

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan industri yang lebih maju, akan terjadi peningkatan konsumsi bahan plastik oleh masyarakat, yang akan menyebabkan penumpukan sampah plastik. Sampah domestik Indonesia yang diperoleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (KLHK) tahun 2021, sampah plastik menempati urutan kedua setelah sampah sisa makanan, terhitung 17,9 % dari total sampah. Berdasarkan sumber sampah, sampah rumah tangga menduduki peringkat pertama pada semua total sampah dan diperkirakan sampah di Indonesia akan meningkat sebesar 22,9 juta ton per tahun (KLHK, 2021).

Sampah plastik sintetik merupakan salah satu masalah yang paling memprihatinkan di Dunia. Jenis plastik yang beredar di masyarakat adalah plastik sintetik berbahan dasar minyak bumi, yang jumlahnya terbatas dan tidak dapat diperbarui. Plastik jenis ini tidak dapat didegradasi oleh mikroorganisme, dan juga sulit terurai secara hayati di lingkungan (*non-biodegradable*), karena mikroorganisme tidak dapat mengubah jenis plastik yang beredar, dan tidak dapat mensintesis enzim khusus untuk mendegradasi polimer berbasis petrokimia (Darni dan Utami, 2009). Plastik *biodegradable* adalah plastik yang dapat digunakan seperti plastik biasa, namun setelah habis digunakan dan dibuang di lingkungan akan terurai menjadi produk akhir berupa air dan gas karbondioksida akibat aktivitas mikroorganisme dan karena sifatnya yang kembali ke alam, plastik *biodegradable* merupakan bahan plastik yang ramah lingkungan (Fachry, 2012).

Berdasarkan permasalahan maka dilakukan inovasi dalam bentuk plastik ramah lingkungan (*biodegradable*), substitusi ini berasal dari bahan yang dapat terurai secara hayati di lingkungan, dapat digunakan dalam jumlah banyak di alam, dan dapat menghasilkan kekuatan yang sama dengan produk plastik sintesis. (Darni *et al.* 2008). Pengembangan plastik *biodegradable* merupakan solusi dari efek negatif plastik sintetik. Ada banyak metode untuk memproduksi plastik

biodegradable, dengan menggunakan bahan yang mengandung selulosa untuk biosintesis (Flieger *et al.* 2003) .

Limbah gergaji kayu sengon biasanya digunakan untuk budidaya jamur tiram karena gergaji kayu sengon merupakan kayu keras dan tidak mengandung getah, serta gergaji kayu sengon tidak mengandung minyak dan bahan kimia lainnya. Kayu sengon mengandung komponen kimiawi yaitu selulosa dengan kandungan hingga 49,7% (Reyeki, 2013). Beberapa penelitian terkait selulosa tumbuhan telah banyak dilakukan. (Hutomo *et al.* 2012) menunjukkan bahwa kandungan selulosa pada kulit kakao adalah 35%. Kadar selulosa jerami padi adalah 41,3% (Kumar, 2008). Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh (Zulharmita, 2012) menunjukkan bahwa kandungan selulosa dalam ampas tebu adalah 37,65%. Berdasarkan penelitian tersebut, kayu sengon memiliki kandungan selulosa yang tinggi , sehingga dapat dikatakan sebagai bahan dasar pembuatan plastik *biodegradable*. Industri furnitur rumahan berbahan kayu di desa Tanjung Anom, Kec. Ambarawa, Kab. Pringsewu, Lampung menghasilkan 30 kg/bulan limbah serbuk gergaji kayu sengon, sehingga dapat dimanfaatkan menjadi selulosa sebagai bahan tambahan pembuatan plastik *biodegradable*.

Dalam proses pembuatan plastik *biodegradable* perlu ditambahkan plasticizer agar plastik yang dihasilkan menjadi lebih elastis, fleksibel dan tahan air (Darni *et al.* 2008). Penambahan gliserin bertujuan untuk memperbaiki sifat fisik, sifat mekanik dan melindungi plastik dari mikroorganisme yang dapat merusak plastik. Gliserin dapat diperoleh dari minyak nabati limbah melalui proses transesterifikasi (Bourtoom, 2008). Studi telah dilakukan pada produksi plastik *biodegradable* dari pati berasal dari sumber yang berbeda, tetapi belum ada penelitian yang dilakukan pada plastik *biodegradable* yang berasal dari serbuk gergaji kayu sengon.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini yaitu :

1. Menentukan konsentrasi NaOH optimum dan waktu delignifikasi optimum pada tahap ekstraksi serbuk gergaji kayu sengon menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) terhadap kadar selulosa yang dihasilkan.

2. Membuat plastik *biodegradable* dari selulosa serbuk gergaji kayu sengon.
3. Menganalisis karakteristik plastik *biodegradable* agar sesuai SNI Plastik No 7188.7-2016.

1.3 Kerangka Pemikiran

Plastik *biodegradable* merupakan salah satu biopolimer yang dapat terurai secara alami dengan bantuan bakteri, jamur, dan alga atau terhidrolisis dalam larutan air. Plastik *biodegradable* memiliki kegunaan yang sama dengan plastik konvensional, tetapi bahan baku yang digunakan untuk membuatnya sebagian besar atau seluruhnya lebih ramah lingkungan, sehingga mudah didapat, dapat diperbarui dan didaur ulang (Najih, 2019). Banyak cara untuk menghasilkan plastik *biodegradable*, salah satunya adalah dengan menggunakan bahan yang mengandung pati atau *selulosa* untuk biosintesis.

Selulosa adalah senyawa yang tidak larut di dalam air dan ditemukan pada dinding sel tumbuhan terutama pada tangkai, batang, dahan dan semua bagian berkayu dari jaringan tumbuhan. Gergaji kayu merupakan limbah padat yang sering dibuang dari industri pengrajin kayu, dan mengandung bahan kimia yaitu selulosa dengan kandungan maksimal 49,7%. (Reyeki, 2013).

Pada penelitian ini metode optimasi yang digunakan yaitu dengan *Response Surface Methodology* (RSM), pada penelitian ini akan dimodifikasi dan optimasi proses *pretreatment* selulosa dari serbuk gergaji kayu sengon dengan variabel bebas yaitu konsentrasi NaOH 15 %, 20 %, 25% dan waktu delignifikasi 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Dari variabel tersebut akan diperoleh response yaitu kadar selulosa. Pada penelitian ini selulosa yang dihasilkan akan digunakan sebagai bahan tambahan pada plastik *biodegradable* untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik agar sesuai dengan SNI Plastik.

1.4 Hipotesis

Pada penelitian ini dimodifikasi dan optimasi ekstraksi selulosa berbahan baku serbuk gergaji kayu sengon dengan variasi konsentrasi NaOH dan waktu delignifikasi pada tahap *pretreatment* selulosa menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM). Dengan metode ini diduga menghasilkan kadar selulosa

tinggi dan selulosa yang digunakan pada plastik *biodegradable* agar sesuai dengan SNI Plastik No 7188.7-2016.

1.5 Kontribusi

Adapun kontribusi dari penelitian ini yaitu untuk mengurangi limbah industri furnitur dari pengrajin kayu dengan cara memanfaatkan limbah padat (serbuk gergaji kayu) yang tidak terpakai menjadi selulosa yang digunakan untuk pembuatan plastik *biodegradable* yang bernilai ekonomis dan untuk mengurangi dampak negatif dari penggunaan sampah plastik konvensional yang semakin tahun jumlahnya meningkat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik *Biodegradable*

Biodegradable terdiri dari tiga kata yaitu *bio* artinya makhluk hidup, *degra* artinya terurai, *able* artinya mampu. Oleh karena itu, plastik *biodegradable* adalah plastik yang dapat terurai secara alami dengan bantuan mikroorganisme di lingkungan. Plastik *biodegradable* dengan berat molekul rendah dapat didegradasi oleh aksi reagen fisikokimia, mikroorganisme dan akhirnya terdegradasi menjadi CO₂ dan H₂O (Sihaloho, 2011).

Plastik *biodegradable* merupakan salah satu biopolimer yang dapat terurai secara alami dengan bantuan bakteri, jamur, dan alga atau terhidrolisis dalam larutan air. Plastik *biodegradable* atau yang lebih dikenal dengan bioplastik adalah plastik yang sifatnya dapat dikembalikan ke alam karena dapat terurai secara alami di alam melalui aktivitas mikroorganisme. Plastik *biodegradable* memiliki kegunaan yang sama dengan plastik konvensional, tetapi bahan baku yang digunakan untuk membuatnya sebagian besar atau seluruhnya lebih ramah lingkungan, sehingga mudah didapat, dapat diperbarui dan didaur ulang (Najih, 2019).

Komponen utama plastik *biodegradable* terbagi menjadi tiga kategori yaitu hidrokoloid, lipid dan material komposit. Hidrokoloid yang sesuai termasuk senyawa protein, polisakarida, alginat, pektin dan pati. Komponen dasar protein dapat berasal dari jagung, kedelai, kasein, kolagen, gelatin, dan gluten. Polisakarida yang digunakan dalam pembuatan plastik *biodegradable* adalah selulosa dan turunannya, pati dan turunannya, pektin, ekstrak rumput laut, gum, xanthan gum dan kitosan. Lipid yang umum digunakan adalah gliserol, lilin, asilgliserol dan asam lemak, sedangkan bahan komposit tersusun dari kombinasi dua atau lebih bahan penyusunnya. Pencampuran yang tidak homogen, sifat mekanik setiap bahan cetakan berbeda (Donhowe, 1994). SNI Plastik dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. SNI Plastik Sintetik

No	Karakteristik	Nilai
1	Kuat tarik (N/mm ²)	24,7-302
2	Persen elongasi (%)	21-220
3	Hidrofobisitasi (%)	99

Sumber : Darni dan Utami, 2009

2.1.1 Hidrokoloid

Hidrokoloid yang digunakan untuk membuat *biodegradable* adalah protein dan karbohidrat. Film yang dibentuk oleh karbohidrat dapat berupa pati, gusi (alginat, pektin dan gom arab), atau pati yang dimodifikasi secara kimiawi. Untuk pembentukan film berbasis protein, kasein, protein kedelai, gluten gandum, dan zein dapat digunakan. Hidrokoloid sangat cocok sebagai penghambat oksigen, karbon dioksida dan transfer lemak. Film ini memiliki sifat mekanik yang sangat baik, sehingga cocok untuk memperbaiki struktur film, agar tidak mudah hancur (Nahwi, 2016). Sebagai bahan dasar film yang dapat dimakan, polisakarida dapat digunakan untuk mengatur udara di sekitarnya dan memberikan ketebalan dan viskositas untuk larutan film yang dapat dimakan. Penggunaan *edible film* penting dilakukan karena tersedia dalam jumlah banyak, murah dan tidak beracun (Bourtoom, 2008).

2.1.2 Lipida

Biodegradable yang berasal dari lipid biasanya digunakan sebagai penghambat uap air atau sebagai bahan pelapis untuk meningkatkan kilap pada produk kembang gula. Film yang terbuat dari lemak murni dibatasi karena kekuatan film strukturalnya yang buruk. Lipid yang sering digunakan sebagai *edible film* antara lain lilin, asam lemak, monogliserida dan resin (Nahwi, 2016). Lipid juga ditambahkan ke membran yang dapat dimakan karena berperan dalam memberikan sifat hidrofobik (Bourtoom, 2008).

2.1.3 Komposit

Komposit *biodegradable* tersusun dari lipid dan hidrokoloid. Aplikasi membran komposit adalah bilayered, di mana satu lapisan hidrokoloid dan lapisan

lainnya adalah lipid, atau bisa juga kombinasi lipid dan hidrokoloid dalam satu unit membran. Gabungkan keduanya dengan menggunakan komponen lipid dan hidrokoloid. Diketahui bahwa lipid meningkatkan ketahanan terhadap penguapan air, sedangkan hidrokoloid sendiri dapat memberikan ketahanan. Membran pengikat antara lipid dan hidrokoloid dapat digunakan sebagai pelapis buah atau sayuran (Nahwi, 2016).

2.2 Kayu sengon

Paraserianthes falcataria (L.) Nielsen, disebut juga sengon, merupakan salah satu jenis pohon serba guna terpenting di Indonesia, dapat beradaptasi dengan berbagai jenis tanah, memiliki sifat aforestasi yang baik, dan baik untuk papan kayu dan industri pertukangan. Kualitas kayu yang bisa diterima. Di beberapa tempat di Indonesia, sengon memiliki peran yang sangat penting baik dalam sistem pertanian tradisional maupun komersial. Seperti jenis pohon cepat tumbuh lainnya, sengon diharapkan akan menjadi jenis pohon yang semakin penting dalam industri perindustri pada masa mendatang, terutama karena pasokan kayu dari hutan alam semakin berkurang (Krisnawati *et al.* 2011). Tanaman sengon dapat dilihat pada Gambar 1 dan taksonomi kayu sengon dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 1. (A) Daun Sengon dan (B) Pohon Sengon
Sumber : Krisnawati *et al.* 2011

Tabel 2. Taksonomi Kayu Sengon

Regnum	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Sub divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Leguminosae
Famili	: Mimosaceae
Genus	: <i>Paraserianthes</i>
Spesies	: <i>Paraserianthes falcataria</i> (L) Nielsen

Sumber : Steenis, 1992

Sengon merupakan tanaman asli Indonesia, Papua Nugini, Kepulauan Solomon, dan Australia (Soerianegara dan Lemmens. 1993). Sengon di Indonesia ditemukan tersebar di bagian timur dan di perkebunan di Jawa (Martawijaya dkk, 1989). Sengon dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah, termasuk tanah kering, lembap, bahkan di tanah yang mengandung garam dan asam selama drainasenya cukup (Soerianegara dan Lemmens. 1993). Suhu optimal untuk pertumbuhan Sengon adalah 22-29 °C dengan suhu maksimum 30-34 °C dan suhu minimum 20-24 °C (Soerianegara dan Lemmens. 1993). Tanaman Sengon dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti bahan konstruksi, dan untuk pembuatan kertas (Soerianegara dan Lemmens, 1993).

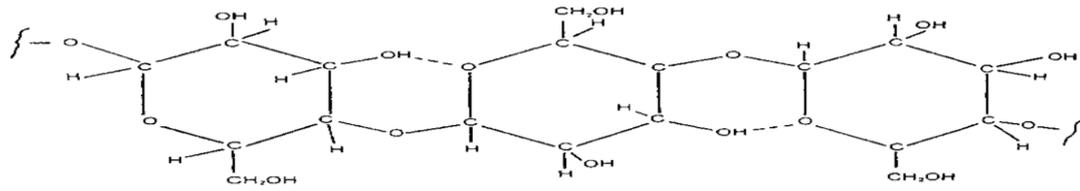
Menurut penelitian Hadi (2008), sengon memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi yaitu 44,83%, lignin relatif rendah sebesar 23,40%, α -selulosa sebesar 31,85%, dan hemiselulosa sebesar 23,42%. Hasil analisis lain menunjukkan bahwa komposisi kimia serbuk gergaji sengon adalah sebagai berikut: zat ekstraktif 2,67%, alfa selulosa 49,90%, pentosa 16,76% dan data diatas memperlihatkan bahwa kayu sengon termasuk dalam kelas dengan kandungan selulosa tinggi, sedangkan kadar ligninnya termasuk sedang. Berdasarkan penelitian tersebut, kayu sengon memiliki kandungan selulosa yang tinggi, sehingga dapat dikatakan sebagai bahan dasar pembuatan plastik *biodegradable*

2.2.1 Selulosa

Polisakarida yang paling melimpah adalah selulosa dengan rumus struktur kimiawi ($C_6H_{10}O_5$), polisakarida golongan linier, yang terdiri dari unit-unit D-glikosida yang terikat satu sama lain pada β -1-4. Polimer selulosa biasanya terdiri dari monosakarida yang dihubungkan satu sama lain oleh ikatan β pada posisi atom karbon 1 dan 4 oleh ikatan β -glukosida. Selulosa adalah homopolimer linier dengan monomer berupa D-glukosa yang saling terkait β -1,4-glikosida. Selulosa merupakan serat panjang yang bersama dengan hemiselulosa, pektin dan protein membentuk struktur jaringan yang memperkuat dinding sel tumbuhan (Winarno, 2008). Dari segi struktur, selulosa memiliki kelarutan yang tinggi dalam air karena memiliki banyak gugus -OH yang membentuk ikatan hidrogen dengan air. Rantai panjang molekul selulosa berkisar dari 100 hingga 14.000 unit. Karena itu, selulosa memiliki bobot molekul rata-rata adalah sekitar 300.000-500.000 (Zhou *et al.* 2010). 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 pengaruh biologis (Fengel dan Wenger, 1995). Karakteristik selulosa dapat dilihat pada Tabel 3 dan Struktur selulosa dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 3. Karakteristik Selulosa

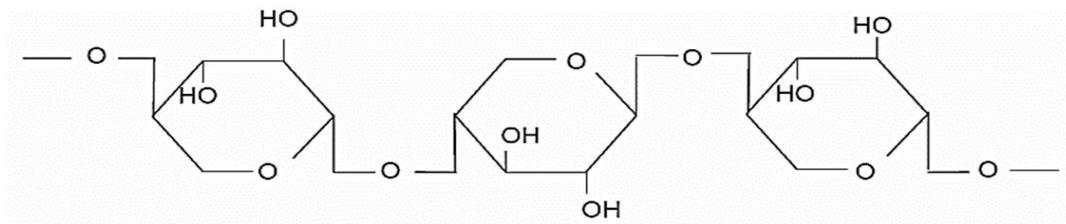
Rumus Kimia	$C_6H_{10}O_5$
Massa Molekul	162,14 g/mol
Titik leleh	146 °C
Densitas	1,544 kg/m ³
Kapasitas panas	62,6658 Kal/mol. °C
Sifat lain	<ul style="list-style-type: none">- Tidak mudah larut dalam air- Tidak larut dalam pelarut organik- Tidak larut dalam larutan alkali encer- Larut dalam asam mineral pekat- Terhidrolisis relatif lebih cepat pada suhu tinggi



Gambar 2. Struktur Selulosa
Sumber : Winarno, 2008

2.2.2 Hemiselulosa

Hemiselulosa terdiri dari berbagai monosakarida yaitu komponen monomer gula Hemiselulosa terdiri dari 5 (C-5) dan 6 monomer gula karbon (C-6), contoh: xilosa, arabinosa, manosa, glukosa, galaktosa, mannose, dan sedikit rhamnose, asam glukonat, asam glukonat logam dan asam galat. Memiliki hemiselulosa Struktur amorf, oleh karena itu relatif mudah terhidrolisis Ini menjadi monomer gula daripada selulosa (Winarno, 2008). Hemiselulosa tidak berbentuk kristal dan itu bukan serat, jadi mudah membengkak hemiselulosa memiliki pengaruh besar pada pembentukan kain lebih mudah larut diantara serat saat lembaran terbentuk dalam pelarut basa, lebih mudah dihidrolisis oleh asam komponen monomernya meliputi D-glukosa, D-manosa, D-galaktosa, D-silosa dan L-arabinosa (Simanjuntak, 2007). Struktur hemiselulosa dapat dilihat pada Gambar 3.

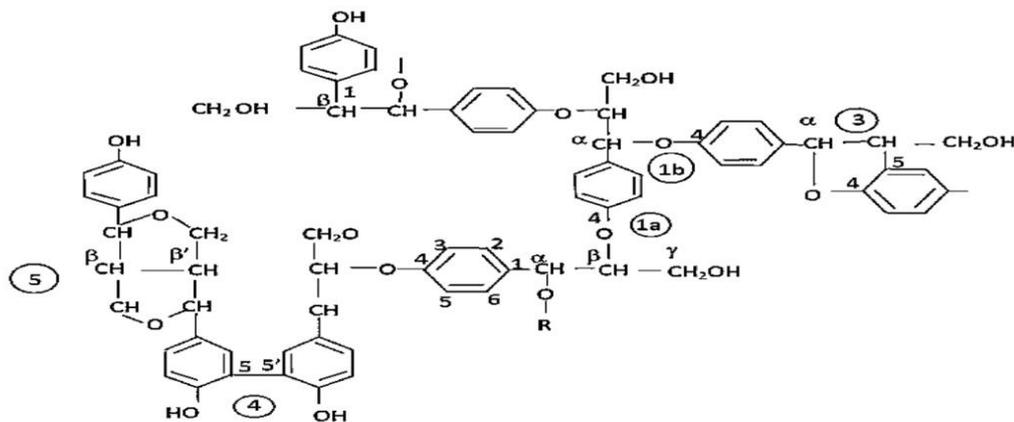


Gambar 3. Struktur Bangun Hemiselulosa
Sumber : Winarno, 2008

2.2.3 Lignin

Lignin merupakan polimer berstruktur aromatik yang dibentuk oleh unit-unit penilpropan (Sjorberg, 2003) yang dihubungkan oleh beberapa jenis ikatan yang berbeda (Pérez *et al.* 2002). Lignin sulit didegradasi karena strukturnya yang kompleks dan heterogen yang berikatan dengan selulosa dan hemiselulosa dalam jaringan tanaman. Lebih dari 30 persen tanaman tersusun atas lignin yang

memberikan bentuk yang kokoh dan memberikan proteksi terhadap serangga dan patogen (Orth, 1993). Disamping memberikan bentuk yang kokoh terhadap tanaman, lignin juga membentuk ikatan yang kuat dengan polisakarida yang melindungi polisakarida dari degradasi mikroba dan membentuk struktur lignoselulosa. Struktur lignin dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Bangun Lignin
Sumber : Pérez *et al.* 2002

Lignin merupakan zat yang bersama-sama selulosa membentuk dinding sel dari pohon kayu. Lignin berfungsi sebagai bahan perekat atau semen sel-sel selulosa yang membuat kayu menjadi kuat. Lignin merupakan polimer 3 dimensi yang bercabang banyak. Molekul utama pembentuk lignin *phenyl propane* (Simanjuntak, 2007). Karakteristik lignin dapat dilihat pada Tabel 4.

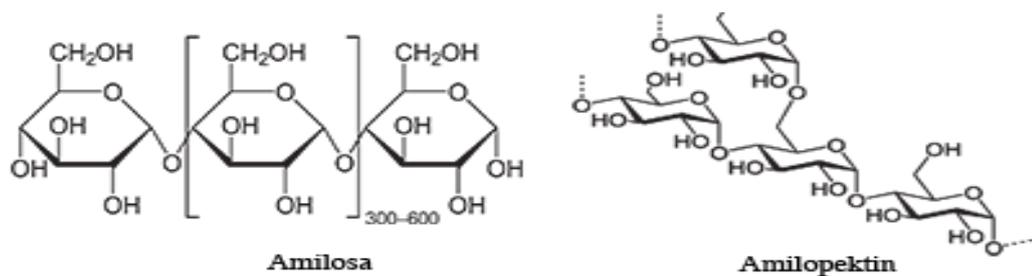
Tabel 4. Karakteristik Lignin

Rumus Kimia	$(C_9H_{10}O_2)_n$, $(C_{10}H_{12}O_3)_n$ dan $(C_{11}H_{14}O_4)_n$
Massa Molekul	1,3 - 1,4 gr
Densitas	0,9658 g/ml
Viskositas	1,4565 Ns/ m ²
Kapasitas panas	62,6658 Kal/mol. °C
Sifat lain	- Mudah larut dalam air - Larut dalam pelarut organik - Larut dalam larutan alkali encer - Larut dalam garam dan <i>buffer</i>

2.3 Pati

Pati adalah polisakarida yang ditemukan dalam sel tumbuhan dan beberapa mikroorganisme. Pati terdapat dalam sel tumbuhan dalam bentuk granul (butiran) yang berdiameter beberapa mikron. Granula pati mengandung campuran dua polisakarida yang berbeda yaitu amilosa dan amilopektin (Sunarya, 2012). Pembentukan pati diawali dengan pembentukan ikatan glukosidik (glukosa disakarida), yaitu ikatan antar molekul glukosa melalui oksigen dari atom karbon pertama.

Amilosa dan amilopektin adalah dua komponen utama pati, amilosa adalah komponen rantai lurus dan memiliki rangkaian panjang unit α -D-glukosa yang dihubungkan bersama melalui ikatan α -1,4-glikosidik, sedangkan amilopektin adalah α -1,4-glikosida. memiliki struktur rantai bercabang karena adanya ikatan dan ikatan α -1,6-glikosidik bercabang (Dureja et al., 2011). Pati direaksikan dengan iodium menghasilkan warna biru muda. Ini karena ikatan koordinasi antara ion iodida dan pati. Warna biru yang dihasilkan tergantung pada kandungan amilosa pati (Sunarya, 2012). Struktur pati dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur Pati

Sumber : Martinez *et al.* 2014

Oleh karena itu, adanya ikatan hidrogen inter molekul dan antar molekul pada gugus hidroksil dari molekul pati menunjukkan bahwa pati bersifat hidrofilik dan mudah didegradasi oleh mikroorganisme. Pati adalah bahan baku yang baik digunakan dalam produksi bioplastik, salah satunya adalah dengan memanfaatkan pati ubi jalar untuk membuat plastik biodegradable, seperti yang telah dilakukan oleh (Ardiansyah, 2011). Karakteristik pati dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik Pati

Rumus Kimia	$(C_6H_{10}O_5)_n$
Massa Molekul	162 g/mol
Densitas	1,500 kg/m ³
C _p (25 °C)	0,234 kkal/gr °C
ΔH _f ^o (25 °C)	- 229,24 kkal/mol

2.4 Gliserin

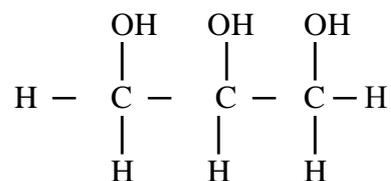
Gliserin, juga dikenal sebagai gliserol, adalah unsur kimia organik di alam. Gliserin benar-benar larut dalam air dan alkohol, tetapi hampir tidak larut dalam minyak. Sebaliknya, banyak zat yang lebih mudah larut dalam gliserin dari pada dalam air atau alkohol, oleh karena itu gliserin adalah pelarut yang baik. Gliserin bekerja dengan baik sebagai *plasticizer* pada plastik yang terbuat dari pati, gelatin, pektin, dan karbohidrat lainnya (termasuk kitosan). Penambahan gliserin akan menghasilkan plastik yang lebih lembut dan halus. Gliserin adalah molekul hidrofilik yang relatif kecil yang dapat dengan mudah menyisipkan diantara rantai protein dan membentuk ikatan hidrogen dengan amida. Gliserin dapat meningkatkan daya ikat air dan plastik. Peningkatan kandungan gliserin pada campuran pati dan air sebagai bahan dasar pembuatan plastik *biodegradable* dapat meningkatkan nilai tegangan dan menambah panjang atau elongasi (Nahwi, 2016). Karakteristik gliserin dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik Gliserin

Rumus Kimia	$C_2H_5(OH)_3$
Massa molekul	92,09382 g/mol
Densitas	1,261 g/cm ³
Viskositas	1,5 Pa.s
Titik lebur	18,2 °C
Titik didih	290 °C

Sumber : Pangliaro dan Rossi, 2010

Gliserin dalam pembuatan plastik digunakan sebagai *plasticizer* atau cairan yang membuat bahan menjadi elastis. *Plasticizer* merupakan komponen yang berperan penting dalam mengatasi kerapuhan plastik akibat gaya antar molekul yang luas pada plastik *biodegradable*. Penggunaan *plasticizer* ini akan meningkatkan kelenturan plastik dan mengurangi permeabilitasnya terhadap gas, uap air, dan gas terlarut. Selain gliserin, beberapa *plasticizer* lain yang dapat digunakan untuk membuat plastik *biodegradable* adalah lilin lebah, polivinil alkohol, dan sorbitol. Namun *plasticizer* yang umum digunakan adalah gliserin. Ini didasarkan pada sifat non-toksik gliserin. Penambahan gliserin juga dapat membuat permukaan plastik menjadi lebih halus (Nahwi, 2016). Struktur gliserin dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur Gliserin
Sumber : Ummah, 2013

Plasticizer mengurangi kekuatan antarmolekul dan intramolekul, dan meningkatkan mobilitas dan fleksibilitas film (plastik). Semakin banyak *plasticizer* digunakan, semakin besar kelarutannya. Demikian pula penggunaan *plasticizer hidrofilik* juga akan meningkatkan kelarutannya dalam air. Pada plastik berbasis pati, penggunaan gliserin memiliki kelarutan yang lebih tinggi dibandingkan sorbitol. Jenis dan konsentrasi pemlastis mempengaruhi kelarutan plastik berbahan dasar pati. Semakin banyak penggunaan *plasticizer* maka kelarutannya akan semakin meningkat (Coniwanti, 2015).

2.5 Kitosan

Kitosan merupakan produk biologis yang bersifat kationik, nontoksik, *biodegradable* dan biokompatibel. Kitosan memiliki gugus amino (NH₂) yang relatif lebih banyak dibandingkan kitin sehingga lebih nukleofilik dan bersifat basa. Kitosan juga merupakan biopolimer yang sumbernya melimpah dan dapat terbarukan sehingga termasuk sumber daya alternatif yang harus dimanfaatkan semaksimal mungkin. Sifat polikationik kitosan menjadi dasar pemanfaatan

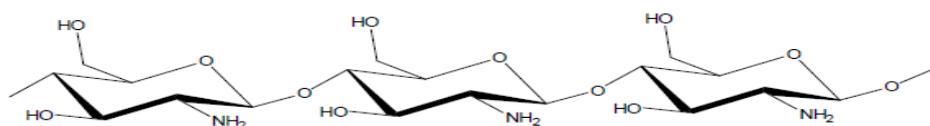
kitosan dalam berbagai bidang. Kitosan dimanfaatkan dalam bidang pertanian karena sifatnya yang *biodegradable*. Kitosan berbentuk spesifik dan mengandung gugus amino dalam rantai panjangnya. Kitosan adalah gula yang unik, karena polimer ini mempunyai gugus amino bermuatan positif, sedangkan polisakarida lain umumnya bersifat netral atau bermuatan negatif. Kitosan telah dimanfaatkan dalam berbagai keperluan industri seperti industri kertas dan tekstil sebagai zat aditif, industri pembungkus makanan berupa film khusus, industri metalurgi sebagai absorban untuk ion-ion metal (Astuti, 2008). Karakteristik kitosan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Karakteristik Kitosan

Rumus Kimia	$C_8H_{11}NO_4$
Penampilan	Putih atau kuning
Bau	Tidak berbau
Kelembaban	Max. 12 %
De-asetilasi	Min. 70 %
Viskositas	Max. 50 cps
Transparansi	Min. 30 cm
pH	6.5-7.5
Ukuran partikel	20-30 mesh
Kelarutan	Min. 99 % dalam HCL 6 %

Sumber : Radhiyatullah *et al.* 2015

Penambahan kitosan selama pembuatan film *biodegradable* menyebabkan penambahan ikatan hidrogen, yang membuat ikatan lebih kuat dan lebih sulit diputuskan karena membutuhkan banyak energi. Hal ini sesuai dengan fungsi kitosan sebagai pengawet dan pengikat selulosa (Wiyarsi dan Priyambodo, 2009). Struktur kitosan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur Kitosan
Sumber : Wiyarsi dan Priyambodo, 2009