

SINTESIS PATI IKATAN SILANG DENGAN REAKSI *DIELS-ALDER*

CHE-184650 PENELITIAN

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar sarjana di bidang ilmu
Teknik Kimia

Oleh :

Michael Wilbert Puradisastra (2016620060)

Dicky Joshua Pesireron (2016620061)

Pembimbing:

Dr. Henky Muljana, S.T., M.Eng

Tony Handoko, S.T., M.T.



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL: SINTESIS PATI IKATAN SILANG DENGAN REAKSI DIELS-ALDER

CATATAN:



Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 23 Februari 2021

Pembimbing 1



Dr. Henky Muljana, S.T., M.Eng

Pembimbing 2



Tony Handoko, S.T., M.T.



JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

SURAT PERNYATAAN

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dicky Joshua Pesireron

NPM : 2016620061

Dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

SINTESIS PATI IKATAN SILANG DENGAN REAKSI *DIELS-ALDER*

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat, materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 24 Februari 2021



Dicky Joshua Pesireron

(2016620061)



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

SURAT PERNYATAAN

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Michael Wilbert Puradisastra

NPM : 2016620060

Dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

SINTESIS PATI IKATAN SILANG DENGAN REAKSI *DIELS-ALDER*

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat, materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 24 Februari 2021



Michael Wilbert Puradisastra

(2016620060)

LEMBAR REVISI

JUDUL: SINTESIS PATI IKATAN SILANG DENGAN REAKSI DIELS-ALDER

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 23 Februari 2021

Penguji 1



Prof.Dr. Ir. Judy Retti B. Witono, M.App.Sc.

Penguji 2



Ir. Y.I.P. Arry Miryanti, M.Si.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian yang berjudul “Sintesis Pati Ikatan Silang dengan Reaksi *Diels-Alder*” tepat pada waktunya.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih atas bantuan dari berbagai pihak, khususnya kepada:

1. Dr. Henky Muljana, S.T., M.Eng. dan Tony Handoko, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan saran serta masukan dalam penyusunan proposal penelitian ini.
2. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu kepada penulis.
3. Orang tua dan keluarga yang selalu memberi doa, dukungan, dan semangat kepada penulis selama penulisan proposal ini.
4. Seluruh rekan mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, serta pihak-pihak lain yang turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, sehingga penyusunan proposal penelitian ini dapat penulis selesaikan tepat pada waktunya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan proposal penelitian ini masih terdapat beberapa kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, segala bentuk kritik serta saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis agar penyusunan proposal dapat menjadi lebih baik lagi. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan semoga proposal ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak.

Bandung, Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
INTISARI	xiv
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	4
1.3 Identifikasi Masalah	5
1.4 Premis	6
1.5 Hipotesis	9
1.6 Tujuan Penelitian	9
1.7 Manfaat Penelitian	9
BAB II	11
2.1 Pati	11
2.1.1 Karakteristik Pati	11
2.1.1.1 Sifat Mekanik dari Pati	12
2.1.1.2 <i>Glass Transition Temperature</i> (T _g).....	13
2.1.1.3 Sifat <i>Birefringence</i>	13
2.1.1.4 Gelatinisasi	13
2.1.1.5 Retrogradasi.....	14
2.2 Modifikasi Pati.....	15
2.2.1 Modifikasi Fisika.....	15
2.2.1.1 Pregelatinisasi	16
2.2.1.2 <i>Heat-Moisture Treatment</i>	16

2.2.1.3 <i>Annealing</i>	16
2.2.1.4 Ekstruksi	17
2.2.2 Modifikasi Kimia	17
2.2.2.1 Reaksi Oksidasi	17
2.2.2.2 Eterifikasi.....	18
2.2.2.3 Esterifikasi	19
2.2.2.4 Kationisasi	20
2.2.2.5 <i>Cross-Linking</i>	21
2.2.2.6 Reaksi <i>Diels Alder</i>	23
2.3 <i>State of The Art</i>	27
BAB III	29
3.1 Alat.....	29
3.1.1 Peralatan Utama	29
3.1.2 Peralatan Analisis	29
3.2 Bahan	30
3.2.1 Bahan Percobaan Utama	30
3.2.2 Bahan Percobaan Analisis	30
3.3 Prosedur Percobaan.....	31
3.3.1 Transterifikasi Pati Sagu dengan Furan <i>Based Ester (Methyl 2-furoate)</i>	31
3.3.2 Reaksi Crosslinking Diels-Alder dengan Bismaleimides	33
3.4 Rancangan Percobaan	33
3.5 Metode Analisis	34
3.5.1 Analisis Bahan Baku	34
3.5.2.1 Analisis Kadar Air.....	34
3.5.2.2 Analisis Kadar Pati.....	35
3.5.2 Analisis Produk.....	36
3.5.2.1 Analisis <i>Degree of Substitution</i> Hasil Transesterifikasi dengan Cara Titrasi 3	6
3.5.2.2 Analisis <i>Degree of Substitution</i> Hasil Transesterifikasi dengan ¹ H-NMR 3	6

3.5.2.3	Analisis <i>Degree of Crosslinking</i> Hasil Reaksi <i>Diels-Alder</i>	37
3.5.2.4	Analisis <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FT-IR)	37
3.5.2.5	Analisis <i>Thermal Gravimetri Analysis</i> (TGA)	37
3.5.2.6	Analisis <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC)	38
3.5.2.7	Analisis <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	38
3.6	Lokasi dan Jadwal Penelitian	38
BAB IV	40
4.1	Karakterisasi Pati Sagu	40
4.2	Penentuan Prosedur Eksperimen.....	40
4.3	Reaksi Transesterifikasi	41
4.3.1	Analisis <i>Degree of Substitution</i>	42
4.3.2	Analisa FTIR	43
4.3.3	Analisis SEM.....	45
4.3.4	Analisis TGA.....	46
4.4.1	Solubility Test	47
4.4.2	Analisis FTIR	49
4.4.3	Analisis SEM.....	56
4.4.4	Analisis TGA.....	57
BAB V	58
5.1	Kesimpulan	58
5.2	Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN A	62
A.1	Prosedur Analisis Bahan Baku.....	62
A.1.1	Analisis Kadar Air	62
A.1.2	Analisis Kadar Pati	63
A.2	Prosedur Analisis Produk.....	65
A.2.1	Analisis <i>Degree of Substitution</i> Hasil Transesterifikasi dengan Cara Titrasi	65
A.2.2	Analisis <i>Degree of Substitution</i> Hasil Transesterifikasi dengan ¹ H-NMR.....	65
A.2.3	Analisis <i>Degree of Crosslinking</i> Hasil Reaksi <i>Diels-Alder</i>	66
A.2.4	Analisis <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FT-IR)	67
A.2.5	Analisis <i>Thermal Gravimetri Analysis</i> (TGA)	68

A.2.6 Analisis <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC)	69
LAMPIRAN B.....	70
B.1 Dimetil Sulfoksida (DMSO)	70
B.2 Kalsium Karbonat (K_2CO_3).....	49
B.3 Bismaleimide (1,1'-(Methylenedi-4,1-phenylene)bismaleimide ($C_{21}H_{14}N_2O_4$).....	50
B.4 Kloroform.....	52
B.5 Natrium Hidroksida.....	53
B.6 Asam Klorida	54
B.7 Asam Oksalat Dihidrat ($H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$).....	55
B.8 Indikator <i>Fenolftalein</i> (PP).....	57
B.9 Iodium-Kalium Iodida.....	58
B.10 Etanol (C_2H_5OH).....	59
B.11 Asam Asetat (CH_3COOH)	61
B.12 Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$).....	63
B.13 Natrium Karbonat ($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$).....	64
B.14 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	66
B.15 Asam Sulfat (H_2SO_4).....	67
B.16 Indikator Pati.....	69
B.17 Natrium Tiosulfat ($Na_2S_2O_3$).....	70
B.18 Metanol.....	73
B.19 <i>Methyl 2-furoate</i>	74
LAMPIRAN C	76
HASIL ANTARA.....	76
C.1 Analisis Proksimat.....	76
C.2 Analisis Degree of Substitution (DS).....	76
C.3 Analisis % <i>solubility</i>	77
LAMPIRAN D	78
CONTOH PERHITUNGAN	78
D.1 Analisis Degree of Substitution (DS).....	78
D.2 Analisis % <i>solubility</i>	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jumlah Polusi Sampah Plastik Setiap Tahun	1
Gambar 1.2 Diagram Penyebaran Tanaman Sagu di Indonesia	3
Gambar 2.1 Mekanisme proses gelatinisasi, retrogradasi, dan penyimpanan	15
Gambar 2.2 Reaksi Oksidasi dari Pati Menggunakan Senyawa Natrium Hipoklorit	18
Gambar 2.3 Mekanisme Reaksi Pembentukan Pati Hidroksipropil	18
Gambar 2.4 Contoh Reaksi dari Pati Asetat Hasil Modifikasi dengan <i>Acetic Anhydride</i>	19
Gambar 2.5 Contoh Reaksi dari Pati Alkenilsuksinat, Hasil Modifikasi dengan <i>Succinic Anhydride</i>	20
Gambar 2.6 Contoh Reaksi dari Pati Fosfat Hasil Modifikasi dengan <i>Sodium Trimetaphosphate</i>	20
Gambar 2.7 Mekanisme Reaksi <i>Cross-linking</i> Antara Pati dengan <i>Phosphorous Dichloride</i>	22
Gambar 2.8 Mekanisme Reaksi <i>Cross-linking</i> Antara Pati dengan <i>Sodium Trimetaphosphate</i>	22
Gambar 2.9 Mekanisme Reaksi <i>Cross-linking</i> Antara Pati dengan <i>Adipate</i>	23
Gambar 2.10 Mekanisme Reaksi <i>Diels-Alder</i>	24
Gambar 2.11 Reaksi <i>Diels-Alder</i> dari Furan dan Maleimide	26
Gambar 2.12 Reaksi antara FA dan MDI dengan Perbandingan Molar 1:1	28
Gambar 2.13 Reaksi antara FA dan MDI dengan Pati	28
Gambar 2.14 Reaksi DA dan Retro DA antara Pati Furan dengan BMI	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Transesterifikasi Pati Sagu dengan <i>Methyl 2-furoate</i>	33
Gambar 3.2 Diagram Alir Reaksi <i>Crosslinking Diels-Alder</i> dengan <i>Bismaleimides</i>	34
Gambar 4.1 Spektrum FTIR pada sampel pati sagu dan pati ester MF3120.....	44
Gambar 4.2 Hasil SEM dari (a) pati sagu dan (b) pati ester MF3120B dengan perbesaran 5000 kali.....	45
Gambar 4.3 Kurva TGA pada sampel pati sagu dan pati ester MF3120B.....	46
Gambar 4.4 Hasil uji solubility pada sampel pati ester MF1100B.....	48
Gambar 4.5 Hasil uji <i>solubility</i> pada sampel pati ester MF3120B.....	48
Gambar 4.6 Mekanisme reaksi antara pati furanoat dengan bismaleimide.....	49

Gambar 4.7 Spektrum pati dengan <i>methyl 2-furoate</i> konsentrasi 1 dan temperatur transesterifikasi 110°C.....	53
Gambar 4.8 Spektrum pati dengan <i>methyl 2-furoate</i> konsentrasi 3 dan temperatur transesterifikasi 120°C.....	54
Gambar 4.9 Spektrum pati dengan temperatur <i>annealing</i> 150°C.....	55
Gambar 4. 10 Spektrum pati dengan temperatur <i>annealing</i> 70°C.....	56
Gambar 4. 11 Hasil SEM dari pati cross linking dengan temperatur annealing (a) 70°C dan (b) 150°C dengan perbesaran 5000 kali.....	57
Gambar 4.12 Kurva TGA pada sampel pati sagu, pati cross-linking dengan temperatur annealing 70°C, dan pati cross-linking dengan temperatur annealing 150°C.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Produksi Tanaman Sagu Menurut Pengusahaan Tahun 2004-2017	4
Tabel 2.1 Berbagai Macam Contoh dari Diena	24
Tabel 2.2 Berbagai Macam Contoh dari Dienofil	26
Tabel 2.3 Contoh-contoh Reaksi <i>Diels-Alder</i> yang Umum digunakan dalam Pembuatan Produk Polimer	27
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian Utama	35
Tabel 3.2 Tabel Nilai dari Reagen <i>Luff Schoorl</i>	36
Tabel 3.3 Rencana Kerja Penelitian	39
Tabel 4.1 Hasil analisis proksimat pati sagu	40
Tabel 4.2 Nilai DS rata-rata produk pati ester dengan variasi waktu transesterifikasi.....	41
Tabel 4.3 Nilai DS rata-rata produk pati ester.....	42
Tabel 4.4 Hasil analisa FTIR pada sampel pati sagu dan pati ester.....	43
Tabel 4.5 Hasil pembacaan spektrum FTIR.....	50

INTISARI

Plastik merupakan salah satu bahan pengemas yang cukup banyak digunakan di seluruh dunia. Akan tetapi, plastik memiliki sifat yang sulit terdegradasi sehingga penggunaan plastik yang berlebihan berpotensi untuk mengakibatkan pencemaran lingkungan. Untuk mencegah peningkatan pencemaran lingkungan akibat sampah plastik, berbagai penelitian pun dilakukan untuk menghasilkan plastik yang bersifat *biodegradable*. Bahan baku yang dapat digunakan untuk menghasilkan plastik yang bersifat *biodegradable* adalah pati sagu. Namun pati memiliki beberapa sifat negatif yang tidak cocok untuk menghasilkan plastik, sehingga diperlukan adanya modifikasi kimia terhadap pati untuk menghasilkan produk pati yang mampu menjadi bahan baku dari plastik *biodegradable*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan plastik yang bersifat *biodegradable* dan *thermal reversible* dengan melakukan reaksi *Diels-Alder* pada pati sagu.

Penelitian terbagi menjadi dua tahap reaksi, tahap pertama merupakan reaksi transesterifikasi untuk meneliti pengaruh konsentrasi *methyl 2-furoate* sebagai reagen, serta temperatur operasi terhadap reaksi transesterifikasi antara pati sagu dengan *methyl 2-furoate* pada nilai *degree of substitution* (DS) yang dihasilkan. Tahap kedua merupakan reaksi *cross-linking* dengan mekanisme *Diels-Alder* yang bertujuan untuk meneliti pengaruh temperature *annealing* terhadap sifat mekanik dari pati dalam reaksi *Diels-Alder*. Variabel yang diuji pada percobaan ini dibedakan baik tahap transesterifikasi maupun pada tahap reaksi *cross-linking*. Pada tahap transesterifikasi, konsentrasi dari reagen berupa *methyl 2-furoate* yang digunakan memiliki variasi sebesar 1; 2; dan 4 mol/mol AGU. Selain itu, temperatur operasi dari reaksi esterifikasi dilakukan pada temperatur 100°C dan 120°C. Pada tahap reaksi *cross-linking*, variabel yang divariasikan yaitu temperatur *annealing* sebesar 50 °C ; 70°C ; dan 150 °C. Produk pati yang dihasilkan kemudian mengalami serangkaian uji yang meliputi analisis nilai *degree of substitution* menggunakan metode titrasi, analisis gugus pada produk transesterifikasi dan *Diels-Alder* dengan FTIR dan SEM, analisis kestabilan termal dengan TGA.

Melalui penelitian yang dilakukan, nilai DS tertinggi yaitu 0,6068 diperoleh dari produk pati ester dengan variasi konsentrasi *methyl 2-furoate* sebesar 4 mol/AGU dan temperatur operasi sebesar 120 °C. Produk pati ester tersebut kemudian menghasilkan nilai %*solubility* terendah pada temperatur *annealing* 70 °C dan menunjukkan sifat *thermoreversible* yang ditandai dengan terjadinya peristiwa *retro Diels-Alder* pada temperatur *annealing* 150 °C. Selain itu, analisis melalui analisa FTIR, SEM, dan TGA menunjukkan adanya perubahan sifat mekanik dan termal dari produk pati yang dimodifikasi.

Kata Kunci: Pati sagu, plastik *biodegradable*, modifikasi pati, transesterifikasi, *diels-alder*.

ABSTRACT

Plastics are widely used as packaging material throughout the world. Still, plastic has some properties that makes it difficult to degrade so that excessive use of plastics has the potential to cause environmental pollution. To prevent this, various studies have been carried out to produce biodegradable plastics. One of the raw material that can be used to produce biodegradable plastics is sago starch. However, starch has several negative properties that are not suitable for producing plastics, so it requires chemical modification of starch to produce starch that can be used for biodegradable plastics. The aim of this research is to produce biodegradable and thermal reversible plastics by carrying out the *Diels-Alder* reaction on sago starch.

This research was divided into two reaction stages, the first stage was the transesterification reaction to examine the effect of the concentration of methyl furanoate as a reagent, and the operating temperature on the transesterification reaction between sago starch and methyl furanoate on the resulting degree of substitution (DS) value. The second stage is a cross-linking reaction with the Diels-Alder mechanism which aims to examine the effect of temperature annealing on the mechanical properties of starch in the Diels-Alder reaction. The variables tested in this experiment were differentiated between the transesterification stage and the cross-linking reaction stage. In the transesterification stage, the concentration of the reagent in the form of methyl furanoate used has a variation of 1; 2; and 4 mol / mol AGU. In addition, the operating temperature of the esterification reaction is carried out at temperatures of 100°C and 120°C. In the cross-linking reaction stage, the variables that were varied were the annealing temperature of 50°C; 70°C; and 150°C. The resulting starch product then undergoes a series of tests which include analysis of the degree of substitution value using the titration method, group analysis of the transesterification product and Diels-Alder using FTIR and SEM, analysis of thermal stability using TGA.

Through the research conducted, the highest DS value of 0.6068 was obtained from starch ester products with variations in the concentration of methyl furanoate of 4 mol/ AGU and an operating temperature of 120°C. The starch ester then produced the lowest % solubility value at an annealing temperature of 70 oC and showed thermoreversible properties which were shown by the occurrence of the *retro Diels-Alder* mechanism at annealing temperature of 150 °C. In addition, analysis through FTIR, SEM, and TGA analysis showed changes in the mechanical and thermal properties of the modified starch products.

Keywords : Sago starch, biodegradable plastics, modified starch, transesterification, *diels-alder reaction*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik merupakan bahan pengemas yang banyak digunakan dan berkembang luas di dunia. Sebagian besar barang yang dibutuhkan, mulai dari peralatan elektronik, perlengkapan rumah tangga, perlengkapan kantor sampai makanan dan minuman menggunakan plastik sebagai pengemas karena ringan, kuat, mudah dibentuk, dan harganya terjangkau (Kamsiati, Herawati, & Purwani, 2017). Penggunaan plastik yang cukup tinggi berdampak negatif terhadap kelestarian lingkungan (Tokiwa, Calabia, Ugwu, & Aiba, 2009), karena sulit terdegradasi sehingga terjadi penumpukan sampah plastik yang mencemari lingkungan.

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2016), permasalahan sampah plastik di Indonesia sudah meresahkan. Sampah plastik menjadi tidak hanya menjadi masalah di Indonesia tetapi telah menjadi masalah global di dunia karena setiap tahun jutaan ton plastik diproduksi dan digunakan di berbagai sector industri. Berdasarkan data dari INAPLAS (Indonesian Olefin Aromatic Plastic Industry Association), penggunaan plastik di Indonesia telah mencapai 4,7 juta ton di tahun 2015 saja dan diperkirakan akan meningkat 5 juta ton di tahun berikutnya (Kamsiati et al., 2017).



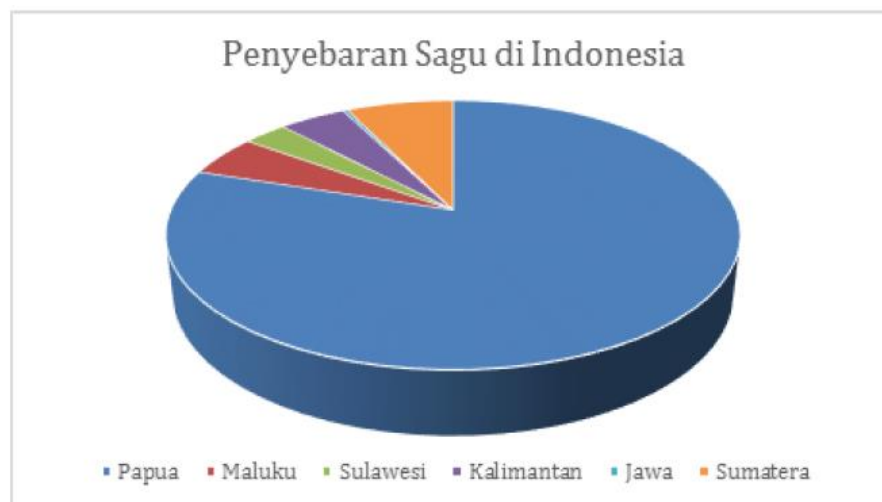
Gambar 1.1 Jumlah Polusi Sampah Plastik Setiap Tahun (Ardiansyah, 2019)

Peningkatan penggunaan plastik di Indonesia didorong oleh penggunaan dalam pengemasan pada industri makanan dan minuman. Walaupun pemakaian plastik di Indonesia tidak begitu tinggi seperti di negara lain, namun Indonesia belum memiliki kemampuan yang baik dalam mengolah limbah plastik. Hal ini menyebabkan penggunaan plastik yang tidak diimbangi dengan pengelolaan yang baik sehingga menimbulkan sampah di laut. Selain Tiongkok, Indonesia adalah negara pembuang sampah plastik terbesar ke laut yang dapat dilihat dari tabel di atas.

Polimer sintesis, bagian yang merupakan bagian utama dari plastik baru dapat terdegradasi dalam waktu puluhan bahkan ratusan tahun. Jika dibakar, plastik akan menghasilkan emisi karbon yang mencemari lingkungan (Taylor, Gironi, & Piemonte, 2011). Para peneliti dan ilmuwan terus berupaya menghasilkan bahan kemasan plastik yang ramah lingkungan. Beberapa penelitian telah menghasilkan teknologi pembuatan plastik dari bahan alami yang dapat terdegradasi dalam waktu singkat yang disebut sebagai plastik *biodegradable* atau bioplastik. Plastik *biodegradable* terbuat dari bahan polimer alami seperti pati, selulosa, dan lemak. Bahan utama yang sering digunakan dalam pembuatan plastik *biodegradable* adalah pati dan *Poly Lactic Acid* (PLA) (Coniwanti, Laila, & Alfira, 2014).

Industri di beberapa negara sudah mengembangkan pati sebagai bahan bioplastik. Jenis pati yang banyak digunakan adalah pati jagung dan pati kentang. Jenis pati dari kedua komoditas ini banyak digunakan oleh industri bioplastik di beberapa negara Eropa dan Australia. Di Thailand, bahan baku yang digunakan untuk bioplastik adalah pati ubi kayu. Pati komoditas pertanian lebih kompetitif dan tersedia cukup melimpah sebagai bahan baku plastik *biodegradable*. Menurut Swamy dan Singh (2010), permintaan bioplastik terbesar adalah yang berbahan dasar pati (Kamsiati et al., 2017).

Teknologi pembuatan plastik *biodegradable* berbahan dasar pati sudah mulai dikembangkan di Indonesia sejak beberapa waktu yang lalu. Bahan baku yang diteliti untuk pembuatan plastik *biodegradable* antara lain pati tapioka dengan campuran kitosan dan pemlastis gliserol (Journal, Surabaya, & Ketintang, 2013), pati sagu dengan campuran pemlastis gliserol (Yuniarti, Hutomo, & Rahim, 2014), pati sorgum dan kitosan (Darni, Sitorus, & Hanif, 2014), pati kulit ubi kayu (Anita et al., 2013), dan pati jagung (Coniwanti et al., 2014). Namun secara komersial, industri yang memproduksi bioplastik masih terbatas karena permintaan di dalam negeri masih rendah.



Gambar 1.2 Diagram Penyebaran Tanaman Sagu di Indonesia (Odorlina & Situmorang, 2018)

Pati, khususnya pati sagu, merupakan bahan baku yang banyak tersedia di Indonesia. Dalam peta sebaran sagu yang dilansir situs resmi Kementerian Pertanian (Kementan) disebutkan, pohon sagu yang hidup di hutan alam mencapai 1,25 juta ha (hekto are) dengan rincian 1,20 juta ha di Papua dan Papua Barat dan 50 ribu ha di Maluku. Sedangkan pohon sagu yang merupakan hasil semi budidaya (sengaja ditanam/semi cultivation) mencapai 158 ribu ha dengan rincian 34 ribu ha di Papua dan Papua Barat, di Maluku 10 ribu ha, di Sulawesi 30 ribu ha, di Kalimantan 20 ribu ha, di Sumatera 30 ribu ha, di Kepulauan Rau 20 ribu ha, dan di Kepulauan Mentawai 10 ribu ha. Bahkan dari sumber lain, yakni Unit Percepatan Pembangunan Papua dan Papua Barat (UP4B) yang dilansir pada 2014 menyebutkan bahwa luas sagu dunia mencapai 6,5 Juta ha. Dari luas lahan tersebut, Indonesia memiliki pohon sagu seluas 5,5 juta ha dan dari luas lahan tersebut yang berada di Papua dan Papua Barat mencapai 5,2 Juta ha (Odorlina & Situmorang, 2018).

Tabel 1.1 menunjukkan produksi tanaman sagu di Indonesia terus bertambah jumlahnya setiap tahun. Pada tahun 2017 produksi tanaman sagu telah meningkat hingga angka 489.643 ton (Perkebunan, 2017). Untuk produksi pati sagunya sendiri, satu pohon sagu mampu menghasilkan 200-400 kg pati, bahkan ada yang menghasilkan 800 kg pati per pohonnya (Coniwanti et al., 2014). Dikarenakan ketersediaannya yang cukup melimpah ini, maka pati sagu dianggap sebagai bahan baku yang ideal dalam pembuatan plastik *biodegradable*.

Tabel 1.1 Produksi Tanaman Sagu Menurut Pengusahaan Tahun 2004-2017 (Perkebunan, 2017)

Tahun	Produksi (ton)			
	<i>Smallholders</i>	Pemerintah	Milik Pribadi	Jumlah
2004	14.544	-	-	14.544
2005	15.301	-	-	15.301
2006	14.202	-	-	14.202
2007	85.960	-	-	85.960
2008	31.767	-	-	31.767
2009	87.955	-	-	87.955
2010	89.629	-	-	89.629
2011	85.960	-	-	85.960
2012	93.265	-	39.044	132.309
2013	93.893	-	61.168	155.061
2014	249.488	-	61.168	310.656
2015	277.129	-	146.817	423.946
2016	283.511	-	157.005	440.516
2017	328.444	-	161.199	489.643

Pati sebagai biopolimer alami, mendapat perhatian yang penting karena harga yang lebih murah, ketersediaan, dan mengalami degradasi total setelah digunakan. Tetapi pati alami mempunyai kelemahan seperti bersifat hidrofilik, sifat mekanik dan stabilitas dimensi yang rendah, terutama pada kondisi lingkungan berair dan lembab, sehingga perlakuan modifikasi pati perlu dilakukan (Kamsiati et al., 2017).

1.2 Tema Sentral Masalah

Tema sentral yang menjadi fokus pada penelitian ini yaitu tingginya limbah plastik di dunia yang berbahan dasar minyak bumi dan sulit didaur ulang. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk membuat plastik yang bersifat *renewable* dan *biodegradable* dengan menggunakan pati sagu sebagai bahan baku utama. Dalam hal ini perlu dilakukan modifikasi terhadap pati untuk menghasilkan pati yang memiliki sifat termoplastik serta *thermoreversible*. Perlu juga diketahui pengaruh dari reagen yang digunakan, serta temperatur operasi terhadap sifat mekanis dari pati yang digunakan.

1.3 Identifikasi Masalah

Berdasarkan tema sentral yang telah disebutkan di atas, beberapa masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Apakah modifikasi pati secara *cross-linking* dengan reaksi *Diels-Alder* mampu untuk membuat pati termoplastik yang bersifat *thermoreversible* yang ditandai dengan terjadinya peristiwa *retro Diels-Alder*?
2. Bagaimana pengaruh dari temperatur reaksi transesterifikasi terhadap nilai *degree of substitution* dari pati?
3. Bagaimana pengaruh dari konsentrasi reagen *methyl 2-furoate* terhadap nilai *degree of substitution* dari pati?

1.4 Premis

No.	Sumber Jurnal Penelitian	Tahun	Bahan Baku	Jenis Reagen	Jenis Katalis	Temperatur	Waktu Reaksi	Parameter Penelitian	Metode Analisis
1.	Nossa, dkk.	2015	Pati Jagung	1,1'-(<i>methylene-di-4,1-phenylene</i>) <i>bismaleimide</i>	-	60°C (<i>Diels-Alder</i>) dan 120°C (<i>retro Diels-Alder</i>)	10 hari	Viskositas, komposisi kimia	H-NMR Spektrofotometer, FTIR
2.	Zhang, dkk.	2009	Poliketon	1,1'-(<i>methylene-di-4,1-phenylene</i>) <i>bismaleimide</i>	-	50°C (<i>Diels-Alder</i>) dan 150°C (<i>retro Diels-Alder</i>)	24 jam (<i>Diels-Alder</i>) dan 5 menit (<i>retro Diels-Alder</i>)	Waktu gelatinisasi, komposisi gel, laju perpindahan panas, <i>three-point bending test</i> .	H-NMR spektrofotometer, FTIR, DSC Termogram

3.	Chou dan Liu.	2008	<i>polybenzoxazines</i>	<i>Bismaleimide</i>	-	80 °C	120 jam	Komponen kimia dan stabilitas termal	IR, H-NMR, <i>elemental analysis</i> , TGA dan IGA
4.	Liu, dkk.	2006	<i>polyamides</i>	<i>N,N-dimethylacetamide, Tri-functional furan compound (TF)</i>	-	80°C (<i>Diels-Alder</i>) dan 160°C (<i>retro Diels-Alder</i>)	50 jam (<i>Diels-Alder</i>) dan 4 jam (<i>retro Diels-Alder</i>)	Komponen kimia, konversi reaksi DA, dan <i>swelling ratio</i> .	FTIR, DSC, TGA
5.	Winkler, dkk.	2013	Pati Jagung	<i>Vinyl Laurate (99%), Vinyl Stearate (95%), Dimethyl Sulfoxide (DMSO 99,7%), K₂CO₃ (99%), dan Na₂CO₃ (99,5%)</i>	-	95 °C – 110 °C (reaksi esterifikasi)	24 jam (reaksi esterifikasi)	<i>Degree of substitution, molar mass distribution, solubility.</i>	NMR spektrofotometer, FTIR, SEC-MALL, DLS

6.	Vargha dan Truter	2004	Pati Tepung	<i>Poly(vinyl acetate), poly(vinyl acetate-co-butyl acrylate, sodium carbonate, zinc-acetate</i>	-	150 °C (<i>reactive blending</i>)	1 jam (<i>reactive blending</i>)	Ikatan kimia dan stabilitas termal	H-NMR, DSC, TGA
7.	Aburto, dkk.	2005	<i>Amylomaize</i>	<i>Lauric Acid Methyl Ester</i>	<i>Potassium Laurate</i>	190 °C (reaksi esterifikasi)	6 jam (reaksi esterifikasi)	<i>Swelling degree, komponen kimia. Degree of Substitution</i>	Spektrofotometer UV-Vis, SEM, FTIR
8.	Neumann, dkk.	2002	Pati Kentang	<i>Fatty Acid Imidazolide</i>	<i>Potassium Methoxide</i>	90 °C (reaksi esterifikasi)	3 jam (reaksi esterifikasi)	<i>Degree of Substitution, Average Molar Mass</i>	H-NMR, GPC

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang dapat dibuat adalah sebagai berikut :

1. Temperatur reaksi esterifikasi yang tinggi akan mengakibatkan peningkatan dari nilai *degree of substitution*.
2. Semakin banyak konsentrasi dari *methyl 2-furoate* yang digunakan dalam reaksi esterifikasi akan semakin meningkatkan nilai *degree of substitution*.

1.6 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Melakukan modifikasi pati secara *cross-linking* dengan reaksi *Diels-Alder* sehingga mampu menghasilkan plastik bersifat *thermoreversible* yang ditandai dengan terjadinya peristiwa *retro Diels-Alder*.
2. Mengetahui pengaruh dari temperatur reaksi transesterifikasi terhadap nilai *degree of substitution* dari pati.
3. Mengetahui pengaruh konsentrasi dari *methyl 2-furoate* yang digunakan terhadap nilai *degree of substitution* dari pati.

1.7 Manfaat Penelitian

1. Bagi Pemerintah

Melalui hasil penelitian ini, pemerintah diharapkan dapat melihat potensi dari penggunaan pati sagu sebagai bahan dasar pembuatan plastik yang bersifat *biodegradable* dan *renewable*, sehingga dapat melanjutkan pengembangannya dan mampu mendorong pelaku-pelaku usaha untuk menggunakan plastik berbasis pati sagu.

2. Bagi Industri

Hasil penelitian ini diharapkan dapat membuka jalan bakti sektor industri dalam pemanfaatan tanaman sagu sebagai bahan baku pembuatan plastik, sehingga produksi plastik *biodegradable* dapat meningkat dan seiring berjalannya waktu mampu mengganti penggunaan plastik konvensional yang mencemari lingkungan.

3. Bagi Masyarakat

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan wawasan kepada masyarakat mengenai pentingnya pemanfaatan tanaman sagu sebagai bahan baku pembuatan plastik, sehingga tanaman sagu dapat dibudidayakan.

4. Bagi Lingkungan

Diharapkan dengan adanya plastik *biodegradable*, maka potensi pencemaran lingkungan yang dihasilkan oleh limbah plastik konvensional dapat dikurangi semaksimal mungkin, sehingga kelangsungan makhluk hidup yang ada di sekitarnya dapat terjaga.

5. Bagi Peneliti

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi ilmiah yang tepat mengenai proses pembuatan plastik *thermoreversible*, meliputi kondisi optimum dan variabel apa saja yang berpengaruh dalam proses pembuatannya.