allah, *Rabb* semesta alam yang telah memberikan nikmat-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **PENGARUH PENAMBAHAN POLIETILEN GLIKOL (PEG) PADA CAMPURAN POLI ASAM LAKTAT DENGAN SELULOSA DARI LIMBAH PADAT TAPIOKA**. Bacaan *Allahumma sholli wasallim wabaarik 'alaihi* semoga tetap terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang memberikan syafa'atnya kepada seluruh umatnya di dunia dan di akhirat, Aamiin.

Teriring do'a yang tulus, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku pembimbing I penulis yang telah membimbing, mendidik, dan mengarahkan penulis dengan kesabaran dan kasih sayang yang tulus sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga barokah Allah selalu menyertai Beliau.
2. Noviany, Ph.D. selaku pembimbing II penulis yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga Allah membalasnya dengan kebaikan.

3. Prof. Tati Suharti M.Si. selaku pembahas penulis yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan nasihat kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga Allah membalasnya dengan keberkahan.
4. Diky Hidayat M.Sc. selaku pembimbing akademik penulis yang telah memberikan motivasi, arahan, dan nasihat sehingga penulis dapat menempuh pendidikan dengan baik di Jurusan Kimia FMIPA Unila. Semoga Allah selalu memberikan rahmat kepadanya.
5. Prof. Warsito, Ph.D. selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila dan seluruh Bapak/Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila.
7. Mbak Wiwit, Pak Gani, Mbak Ani, Mbak Liza, Uni Kidas, Mas Nomo, Pak Man, Pak John, dan Uni Gus.
8. Bapak Heru Susanto dan Ibu Anjar Wati, yang telah membesarkan, merawat, dan mendidik penulis dengan segala cinta, kasih sayang, dan kesabaran yang tulus, serta Adek Muhammad Afrizal Sanny yang telah memberikan semangat, dukungan, dan keceriaan kepada penulis, semoga barokah Allah selalu menyertai kita.
9. Kakak-kakakku semua Ridho Nahrowi, S.Si., Tiara Dewi Astuti, S.Si, Yepi Triaprianti, S.Si., Tazkia Nurul, S.Si. yang telah memberikan arahan, wejangan, dan motivasi kepada penulis.
10. Partner penelitianku Dona Mailani Pangestika, Aulia Pertiwi Tri Yuda, Khalimatus Sa'diah dan Siti Mudmainah yang telah memberikan semangat

dan dukungan kepada penulis, semoga Allah selalu memberikan kelancaran dan barokah kepada mereka.

11. Rekan kerja Laboratorium Kimia Organik Erva Alhusna, Nita Yulian, Vicka Andini, Wahyuni Dewi, Badiatu Niqmah, Inggit Borisha, Nessia Kurnia, Nurul Fatimah, Arni Ardelita, Anggun Ferlia, dan kak Radius Ully artha semoga barokah Allah selalu menyertai mereka.
12. Spesial teruntuk teman terbaik yang memberi bahagia dan luka Joko Setyo Nugroho, S.Pd yang selalu ada saat susah maupun senang, yang selalu memberikan nasihat, keceriaan serta mengingatkan apabila penulis melakukan kesalahan. Semoga Allah membalasnya dengan keberkahan.
13. Spesial teruntuk kakak terbaik calon patner hidup cinta dalam diam Ramadhan Nawawi S.Ip yang selalu memberikan keceriaan, motivasi dan kasih sayang kepada penulis. Semoga kita berjodoh dan Allah membalasnya dengan keberkahan.
14. Spesial juga untuk keluargaku tercinta kimia 2013, Diky, Paul, Aulia, Celli, Citra, Dian, Dona, Erva, Fatimah, Fika, Indah, Khalimah, Khomsatun, Maya, Megafit, Mia, Nabilla, Nita, Riyan W, Shelta, Gita, Vicka, Wahyuni, Yuvica, Eky, Ana, Inggit, Wiwid, Awan, Arief, Dewi, Esti, Nora, Fera, Vyna, Bara, Yunitri, Dilla, Badi, Nova, Linda, Nurma, Ismi, Eka, Uut, Nessia, Anita, Ridho, Anggi, Siti, Murnita, Fentri, Riska, Rian, Ferdi, Dodi, Yolanda, Eka M, Nia, Nurul, Kiki, Netty, Gesa, Yuni, Tyas, Anggun, Mega, Della, Radho, Arni, Mita, Sinta, Anton, Melita, Melia, Monica, Lulu, Kartika, Ezra, dan Ttika, yang selalu memberikan keceriaan dan kasih sayang kepada penulis. Semoga Allah membalasnya dengan keberkahan.

15. Spesial keluarga KKN Bapak dan Ibu, mbak citra dan Nabilla, juga untuk teman-teman KKN Desa Kediri yang berjumlah 29 orang Ari Wahyu Suyono, Barastia Windu Murti, Bang Fitra, Gabriel Erick Rasmana, Hermawan, Oci Rianti, Wayan Dika, dll yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang pernah memberikan keceriaan, semangat, dan dukungan kepada penulis. Semoga Allah membalasnya dengan keberkahan.
16. Kawan-kawan sepermainan (Ex-Gambleh): Nova, Antonius, Siti, Febri, Aulia dan Dona yang pernah memberikan keceriaan, semangat, dan dukungan kepada penulis. Semoga Allah membalasnya dengan keberkahan.
17. Kawan-kawan sepermusuhan yang tercipta karena kenyamanan: Agung Cardova (Miss Baper Istiqomah), Christian Paul PS (Lelaki Haus Wanita), Fera Manalu (Tante Maco), Ferdian Dicky (*Unsensitive Man*), dan Tiara Dhayu P (Wanita Baper Kesayangan) yang pernah memberikan keceriaan, semangat, dan dukungan kepada penulis. Semoga Allah membalasnya dengan keberkahan.
18. Spesial juga untuk Komunitas Sastra Suka Cipta (KOSAKATA) : Joko, Mas Tio, Bang Farhan, Kak Sule, Refky, Ronaldo, Bryan, Kukuh, Ema, dll yang pernah memberikan keceriaan, semangat, dan dukungan kepada penulis. Semoga Allah membalasnya dengan keberkahan.
19. Spesial juga untuk Komunitas Sedeqah Rombongan (SR) yang pernah memberikan keceriaan, semangat, dan dukungan kepada penulis. Semoga Allah membalasnya dengan keberkahan.
20. Adik-adik bimbinganku Clodina, Nella, Yolanda, Hamidin, dan Dhia Hawari serta adik-adik penelitian Laboratorium Kimia Organik.

21. Keluarga besar mahasiswa kimia angkatan 2012, 2013, 2014, dan 2015 atas kebersamaan dan persaudaraan yang terjalin selama ini.
22. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu secara tulus memberikan bantuan moril dan materil kepada penulis.

Akhir kata, penulis memohon maaf kepada semua pihak apabila skripsi ini masih terdapat kesalahan dan kekeliruan, semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat sebagaimana mestinya, Aamiin.

Bandar Lampung, Juli 2017
Penulis

Shela Anggun Septiana

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian.....	4
C. Manfaat Penelitian	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Polimer.....	5
B. Singkong.....	10
1. Klasifikasi Singkong.....	10
2. Limbah Industri Tapioka.....	12
A. Limbah Cair Tapioka.....	12
B. Limbah Padat Tapioka.....	13
1. Meniran Kulit Singkong.....	13
2. Onggok.....	14
C. Selulosa	15
1. Alfa Selulosa.....	16
2. Beta Selulosa.....	19
3. Gamma Selulosa.....	19
D. Poli Asam Laktat.....	22
E. Poli Etilen Glikol	26
F. Campuran Selulosa- Poli Asam Laktat.....	27
G. <i>Plasticizier</i>	30
H. Proses <i>freeze-Drying</i>	31
1. Tahap <i>Freezing</i>	31
2. Tahap <i>Primary Drying</i>	32
3. Tahap <i>Secondary Drying</i>	32
I. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	33
J. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	37
K. <i>Differential Thermal Analysis/Thermogravimetry</i> Analisisi(DTA/TGA).....	38

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	42
B. Alat dan Bahan.....	42
C. Prosedur Penelitian.....	43
1. Preparasi Onggok Singkong.....	43
2. Isolasi Selulosa dari Limbah Padat Tapioka (Onggok).....	43
3. penentuan kadar α -selulosa	44
4. Pencampuran Selulosa- Poli Asam Laktat.....	45
a. Tanpa <i>Plasticizier</i>	45
b. Dengan <i>Plasticizier</i> (Polietilen Glikol).....	46
5. Karakterisasi dengan FTIR.....	46
6. Karakterisasi dengan SEM.....	47
7. Karakterisasi dengan TGA.....	47

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan α -Selulosa.....	48
B. Penentuan Kadar α -Selulosa Menggunakan Metode Uji SNI 0444:2009.....	49
C. Sintesis Selulosa-Poli Asam laktat (PAL).....	50
1. Tanpa <i>Plasticizier</i>	50
2. Dengan <i>Plasticizier</i> (Polietilen Glikol).....	52
D. Karakterisasi dengan FTIR.....	53
E. Karakterisasi dengan SEM.....	56
F. Karakterisasi dengan DTA/TGA.....	58

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	62
B. Saran	63

DAFTAR PUSTAKA.....	64
---------------------	----

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Daftar Komposisi Kimia Singkong.....	11
2. Baku Mutu Air Limbah Industri Tapioka.....	13
3. Komposisi Ampas Ubi Kayu/Singkong (Onggok).....	14
4. Sifat Fisik dan Mekanik Poli Asam Laktat (PAL).....	24
5. Korelasi Inframerah.....	34
6. Kadar α -Selulosa dari Onggok Hasil Delignifikasi.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Stuktur Polimer.....	6
2. Struktur Molekul Selulosa.....	16
3. Struktur α - Selulosa.....	17
4. Skema Reaksi Isolasi α -Selulosa.....	18
5. Reaksi Peruraian Lignin oleh H_2O_2	19
6. Struktur Poli Asam Laktat (PAL).....	23
7. Struktur Kimia Poli Etilen Glikol (PEG).....	27
8. Skema Peralatan FTIR.....	36
9. Skema Peralatan SEM.....	37
10. Hasil Analisa TGA dari Sampel yang Mengandung Karbon.....	40
11. Alat TGA/DTA seri 7000 dengan autosampler.....	41
12. Reaksi Selulosa-PAL.....	51
13. Hasil Analisis FTIR.....	53
14. Hasil Analisis SEM.....	57
15. Hasil Analisis DTA/TGA.....	59

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara agraris sebagai penghasil singkong terbesar di dunia. Singkong dengan mudah diperoleh di seluruh perdesaan Indonesia yang penyebarannya sangat luas. Total produksi singkong di Indonesia mencapai 24.044.025 ton dengan luas lahan 1.184.696 ha, sedangkan total produksi singkong Provinsi Lampung mencapai 9.193.676 ton dengan luas panen sebesar 368.096 ha (BPS Provinsi Lampung, 2011). Berdasarkan total produksi tersebut, Provinsi Lampung merupakan salah satu daerah penghasil singkong tertinggi di Indonesia.

Singkong merupakan salah satu jenis umbi-umbian yang menjadi sumber karbohidrat karena kandungan patinya yang cukup tinggi. Salah satu pemanfaatan singkong untuk pembuatan tepung tapioka. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2009), industri tapioka skala besar umumnya dengan kapasitas 700 ton per hari dapat menghasilkan tapioka sebanyak 140 ton per hari dan ongkok yang dihasilkan sejumlah 175 ton per hari.

Provinsi Lampung merupakan salah satu produsen limbah ongkok terbesar di Indonesia terutama di daerah Lampung Utara, yang sampai saat ini belum ada

pemanfaatan secara maksimal. Onggok merupakan limbah dari industri tapioka yang berbentuk padatan yang diperoleh dari proses ekstraksi. Komponen penting yang terdapat dalam onggok adalah pati dan serat kasar. Pati dan serat kasar yang terdapat di onggok dapat diuraikan secara enzimatis. Kandungan ini berbeda untuk setiap daerah tempat tumbuh, jenis dan mutu singkong, teknologi yang digunakan, dan penanganan ampas itu sendiri (Fahmi, 2008). Serat kasar yang terdapat pada onggok mengandung hemiselulosa dan selulosa yang merupakan bagian terbesar dari komponen polisakarida non pati (Arnata, 2009).

Selulosa adalah polimer alam dari β -glukosa dengan ikatan β -1,4 antara unit-unit glukosa. Selulosa terdapat pada kayu, kapas, rami dan tumbuhan lainnya.

Selulosa mempunyai rumus empiris $(C_6H_{10}O_5)_n$ dengan $n \sim 1500$ dan berat molekul ~ 243.000 (Rowe *et al.*, 2009). Kekurangan dari polimer alam ini yaitu sifat mekaniknya yang lemah. Maka dari itu, perlu dilakukan beberapa modifikasi sehingga siap dijadikan sebagai pengganti bahan sintetik, misalnya dengan mencampurkan polimer alam dan polimer sintetik (Fangliyan *et al.*, 1994).

Beberapa modifikasi telah dilakukan sejumlah peneliti untuk memperbaiki sifat mekaniknya diataranya dengan teknik *blending* atau mencampurkan selulosa dengan polimer sintetik seperti polietilena, polistiren, polipropilen, dan lain-lain. Polimer sintetik yang memiliki daya biodegradasi yang baik yaitu poli asam laktat, poli vinil alkohol, poli butilena suksinat, dan poli kapro lakton.

Pada penelitian ini, peneliti memilih campuran selulosa dengan poli asam laktat (PAL).

Poli asam laktat (PAL) adalah polimer atau plastik yang bersifat *biodegradable*, *thermoplastic* dan merupakan poliester alifatik yang terbuat dari bahan-bahan terbarukan seperti pati jagung atau tanaman tebu. Poli asam laktat memiliki kelebihan yakni tahan panas, kuat, dan merupakan polimer yang elastis (Auras, 2002). Poli asam laktat yang terdapat di pasaran dapat dibuat melalui fermentasi karbohidrat ataupun secara kimia melalui polimerasi kondensasi dan kondensasi azeotropik (Auras, 2010). PAL sering digunakan untuk keperluan biomedikal (membran) dan sebagai pembungkus makanan. Karena sifatnya yang *biodegradable*, tahan panas, dan elastis, serta lebih aman daripada polimer sintetik lainnya, maka PAL dapat dijadikan alternatif untuk campuran selulosa yang bersifat kaku dan mudah berubah karena pengaruh panas. Campuran selulosa dengan PAL yang dibuat dengan teknik pelelehan senyawa telah dilaporkan oleh Oksman, dkk (2006), namun warna sampel berubah dari kuning transparan menjadi coklat muda, yang mengindikasikan terjadinya degradasi termal antara selulosa dengan PAL.

Namun, polimer sintetik dan polimer alam tidak mudah untuk bercampur secara homogen tanpa adanya tambahan zat lain atau *plasticizer*. Para peneliti sebelumnya menambahkan polimer lain, baik berupa polimer alam maupun sintetik, untuk meningkatkan sifat mekanik (*tensile strength* dan *elongation*). Hasan, dkk. (2007), menambahkan Polikaprolakton (PCL), dan Cheong, dkk. (2010), menambahkan karet alam pada pati, tetapi pada penambahan bahan tersebut justru mengurangi sifat *biodegradable* produk yang dihasilkan. Pada penelitian ini, akan ditambahkan polietilen glikol (PEG) sebagai *plasticizer* yang berfungsi untuk meningkatkan kompatibilitas, sifat mekanik, dan kestabilan

termal antara kedua polimer yang akan dicampurkan, sehingga diperoleh campuran *biodegradable* yang berkualitas baik. Selain penggunaan modifikasi PAL untuk kemasan, modifikasi ini juga berpotensi untuk teknik implan jaringan dalam aplikasi klinis karena memiliki biokompatibilitas yang lebih baik. Karakterisasi yang dilakukan yaitu identifikasi perubahan gugus fungsional bahan sebelum dan sesudah dicampurkan, analisis morfologi sampel, dan analisis termal.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Mengisolasi α -selulosa dari limbah padat tapioka menggunakan metode delignifikasi.
2. Mengetahui pengaruh penambahan poli etilen glikol (PEG) sebagai *plasticizer* pada campuran poli asam laktat dengan selulosa.
3. Karakterisasi campuran poli asam laktat-selulosa dengan dan tanpa *plasticizer* menggunakan FTIR, SEM, dan TGA/DTA.

C. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi cara isolasi α -selulosa dari limbah padat tapioka dan memberikan informasi mengenai pengaruh penambahan polietilen glikol (PEG) pada campuran selulosa dengan poli asam laktat (PAL).

II. TINJAUAN PUSTAKA

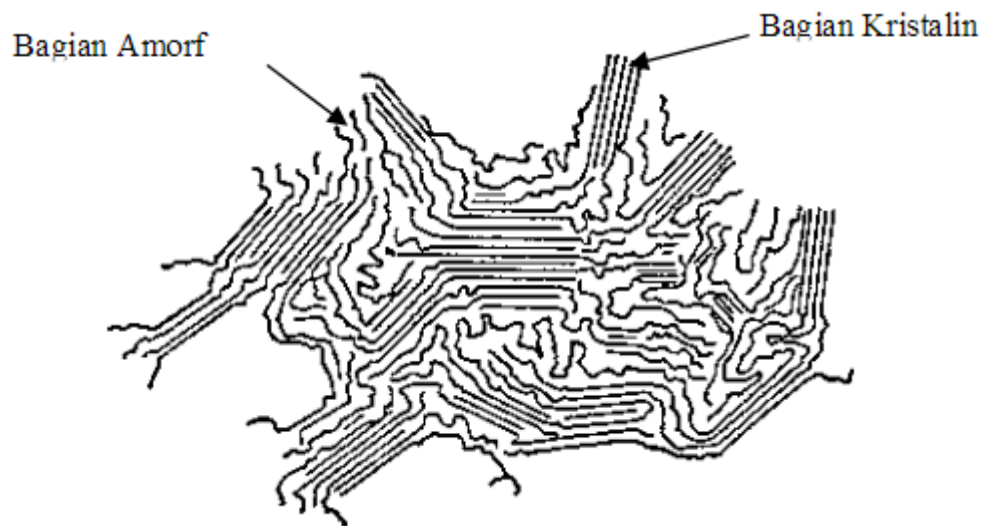
A. Polimer

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari unit-unit berulang sederhana. Polimer dapat ditemukan di alam dan dapat disintesis di laboratorium (Steven, 2001). Polimer tinggi terdapat di alam seperti pati, selulosa, protein, dan kitosan serta dapat disintesis di laboratorium seperti poli vinil klorida, poli vinil alkohol, poli metil metakrilat dan polietilena.

Distribusi berat molekul merupakan satu karakteristik polimer yang penting karena seperti juga berat molekul, distribusi berat molekul sangat mempengaruhi sifat-sifat polimer. Polimer dengan distribusi berat molekul lebar sering disebut sebagai polimer dengan polidispersitas yang tinggi. Pengaturan rantai dari suatu polimer dapat teratur atau acak. Polimer yang susunan rantainya teratur satu sama lain disebabkan oleh adanya ikatan antar rantai yang kuat dan dikenal sebagai polimer kristalin. Sedangkan polimer yang susunan rantainya acak sebagai akibat tidak ada interaksi antar rantai yang cukup kuat dikenal sebagai polimer amorf. Biasanya polimer yang terbentuk memiliki struktur semikristalin, dan nilai kristalinitas dari polimer tersebut biasanya dapat ditentukan dengan menggunakan analisis difraksi sinar-X. Kristalinitas polimer akan sangat menentukan sifat polimer, polimer dengan jenis yang sama jika yang satu bersifat kristalin

sedangkan yang lainnya bersifat amorf maka sifat yang dimiliki kedua polimer tersebut akan sangat berbeda. Fasa amorf dan kristalin dapat dilihat pada Gambar

1.



Gambar 1. Struktur Polimer

Polimer terbentuk dari susunan monomer-monomer melalui proses polimerisasi.

Polimerisasi adalah proses pembentukan polimer dari monomernya. Reaksi tersebut akan menghasilkan polimer dengan susunan ulang tertentu. Proses pembentukan polimer (polimerisasi) dibagi menjadi dua golongan, yaitu polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi (Cowd, 1991).

1. Polimerisasi Adisi

Polimerisasi adisi merupakan polimerisasi yang melibatkan reaksi rantai dan dapat berupa radikal bebas atau beberapa ion yang menghasilkan polimer yang

memiliki atom yang sama seperti monomer dalam gugus ulangnya. Polimer ini melibatkan reaksi adisi dari monomer ikatan rangkap. Contoh polimer ini adalah polietilen, polipropilen dan polivinil klorida.

2. Polimerisasi Kondensasi

Polimerisasi kondensasi terjadi dari reaksi antara gugus fungsi pada monomer yang sama atau monomer yang berbeda. Dalam polimerisasi kondensasi terkadang disertai dengan terbentuknya molekul kecil seperti H_2O , NH_3 atau HCl . Contoh dari polimerisasi kondensasi ini adalah pembentukan protein dari asam amino

Penggolongan polimer berdasarkan asalnya, yaitu yang berasal dari alam (polimer alam) dan di polimer yang sengaja dibuat oleh manusia (polimer sintetis).

1. Polimer Alam

Polimer alam adalah senyawa yang dihasilkan dari proses metabolisme makhluk hidup. Jumlah yang terbatas, kurang stabil dan sukar dibentuk menyebabkan penggunaannya amat terbatas. Contoh sederhana polimer alam seperti, amilum dalam beras, jagung dan kentang, pati, selulosa dalam kayu, protein dalam daging dan karet alam yang diperoleh dari getah atau lateks pohon karet.

2. Polimer sintetis

Polimer buatan dapat berupa polimer regenerasi dan polimer sintetis. Polimer regenerasi adalah polimer alam yang dimodifikasi. Contohnya rayon, yaitu serat sintetis yang dibuat dari kayu (selulosa). Polimer sintetis adalah polimer yang

dibuat dari molekul sederhana (monomer) dalam pabrik atau polimer yang dibuat dari bahan baku kimia disebut polimer sintetis seperti polietena, polipropilena, poli vinil klorida (PVC), dan nilon. Kebanyakan polimer ini sebagai plastik yang digunakan untuk berbagai keperluan baik untuk rumah tangga, industri, atau mainan anak-anak.

Berdasarkan sifatnya terhadap panas, polimer dapat dibedakan atas polimer termoplastik (tidak tahan panas, seperti plastik) dan polimer *termoseting* (tahan panas, seperti melamin).

1. Polimer Termoplastik

Polimer termoplastik adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika polimer jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan didinginkan akan mengeras. Proses tersebut dapat terjadi berulang kali, sehingga dapat dibentuk ulang dalam berbagai bentuk melalui cetakan yang berbeda untuk mendapatkan produk polimer yang baru. Polimer yang termasuk polimer termoplastik adalah jenis polimer plastik. Jenis plastik ini tidak memiliki ikatan silang antar rantai polimernya, melainkan dengan struktur molekul linear atau bercabang. Polimer termoplastik memiliki sifat – sifat khusus sebagai berikut ini:

- a. Berat molekul kecil
- b. Tidak tahan terhadap panas.
- c. Jika dipanaskan akan melunak.
- d. Jika didinginkan akan mengeras.
- e. Mudah untuk diregangkan.

- f. Fleksibel.
- g. Titik leleh rendah
- h. Dapat dibentuk ulang (daur ulang).
- i. Mudah larut dalam pelarut yang sesuai.
- j. Memiliki struktur molekul linear/bercabang.

Contoh plastik termoplastik sebagai berikut:

1. Polietilena (PE): Botol plastik, mainan, bahan cetakan, ember, drum, pipa saluran, isolasi kawat dan kabel, kantong plastik dan jas hujan.
2. Poli vinil klorida (PVC): pipa air, pipa plastik, pipa kabel listrik, kulit sintetis, ubin plastik, piringan hitam, bungkus makanan, sol sepatu, sarung tangan dan botol detergen.
3. Polipropena (PP): karung, tali, botol minuman, serat, bak air, insulator, kursi plastik, alat-alat rumah sakit, komponen mesin cuci, pembungkus tekstil, dan permadani.
4. Polistirena: Insulator, sol sepatu, penggaris, gantungan baju.

2. Polimer *Termoseting*

Polimer *termoseting* adalah polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas. Jika polimer ini dipanaskan, maka tidak dapat meleleh. Sehingga tidak dapat dibentuk ulang kembali. Susunan polimer ini bersifat permanen pada bentuk cetak pertama kali (pada saat pembuatan). Bila polimer ini rusak/pecah, maka tidak dapat disambung atau diperbaiki lagi. Polimer *termoseting* memiliki ikatan-ikatan silang yang mudah dibentuk pada waktu dipanaskan. Hal ini membuat

polimer menjadi kaku dan keras. Semakin banyak ikatan silang pada polimer ini, maka semakin kaku dan mudah patah. Bila polimer ini dipanaskan untuk kedua kalinya, maka akan menyebabkan rusak atau lepasnya ikatan silang antar rantai polimer. Sifat-sifat polimer *termoseting* sebagai berikut ini:

- a. Keras dan kaku (tidak fleksibel)
- b. Jika dipanaskan akan mengeras.
- c. Tidak dapat dibentuk ulang (sukar didaur ulang).
- d. Tidak dapat larut dalam pelarut apapun.
- e. Tahan terhadap asam basa.

B. Singkong

1. Klasifikasi Singkong

Singkong yang juga dikenal sebagai ketela pohon atau ubi kayu adalah pohon tahunan tropika dan subtropika. Tumbuhan ini berdasarkan klasifikasi ilmiahnya tergolong dalam keluarga besar *Euphorbiaceae* dengan nama *Manihot utilissima*. Singkong (*Manihot utilissima*) termasuk tumbuhan berbatang pohon lunak atau getas (mudah patah), berbatang bulat dan bergerigi yang terjadi dari bekas pangkal tangkai daun, bagian tengahnya bergabus dan termasuk tumbuhan yang tinggi, bisa mencapai ketinggian 1-4 meter. Daun ubi kayu memiliki tangkai panjang dan helaian daunnya menyerupai telapak tangan dan tiap tangkai mempunyai daun sekitar 3-8 lembar (Iptek, 2009).

Adapun klasifikasi singkong (*Manihot utilissima*) sebagai berikut:

Kingdom :*Plantae*

Divisi :*Spermatophyta*

Sub divisi :*Angiospermae*

Kelas :*Dicotyledoneae*

Ordo :*Euphorbiales*

Famili :*Euphorbiaceae*

Genus :*Manihot*

Spesies: *Manihot utilissima*

(Soelistijono, 2006).

Adapun komposisi kimia singkong dapat dilihat dari tabel berikut ini :

Tabel 1. Daftar Komposisi Kimia Singkong

Komposisi Kimia (%)	A (Lamiya et al.,2010)	B (Prabawati, 2011)	C (Wikanastri, 2012)
Air	20,00	60,00	14,51
Protein	1,57	1,0	8,11
Lemak	0,26	0,5	1,29
Abu	-	1,0	0,89
Serat Kasar	10,00	2,5	15,20
Pati	68,00	35,00	60,00

Umbi akar singkong banyak mengandung glukosa dan dapat dimakam mentah.

Rasanya sedikit manis, ada pula yang pahit tergantung pada kandungan racun

glukosida yang dapat membentuk asam sianida. Umbi yang rasanya manis

menghasilkan paling sedikit 20 mg HCN per kilogram umbi akar yang masih

segar, dan 50 kali lebih banyak pada umbi yang rasanya pahit. Pada jenis

singkong yang manis proses pemasakan sangat diperlukan untuk menurunkan kadar racunnya. Singkong mengandung HCN dan senyawa ini mudah diserap oleh usus halus terbawa oleh darah keseluruh tubuh yang dapat membahayakan. Kandungan HCN dalam singkong ± 50 mg/kg, tetapi kadar tersebut tergantung pada jenis singkongnya. Dari umbi ini dapat pula dibuat tepung tapioka.

2. Limbah Industri Tapioka

Di sekitar sering kali dijumpai berbagai aktivitas ekonomi masyarakat yang memanfaatkan hasil pertanian. Industri tapioka merupakan salah satu industri yang dominan di Provinsi Lampung. Bahan baku utama industri ini adalah singkong yang biasanya diperoleh dari petani dan perkebunan inti rakyat yang dimiliki oleh industri tersebut (Prayati, 2005). Tidak jarang kegiatan tersebut menimbulkan dampak negatif berupa pencemaran lingkungan. Salah satu kegiatan ini yaitu industri tapioka baik skala rumah tangga atau skala industri. Limbah industri tapioka terdiri dari dua jenis, yaitu limbah cair dan limbah padat. Limbah cair akan mencemari air, sedangkan limbah padat akan menimbulkan bau yang tidak sedap, apabila tidak ditangani dengan tepat.

A. Limbah Cair Tapioka

Proses produksi pembuatan tepung tapioka membutuhkan air yang sangat banyak untuk memisahkan pati dari serat, sehingga buangan (limbah cair) yang dihasilkan oleh pabrik tapioka cukup besar yaitu $40-60 \text{ m}^3$ per ton tapioka yang diproduksi. Kualitas limbah cair industri tapioka biasanya diukur dari konsentrasi padatan

tersuspensi, pH, COD, dan BOD. Spesifikasi mutu standar limbah cair industri tapioka didasarkan pada ketetapan Menteri Lingkungan Hidup tahun 1995. Baku mutu untuk limbah cair industri tapioka dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Baku Mutu Air Limbah Industri Tapioka

Parameter	Kadar maksimal
BOD (5 hari, 20°C)	100 mg/L
COD	250 mg/L
Total padatan tersuspensi	60 mg/L
pH	6-9
Sianida	0,2 mg/L
Debit	25 m ³ per ton produk

(Peraturan Gubernur Lampung Nomor 7, 2010).

B. Limbah Padat Industri Tapioka

1. Meniran Kulit Singkong

Limbah padat industri tapioka berupa meniran kulit singkong (potongan singkong dan kulit singkong) yang bersumber dari proses pengupasan. Limbah meniran terdiri dari 80-90% kulit dan 10-20% potongan singkong dan bonggol. Persentase jumlah limbah kulit singkong bagian luar (berwarna coklat dan kasar) sebesar 0,5-2% dari berat total singkong segar dan limbah kulit singkong bagian dalam (berwarna putih kemerah-merahan dan halus) sebesar 8-15% (Hikmiyati dan Yanie, 2009).

2. Onggok (Ampas Tapioka)

Limbah padat industri tapioka selain meniran kulit singkong adalah ampas tapioka(onggok) yang bersumber dari pengekstraksian dan pengepresan. Dalam industri tapioka dihasilkan 75% onggok tapioka dari total bahan baku yang digunakan. Limbah ini memiliki kandungan protein yang rendah dan serat yang tinggi. Jumlah kandungan ini berbeda dan dipengaruhi oleh daerah tempat tumbuh, jenis ubikayu, dan teknologi pengolahan yang digunakan dalam penanganan ampas itu sendiri (Sumanti *et al*, 2003). Onggok juga termasuk limbah organik yang banyak mengandung karbohidrat, protein dan gula seperti glukosa, arabinosa, xilosa, dekstran dan manosa. Berbeda halnya dengan onggok yang dikeluarkan oleh industri kecil karena tingkat ilmu pengetahuan dan teknologi yang dimiliki masih sangat rendah maka onggok masih mengandung pati dengan konsentrasi yang cukup tinggi (Chardialani,2008). Adapun komposisi onggok (limbah padat industri tapioka) dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Ampas Ubi Kayu / Singkong (Onggok)

Komponen	Persentase (%)
Pati	38,00
Serat kasar (selulosa, hemiselulosa, lignin)	34,58
Lemak	1,09
Protein	2,88
Kadar air	16,55
Abu	6,16

(Basuki dkk, 2013).

Onggok masih memiliki kandungan pati dan serat kasar (selulosa, hemiselulosa, lignin), karena pada saat ekstraksi tidak semua kandungan pati ikut dan tersaring

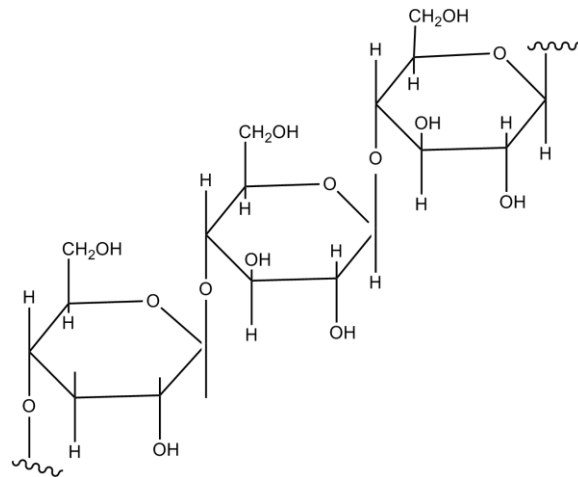
bersama filtrat. Pati dan seratkasar merupakan komponen karbohidrat dalam onggok yang masih potensial untuk dimanfaatkan. Onggok singkong mempunyai sifat fisik yang kurang menguntungkan diantaranya elastisitas, kekerasan, stabilitas mekanik dan peka terhadap kelembaban. Sifat-sifat tersebut dapat ditingkatkan melalui modifikasi, antara lain dengan teknologi pencampuran (*blending*), derivatisasi kimia, dan kopolimerisasi *grafting* (*graft co-polymerization*) (Wang, 2004).

C. Selulosa

Selulosa merupakan polimer glukosa dengan ikatan β -1,4 glukosida dalam rantai lurus. Selulosa mengandung sekitar 50-90% bagian berkrystal dan sisanya bagian amorf (Aziz *et al.*, 2002). Selulosa hampir tidak pernah ditemui dalam keadaan murni di alam, melainkan selalu berikatan dengan bahan lain seperti lignin dan hemiselulosa. Molekul selulosa merupakan mikrofibril dari glukosa yang terikat satu dengan lainnya membentuk rantai polimer yang sangat panjang. Adanya lignin serta hemiselulosa di sekeliling selulosa merupakan hambatan utama untuk menghidrolisis selulosa (Sjostrom, 1995). Secara alamiah molekul-molekul selulosa tersusun dalam bentuk fibril-fibril yang terdiri dari beberapa molekul selulosa yang dihubungkan dengan ikatan glikosidik. Fibril-fibril ini membentuk struktur kristal yang dibungkus oleh lignin. Komposisi kimia dan struktur yang demikian membuat kebanyakan bahan yang mengandung selulosa bersifat kuat dan keras. Sifat kuat dan keras yang dimiliki oleh sebagian besar bahan berselulosa membuat bahan tersebut tahan terhadap peruraian secara enzimatik.

Secara alamiah peruraian selulosa berlangsung sangat lambat (Fan *et al.*, 1982).

Berikut adalah struktur selulosa yang ditunjukkan pada Gambar 2.



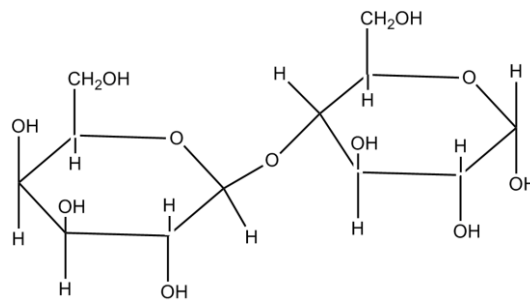
Gambar 2. Struktur Molekul Selulosa.

Berdasarkan derajat polimerisasi dan kelarutan dalam senyawa natrium hidroksida 17,5%, selulosa dapat dibedakan atas tiga jenis yaitu :

1. Alfa Selulosa

Selulosa α (*Alpha Cellulose*) adalah selulosa berantai panjang, tidak larut dalam larutan NaOH 17,5% atau larutan basa kuat dengan derajat polimerisasi 600 - 1500. Selulosa α dipakai sebagai penduga atau penentu tingkat kemurnian selulosa. Selulosa α merupakan kualitas selulosa yang paling tinggi (murni). Selulosa $\alpha > 92\%$ memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan propelan atau bahan peledak, sedangkan selulosa kualitas di bawahnya

digunakan sebagai bahan baku pada industri kertas dan industri sandang/kain. Semakin tinggi kadar alfa selulosa, maka semakin baik mutu bahannya (Nuringtyas, 2010). Struktur alfa selulosa dapat dilihat pada Gambar 3.

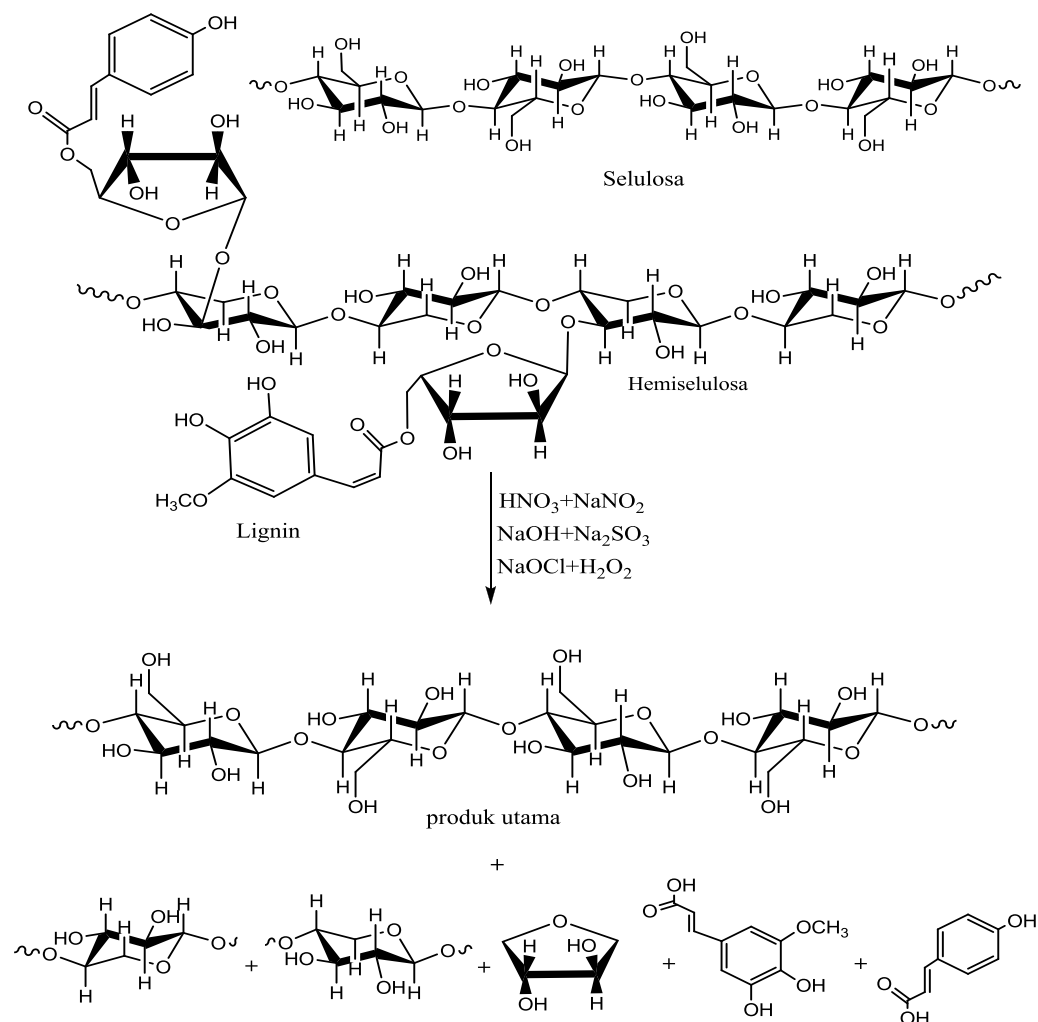


Gambar 3. Struktur α -Selulosa

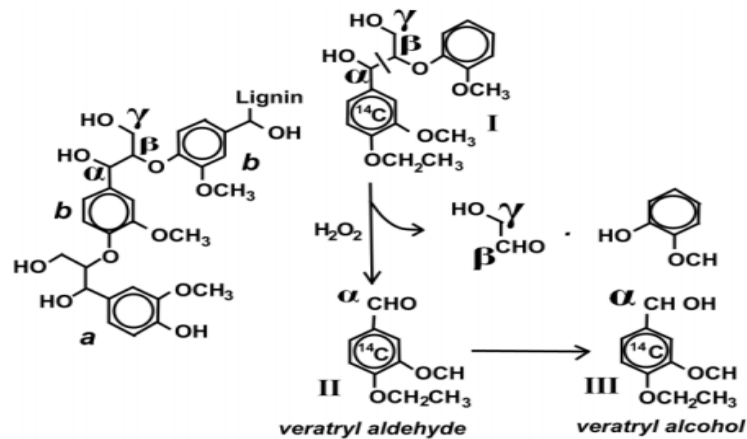
Alfa selulosa dapat disintesis menggunakan metode delignifikasi. Delignifikasi merupakan proses pemisahan lignoselulosa dari ongkok sehingga selulosa, lignin, dan hemiselulosa terpisah. Proses delignifikasi dilakukan dengan penambahan HNO₃ dan NaNO₂, fungsi untuk menghilangkan hemiselulosa dan zat ekstraktif. Selanjutnya sampel ditambah NaOH 2 % dan Na₂SO₃ 2 %. Dalam proses ini komposisi struktur ongkok, yang berupa lignin sebagai lapisan luar akan rusak akibat adanya interaksi dengan basa sehingga selulosa, dan lignin akan terpisah.

Proses selanjutnya adalah pemutihan dengan NaOCl yang berfungsi untuk memecah ikatan eter pada struktur lignin, sehingga selulosa yang didapat berupa *pulp* semakin putih, namun bila berwarna coklat kemungkinan masih ada sisa lignin hasil depolimerisasi. Sisa kromofor ini dapat dihilangkan dengan proses *bleaching* (pemutihan). Kemudian sampel ditambah dengan NaOH 17,5% yang bertujuan untuk menghilangkan lignin yang tersisa serta menghilangkan β -

selulosa dan γ -selulosa. Proses terakhir pemutihan atau *bleaching*. Pada proses ini digunakan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang mempunyai kemampuan melepaskan oksigen yang cukup kuat dan mudah larut dalam air. Hidrogen peroksida dapat memutus ikatan $\text{C}_\alpha - \text{C}_\beta$ molekul lignin dan mampu membuka cincin lignin dan reaksi lain (Othmer, 1992). Proses isolasi α -selulosa dari ongkok melalui proses reaksi yang ditunjukkan pada skema yang disajikan pada Gambar 4. Sedangkan, Mekanisme reaksi proses *bleaching* menggunakan hidrogen peroksida terdapat dalam Gambar 5.



Gambar 4. Skema reaksi isolasi α -selulosa (Nahrowi, 2015).



Gambar 5. Reaksi Peruraian Lignin oleh H_2O_2 .

2. Beta Selulosa

Selulosa β (*Betha Cellulose*) adalah selulosa berantai pendek, larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan derajat polimerisasi 15 - 90, dapat mengendap bila dinetralkan.

3. Gamma Selulosa

Selulosa γ (*Gamma Cellulose*) adalah sama dengan selulosa β , tetapi derajat polimerisasinya kurang dari 15. Bervariasinya struktur kimia selulosa (α , β , γ) mempunyai pengaruh yang besar pada reaktivitasnya. Gugus-gugus hidroksil yang terdapat dalam daerah-daerah amorf sangat mudah dicapai dan mudah bereaksi, sedangkan gugus-gugus hidroksil yang terdapat dalam daerah-daerah kristalin dengan berkas yang rapat dan ikatan antar rantai yang kuat mungkin tidak dapat dicapai sama sekali. Pembengkakan awal selulosa diperlukan baik dalam eterifikasi (alkali) maupun dalam esterifikasi (asam) (Sjostrom, 1995).

Untuk mendapatkan sifat fisik dan kimia yang lebih baik dan memperluas aplikasinya, selulosa dibuat dalam berbagai turunannya diantaranya turunan ester dan eter. Ester selulosa banyak digunakan sebagai serat dan plastik, sedangkan eter selulosa sebagai pengikat dan bahan tambahan untuk mortir khusus atau kimia khusus untuk bangunan dan konstruksi juga stabilisator viskositas pada cat, makanan, produk farmasetik, dan lain-lain. Selain itu modifikasi kegunaannya juga sangat luas mulaidari bidang industri kertas, film transparan, film fotografi, plastik biodegradable sampai untuk membran yang digunakan diberbagai bidang industri (Misdawati, 2005).

Sifat-sifat selulosa terdiri dari sifat fisika dan sifat kimia. Selulosa dengan rantai panjang mempunyai sifat fisik yang lebih kuat, lebih tahan lama terhadap degradasi yang disebabkan oleh pengaruh panas, bahan kimia maupun biologis (Fengel dan Wenger, 1995). Sifat fisik lain dari selulosa adalah sebagai berikut :

- a. Dapat terdegradasi oleh hidrolisa, oksidasi, fotokimia maupun secara mekanis sehingga berat molekulnya menurun.
- b. Tidak larut dalam air maupun pelarut organik, tetapi sebagian larut dalam larutan alkali.
- c. Dalam keadaan kering, selulosa bersifat hidroskopis, keras dan rapuh. Bila selulosa cukup banyak mengandung air maka akan bersifat lunak. Jadi fungsi air disini sebagai pelunak.
- d. Selulosa dalam kristal mempunyai kekuatan lebih baik jika dibandingkan dengan bentuk amorfnya.

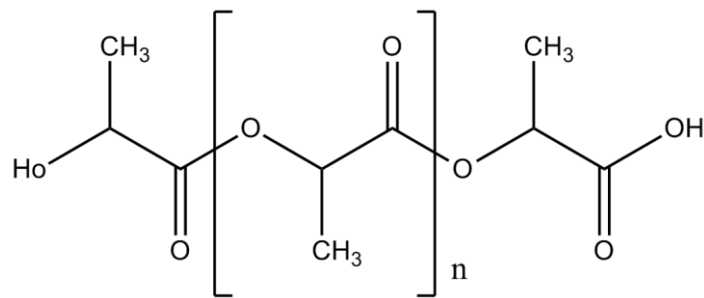
Selulosa mempunyai struktur rantai yang linier, sehingga kristal selulosa menjadi stabil. Polimer ini tidak larut dalam air meskipun bersifat hidrofilik. Hal ini disebabkan karena kristalinitas dan ikatan hidrogen intermolekuler antar gugus hidroksil sangat tinggi. Selulosa hanya dapat larut dengan pelarut yang mampu membentuk ikatan hidrogen dengan selulosa. Adanya ikatan hidrogen tersebut menyebabkan molekul selulosa mengalami pengembangan. Kemampuan mengembang akan semakin meningkat jika ikatan hidrogen yang terbentuk antara selulosa dengan pelarut semakin kuat. Selulosa membentuk kerangka yang dikelilingi oleh senyawa lain yang berfungsi sebagai matriks (hemiselulosa) dan bahan yang melapisi (lignin) (Sjostrom, 1995).

Penggunaan terbesar selulosa di dalam industri adalah berupa serat kayu dalam industri kertas dan produk kertas dan karton. Penggunaan lainnya adalah sebagai serat tekstil yang bersaing dengan serat sintetis. Untuk aplikasi lebih luas, selulosa dapat diturunkan menjadi beberapa produk, antara lain *Microcrystalline Cellulose*, *Carboxymethyl cellulose*, *Methyl cellulose* dan *hydroxypropyl methyl cellulose*. Produk-produk tersebut dimanfaatkan antara lain sebagai bahan anti gumpal, emulsifier, stabilizer, dispersing agent, pengental, dan sebagai *gelling agent*. Turunan selulosa yang dikenal dengan *carboxymethyl cellulose* (CMC) sering dipakai dalam industri makanan untuk mendapatkan tekstur yang baik, misalnya pada pembuatan es krim, pemakaian CMC akan memperbaiki tekstur dan kristal laktosa yang terbentuk akan lebih halus. Turunan selulosa juga digunakan secara luas dalam sediaan farmasi seperti etil selulosa, metil selulosa,

karboksimetil selulosa, dan dalam bentuklainnya yang digunakan dalam sediaan oral, topikal, dan injeksi. Sebagai contoh, karboksimetil selulosa merupakan bahan utama dari seprafilm TM, yang digunakan untuk mencegah adesi setelah pembedahan. Baru-baru ini, penggunaan selulosa mikrokristal dalam emulsi dan formulasi injeksi semi padat telah dijelaskan. Penggunaan bentuk-bentuk selulosa dalam sediaan disebabkan sifatnya yang inert dan biokompatibilitas yang sangat baik pada manusia (Pasquini *et al.*, 2010).

D. Poli Asam Laktat

Poli asam laktat (PAL) merupakan poliester termoplastik linear yang mengandung ikatan ester dan diproduksi dari sumber yang dapat diperbaharui. ikatan ester tersebut menyebabkan PAL dapat terhidrolisis baik melalui reaksi kimia maupun secara enzimatik (Pandey 2004). PAL termasuk kedalam golongan poliester alifatik yang dapat terdegradasi maupun teruraikan di dalam tanah. PAL merupakan bahan serbaguna yang 100 % dibuat dari bahan baku yang dapat didaur ulang seperti jagung, gula, gandum, dan bahan-bahan yang memiliki pati dalam jumlah banyak (Koesnandar, 2004). PAL bersifat biodegradabel karena memiliki beberapa gugus hidroksil pada ujung rantainya. Selain itu juga PAL bersifat biokompatibel artinya polimer ini dapat diterima dalam tubuh tanpa menimbulkan efek berbahaya. PAL merupakan kristal polimer dan mempunyai sifat rapuh, sehingga dalam pembuatannya dibutuhkan *plasticizer* untuk menambah sifat mekanis PAL tersebut. Struktur PAL dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur Poli Asam Laktat (PAL) (Liu *et al*, 2004).

Sintesa poli asam laktat adalah sebuah proses yang terdiri dari beberapa langkah, dimulai dari produksi asam laktat sampai pada tahap polimerisasi. Poli asam laktat dapat diproduksi melalui tiga metode, yaitu:

1. Polikondensasi Langsung (*Direct Condensation-Polymerization*)

Asam laktat yang menghasilkan poli asam laktat dengan berat molekul rendah dan rapuh sehingga sebagian besarnya tidak dapat digunakan kecuali jika ditambahkan *chain coupling agent* untuk meningkatkan panjang rantai polimer.

2. Kondensasi Dehidrasi Azeotropik (*Azeotropic Dehydration Condensation*)

Asam laktat dengan menggunakan pelarut azeotropik, yang dapat menghasilkan poli asam laktat dengan berat molekul mencapai 15.400 dan rendemen sebesar 89%.

3. Polimerisasi Pembukaan Cincin (*Ring Opening Polymerization*)

ROP dilakukan melalui tiga tahapan yaitu polikondensasi asam laktat, depolimerisasi sehingga membentuk dimer siklik (*lactide*) dan dilanjutkan dengan polimerisasi pembukaan cincin, sehingga diperoleh poli asam laktat dengan berat molekul tinggi. Polimerisasi pembukaan cincin menghasilkan poli asam laktat dengan berat molekul 2×10^4 hingga $6,8 \times 10^5$.

Berdasarkan sifat mekanik, *barrier*, fisik, dan kimia PAL mempunyai kombinasi yang cocok untuk digunakan sebagai bahan sekali pakai atau sebagai bahan pengemas makanan. PAL diharapkan dapat menggantikan plastik konvensional karena mempunyai emisi gas CO₂ lebih rendah sehingga dapat mengurangi pemanasan global.

Sifat fisik dan mekanik PAL ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Sifat Fisik dan Mekanik Poli Asam Laktat (PAL)

Kerapatan	1,25
Titik lele	161°C
Kristalinitas	0-1%
Suhu peralihan kaca (Tg)	61°C
Modulus	2050 Mpa
Regangan	9%
Biodegradasi	100
Permeabilitas air	172 g/me
Tegangan permukaan	50mN.nm

(Averous, 2008).

Menurut Botelho (2004), kelebihan poli asam laktat dibandingkan dengan plastik yang terbuat dari minyak bumi adalah :

1. *Biodegradable*, artinya poli asam laktat dapat diuraikan secara alami di lingkungan oleh mikroorganisme.

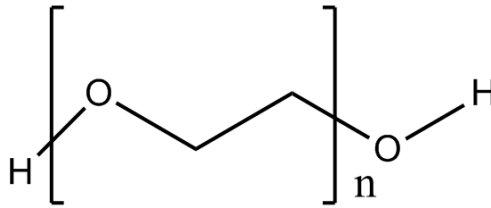
2. *Biocompatible*, dimana pada kondisi normal, jenis plastik ini dapat diterima oleh sel atau jaringan biologi.
3. Dihasilkan dari bahan yang dapat diperbaharui (termasuk sisa industri) dan bukan dari minyak bumi.
4. 100 % *recyclable* (dapat di daur ulang) melalui hidrolisis asam laktat dapat diperoleh dan digunakan kembali untuk aplikasi yang berbeda atau bisa digabungkan untuk menghasilkan produk lain.
5. Tidak menggunakan pelarut organik/bersifat racun dalam memproduksi poli asam laktat.
6. Dapat dibakar sempurna dan menghasilkan gas CO₂ dan air.

Saat ini, PAL sudah digunakan untuk beragam aplikasi, diantaranya dibidang medis, kemasan dan tekstil. Dibidang medis, PAL sudah lama digunakan sebagai benang jahit pada saat operasi serta bahan pembungkus kapsul. Selain itu pada dasawarsa terakhir PAL juga dikembangkan dalam upaya perbaikan jaringan tubuh manusia. PAL juga telah dikembangkan untuk pembuatan kantong plastik (*retail bags*), kontainer, bahkan *edible film* untuk sayuran dan buah. Dalam bentuk film dan bentuk foam digunakan untuk pengemas daging, produk susu, atau roti. Dapat juga digunakan dalam bentuk botol dan cangkir sekali pakai untuk kemasan air, susu, jus dan minuman lainnya, piring, mangkok, nampan, dan tas. Selain itu, dibidang tekstil PAL juga telah diaplikasikan untuk pembuatan kaos dan tas. Di Jepang, PAL bahkan sudah dikembangkan sebagai bahan dasar pembuatan *compact disc* (CD) (Saputro, 2012).

E. Polietilen Glikol (PEG)

Menurut Su (2009) Polietilen glikol adalah senyawa *biocompatible*, sangat hidrofilik dan anti *fouling*. PEG dibuat secara komersial melalui reaksi etilen oksida dengan air atau etilen glikol dengan sejumlah kecil katalis natrium klorida. Jumlah dari etilen glikol menentukan berat molekul PEG yang dihasilkan. PEG umumnya memiliki bobot molekul antara 200-300.000. Penamaan PEG umumnya ditentukan dengan bilangan yang menunjukkan bobot molekul rata-rata. Konsistensinya sangat dipengaruhi oleh bobot molekul. PEG dengan bobot molekul 200-600 (PEG 200-600) berbentuk cair, PEG 1500 semi padat, dan PEG 3000-20.000 atau lebih berupa padatan semi kristalin dan PEG dengan bobot molekul lebih besar dari 100.000 berbentuk seperti resin pada suhu kamar. Umumnya PEG dengan bobot molekul 1.500-20.000 yang digunakan untuk pembuatan dispersi padat (Leuner dan Dressman, 2000). Senyawa glikol dengan berat molekul yang rendah biasanya digunakan untuk larutan kental dimana campuran glikol ini biasanya dimanfaatkan sebagai basis salep larut air (Grosser dan Gmitter, 2011).

PEG merupakan salah satu jenis bahan pembawa yang sering digunakan sebagai bahan tambahan dalam suatu formulasi untuk meningkatkan biokompatibilitas suatu campuran polimer. Polietilen glikol 4.000, 6.000 dan 8.000 berbentuk serbuk putih dengan tekstur seperti lilin dan berwarna seperti parafin. Sangat larut dalam air dan dalam diklorometan, dan sedikit larut dalam alkohol (Sweetman, 2009). Struktur kimia PEG ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur Kimia Poli Etilen Glikol (PEG)

Sifat fisika dan kimia PEG adalah sebagai berikut:

a. Sifat Kimia

Poli etilen glikol (PEG) merupakan senyawa dengan rumus kimia $(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n + 1\text{H}_2\text{O}$ dan rumus struktur $\text{HOCH}_2-(\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2)_n-\text{CH}_2\text{OH}$. PEG merupakan senyawa polimer berantai panjang, tidak berubah (*inert*) dengan berat molekul antara 200-9.500 (Jecfa,1987).

b. Sifat Fisik

Poli etilen glikol memiliki sifat mudah larut dalam air, tidak toksik terhadap tanaman, dan tidak mudah diserap, sehingga menjadikan PEG sebagai senyawa yang efektif untuk menirukan kondisi kekeringan (Mullayhey *et al.*, 1996).

F. Campuran Selulosa – Poli Asam Laktat (PAL)

Banyak upaya telah dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik PAL, termasuk dengan cara pencampuran (*blending*) dengan polimer lainnya, penambahan *plasticizer*, atau pencampuran dengan material yang berukuran mikro atau nano. Bagaimanapun, PAL juga memiliki kekurangan seperti kerapuhan, kekuatan

impact rendah, dan kemampuan dalam menahan deformasi termal yang rendah, yang membatasi aplikasi PLA murni. Salah satu bahan yang paling menjanjikan untuk meningkatkan sifat-sifat PAL adalah selulosa.

Selulosa adalah polimer yang keberadaannya paling melimpah di bumi dan terbarukan. Selulosa memiliki permukaan yang relatif reaktif, sehingga dapat menjadi pilihan yang baik untuk menghasilkan PAL berbasis komposit / nanokomposit yang ramah lingkungan. Penggunaan selulosa sangat terbatas karena selulosa atau nanoselulosa memiliki sensitivitas yang kuat terhadap air dan kelembaban. Ketika dikeringkan selulosa dapat membentuk agregat dan menunjukkan kompatibilitas yang rendah dengan matriks polimer hidrofobik. PAL adalah polimer sintetik apolar mengandung gugus polar seperti $C=O$ yang dapat membantu interaksi, misalnya pembentukan ikatan hidrogen antara selulosa dan PAL.

Poli etilen glikol (PEG) dapat meningkatkan interaksi antar muka antara PAL dan selulosa. Gugus $C-O-C$ dan $O-H$ dari PEG dapat membentuk ikatan hidrogen atau interaksi dipolar antara matriks dan bahan penguat. PEG tidak hanya bertindak sebagai kompatibiliser tetapi sebagai *plasticizer*, sehingga mengurangi kerapuhan dari PAL. Kelompok-kelompok $-OH$ dari rantai PEG diyakini dapat mengembangkan ikatan hidrogen antara polimer dan menggantikan interaksi polimer-polimer (Halasz and Csoka, 2013).

Sebelumnya telah dilakukann penelitian mengenai campuran polimer alam dan polimer sintetik, diantaranya yaitu:

1. Campuran Pati – Poli Vinil Alkohol (Lawton *et al*, 1996)

Pada penelitian ini diketahui bahwa pada saat pengeringan terjadi pemisahan fasa diantara kedua bahan, sehingga diperlukan suatu materi untuk memperbaiki kompatibilitas campuran kedua bahan.

2. Campuran Pati – Poli Asam Laktat (Sun, 2001)

Pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kompatibilitas campuran dan menekan harga produksi plastik *biodegradable*.

3. Campuran Kitosan – Poli Vinil Alkohol (Park *et al*, , 2001)

Pada penelitian ini dilakukan variasi pelarut terhadap campuran kitosan – poli vinil alkohol. Pelarut yang digunakan yaitu asam asetat, asam format, asam sitrat, dan asam malat.

4. Campuran kitosan – poli asam laktat (Suyatna *et al*, 2001)

Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi sensitivitas kitosan terhadap kelembapan dan juga dilakukan uji penyerapan air pada campuran tersebut.

5. Campuran Nanokomposit Selulosa – Poli Asam Laktat (Oksman *et al*., 2006).

Nanokomposit dibuat dari gabungan antara nanoselulosa dengan poli asam laktat (PAL). Namun, pada penelitian kali ini tidak adanya perbaikan sifat mekanik apabila dibandingkan dengan PAL murni dikarenakan penambahan aditif yang tidak cocok (DMAc/LiCl).

G. *PLASTICIZER*

Bahan non volatil dengan berat molekul rendah, mempunyai titik didih tinggi apabila ditambahkan pada material lain dapat merubah sifat material tersebut disebut *plasticizer*. Penambahan *plasticizer* dapat menurunkan kekuatan intermolekular dan meningkatkan fleksibilitas film dan menurunkan sifat barrier film (Kemala, 1998).

Prinsip kerja *plasticizer* adalah membentuk interaksi molekuler rantai polimer untuk meningkatkan kecepatan respon viskoelastis pada polimer. Hal tersebut akan meningkatkan mobilitas molekuler rantai polimer dan akibatnya dapat menurunkan suhu transisi kaca (T_g) (Hammer, 1978).

Kompatibilitas dapat digunakan untuk menjelaskan pencampuran satu polimer dengan polimer lain atau pencampuran polimer dengan bahan aditif yang menyatakan hasil campuran yang dapat bercampur atau tidak. Bila suatu bahan pengisi dengan kompatibilitas tinggi terhadap bahan polimer maka menunjukkan terjadinya pencampuran yang sempurna antara kedua bahan yang bercampur.

Kompatibilitas suatu campuran polimer akan meningkat oleh zat yang ditambahkan pada proses pengolahan (Wirjosentono, 1997). Bila antara bahan adiktif dengan polimer tidak terjadi interaksi, maka akan terjadi campuran koloid yang tidak mantap (polimer dan *plasticizer* tidak kompatibel) dan menghasilkan sifat fisik polimer berkualitas rendah (Wirjosentono, 1997). Ikatan-ikatan yang terbentuk antara polimer dengan *plasticizer* diduga merupakan ikatan hidrogen (Spink dan Waychoff, 1958).

Poli etilen glikol, dietilen glikol dan dimetil ftalat merupakan beberapa jenis *plasticizer* yang banyak digunakan pada industri plastik. *Plasticizer* dari kelompok etilen glikol banyak digunakan pada industri plastik terutama untuk pembuatan serat poliester dan resin, termasuk poli etilen terephthalate yang digunakan dalam produksi botol plastik untuk minuman ringan (botol PET).

H. Proses *Freeze-Drying*

Freeze-drying adalah proses yang telah digunakan secara luas untuk mengeringkan dan memperbaiki kestabilan dari berbagai macam produk farmasi seperti : virus, vaksin, protein, peptida atau *colloidal carriers*: liposom, nanopartikel, nanoemulsi. Proses *Freeze-drying* dapat dibagi menjadi 3 tahapan yaitu *freezing* (pengerasan), *primary drying* (sublimasi es) dan *secondary drying* (desorpsi air yang tidak dapat membeku).

1. Tahap *Freezing*

Freezing adalah tahapan pertama dalam *freeze-drying*. Dalam tahap ini, suspensi larutan didinginkan, dan kristal es dari air murni terbentuk. Karena proses *freezing* terus berlanjut, maka ada semakin banyak air dalam cairan yang membeku. Hal ini menyebabkan meningkatnya konsentrasi dari cairan yang tertinggal. Ketika suspensi cairan menjadi lebih terkonsentrasi, peningkatan viskositasnya menghalangi kristalisasi lebih lanjut. Cairan yang mengeras dengan konsentrasi dan viskositas yang tinggi ini berfasa amorf,

kristal atau gabungan amorf-kristal. Sebagian kecil air yang tertinggal dalam cairan dan tidak membeku disebut *bound water*.

2. Tahap *Primary Drying*

Tahap *primary drying* melibatkan sublimasi es dari produk yang membeku.

Dalam tahap ini:

1. Panas berpindah dari *shelf* kelarutan yang membeku melalui *tray* dan *vial*, dan terjadilah sublimasi.
2. Es yang tersublimasi dan uap air yang terbentuk keluar melewati bagian yang kering dari produk menuju permukaan sampel.
3. Uap air berpindah dari permukaan produk ke kondensor melalui *chamber*.
4. Uap air terkondensasi di dalam kondensor. Di akhir tahap sublimasi terbentuklah bagian yang berpori-pori. Tiap-tiap pori cocok dengan ruangan yang diisi dengan kristal es.

3. Tahap *Secondary Drying*

Tahap *secondary drying* melibatkan penghilangan air yang diserap dari produk. Ini adalah air yang tidak dapat dipisahkan sebagai es pada tahap *freezing*, dan juga tidak dapat tersublimasi. Ukuran sistem yang khas dari *freeze dryer* terdiri dari *drying chamber* mengandung shelves yang dapat diatur temperaturnya, yang dihubungkan dengan kondensor *chamber* melalui katup besar. Kondensor *chamber* merupakan tempat dari rangkaian *plates*

atau *coil* yang temperaturnya dapat dipertahankan pada titik yang sangat rendah (di bawah -50°C)

Setelah campuran polimer distabilkan dengan pengeringan menggunakan *freeze dryer*, selanjutnya campuran polimer dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR, SEM dan TGA.

I. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Fourier Transform Infra Red (FTIR) merupakan suatu metode spektroskopi *infra red*. Spektroskopi *infra red* (IR) dapat mengidentifikasi kandungan gugus kompleks dalam senyawa tetapi tidak dapat menentukan molekul unsur penyusunnya. Pada spektroskopi IR, radiasi IR dilewatkan pada sampel. Sebagian dari radiasi IR diserap oleh sampel dan sebagian lainnya diteruskan. Jika frekuensi dari suatu vibrasi spesifik sama dari frekuensi radiasi IR yang langsung menuju molekul, molekul akan menyerap radiasi tersebut. Spektrum yang dihasilkan menggambarkan absorpsi dan transmisi molekul, membentuk sidik jari molekul suatu sampel. Karena bersifat sidik jari, tidak ada dua struktur molekul unik yang menghasilkan spektrum IR yang sama (Kencana, 2009).

Sistem optik spektrofotometer FTIR dilengkapi dengan cermin yang bergerak tegak lurus dan cermin diam. Dengan demikian radiasi IR akan menimbulkan perbedaan jarak yang ditempuh menuju cermin yang bergerak dan jarak cermin yang diam. Perbedaan jarak tempuh radiasi tersebut selanjutnya disebut sebagai retardasi (δ). Hubungan antara intensitas radiasi IR yang diterima detektor

terhadap retardasi disebut sebagai interferogram. Sedangkan sistem optik dari Spektrofotometer IR yang didasarkan atas bekerjanya interferometer disebut sebagai sistem optik.

Menurut Dachriyanus (2004), spektrofotometer inframerah pada umumnya digunakan untuk:

- 1) Menentukan gugus fungsi suatu senyawa organik.
- 2) Mengetahui informasi struktur suatu senyawa organik dengan membandingkan daerah sidik jarinya.

Manfaat lain dari spektrum IR memberikan keterangan tentang molekul. Kisaran serapan yang kecil dapat digunakan untuk menentukan tipe ikatan. Untuk memperoleh interpretasi lebih jelas dibutuhkan tabel korelasi dari IR. Pada saat menentukan puncak dari gugus spesifik dalam daerah spektrum IR biasanya vibrasi ulur lebih bermanfaat. Daerahnya dapat dibagi menjadi empat daerah disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Korelasi Inframerah

Rentang (cm^{-1})	Jenis Ikatan
3700-2500	Ikatan tunggal ke hidrogen
2300-2000	Ikatan rangkap tiga
1900-1500	Ikatan rangkap dua
1400-650	Ikatan tunggal selain ke hidrogen

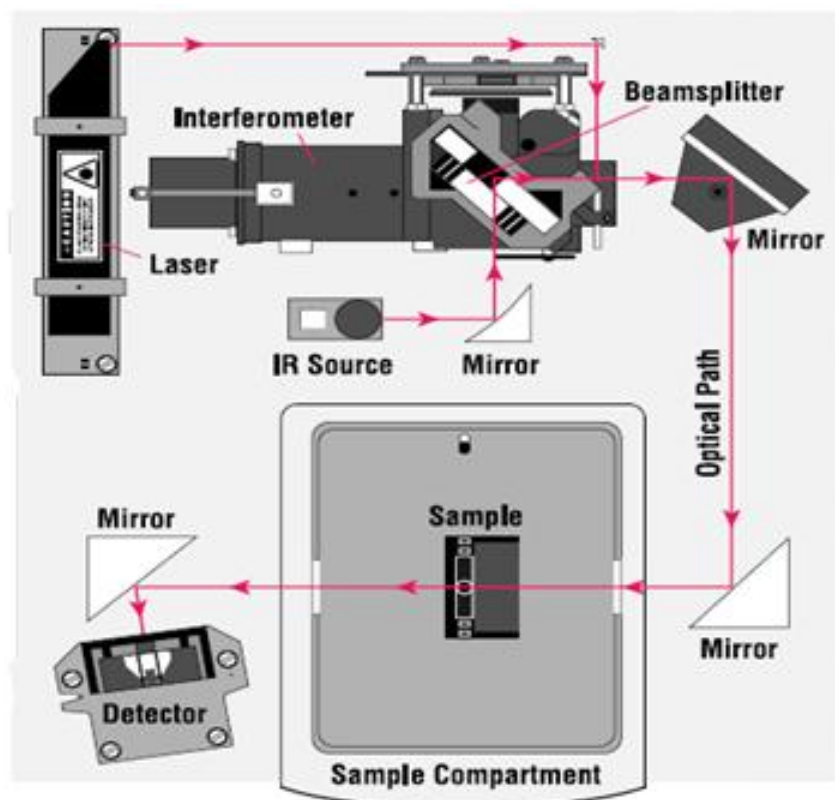
Cahaya tampak terdiri dari beberapa *range* frekuensi elektromagnetik yang berbeda dimana setiap frekuensi bisa dilihat sebagai warna yang berbeda. Radiasi IR juga mengandung beberapa range frekuensi tetapi tidak dapat dilihat oleh mata. Pengukuran pada spektrum IR dilakukan pada daerah cahaya IR tengah (*mid-infrared*) yaitu pada panjang gelombang 2,5-50 μm atau bilangan gelombang 4000-200 cm^{-1} . Jika suatu frekuensi tertentu dari radiasi IR dilewatkan pada sampel suatu senyawa organik maka akan terjadi penyerapan frekuensi oleh senyawa tersebut. Detektor yang ditempatkan pada sisi lain dari senyawa akan mendeteksi frekuensi yang dilewatkan pada sampel yang tidak diserap oleh senyawanya. Banyaknya frekuensi yang melewati senyawa (yang tidak diserap) akan diukur sebagai persen transmittan. Energi yang dihasilkan oleh radiasi ini akan menyebabkan vibrasi atau getaran pada molekul. Pita absorpsi IR sangat khas dan spesifik untuk setiap tipe ikatan kimia atau gugus fungsi. Metode ini sangat berguna untuk mengidentifikasi senyawa organik dan organometalik. Persen transmittan 100 berarti tidak ada frekuensi IR yang diserap oleh senyawa. Pada kenyataannya, hal ini tidak pernah terjadi. Selalu ada sedikit dari frekuensi ini yang diserap dan memberikan suatu transmittan sebanyak 95%. Transmittan 5% berarti bahwa hampir seluruh frekuensi yang dilewatkan diserap oleh senyawa. Serapan yang sangat tinggi ini akan memberikan informasi penting tentang ikatan dalam senyawa ini.

Ewing, GW (1985) menyatakan bahwa penyerapan radiasi IR ditentukan dari peningkatan energi vibrasi atau rotasi yang dihubungkan dengan ikatan kovalen,

asalkan berupa peningkatan hasil dalam mengubah momen dipol dari molekul. Ini berarti hampir seluruh molekul yang mengandung ikatan kovalen akan menunjukkan beberapa tingkat penyerapan tertentu dalam IR,

Berikut ini beberapa kelebihan menggunakan spektroskopi inframerah:

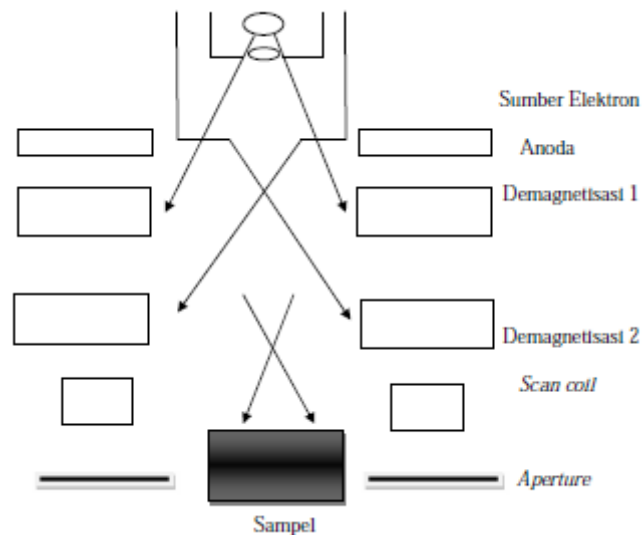
- Merupakan teknik yang cepat.
- Dapat digunakan untuk identifikasi gugus fungsi tertentu dari suatu molekul
- Spektrum inframerah yang diberikan untuk suatu senyawa bersifat unik sehingga dapat digunakan sebagai sidik jari dari senyawa tersebut. Skema peralatan FTIR ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema Peralatan FTIR (Harley dan Wiberley, 1954).

J. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

SEM adalah suatu instrumen penghasil berkas elektron pada permukaan spesimen target dan mengumpulkan serta menampilkan sinyal-sinyal yang diberikan oleh material target. Pada prinsipnya SEM terdiri dari kolom elektron, ruang sampel, dan sistem vakum. Dalam hal analisis morfologi kopolimer penggunaan alat SEM berkembang luas. Prinsip analisis menggunakan SEM adalah dengan sinyal elektron sekunder dapat dilihat pada skema Gambar 9.



Gambar 9. Skema Peralatan SEM.

Teknik SEM pada dasarnya merupakan pemeriksaan dan analisis permukaan. Data yang diperoleh merupakan data dari permukaan atau lapisan yang tebalnya sekitar 20 μ m dari permukaan. Gambar permukaan yang diperoleh merupakan topografi dengan segala tonjolan, lekukan dan lubang pada permukaan. Gambar topografi diperoleh dengan penangkap elektron sekunder yang dipancarkan oleh

spesimen. Sampel yang akan dianalisis dengan menggunakan teknik ini harus mempunyai permukaan dengan konduktivitas yang tinggi, karena polimer mempunyai konduktivitas yang rendah maka bahan perlu dilapisi dengan bahan konduktor (bahanpengantar) yang tipis. Bahan yang biasa digunakan adalah perak, tetapi jika dianalisis dalam waktu yang lama lebih baik menggunakan emas atau campuran emas dan palladium. Berkas elektron diarahkan pada suatu permukaan spesimen yang telah dilapisi oleh suatu film konduktor. Pelapisan ini bertujuan agar polimer yang digunakan dapat menghantarkan arus listrik sehingga dapat berinteraksi dengan berkas elektron. Berkas elektron yang berinteraksi dengan spesimen dikumpulkan untuk mengetahui intensitas elektron pada suatu tabung televisi yang diarahkan serentak dengan sinar dari mikroskop. Interaksi berkas elektron dengan spesimen akan menghasilkan pola difraksi elektron yang dapat memberikan informasi mengenai kristalografi, jenis unsur serta distribusinya dan morfologi dari permukaan bahan (Wu *et al*, 2007).

K. DTA/TGA (*Differential Thermal Analysis/Thermogravimetric Analysis*)

Differential Thermal Analysis (DTA) adalah suatu teknik analisis termal dimana perubahan material diukur sebagai fungsi temperatur. DTA digunakan untuk mempelajari sifat termal dan perubahan fasa akibat perubahan entalpi dari suatu material. Selain itu, kurva DTA dapat digunakan sebagai *finger print* material sehingga dapat digunakan untuk analisis kualitatif. Metode ini mempunyai kelebihan antara lain dapat digunakan pada temperatur tinggi, bentuk dan volume sampel yang fleksibel, serta dapat menentukan temperatur reaksi dan temperatur

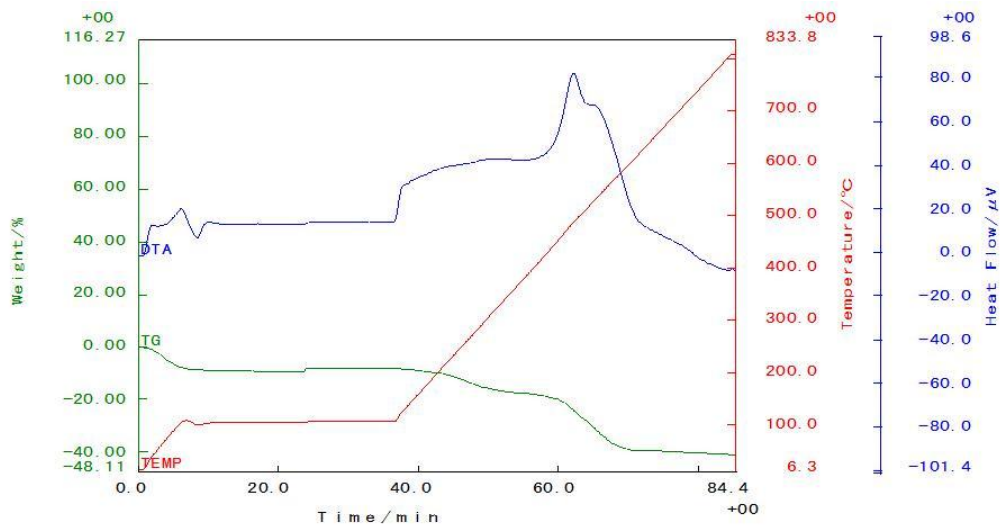
transisi sampel (Steven, 2001).

Prinsip analisis DTA adalah pengukuran perbedaan temperatur yang terjadi antara material sampel dan pembanding sebagai hasil dari reaksi dekomposisi. Sampel adalah material yang akan dianalisis, sedangkan material referensi adalah material dengan substansi yang diketahui dan tidak aktif secara termal. Dengan menggunakan DTA, material akan dipanaskan pada temperatur tinggi dan mengalami reaksi dekomposisi. Dekomposisi material ini diamati dalam bentuk kurva DTA sebagai fungsi temperatur yang diplot terhadap waktu. Reaksi dekomposisi dipengaruhi oleh efek spesi lain, rasio ukuran dan volume, serta komposisi materi. Umumnya DTA digunakan pada kisaran temperatur 190-1600 °C. Sampel yang digunakan sedikit, hanya beberapa miligram. Hal ini dilakukan untuk mengurangi masalah gradien termal akibat sampel terlalu banyak yang menyebabkan berkurangnya sensitivitas dan akurasi instrumen.

Thermogravimetric Analysis (TGA) adalah suatu teknik analisis untuk menentukan stabilitas termal suatu material dan fraksi komponen *volatile* dengan menghitung perubahan berat yang dihubungkan dengan perubahan temperatur. Seperti analisis ketepatan yang tinggi pada tiga pengukuran antara lain: berat, temperatur, dan perubahan temperatur. Suatu kurva hilangnya berat dapat digunakan untuk mengetahui titik hilangnya berat (Steven, 2001).

Thermogravimetri adalah teknik untuk mengukur perubahan berat dari suatu senyawa sebagai fungsi dari temperatur ataupun waktu. TGA biasanya digunakan riset dan pengujian untuk menentukan karakteristik material seperti polimer, untuk menentukan penurunan temperatur, kandungan material yang diserap,

komponen anorganik dan organik di dalam material, dekomposisi bahan yang mudah meledak, dan residu bahan pelarut. TGA juga sering digunakan untuk kinetika korosi pada oksidasi temperatur tinggi. Contoh hasil analisa TGA dari sampel yang mengandung karbon disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Analisa TGA dari Sampel Yang Mengandung Karbon.

Untuk garis hijau adalah grafik weight loss (TG) fungsi waktu, sedangkan merah adalah temperatur fungsi waktu sedangkan biru adalah DTA fungsi waktu. Bisa dilihat pada grafik TG pada suhu sekitar 100°C, 200°C dan 500°C terjadi penurunan berat yg signifikan yg kemungkinan besar dikarenakan kehilangan air, unsur volatil dan karbon secara berurutan. Bentuk alat TGA/DTA disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Alat TGA/DTA seri 7000 dengan Autosampler (Grega *et al.*, 2009).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari-Mei 2017 di Laboratorium Kimia Organik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Analisis FTIR dilaksanakan di Institut Teknologi Bandung, analisis SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan analisis TGA dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan adalah gelas beker, Erlenmeyer, pipet tetes, gelas ukur, oven, refluks, kertas saring, indikator universal, aluminium foil, neraca analitik, pengaduk, gunting, penangas, saringan, *stopwatch*, batang pengaduk, *hot plat stirrer*, termometer, lemari asam, cawan petri, *freezer-drying*, instrumen spektroskopi FT-IR, instrumen SEM, dan instrumen TGA. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan adalah Onggok Singkong, larutan HNO_3 3,5%, senyawa NaNO_2 , larutan NaOH 2%, larutan Na_2SO_3 2%, larutan NaOCl 1,75%, larutan NaOH 17,5%, H_2O_2 10%, poli asam laktat, polietilen glikol,

kloroform, kalium kromat, HCl 3,5M, indikator ferroin, ferro ammonium sulfat (FAS), etanol dan akuades .

C. Prosedur Penelitian

1. Preparasi Onggok Singkong

Sampel yang berupa onggok diambil dari pabrik Tapioka di Desa Sumberagung, Batanghari, Lampung Timur dijemur di bawah sinar matahari selama tiga hari, agar benar-benar kering dan siap memasuki proses selanjutnya.

2. Isolasi Selulosa dari Limbah Padat Tapioka (Onggok) (Harahap *et al*, 2012)

Sebanyak 75 gram Onggok Singkong dimasukkan ke dalam gelas kimia, kemudian ditambahkan 1 L campuran HNO_3 3,5% dan 10 mg NaNO_2 , dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 90°C selama 2 jam. Setelah itu disaring dan ampas dicuci hingga filtrat netral. Selanjutnya direfluks dengan 750 ml larutan yang mengandung NaOH 2% dan Na_2SO_3 2% pada suhu 60°C selama 1 jam. Kemudian disaring dan ampas dicuci sampai netral. Selanjutnya dilakukan pemutihan dengan 250 ml larutan NaOCl 1,75% pada temperatur mendidih selama 30 menit. Kemudian disaring dan ampas dicuci sampai pH filtrat netral. Setelah itu dilakukan pemurnian α -selulosa dari sampel dengan 500 mL larutan NaOH 17,5% pada suhu 80°C selama 30 menit. Kemudian disaring, dicuci hingga filtrat netral. Dilanjutkan pemutihan dengan H_2O_2 10% pada suhu 60°C selama 30 menit, lalu dikeringkan dalam oven selama 30 menit.

3. Penentuan Kadar α -selulosa menggunakan metode uji SNI 0444:2009

Timbang sampel berupa selulosa 1,5 g. Sampel dimasukkan ke dalam gelas piala dan tambahkan 75 mL larutan natrium hidroksida 17,5%. Catat waktu pada saat larutan natrium hidroksida ditambahkan. Aduk pulp dengan alat sampai terdispersi sempurna. Hindari terjadinya gelembung udara dalam suspensi pulp selama proses pengadukan. Ketika pulp telah terdispersi, angkat pengaduk dan bersihkan pulp yang menempel pada ujung batang pengaduk.

Bilas batang pengaduk dengan 25 mL larutan natrium hidroksida 17,5%, tambahkan ke dalam gelas piala, sehingga total larutan yang ditambahkan ke dalam pulp adalah 100 mL. Aduk suspensi pulp dengan batang pengaduk dan simpan dalam penangas 25 °C. Setelah 30 menit dari penambahan pertama larutan natrium hidroksida, tambahkan 100 mL akuades suhu 25 °C pada suspensi pulp dan aduk segera dengan batang pengaduk. Simpan gelas piala dalam penangas untuk 30 menit berikutnya sehingga total waktu ekstraksi seluruhnya sekitar 60 menit. Setelah 60 menit, aduk suspensi dengan batang pengaduk dan tuangkan ke dalam corong masir. Buang 10 mL sampai 20 mL filtrat pertama, kemudian kumpulkan filtrat sekitar 100 mL dalam labu yang kering dan bersih. Pulp jangan dibilas atau dicuci dengan akuades dan jaga agar tidak ada gelembung yang melewati pulp pada saat menyaring. Pipet filtrat 25 mL dan 10 mL larutan kalium dikromat 0,5 N ke dalam labu 250 mL. Tambahkan dengan hati-hati 50 mL asam sulfat pekat dengan menggoyang labu. Biarkan larutan tetap panas selama 15 menit, panaskan pada suhu 125 °C sampai 135 °C kemudian tambahkan 50 mL aquades dan dinginkan pada suhu ruangan. Tambahkan 2 tetes sampai 4 tetes

indikator ferroin dan titrasi dengan larutan ferro ammonium sulfat(FAS) 0,1 N sampai berwarna ungu. Pada kelarutan pulp tinggi (kandungan selulosa alfa rendah), titrasi balik dikromat kurang dari 10 mL, volume filtrat dikurangi menjadi 10 mL dan penambahan asam sulfat menjadi 30 mL. Lakukan titrasi blanko dengan mengganti filtrat pulp dengan 12,5 mL larutan natrium hidroksida 17,5% dan 12,5 mL akuades. Hasil analisis yang dapat ditentukan keadaan yang paling optimum menggunakan rumus berikut:

$$X = 100 - \frac{6,85 (V_1 - V_2) \times N \times 20}{A \times W}$$

Keterangan :

X= α -selulosa, dinyatakan dalam persen (%);

V1 = volume titrasi blanko, dinyatakan dalam mililiter (mL);

V2 = volume titrasi filtrat pulp, dinyatakan dalam mililiter (mL);

N = normalitas larutan ferro ammonium sulfat;

A = volume filtrat pulp yang dianalisa, dinyatakan dalam mililiter (mL);

W = berat kering oven contoh uji pulp, dinyatakan dalam gram (g).

4. Sintesis Selulosa-Poli Asam Laktat (PAL)

a. Tanpa *Plasticizer*

Selulosa dilarutkan ke dalam HCL 3,5 M sebanyak 50 mL ditambahkan dengan poli asam laktat dalam kloroform yang telah *diwaterbath* pada suhu 50°C selama 2 jam. Dengan komposisi campuran selulosa terhadap poli asam laktat 1:5 (w/w).

Kemudian campuran tersebut diaduk dengan *magnetik stirer* selama 3 jam sampai homogen. Lalu ditambahkan dengan etanol yang bertindak sebagai *emulsifier* dan diaduk kembali selama 1 jam. Selanjutnya, campuran tersebut didiamkan selama 24 jam, kemudian disaring dan *difreeze-drying*.

b. Dengan *Plasticizer* (Polietilen Glikol)

Selulosa dilarutkan kedalam HCL 3,5M sebanyak 50 mL ditambahkan dengan poli asam laktat (PAL) dalam kloroform yang telah *diwaterbath* pada suhu 50°C selama 2 jam, serta ditambahkan dengan polietilen glikol (PEG). Dengan perbandingan komposisi campuran selulosa-PEG-PAL 1:0,5:5, 1:1:5, dan 1:1,5:5 (w/w). Kemudian campuran tersebut diaduk dengan *magnetik stirer* selama 3 jam sampai homogen. Lalu ditambahkan dengan etanol yang bertindak sebagai *emulsifier* dan diaduk kembali selama 1 jam. Selanjutnya, campuran tersebut didiamkan selama 24 jam, kemudian disaring dan *difreeze-drying*.

5. Karakterisasi dengan FTIR

Analisis bubuk kering yang diperoleh menggunakan FTIR dilakukan dengan cara 0,2 mg sampel yaitu selulosa, poli asam laktat (PAL), polietilen glikol (PEG), selulosa-PAL, dan selulosa-PEG-PAL dicampur dengan 2 mg KBr dan dibentuk menjadi pellet. Pellet dari sampel kemudian dimasukkan ke instrumen FTIR dengan λ 4000-400 cm^{-1} .

6. Karakterisasi dengan SEM

Analisis SEM menggunakan alat JEOL T330A dengan metode *secondary electron*. Metode ini yaitu pembentukan gambar dihasilkan dari elektron yang telah bertumbukan dengan spesimen yang sebelumnya sampel dilapisi dengan emas 99% selama 3 menit dengan arus 230 A

7. Karakterisasi dengan TGA

Polimer yang dihasilkan kemudian diuji dekomposisi material polimer menggunakan alat TGA. Sampel ditimbang sekitar 3-6 mg dan dimasukkan ke dalam *thermocouple* yang terbuat dari alumunium. *Thermocouple* yang berisi sampel dan material referensi kemudian ditempatkan dalam *furnace*. Analisis dilakukan pada suhu 30-600°C dengan pengaturan kenaikan suhu sebesar 10°C/menit.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Adapun simpulan dari hasil pembahasan ini sebagai berikut:

1. Alfa selulosa berhasil diisolasi dengan baik dengan metode delignifikasi dan diperoleh kadar α -selulosa sebesar 94,23% dan rendemen sebesar 13,3%.
2. Pada analisis FTIR dengan penambahan PEG menyebabkan sedikit pergeseran ke bilangan gelombang yang lebih rendah, mengindikasikan bahwa ikatan hidrogen terbentuk antara C=O PAL (1759,08-1749,06 cm^{-1}) dan -OH selulosa (3429,43-3338,50 cm^{-1}).
3. Pada analisis SEM, permukaan morfologi selulosa-PAL menjadi semakin tidak merata dengan penambahan PEG. Sehingga dengan semakin tidak meratanya permukaan morfologi campuran, maka semakin baik sifat mekaniknya.
4. Pada analisis TGA/DTA diperoleh data bahwa campuran selulosa-PAL (1:5 w/w) memiliki kestabilan termal yang paling rendah dan campuran selulosa-PEG-PAL (1:1,0:5 w/w) memiliki kestabilan paling tinggi.

B. Saran

Adapun saran untuk penelitian berikutnya yaitu supaya menggunakan selulosa dengan ukuran nano, supaya selulosa lebih mudah terdispersi dalam matriks PAL, dan juga dilakukan uji mekanik terhadap campuran polimer tersebut, serta uji lain untuk aplikasi yang lebih lanjut

DAFTAR PUSTAKA

- Arnata, I.W. 2009. *Pengembangan Alternatif Teknologi Bioproses Pembuatan Bioetanol dari Ubi Kayu Menggunakan Trichoderma viride, Aspergillus niger dan Saccharomyces cerevisiae*. Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Auras, R. 2002. *Poly (Lactic Acid) Film as Food Packaging Materials*. Environmental Conference. USA.
- Auras, R., L.K. Lim., S.M. Selke., dan H. Tsuji. 2010 . *Poly Lactid Acid :Synthesis, Stuctures, Properties, Processing, and Applications*. John Wiley and Son, Inc. New Jersey.
- Averous, L., 2008 . *Polylactic Acid: Synthesis, Properties and Applications dalam Monomers Polymers and Composites from Renewable Resources* (Ed Mohamed Naceur Belgacem dan Alessandro Gandini), 1st Edition, Chapter 21. Elsevier Ltd: Amsterdam
- Aziz A.A., M. Husin, dan A. Mokhtar. 2002. Preparation of Cellulose from Oil Palm Empty Fruit Bunches Via Ethanol Digestion: Effect of Acid and Alkali Catalysts. *Journal of Oil Palm Research*. **14** (1): 9-14.
- Badan Pusat Statistik Propinsi Lampung. 2011. *Lampung Dalam Angka*. Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. Lampung.
- Basuki, Tanuwidjaja, dan R. Wiryasmita. 2013. *Improvement of the Nutritif Value of Straw by Biological Treatment*. Bioconversion Project Second Workshop on Crop Basidues for Feed and Other Purpose, Grati.
- Botelho, Thiago, Nadia, Teixeira dan Felipe. 2004. *Polylactic Acid Production from Sugar Molasses*. International Patent WO 2004/057008 A1.
- Budi, Gunawan, dan Azhari. 2010. *Karakterisasi Spektrofotometri IR dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Sensor Gas dari Bahan Polimer Polietilen Glikol (PEG)*. ITS. Surabaya.

- Chardialani, A. 2008. *Studi Pemanfaatan Onggok Sebagai Bioimmobilizer Mikroorganisme Dalam Produksi Biogas dari Limbah Cair Industri Tapioka.*(Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Cheong, K.S., Balasubramanian, J.R., Hung, Y.P., Chuong, W.S., and Rajan Amartalingan. 2010. Development of Biodegradable Plastic Composite Blends Based on Sago Derived Starch and Natural Rubber: *J. Sci. and Technol.* **18** (2) : 411-420.
- Cowd, M.A. 1991. *Kimia Polimer*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi Cetakan I*. Andalas University Press. Padang. pp. 39
- Ewing, G.W. 1975. *Instrumental Methodes of Chemical Analysis*”, 4th Edition. McGraw-Hill Kogakhusya, Ltd. pp.148-162,
- Fahmi, N. 2008. *Pengolahan Tapioka Secara Industri*. <http://digilib.unimus.ac.id/files/106jtpunimus-gdl-nurulfahmi-52563.pdf>. Diakses Tanggal 25 Juni 2016.
- Fan L.T, Lee, Y.H., and Gharpuray, M.M. 1982. The Nature of Lignocellulosic and Their Pretreatment for Enzymatic Hydrolysis. *Journal Biochemistry Enginerig.* **23** : 158-187.
- Fangliyan, Y., C. Wei., W. Hao, dan Liu. 1994. Film Cytocompatible Poly (Kitosan-g-L-Lactate Acid). *Journal of Applied Polymer Science.* **14** : 345-351.
- Feng, W., Bai, X.D.; Lian, Y.Q., Liang, J., Wang, X.G. dan Yoshino, K. 2003. *Well Aligned Polyaniline/Carbon Nanotube Composite Films Grown by in-Situ Aniline Polymerization, Carbon.* **41**: 1551 –1557.
- Fengel, D. dan G.Wenger. 1995. *Kayu, Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-Reaksi*.Edisi 1. Gajah Mada Press. Yogyakarta.
- Grege, Klancnik, J. Medved, and P. Mrvar. 2009. *Differential Thermal Analysis (DTA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC) as a Method of Material Investigation*. RMZ-Materials and Geoenviroment. pp. 127-142.
- Grosser J.W and F.G. Gmitter. 2011. *Protoplast fusion for production of tetraploids and triploids: applications for scion and rootstock breeding in Citrus*. Plant Cell Tissue and Organ Culture. **104**: 343–357.

- Guo C, Y. Yuan., T. Yue., S. Hatab., and Z.Wang. 2012. Binding mechanism of patulin to heat-treated yeast cell. *Lett Appl Microbiol.* **55**: 453-9
- Halasz, K dan L. Csoka. 2013. Plasticized Biodegradable Poly (*Lactid Acid*) Based Composites Composites Containing Cellulose in Micro and Nanosize. *Journal of Engineering.* **13** : 9-13.
- Hammer, C.F. 1978. *Polymer Plasticizer*. Academic Press Inc. New York.
- Harahap, Mahyuni, Thamrin, dan Saharman Gea. 2012. *Pembuatan Selulosa Asetat Dari α -Selulosa Yang Diisolasi Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Jurnal FMIPA USU.
- Harley dan J. Wiberley. 1954. *Instrument Analysis*. John Wiley and Sons. NewYork.
- Hasan, M., Iqbal., danN.A. Peppas . 2007. Plastik Ramah Lingkungan dari Polikaprolakton dan Pati Tapioka dengan Penambahan Refined Bleached and Deodorized Palm Oil (RBDPO) sebagai Pemplastis Alami. Purifikasi. **2** : 133-138.
- Hikmiyati. N dan N.S. Yanie. 2009. *Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Singkong melalui Proses HidrolisaAsam.(Skripsi)*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Hossain K. M. Z., L. Jasmani., I. Ahmed., A. J. Parsons., C. A Scotchford., W. Thielemans and C. D. Rudda. 2012. High cellulose nanowhisker content composites through cellosize bonding. *Soft Matter.* **8**: 12099-12110.
- Iptek. 2009. *Ubi Kayu*. <http://www.iptek.id.net/ind/pd-tanobat>. Diakses pada tanggal 12 juli 2016.
- Kemala,T. 1998. *Pengaruh Zat Pemplastis Dibutil Ftalat pada Polyblend Poli sterena pati (Tesis)*. Program Pascasarjana Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Kencana, A.L. 2009. *Perlakuan Sonikasi Terhadap Kitosan: Viskositas dan Bobot Molekul. (Skripsi)*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2009. *Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Pengolahan Tapioka*. Kementrian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. Jakarta.

- Koesnandar, F. 2004. *Kimia Pangan Komponen Mikro*. PT. Dian Rakyat. Jakarta.
- Lamiya, dan Mareta. 2010. *Penyiapan Bahan Baku dalam Proses Fermentasi untuk Pakan Ternak*. [http://eprints.undip.ac.id/11310/1/Laporan_final_Lamiya %26Mareta.pdf](http://eprints.undip.ac.id/11310/1/Laporan_final_Lamiya%26Mareta.pdf). Diakses pada tanggal 3 Maret 2016.
- Laopaiboon, P, Thani, A., Leelavatcharamas, V., dan Laopaiboon, L., 2009. Acid Hydrolysis of Sugar Cane Bagasse for Lactic Acid Production. *Bioresource Technology*. **101**: 1036-1043.
- Lawton, S., Batnagar dan M.A. Hanna. 1996. *Physical, Mechanical, and Thermal Properties of Strach-Based Plastic Foams*. Transaction of te ASAE. **38** : 567-571.
- Leuner, C. dan J. Dressman. 2000. Improving Drug Solubility for Oral Delivery Using Solid `Dispersion. *Eur. Journal Biopharmaceutical* **50** : 47-60.
- Liu L., S. Zhou., X. Deng., X. Li., dan W. Jia. 2004. Synthesis and Characterization of Biodegradabel Low Molecular Weight Aliphatic Polyesters and Their Use in Protein-Delivery Systems. *Journal of Applied Polymer Science*. **91** : 1848-185.
- Lu, J., P. Askeland., and L.T. Drazal. 2008. Surface Modification of Microfibrillated Cellulose For Epoxy Composite Applications. *Polymer*. **49** : 1285-1296.
- Lukmana. 2007. *Pembuatan dan Pencirian Poli Asam Laktat Dengan Metode Polikondensasi Menggunakan Katalis Timah (II) Oksalat. (Skripsi)*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Misdawati. 2005. Sintesis Selulosa Kaproat Melalui Reaksi Interesterifikasi Antara Selulosa Asetat dengan Metil. *Jurnal Sains Kimia*. **9** : 38-45.
- Mohadi, R., Saputra, Adi., dan A. Lesbani. 2014. Studi Interaksi Internasional Ion Logam Mn^{+2} Dengan Selulosa dari Serbuk Kayu. *Jurnal Kimia FMIPA UNSRI*. **8** (1) : 1-8.
- Mullayhey, J.J., S.H. West., and J.A. Cornell. 1996. Effect of Simulated Drought by Polyeten Glycol on Bahiagrass Germination. *Seed Science Technology*. **24** : 219-224
- Nahrowi, Ridho. 2015. *Konversi Selulosa Menjadi Karboksimetil Selulosa dari Tandan Kosong Sawit*. FMIPA Universitas Lampung. Bandar Lampung.

- Nuringtyas, Tri Rini. 2010. *Karbohidrat*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Oksman, K., A.P. Mathew., D. Bondeson, dan I. Kvien. 2006. Manufacturing Process of Cellulose Whiskers Polylactic Acid Nanocomposites. *Journal Composites Science and Technology*. **66** : 2776–2784.
- Othmer, D.F. 1992. *Encyclopedia of Chemical Technology*. TheInterscience Encyclopedia Inc. New York.
- Pandey, J.K. 2004. *Degradability of Polymer Composite from Renewable Resources*.(Tesis). University of Pune Polymer Cemistry Devision.
- Park J, S. Cough., and S.D. Yoon. 2001. Properties of Chitosan/PVA Blends Films Containing Citric Acid as Additive. *Journal of Polymer the Enviroment*. **13** : 375-382.
- Pasquini D, E.M. Teixeira., A.S. Curvelo., M.N. Belgacem., A. Dufresne. 2010. *Extraction of Cellulose Whiskers from Cassava Bagasse and Their Applications as Reinforcing Agent in Natural Rubber*. Ind Crop Prod. **32** : 486–490.
- Peraturan Gubernur Lampung No 7. 2010. *Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan Kegiatan*. Provinsi Lampung.
- Prabawati, Sulusi. 2011. *Manfaat Singkong*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. Bogor.
- Prayati, P. U. 2005. *Mempelajari Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka PT. Umas Jaya Terbanggi Besar Lampung Tengah*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Rowe, R.C., P.J. Sheskey., and M.E. Quinn. 2009. *Handbook of Pharmaceutical Excipients*. Lexi-Comp: American Pharmaceutical Association.Inc. 418 685.
- Saputro, Dwi. 2012. *Pembuatan dan Karakterisasi Plastik Ramah Lingkungan dari Campuran Polistirena-Poli Asam Laktat*.(Skripsi). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Lampung.
- Singha, A.S., and Thakur, V.K. 2009. Study of Mechanical Properties of Urea-Formaldehyde Thermosets Reinforced by Pine Needle Powder. *BioResources*. **4**: 298-308.
- Soelistijono. 2006. *Tanaman singkong*. Swadaya. Jakarta.

- Sjostrom, E. 1995. *Kimia Kayu: Dasar – Dasar dan Penggunaan Jilid 2*. Universitas Gajah Mada Press. Yogyakarta.
- Spink, W. P dan W.F. Waychoff. 1958. *Plasticizers, Modern Plastic Encyclopedia Issue*. Hildrent Press, Inc. New York.
- Steven, M.P. 2001. *Kimia Polimer*. PT. Pradnya Paramita, Cetakan Pertama. Jakarta.
- Su Y.L., Wei Cheng, Chao Li, and Zhongyi Jiang. 2009. Preparation of Antifouling Ultrafiltration Membranes with Polyethylen Glicol Graft Polyacrylonitrile Copolymers. *Journal of Membrane Science*. **41** : 246-252.
- Sumanda, K. Tamara, P.E. Alqani.F. 2011. Kajian Proses Isolasi α -selulosa dari Limbah Batang Tanaman Manihot Escullenta Crantz yang Efisien . Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri. UPN. Jawa Timur.
- Sumanti, M.D., C. Charmencita., H. Marleen, dan T. Sukarti. 2003. Mempelajari Mekanisme Produksi Minyak Sel Tunggal dengan Sistem Fermentasi Padat pada Media Onggok-Ampas Tahu dengan Menggunakan Kapang *Aspergilluterreus*. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. **16** : 51-56.
- Sun S. 2001. *Biodegradable Plastics from Wheat Starch and Polylacticacid*. Kansas Wheat Commision. Progress Report: Third Quarter FY
- Suyatna, N.E, Alain Copiner, Veronique Coma, dan Lan Tighzert. 2001. Mechanical and Barrier Properties of Biodegradable Films based on Citosan and Poly (*lactid acid*) for Food Packaging Application. *Journal of Applied Polymer Science*. **40** : 762-772.
- Sweetman, S.C. 2009. *Martindale the Complate Drug Reference 35th Edition*. Pharmaceutical Press. London.
- Tadros, T. F., 2013, *Emulsion Formation and Stability*. Willey-VCH Verlag GmbH and Co. KgaA, Weinheim. 98-101
- Wang, X.G., W. Feng., X.D Bai., Y.Q. Lian., J. Liang, dan K. Yoshino. 2004. Well Aligned Polyaniline/Carbon Nanotube Composite Films Grown by in-Situ Aniline Polymerization, Carbon. *Journal of Applied Polymer Science*. **41** : 1551 – 1557.

- Wikanastri, H. dan Aminah, Siti. 2012. *Karakteristik Kimia Tepung Kecambah Serelia dan Kacang-kacangan dengan Variasi Blanching*. UNIMUS Press. Malang.
- Wirjosentono, B. 1997. *Analisis dan Karakterisasi Polimer Edisi Pertama*. USU Press. Medan.
- Wu C.F., Y.L Chen,, C.C Chen., T.T Yang., and P.E Chang. 2007. Applying Open-Path Fourier Transform Infrared Spectroscopy for Measuring Aerosols. *Journal of Environmental Science and Health , Part A*. **42**: 1131-1140.
- Yang, H., R. Yan., R., H. Chen., D. H. Lee., and C. Zheng. 2007. Characteristics of Hemicellulose, Cellulose and Lignin Pyrolysis, *Fuel*. **86**: 1781-1788