

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Mangga (*Mangifera Indica L.*)

Mangga merupakan tanaman berbuah musiman yang berupa pohon dan berasal dari India. Tanaman ini kemudian menyebar ke wilayah Asia Tenggara termasuk Indonesia. Mangga termasuk ke dalam kingdom *Plantae*, Divisi *Tracheophyta*, dan berasal dari genus *Mangifera* dengan nama latin *Mangifera Indica*.

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Sub kingdom	: <i>Viridiplantae</i>
Divisi	: <i>Tracheophyta</i>
Sub Divisi	: <i>Spermatophytina</i>
Kelas	: <i>Magnoliopsida</i>
Ordo	: <i>Sapindales</i>
Famili	: <i>Anacardiaceae</i>
Genus	: <i>Mangifera L.</i>
Spesies	: <i>Mangifera indica L.</i>

Menurut Kementerian Pertanian (2018), tanaman mangga merupakan tanaman buah-buahan yang bersifat musiman, dan memiliki sifat *biannual bearing* yaitu sifat berbunga dan berbuah yang tidak stabil atau berbuah banyak pada suatu tahun (*on year*) dan berbuah sedikit pada tahun berikutnya (*off year*). Sifat tersebut dapat dipengaruhi oleh faktor iklim mikro dan faktor endogen pada tanaman mangga.

Mangga menjadi komoditas unggulan terbesar kedua di Indonesia setelah pisang dengan tanaman menghasilkan 20.283.831 pohon. Pada tahun 2019, produksi nasional mangga sekitar 2,8 juta ton dengan luas panen sekitar 284.000 hektare dan meningkat sebesar 3,19% pada tahun 2020. Provinsi Sumatera Selatan menjadi salah satu daerah dengan tingkat produksi buah mangga yang cukup tinggi, yaitu sekitar 76.036 ton/tahun (Badan Pusat Statistik, 2020). Wilayah sentra produksi mangga di Sumatera Selatan terletak di Kabupaten Ogan Komering Ilir dengan tingkat produksi sekitar 9656,8 ton/tahun.

Buah mangga (*Mangifera Indica*) mengandung asam amino, karbohidrat, asam lemak, mineral, asam organik, protein, vitamin (A dan C), dan diet serat. Buah ini merupakan salah satu buah yang digunakan sebagai obat untuk melawan beri-beri, menyembuhkan penyakit bronkial, kelelahan otak, dan insomnia.

2.1.1 Morfologi Tanaman Mangga

Pohon mangga termasuk tumbuhan tingkat tinggi, yaitu tumbuhan berkayu dan termasuk kelompok *arboreus* karena mempunyai tingi batang lebih dari 5 meter. Tanaman mangga tumbuh berbentuk pohon berbatang tegak, bercabang banyak, dan hijau sepanjang tahun. Morfologi tanaman mangga terdiri dari daun, batang, akar, bunga, buah, dan biji.

1. Akar

Tanaman mangga memiliki akar tunggang yang bercabang-cabang dengan panjang bisa mencapai 6 meter. Pemanjangan akar tunggang akan berhenti ketika mencapai permukaan tanah. Akar cabang makin ke bawah makin sedikit, paling banyak akar cabang pada kedalaman lebih kurang 30-60 cm (Sukidin, 2012).

2. Batang

Batang merupakan bagian tengah dari suatu tumbuhan yang tumbuh lurus ke atas. Bagian ini mengandung zat-zat kayu, sehingga tanaman akan tumbuh tegak, keras, dan kuat. Kulit pohon dari tanaman mangga tebal dan kasar dengan banyak celah-celah kecil. Warna kulit batang yang sudah tua biasanya berwarna coklat keabuan hingga hampir hitam.

3. Daun

Mangga memiliki daun tunggal tanpa anak daun dan penumpu daun. Letak dan posisi daun bergantian mengelilingi ranting. Panjang tangkai daun bervariasi, mulai dari 1,25 – 12,50 cm. Daun yang masih muda biasanya berwarna kemerahan, keunguan atau kekuningan yang kemudian hari akan berubah pada bagian permukaan sebelah atas menjadi hijau tua, sedangkan bagian permukaan bawah berwarna hijau muda. Umur daun dapat mencapai satu tahun. Bentuk daun mangga bervariasi, ada yang seperti mata tombak, lonjong, segiempat dengan ujung runcing dan bulat telur dengan ujung runcing tergantung pada varietasnya.

4. Bunga

Bunga mangga ialah bunga majemuk yang tumbuh dari tunas ujung. Bunga mangga bertangkai pendek dan berbau harum. Pada satu pohon mangga terdapat bunga yang berjenis hemaprodit (berkelamin dua) dan jantan. Besarnya bunga kurang lebih 6-8 mm dan jumlah bunga setiap tandan bunga mangga berkisar antara 1000-6000 kuntum bunga. Bunga jantan pada tanaman mangga hemaprodit akan lebih banyak dibandingkan dengan tanaman lainnya.

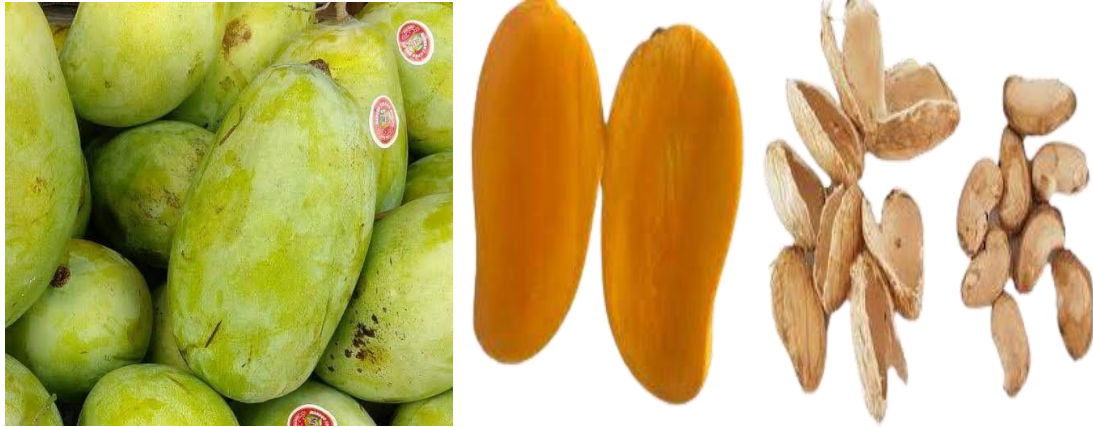
5. Buah

Buah mangga mengandung resin dimana mesokarpnya berdaging dan bagian ini disebut buah mangga, sedangkan endokarpnya (biji) berserat kuat. Bentuk buah dari tanaman ini ada yang membulat, bulat telur, bulat memanjang, dan ada yang pipih.

Kulit buah mangga (*eksokarp*) tebal berbintik-bintik kelenjar, hijau kekuningan atau kemerahan bila masak. Daging buah mangga ada yang tebal dan ada pula yang tipis tergantung dari varietasnya. Pada saat buah mangga masak berwarna merah jingga, kuning keputihan, dan ada juga yang hijau kemerahan. Daging buah umumnya berserat, memiliki rasa yang manis atau asam dengan banyak air, dan berbau harum.

6. Biji

Biji merupakan produk penting dalam regenerasi tumbuhan sebagai cikal bakal perkembangbiakan tumbuhan agar memiliki sifat yang sama seperti induknya. Di dalam biji mangga terdapat kulit biji yang keras (*endocarp*) dan dua keping biji yang berdaging. Ukuran dan bentuk dari biji ini sangat bervariasi yang dipengaruhi oleh jenis dan varietasnya.



(Tacias-Pascacio, dkk. 2021)

Gambar 2. 1 *Mangifera Indica*

Biji mangga merupakan salah satu komoditas penghasil karbohidrat yang cukup tinggi dan berperan sebagai cadangan ataupun bahan pangan alternatif. Adapun komposisi kimia dari biji mangga diberikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Komposisi Biji Mangga

Komponen	Kadar (%)
Kadar air	9,8
Kadar pati	81,3
Amilosa	35,32
Amilopektin	45,98
Protein	3,48
Lemak	6,38

(Augustyn, dkk. 2016)

Zat yang paling banyak terkandung di dalam keping biji mangga adalah pati. Adanya ikatan hidrogen inter dan antar molekul di antara gugus hidroksil pada molekul pati, menunjukkan bahwa pati bersifat hidrofilik dan mudah terdegradasi oleh mikroorganisme.

2.1.2 Jenis-jenis Mangga

Mangga memiliki lebih dari 100 jenis varietas mangga yang berbeda, dengan banyaknya varietas mangga maka berikut akan dijelaskan sebagian jenis varietas mangga yang ada di Indonesia:

1. Mangga Arum Manis

Mangga jenis arum manis merupakan mangga yang tergolong sangat populer di Indonesia. Adapun ciri-ciri dari mangga jenis ini adalah sebagai berikut:

- a. Kulit buah mangga berwarna hijau tua dan dilindungi oleh lapisan lilin, sehingga warnanya terlihat seperti sedikit kelabu.
- b. Terdapat bintik-bintik berwarna hijau keputihan di seluruh permukaan kulit.
- c. Ketika mangga telah matang, buah mangga akan mengeluarkan aroma harum yang khas.
- d. Pohon tidak begitu besar dengan ketinggian pohon kurang lebih 9 meter.

2. Mangga Golek

Mangga golek tidak lagi jenis mangga asing yang di dengan oleh masyarakat khususnya di kalangan penikmat mangga. Adapun ciri-ciri buah mangga ini adalah sebagai berikut:

- a. Bentuknya bulat dan memanjang
- b. Saat masak warnanya kuning kehijauan
- c. Memiliki biji yang sangat tipis dan rasa daging buah yang renyah.
- d. Buah mangga golek memiliki aroma yang cukup harum
- e. Memiliki daging buah yang tebal dan tidak berserat

3. Mangga Madu

Mangga madu termasuk ke dalam jenis mangga lokal. Mangga ini memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Rasanya sangat manis seperti gula
- b. Warna hijau kekuningan ketika matang
- c. Bentuk buah seragam
- d. Daging buah kesat dengan rasa yang nikmat dan memiliki pohon dengan ketinggian sekitar 10 meter

4. Mangga Manalagi

Tanaman mangga manalagi dominan hidup di daerah Bali (Putu dkk., 2017). Daun manalagi memiliki bentuk lonjong dengan ujung yang runcing. Pada bagian pangkal tangkai daun memiliki bentuk yang agak bulat. Panjang daun mangga manalagi ini berkisar antara 23cm sampai dengan 25cm dan memiliki lebar daun 7,5cm. Ukuran Panjang pangkal tangkai daun mangga manalagi berukuran 0,7 – 2,1 cm.

5. Mangga Budi Raja

Jenis mangga yang memiliki nama lain mangga raja ini berasal dari daerah Jawa Timur. Mangga budiraja memiliki karakteristik buahnya yang berbentuk lonjong dengan ukuran yang panjang, dengan kulit buah berwarna hijau segar dan relatif tebal serta bertekstur padat, memiliki aroma yang harum dan manis.

6. Mangga Kweni

Mangga kweni banyak dibudidayakan di daerah Sumatera, Jawa, dan Kalimantan. Ciri-ciri dari mangga ini adalah sebagai berikut:

- a. Daun tanaman mangga ini tunggal dan tersebar
- b. Buahnya beraroma menyengat
- c. Daging buah berwarna jingga dan serat dagingnya lebih halus dan lembut.
- d. Ukuran jenis mangga ini lebih kecil dibandingkan jenis mangga lainnya.

7. Mangga Indramayu

Mangga Indramayu atau disebut juga mangga varietas Cengkir merupakan salah satu mangga varietas asli Indonesia yang berasal dari Kabupaten Indramayu sehingga lebih dikenal sebagai mangga Indramayu. Jenis mangga ini memiliki daging buah tebal, berwarna kuning dengan rasa manis segar, berserat halus, dan bertepung serta beradaptasi dengan baik di dataran rendah.

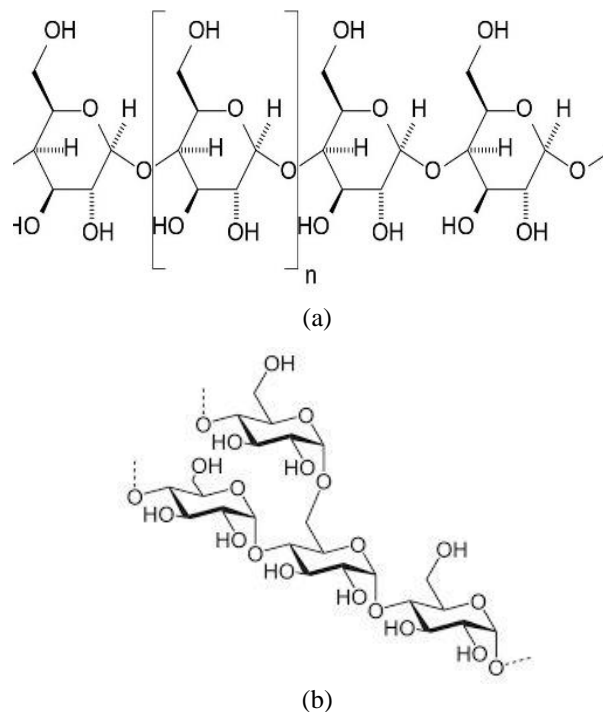
2.2 Pati

Pati merupakan polisakarida yang ditemukan dalam sel tumbuhan dan beberapa mikroorganisme. Pati dihasilkan oleh tumbuhan untuk menyimpan kelebihan glukosa sebagai produk fotosintesis dalam jangka panjang dengan bentuk granula. Granula pati bervariasi dalam bentuk dan ukuran, ada yang berbentuk bulat, oval, atau bentuk tak beraturan demikian juga ukurannya, mulai kurang dari 1 mikron sampai 150 mikron ini tergantung sumber patinya. Granula pati mengandung campuran dari dua polisakarida, yaitu amilosa dan amilopektin (Sunarya, 2012).

Amilosa merupakan polisakarida, polimer yang tersusun atas glukosa sebagai monomernya. Bentuk polimer linier panjang dan tidak bercabang yang dimiliki oleh amilosa merupakan penyusun utama dari pati. Berat molekul amilosa lebih rendah jika dibandingkan dengan berat molekul amilopektin. Viskositas dari zat ini

cukup tinggi dan tingkat kelarutannya (*solubility*) dalam pelarut sangat rendah. Amilosa memberikan sifat keras, lengket, dan memberikan warna ungu pekat ketika dilakukan tes iodin.

Walaupun tersusun dari monomer yang sama, amilopektin berbeda dari amilosa, yang terlihat dari karakteristik fisiknya. Secara struktural, amilopektin terbentuk dari rantai glukosa yang memiliki cabang, sehingga struktur molekulnya sangat besar. Amilopektin meningkatkan karakteristik lembab pada makanan.



(Augustyn, dkk. 2016)

Gambar 2. 2 (a) Struktur Amilosa, (b) Struktur Amilopektin

Produksi pati dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu sebagai berikut:

a. Ekstraksi pati

Ekstraksi pati dari biji tumbuhan lebih kompleks dibandingkan dengan ekstraksi pati pada umbi-umbian. Hal ini dikarenakan tingginya kandungan protein dan lipid serta ukuran butiran pati yang lebih kecil.

Proses ekstraksi dilakukan dengan terlebih dahulu mengecilkan ukuran bahan menggunakan *grinding*, kemudian diekstrak menggunakan pelarut (biasanya air) untuk mengeluarkan kandungannya dengan cara pengendapan yang selanjutnya dikeringkan pada suhu dengan lama waktu tertentu untuk mendapatkan pati yang siap digunakan (Martunis, dkk, 2012). Efektivitas ekstraksi pati

dipengaruhi oleh kelarutan senyawa yang akan diekstraksi dengan pelarut yang sesuai dengan prinsip *like dissolve like*, yaitu senyawa yang memiliki sifat kelarutan yang sama dengan pelarut maka senyawa itu akan terlarut (Ereifej dkk., 2016).

b. Hidrolisis pati

Hidrolisis merupakan proses pemecahan rantai polisakarida menjadi monomer-monomernya dengan menggunakan air. Akan tetapi, reaksi hidrolisis air dan pati berjalan sangat lambat, sehingga memerlukan bantuan katalisator untuk mempercepat laju hidrolisis. Katalisator yang umum digunakan adalah asam klorida, asam nitrat, dan asam sulfat.

Hidrolisis pati dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu:

- 1) Hidrolisis asam atau hidrolisis non enzimatis menggunakan asam sebagai katalisnya. Pada hidrolisis dengan asam ini diperlukan suhu tinggi sekitar 140-160°C. Namun proses ini menghasilkan konversi yang cukup rendah jika dibandingkan dengan hidrolisis enzimatis.
- 2) Hidrolisis enzim dilakukan dengan menggunakan bantuan enzim amilase dan enzim glucoamilase. Hidrolisis enzim dapat mencegah adanya reaksi efek samping karena sifat katalis enzim sangat spesifik sehingga dapat mempertahankan flavor dan aroma bahan dasar.

c. Metode Isolasi

Isolasi pati dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode alkalin. Metode ini merupakan metode paling sederhana di antara metode-metode yang lain dan menggunakan pelarut yang mudah didapatkan.

Dewasa ini pati banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam industri pangan, obat-obatan, tekstil, bioplastik, dan sebagainya. Pembuatan bioplastik berbasis pati pada dasarnya menggunakan prinsip gelatinisasi. Pati dapat menyerap air secara maksimal jika suspensi air dipanaskan pada temperatur 55-80°C. Suhu gelatinisasi pati mempengaruhi perubahan viskositas larutan pati, dengan meningkatnya suhu pemanasan mengakibatkan penurunan kekentalan suspensi pati. Gelatinisasi mengakibatkan ikatan amilosa akan cenderung saling berdekatan karena adanya ikatan hidrogen. Setelah terjadi proses gelatinisasi, kemudian larutan gelatin dicetak atau dituangkan pada tempat pencetakan dan dikeringkan selama 24 jam. Proses pengeringan akan mengakibatkan penyusutan sebagai akibat dari

lepasnya air, sehingga gel akan membentuk bioplastik yang stabil (Ginting, dkk, 2014).

2.3 Etilen Glikol (1,2-etanediol)

Bahan *plasticizer* atau pemlastis merupakan bahan tambahan yang diberikan pada suatu bahan untuk meningkatkan beberapa sifat polimer. Bahan pemlastis adalah bahan non-volatil dengan titik didih tinggi yang apabila ditambahkan ke dalam bahan lain akan merubah sifat fisik dan sifat mekanik dari bahan tersebut dengan mengurangi kekakuan polimer sehingga diperoleh lapisan yang elastis dan fleksibel. *Plasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *plasticizer* etilen glikol.

Etilen glikol atau disebut glikol merupakan diol sederhana dan memiliki dua gugus hidroksil (OH) pada posisi berdekatan di sepanjang rantai hidrokarbon dengan rumus molekul $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$. Etilen glikol merupakan cairan yang tidak berwarna, tidak berbau, relatif tidak mudah menguap, dan memiliki nilai viskositas yang rendah. Zat ini memiliki rasa yang manis dan memberikan sensasi hangat pada lidah saat tertelan. Etilen glikol larut di dalam pelarut polar seperti air, alkohol, dan aseton namun hanya sedikit larut pada pelarut non polar seperti benzena, toluene, dikloroetana, dan kloroform. Jika mengalami pendinginan, etilen glikol akan menjadi sangat kental dan sulit untuk mengkristal. Etilen glikol dapat meningkatkan persentase perpanjangan dan kerapuhan serta memberikan efek kaku (Lubis, dkk., 2018).

Etilen glikol telah digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti humektan untuk tembakau, media untuk menanggukkan garam konduktif dalam kapasitor elektrolitik, *plasticizer*, dan lilin sintetis. Kegunaan lain dari zat ini adalah untuk menghilangkan lapisan-lapisan es pada pesawat terbang dan sebagai pendingin pada proses transfer yang menggunakan kontak dengan gas pemanas serta AC.

Tabel 2. 2 Sifat Fisika dan Kimia Etilen Glikol

Sifat	
Suhu penyalaan	427,0 °C
Titik didih (pada tekanan 101,3 kPa)	197,6 °C
Densitas (pada 20°C)	$1113,5 \times 10^{-9} \text{ g/m}^3$
Titik nyala	126,7 °C
Panas pembakaran (pada 25°C)	-1053,0 kJ/g.mol
Panas penguapan (pada 1 atm)	53,2 kJ/g.mol

Berat molekul	62,068 g/mol
Titik beku normal	-13,0°C
Indeks bias (pada 25°C)	143,0 x 10 ⁻²
Kelarutan dalam air (pada 20°C)	100 wt%
Viskositas (pada 20°C)	19,8 x 10 ⁻³ Pa.s

(Yue dkk., 2012)

2.4 Carboxymethyl Cellulose (CMC)

Filler berfungsi untuk menguatkan atau mengeraskan material dari suatu komposit. Perakat bekerja berdasarkan prinsip adesi, yaitu gaya tarik-menarik antara molekul-molekul dari jenis bahan yang berbeda. Pada penelitian ini digunakan CMC sebagai *filler* untuk menghasilkan bioplastik.

CMC adalah polisakarida linear anionik yang larut dalam air dan merupakan senyawa turunan selulosa yang dibuat dengan menukarkan gugus hidroksil selulosa dengan gugus karboksil yang terkandung dalam asam monokloroasetat dalam kondisi basa. CMC secara luas digunakan sebagai polimer industri dengan berbagai aplikasi seperti pembuatan deterjen, tekstil, kertas, makanan, dan obat-obatan. CMC digunakan terutama karena memiliki viskositas tinggi, tidak beracun, dan non-alergi. Banyak gugus hidroksil dan karboksilat di CMC memungkinkan mengikat air dan kelembaban. CMC sering digunakan bersama-sama dengan pati untuk memberikan tekstur yang diinginkan, mengontrol mobilitas kelembaban, dan meningkatkan kualitas produk secara keseluruhan.

CMC memiliki kandungan air yang tinggi, biodegradabilitas baik, dan diaplikasikan pada berbagai bidang karena biaya yang relatif rendah. *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) merupakan selulosa eter yang dapat melakukan gelasi dengan pemanasan dan membentuk kualitas yang sangat baik dari plastik karena memiliki struktur rantai polimer dan berat molekul tinggi (Putri dkk., 2016).

Sifat fisika dan kimia CMC adalah sebagai berikut: (cas. ChemNet.com, No.9004-32-4)

Rumus kimia	: (C ₆ H ₁₆ O ₈ Na) _n
Nama dagang	: Natrium karboksimetilselulosa
Berat molekul	: 265, 204 gr/mol
Bentuk	: Serbuk berwarna putih
Titik lebur	: 300°C
Kelarutan	: Larut dalam air
pH	: 6,5-8,0

2.5 Plastik

Kata plastik berasal dari bahasa Yunani “*Plastikos*” yang berarti bisa dibentuk menjadi bentuk yang berbeda. Plastik merupakan bahan yang sangat banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Besarnya penggunaan plastik ini dipengaruhi oleh sifatnya yang ringan, kuat, fleksibel, dan tidak mudah pecah. Namun plastik memiliki sifat yang sulit untuk diuraikan sehingga menimbulkan masalah bagi lingkungan (Coniwati dkk., 2014).

Plastik dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu plastik *non-degradable* dan plastik *biodegradable*. Plastik *non-degradable* adalah plastik yang terbuat dari polimer sintetis yang berasal dari bahan baku anorganik seperti karbon, silika, hidrogen, nitrogen, oksigen, dan klorida. Bahan dasar tersebut di ekstrak dari minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Secara umum plastik sintetis dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu plastik termoplas dan plastik termoset.

2.5.1 Plastik Termoplas

Plastik termoplas adalah golongan plastik yang dapat dicetak berulang-ulang dengan adanya panas. Jenis plastik yang termasuk ke dalam golongan ini adalah polietilena (PE), polipropilena (PP), dan juga nilon. Sifat plastik termoplas adalah lentur, muda terbakar, tidak tahan panas, dapat didaur ulang, dan memiliki rantai lurus.

2.5.2 Plastik Termoset

Plastik termoset merupakan plastik yang apabila telah mengalami suatu kondisi tertentu sudah tidak dapat dicetak kembali karena bangun polimernya yang berbentuk tiga dimensi. Plastik yang termasuk golongan ini adalah *poly urethane* (PU), *urea formaldehyde* (UF), *melamine formaldehyde* (MF), dan *polyester*. Sifat plastik ini yaitu kaku, tidak mudah terbakar, dan tahan terhadap suhu tinggi.

Plastik merupakan komoditi yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Hampir semua peralatan atau produk yang digunakan terbuat dari plastik. Selain itu, plastik juga sering digunakan sebagai bahan pengemas makanan. Namun pada kenyataannya, polimer sintetis pada plastik akan terdegradasi dalam waktu puluhan bahkan ratusan tahun. Jika dibakar, plastik akan menghasilkan emisi karbon yang mencemari. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi

permasalahan ini adalah dengan mengganti penggunaan plastik sintetis dengan bioplastik (*biodegradable*).

Sifat-sifat plastik sesuai dengan Standar Nasional Indonesia ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Plastik Sesuai SNI

Karakteristik	Nilai
Kuat Tarik (Mpa)	24,7-302
Persen elongasi (%)	21-220
Hidrofobisitas (%)	99

(BSN, 2016)

2.6 Bioplastik

Bioplastik merupakan plastik yang memiliki sifat ramah lingkungan. bioplastik terdiri dari plastik *biodegradable* (plastik yang dihasilkan dari material fosil) dan plastik *bio-based* (plastik disintesis dari biomassa atau sumber daya terbarukan). *Biodegradable* terdiri dari tiga suku kata yaitu *bio* yang memiliki arti makhluk hidup, *degra* yang memiliki arti terurai dan *able* yang berarti dapat. Jadi *biodegradable* merupakan limbah yang dapat hancur atau terurai oleh organisme hidup lainnya yang berasal dari tumbuhan dan hewan (Reddy dkk., 2013). Menurut *American Society for Testing Materials* (ASTM), plastik *biodegradable* atau bioplastik merupakan plastik yang terdegradasi karena aksi mikroorganisme alami seperti bakteri, jamur, dan ganggang.

Dalam bahasa inggris plastik *biodegradable* dikenal dengan sebutan *Enviromantally Degredabable Polymers* (EDPs). *Enviromantally Degrdabable Polymers* (EDPs) memiliki beberapa definisi yaitu:

- Memiliki sifat yang sama dengan plastik konvensional selama masa penggunaan.
- Setelah digunakan bahan akan terdegradasi dalam senyawa dengan berat molekul rendah oleh kombinasi aksi agen fisika-kimia dan mikroorganisme di alam.
- Bahan yang terdegradasi akan menjadi CO₂ dan air.

Film bioplastik diklasifikasikan ke dalam tiga kategori berdasarkan sumbernya yaitu hidrokoloid (protein dan polisakarida), lemak (asam lemak dan asilgliserol), dan komposit (campuran hidrokoloid dan lemak).

a. Hidrokoloid

Dalam produksi bioplastik, hidrokoloid yang digunakan adalah protein dan polisakarida. Film yang terbentuk dari polisakarida dapat berupa pati, gum (alginate, pektin, dan gum arab), dan juga pati hasil modifikasi secara kimia. Sedangkan pembentukan bioplastik berbahan dasar protein dapat menggunakan kasein, protein kedelai, gluten gandum, dan protein jagung (Nahwi, 2016)

b. Lipida

Bioplastik yang berasal dari lipida umumnya digunakan sebagai penghambat uap air atau bahan pelapis pada produk-produk permen. Film yang terbuat dari lemak murni bersifat terbatas karena menghasilkan kekuatan struktur film yang kurang baik (Nahwi, 2016).

c. Komposit

Komposit Bioplastik terdiri dari komponen lipida dan hidrokoloid. Aplikasi dari komposit film terdapat dalam lapisan satu-satu (bilayer), dimana satu lapisan hidrokoloid dan satu lapisan lain merupakan lipida atau dapat berupa gabungan antara lipida dan hidrokoloid dalam satu kesatuan film. Gabungan keduanya digunakan dengan mengambil keuntungan dari komponen lipida dan hidrokoloid. Lipida diketahui dapat meningkatkan ketahanan terhadap penguapan air dan hidrokoloid sendiri dapat memberikan daya tahan (Nahwi, 2016).

2.6.1 Metode Pembuatan Bioplastik

Bioplastik dapat dihasilkan dengan beberapa cara, salah satunya adalah biosintetis menggunakan bahan berpati atau berselulosa. Cara pembuatan bioplastik berbasiskan pati antara lain:

- a. Mencampur pati dengan plastik konvensional (PE atau PP) dalam jumlah kecil (10-20%).
- b. Mencampur pati dengan turunan hasil samping minyak bumi, seperti PCL, dalam komposisi yang sama (50%).

- c. Menggunakan proses ekstruksi untuk mencampur pati dengan bahan-bahan seperti protein kedelai, gliserol, alginat, lignin, dan sebagainya sebagai *plasticizer*.

Metode yang paling umum digunakan dalam produksi bioplastik adalah metode *melt intercalation*. *Melt intercalation* merupakan teknik inversi fasa dengan penguapan pelarut setelah proses pencetakan yang dilakukan pada pelat kaca. Metode pembuatan ini didasarkan pada prinsip termodinamika larutan dimana keadaan awal larutan stabil kemudian mengalami ketidakstabilan, dari cair menjadi padat (Pamilia dkk., 2014).

2.6.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pembuatan Plastik *Biodegradable*

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan dalam proses pembuatan bioplastik, diantaranya temperatur, konsentrasi polimer, *plasticizer*, dan bahan tambahan (Hartatik dkk., 2014).

a. Temperatur

Perlakuan suhu diperlukan untuk membentuk bioplastik yang utuh. Tanpa adanya perlakuan panas, kemungkinan terjadinya interaksi antar molekul sangatlah kecil, sehingga pada saat dikeringkan plastik akan menjadi retak dan berubah menjadi potongan-potongan kecil. Perlakuan panas ini akan menjadikan pati tergelatinisasi sehingga terbentuk pasta pati. Temperatur gelatinisasi dari pati adalah berkisar pada 65-75°C.

b. Konsentrasi polimer

Konsentrasi pati akan sangat berpengaruh terhadap sifat fisik dari bioplastik yang dihasilkan. Semakin besar konsentrasi pati, maka jumlah polimer penyusun matrik plastik akan semakin besar sehingga dihasilkan plastik yang tebal dan tidak rapuh.

c. *Plasticizer*

Plasticizer merupakan bahan non-volatil yang ditambahkan ke dalam formula plastik. Bahan ini akan mempengaruhi sifat mekanik dan fisik plastik yang terbentuk karena akan mengurangi sifat intermolekul dan menurunkan ikatan hidrogen internal. Penambahan *plasticizer* diperlukan untuk mengatasi sifat rapuh plastik yang disebabkan oleh kekuatan intermolekul ekstensif.

d. Bahan tambahan

Komponen yang dapat ditambahkan dalam pembuatan bioplastik yaitu bahan pengisi atau *filler*. *Filler* merupakan sebuah bahan pengisi pada suatu bahan material, yang bertujuan untuk meningkatkan atau merubah karakteristik suatu material. *Filler* merupakan bahan yang seringkali digunakan dalam pembuatan bioplastik, karena *filler* memiliki properti-properti yang dibutuhkan oleh bioplastik untuk meningkatkan kualitasnya.

Penambahan *filler* pada bioplastik dapat meningkatkan sifat-sifat mekanik seperti kekakuan, kekuatan, ketahanan gas, ketahanan leleh, kestabilan thermal, dan lain sebagainya. Adapun filler yang umum digunakan pada adalah *Carboxymethyl Cellulose* (CMC), *Zinc Oxide* (ZnO), Kenaf, *Cellulose Nanofibers* (CNF), Mikrokrystalin Selulosa (MCC), Kalsium Karbonat (CaCO₃), dan Silika.

2.6.3 Karakteristik Bioplastik

Keberhasilan dari proses pembuatan bioplastik dapat dilihat dari karakteristik film yang dihasilkan. Karakteristik ini meliputi kemampuan degradasi film (biodegradabilitas), kekuatan tarik, elongasi, dan ketahanan air.

a. Biodegradabilitas

Biodegradasi didefinisikan sebagai kemampuan mendekomposisi bahan polimer alam (lignin, selulosa) dan polimer sintesis (polietilen, polisterin) menjadi karbondioksida, metana, air, komponen anorganik atau biomassa melalui mekanisme enzimatik mikroorganisme, yang bisa diuji dengan pengujian standar dalam periode waktu tertentu.

Mikroorganisme memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga proses degradasi yang dilakukan oleh satu mikroorganisme dengan mikroorganisme lainnya juga berbeda. Mikroorganisme menurunkan polimer seperti polietilen, poliuretan dengan menggunakannya sebagai substrat untuk pertumbuhan mereka. Berbagai faktor yang mempengaruhi proses biodegradasi adalah jenis polimer, karakteristik organisme, dan jenis perlakuan yang diberikan (Bhardwaj dkk., 2012). Faktor lainnya adalah temperatur, cahaya, pH, kandungan oksigen, kandungan air, dan kondisi plastik yang meliputi luas permukaan, titik leleh, dan elastisitas mempunyai peranan penting dalam proses biodegradasi.

Pengujian sifat biodegradabilitas bahan plastik dapat dilakukan menggunakan enzim, mikroorganisme, dan uji penguburan (*soil burial test*). Standar pengujian ini telah ditetapkan oleh lembaga standarisasi dunia seperti Standar Nasional Amerika (ASTM), Eropa (CEN), Jerman (DIN), Jepang (JIS), dan Organisasi Standar Nasional (ISO) untuk mengevaluasi dan mengkuantifikasi biodegradabilitas di bawah kondisi lingkungan atau pembuangan yang berbeda seperti pengomposan, tanah, laut, dan *anaerobic digester*.

Metode pengujian *soil burial test* merupakan cara termudah untuk mengetahui kemampuan suatu bahan terdegradasi dan memiliki kondisi yang sama dengan pembuangan sampah sebenarnya dengan penanaman sampel di dalam tanah. Sampel berupa film bioplastik ditanamkan pada tanah dengan kedalaman tertentu dan diamati secara berkala hingga terdegradasi secara sempurna.

b. Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Nilai kuat tarik merupakan penentuan daya regang atau biasanya disebut kekuatan tarik atau gaya maksimum yang terjadi selama pengukuran film plastik. Semakin tinggi gaya yang dihasilkan oleh film plastik maka kekuatannya akan semakin besar (Fardhyanti & Julianur, 2015). Hasil pengukuran ini berhubungan erat dengan jumlah *plasticizer* yang ditambahkan pada proses produksi.

Kekuatan tarik suatu bahan merupakan gambaran mutu bahan secara mekanik. Sifat ini menunjukkan bagaimana materi akan bereaksi terhadap gaya yang diterapkan dalam ketegangan. Uji tarik merupakan uji mekanik dasar yang digunakan untuk menentukan modulus elastisitas, batas elastis, elongasi, dan sifat tarik lainnya.

Karakterisasi uji tarik dari suatu bahan dilakukan dengan menambahkan beban secara perlahan-lahan hingga bahan tersebut patah. Pada waktu bersamaan, pertambahan panjang material juga dapat diukur.

Secara praktis, kekuatan tarik diartikan sebagai besarnya beban maksimum (F_{maks}) yang dibutuhkan untuk memutuskan spesimen bahan, dibagi dengan luas penampang bahan. Kekuatan tarik suatu bahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

σ = kekuatan tarik (N/mm²)

F_{maks} = beban maksimum yang dapat ditahan (N)
 A_0 = luas penampang sampel (mm^2)

c. Persen Pemanjangan (elongasi)

Panjang putus (*elongation at break*) atau proses pemanjangan merupakan perubahan panjang maksimum pada saat terjadi peregangan hingga sampel film terputus. Pada umumnya adanya penambahan *plasticizer* dalam jumlah besar akan menghasilkan nilai persen pemanjangan yang besar pula. Tanpa penambahan *plasticizer*, amilosa dan amilopektin akan membentuk suatu film dan struktur dengan satu daerah kaya amilosa dan amilopektin. Interaksi antara molekul-molekul amilosa dan amilopektin mendukung formasi film, menjadikan film pati jadi rapuh dan kaku (Kristiani, 2015). Elastisitas suatu material (elongasi) dapat dicari dengan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang semula seperti pada persamaan berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

ε = elastisitas/regangan (%)
 Δl = pertambahan panjang (cm)
 l_0 = panjang mula-mula material yang diukur

d. Ketahanan air

Sifat ketahanan bioplastik terhadap air ditentukan dengan uji *swelling* yaitu persentase pengembangan plastik oleh adanya air (Utomo, dkk, 2013). Uji ini dilakukan untuk mengetahui terjadinya ikatan dalam polimer serta tingkatan atau keteraturan ikatan dalam polimer yang ditentukan melalui persentase penambahan berat polimer setelah mengalami pengembangan. Proses terdifusinya molekul pelarut ke dalam polimer akan menghasilkan gel yang mengembang (Kristiani, 2015).

Ketahanan bioplastik terhadap air ditandai dengan rendahnya hasil persentase *swelling* yang dialami bioplastik pada saat penambahan CMC. Menurut Ummah (2013), prosedur uji ketahanan air pada sampel bioplastik adalah sebagai berikut: berat awal sampel yang akan diuji ditimbang (W_0), lalu isi suatu wadah (botol/gelas/mangkok) dengan air aquades. Letakkan sampel plastik ke dalam wadah tersebut. Setelah 10 detik angkat dari dalam wadah berisi aquades, timbang

berat sampel (W) yang telah direndam dalam wadah. Rendam kembali sampel ke dalam wadah tersebut, angkat sampel tiap 10 detik, timbang berat sampel. Melakukan hal yang sama hingga diperoleh berat akhir sampel yang konstan. Air yang diserap oleh sampel dihitung melalui persamaan:

$$\text{Penyerapan air (\%)} = \frac{w-w_0}{w_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

W₀ = berat sampel kering

W = berat sampel setelah direndam air

Kemudian persen air yang diserap dikalkulasi dalam perhitungan berikut untuk mendapatkan persen ketahanan air.

$$\text{Ketahanan air} = 100\% - \text{persen air diserap} \dots\dots\dots(2.4)$$

2.6.4 Standar Mutu Bioplastik

Metode uji standar dan protokol diperlukan untuk menetapkan dan mengkuantifikasi sifat mekanik dan biodegradasi bioplastik. Berikut merupakan standar yang digunakan dalam proses produksi bioplastik.

Tabel 2. 4 Standar Mutu Bioplastik

	SNI	ASTM	JIS
Biodegradabilitas	> 60% dalam satu minggu	> 60% (<i>homopolymer</i>) > 90% (<i>copolymer</i>) Dalam 180 hari	> 60% dalam 180 hari
Kuat Tarik	1-10 Mpa	1-10 Mpa	0,35 Mpa
Elongasi (%)	10-20%	9%	9%

(Herawati dkk., 2017)

Tabel 2. 5 Kriteria, Ambang Batas, dan Metode Uji/Verifikasi Bioplastik

Aspek Lingkungan	Persyaratan
Penggunaan bahan aditif	Tidak menggunakan zat warna <i>azo</i>
Degradabilitas	Pertumbuhan mikroba pada permukaan produk > 60% selama 1 minggu
Kandungan logam berat	Kandungan logam berat dalam produk: Cd : < 0,5 ppm Pb : < 50 ppm
<i>Tensile elongation</i>	Kuat beban yang diberikan maksimal kurang dari 50 kgf/cm ²

(BSN, 2016)