

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polimer

Polimer adalah suatu molekul raksasa (*makromolekul*) yang terbentuk dari susunan ulang molekul kecil yang terikat melalui ikatan kimia disebut polimer (*poly* = banyak; *mer* = bagian). Suatu polimer akan terbentuk bila seratus atau seribu unit molekul yang kecil (*monomer*), saling berikatan dalam suatu rantai. Jenis-jenis monomer yang saling berikatan membentuk suatu polimer terkadang sama atau berbeda. Sifat-sifat polimer berbeda dari monomer-monomer yang menyusunnya.

Polimer merupakan senyawa-senyawa yang tersusun dari molekul sangat besar yang terbentuk oleh penggabungan berulang dari banyak molekul kecil. Molekul yang kecil disebut monomer, dapat terdiri dari satu jenis maupun beberapa jenis. Polimer adalah sebuah molekul panjang yang mengandung rantai-rantai atom yang dipadukan melalui ikatan kovalen yang terbentuk melalui proses polimerisasi dimana molekul monomer bereaksi bersama-sama secara kimiawi untuk membentuk suatu rantai linier atau jaringan tiga dimensi dari rantai polimer. Polimer didefinisikan sebagai makromolekul yang dibangun oleh pengulangan kesatuan kimia yang kecil dan sederhana yang setara dengan monomer, yaitu bahan pembuat polimer.

2.1.1 Penggolongan Polimer

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

2.1.1.1 Polimer Alam

Polimer alam telah dikenal sejak ribuan tahun yang lalu. Polimer alam adalah senyawa yang dihasilkan dari proses metabolisme makhluk hidup. jumlahnya yang terbatas dan sifat polimer alam yang kurang stabil, mudah menyerap air, tidak stabil karena pemanasan dan sukar dibentuk menyebabkan

penggunaannya amat terbatas. Contoh sederhana polimer alam seperti ; Amilum dalam beras, jagung dan kentang , pati , Selulosa dalam kayu , protein terdapat dalam daging dan karet alam diperoleh dari getah atau lateks pohon karet.

Protein, DNA, kitin pada kerangka luar serangga, wool, jaring laba-laba, sutera dan kepompong ngengat, adalah polimer-polimer yang disintesis secara alami. Serat-serat selulosa yang kuat menyebabkan batang pohon menjadi kuat dan tegar untuk tumbuh dengan tinggi seratus kaki dibentuk dari monomer-monomer glukosa, yang berupa padatan kristalin yang berasa manis. Polimer alam dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Contoh dari jenis-jenis polimer alam

Polimer	Monomer	Polimerisasi	Contoh
Pati/amilum	Glukosa	Kondensasi	Biji-bijian, akar umbi
Selulosa	Glukosa	Kondensasi	Sayur, Kayu, Kapas
Protein	Asam amino	Kondensasi	Susu, daging, telur, wol, sutera
Asam nukleat	Nukleotida	Kondensasi	Molekul DNA dan RNA (sel)
Karet alam	Isoprena	Adisi	Getah pohon karet

Sumber: Anggunchemistry.blogspot.com, 2011

2.1.1.2 Polimer Sintetis

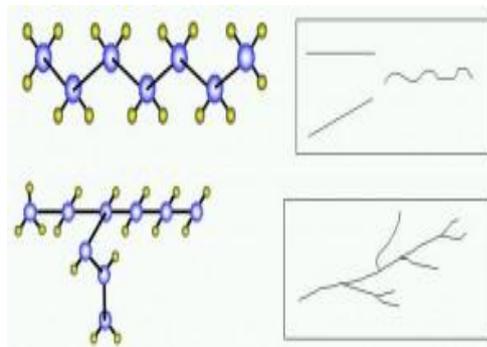
Polimer buatan dapat berupa polimer regenerasi dan polimer sintetis. Polimer regenerasi adalah polimer alam yang dimodifikasi. Contohnya rayon, yaitu serat sintetis yang dibuat dari kayu (selulosa). Polimer sintetis adalah polimer yang dibuat dari molekul sederhana (monomer) dalam pabrik atau polimer yang dibuat dari bahan baku kimia disebut polimer sintetis seperti polyetena, polipropilena, poly vynil chlorida (PVC), dan nylon. Kebanyakan polimer ini sebagai plastik yang digunakan untuk berbagai keperluan baik untuk rumah tangga, industri, atau mainan anak-anak.

Polimer sintetis yang pertama kali yang dikenal adalah *bakelit* yaitu hasil kondensasi fenol dengan formaldehida, yang ditemukan oleh kimiawan kelahiran Belgia Leo Baekeland pada tahun 1907. Bakelit merupakan salah satu jenis dari produk-produk konsumsi yang dipakai secara luas. Beberapa contoh polimer yang dibuat oleh pabrik adalah nylon dan poliester, kantong plastik dan botol, pita karet, dan masih banyak produk lain yang ada pada kehidupan sehari-hari.

Berdasarkan sifatnya terhadap panas, polimer dapat dibedakan atas polimer termoplastik (tidak tahan panas, seperti plastik) dan polimer termoseting (tahan panas, seperti melamin). Klasifikasi polimer ini dibedakan menjadi dua, yaitu polimer termoplastik dan polimer termoseting.

a. 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. Bentuk struktur termoplastik dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut :



Sumber: Anggunchemistry.blogspot.com, 2014

Gambar 1. Bentuk struktur bercabang termoplastik

Polimer termoplastik memiliki sifat – sifat khusus sebagai berikut.

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

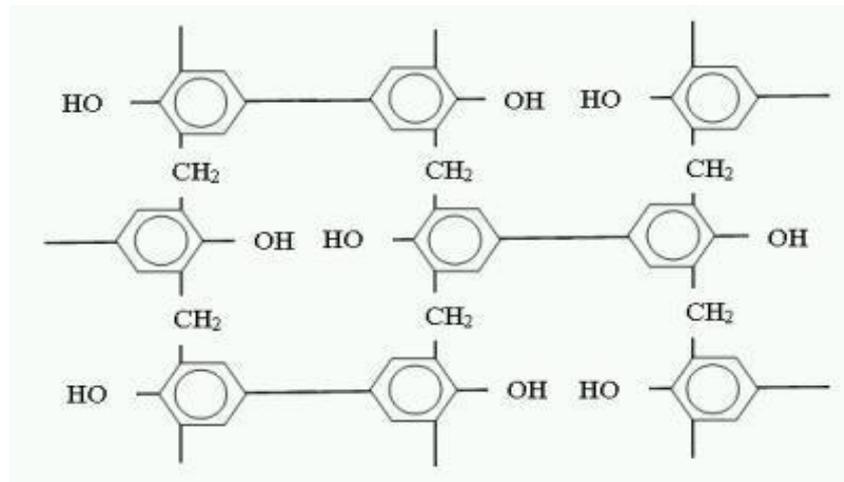
- f. Fleksibel.
- g. Titik leleh rendah.
- h. Dapat dibentuk ulang (daur ulang).
- i. Mudah larut dalam pelarut yang sesuai.
- j. Memiliki struktur molekul linear/bercabang.

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. Polivinilklorida (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.

b. 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. Bentuk struktur ikatan silang dapat dilihat pada gambar 2 sebagai berikut:



Sumber: *Anggunchemistry.blogspot.com, 2014*

Gambar 2. Bentuk struktur ikatan silang polimer termoseting

Sifat polimer termoseting sebagai berikut.

- 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. Jika dipanaskan akan meleleh.
- f. Tahan terhadap asam basa.
- g. Mempunyai ikatan silang antarrantai molekul.

Dari klasifikasi polimer yang telah dijabarkan sebelumnya, dapat dilihat beberapa perbedaan dari polimer termoplastik dan polimer termoseting pada tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Perbedaan Polimer Termoplastik dan Termoseting

Polimer Termoplas	Polimer Termoset
Mudah diregangkan	Keras dan Rigid
Fleksibel	Tidak Fleksibel
Tidak leleh rendah	Tidak meleleh jika dipanaskan
Dapat dibentuk ulang	Tidak dapat dibentuk ulang

Sumber: *Anggunchemistry.blogspot.com, 2014*

2.2 Plastik

Plastik adalah polimer rantai panjang atom mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang, atau *monomer*. Plastik yang umum terdiri dari polimer karbon saja atau dengan oksigen, nitrogen, *chlorine* atau belerang di tulang belakang. Tulang-belakang adalah bagian dari rantai di jalur utama yang menghubungkan unit monomer menjadi kesatuan. Untuk mengeset properti plastik grup molekuler berlainan bergantung dari tulang-belakang (biasanya digantung sebagai bagian dari monomer sebelum menyambungkan monomer bersama untuk membentuk rantai polimer).

Plastik merupakan material yang baru secara luas dikembangkan dan digunakan sejak abad ke-20 yang berkembang secara luar biasa penggunaannya dari hanya beberapa ratus ton pada tahun 1930-an, menjadi 150 juta ton/tahun pada tahun 1990-an dan 220 juta ton/tahun pada tahun 2005. Saat ini penggunaan material plastik di negara-negara Eropa Barat mencapai 60 kg/orang/tahun, di Amerika Serikat mencapai 80 kg/orang/tahun, sementara di India hanya 2 kg/orang/tahun.

Pengembangan plastik berasal dari penggunaan material alami (seperti: permen karet) sampai ke material alami yang dimodifikasi secara kimia (seperti: karet alami) dan akhirnya ke molekul buatan-manusia (seperti: *epoxy*, *polyvinyl chloride*, *polyethylene*).

Kata “plastik” digunakan untuk menyebutkan sejumlah besar material organik sintetis yang kebanyakan merupakan polimer termoplas dan termoset yang mempunyai massa molekul besar dan dapat dibuat menjadi benda, film, atau filament. Plastik *biodegradable* dapat terbentuk dari pati, selulosa, PLA (poli asam laktat), PHA (poli hidroksi alkanoat), dan protein (Devino, 2014).

Sifat-sifat plastik sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Sifat Mekanik Plastik Sesuai SNI

No.	Karakteristik	Nilai
1.	Kuat tarik (MPa)	24,7-302
2.	Persen elongasi (%)	21-220
3.	Hidrofobisitas (%)	99

Sumber: Darni dan Herti (2010)

2.2.1 Jenis plastik

Plastik dibagi menjadi dua klasifikasi utama berdasarkan pertimbangan-pertimbangan ekonomis dan kegunaannya: plastik komoditi dan plastik teknik. Plastik- plastik komoditi dicirikan oleh volumenya yang tinggi dan harga yang murah. Plastik ini bisa diperbandingkan dengan baja dan aluminium dalam industri logam. Mereka sering dipakai dalam bentuk barang yang bersifat pakai-buang (*disposable*) seperti lapisan pengemas, namun ditemukan juga pemakaiannya dalam barang-barang yang tahan lama. Plastik teknik lebih mahal harganya dan volumenya lebih rendah, tetapi memiliki sifat mekanik yang unggul dan daya tahan yang lebih baik. Mereka bersaing dengan logam, keramik dan gelas dalam berbagai aplikasi.

Plastik komoditi pada prinsipnya terdiri dari empat jenis polimer utama: polietilena, polipropilena, polivinil klorida dan polistirena. Polietilena dibagi menjadi produk massa jenis rendah ($<0,94 \text{ g/cm}^3$) dan produk masa jenis tinggi ($>0,94 \text{ g/cm}^3$). Polietilena massa jenis tinggi secara essensial merupakan polimer linier dan polietilena massa jenis rendah bercabang). Plastik-plastik komoditi mewakili sekitar 90% dari seluruh produksi termoplastik, dan sisanya terbagi diantara kopolimer stirena-butadiena, kopolimer akrilonitril-butadiena-stirena (ABS), poliamida dan polyester. Plastik-plastik teknik yang utama diperlihatkan pada tabel plastik-plastik teknik yang utama, secara alfabetis bersama-sama dengan bab-bab yang membahasnya. Konsumsi plastik teknik dunia hingga akhir

80-an mencapai kira-kira $1,5 \times 10^9$ kg/tahun, diantaranya poliamida, polikarbonat, asetal, poli (fenilena oksida), dan polyester mewakili 99% dari pemasaran. Yang tidak diperlihatkan adalah bahan-bahan berkualitas teknik dari kopolimer akrilonitril-butadiena-stirena, berbagai polimer terflourinasi, dan sejumlah kopolimer dan paduan polimer yang meningkat jumlahnya.

Hampir semua plastik yang telah disebutkan sejauh ini merupakan termoplastik. Tabel plastik-plastik termoset utama memperlihatkan plastik-plastik termoset yang penting dengan urutan menurunnya konsumsi. Diantara plastik-plastik ini, hanya beberapa fenol-formaldehida dan urea-formaldehida dan polyester-poliester tak jenuh menduduki sekitar 90% dari seluruh produksi. Perbandingan produksi antar termoplastik dengan thermoset kira-kira 6:1. Tipe-tipe plastik komoditi, plastik teknik, dan plastik *thermoset* disajikan pada tabel 4, 5 dan 6 sebagai berikut :

Tabel 4. Plastik-plastik komoditi

Tipe	Singkatan	Kegunaan Utama
Polietilena massa jenis rendah	LDPE	Lapisan pengemas, isolasi kawat dan kabel, barang mainan, botol fleksibel, perabotan, bahan pelapis.
Polietilena massa jenis tinggi	HDPE	Botol, Drum, Pipa, Saluran, lembaran, film, isolasi kawat dan kabel.
Polipropilena	PP	Bagian-bagian mobil perkakas, tali, anyaman, karpet, film.
Polivinil klorida	PVC	Bahan bangunan, pipa tegar, bahan untuk lantai, isolasi kawat dan kabel, film dan lembaran
Polistirena	PS	Bahan pengemas (busa dan film), isolasi busa, perkakas, perabotan rumah, barang mainan.

Sumber: Kimia Polimer, 2001

Tabel 5. Plastik-plastik teknik yang utama

Tipe	Singkatan
Asetal ^a	POM
Poliamida ^b	-
Poli(amidaimida)	PAI
Poliarilat	-
Polikarbonat	PC
Poliester ^c	-
Polietereterketon	PEEK
Polieterimida	PEI
Poliimida	PI
Poli(fenilena oksida)	PPo
Poli(fenilena Sulfida)	PPS
Polisulfon ^d	-

Sumber: Kimia Polimer, 2001

^a nama umum untuk poliformaldehida. Singkatan dari poli(oksimetilena)

^bterutama nilon 6 dan nilon 66

^cterutama poli(etilena tereftalat) (PET) dan poli(butilena tereftalat) (PBT)

^dbeberapa tipe yang dipasarkan

Tabel 6. Plastik-plastik thermoset yang utama

Tipe	Singkatan	Kegunaan Khaas
Fenol-formaldehida	PF	Alat listrik dan elektronik, bagian mobil, perekat <i>plywood</i> , <i>Utensil handle</i>
Urea-formaldehida	UF	Sama seperti polimer PF, juga bahan pelapis
Poliester tak jenuh	-	Konstruksi, bagian-bagian mobil, lambung kapal, asesoris kapal, saluran anti korosi, pipa, tanki dan lain-lain, peralatan bisnis
Epoksi	-	Bahan pelapis protektif, perekat, aplikasi-aplikasi listrik dan elektronik, bahan lantai industri, bahan pengaspal jalan raya, bahan panduan (komposit)
Melamin-formaldehida	MF	Sama seperti polimer UF, bingkai dekoratif, tutup meja, perkakas makan

Sumber: Kimia Polimer, 2001

Plastik juga dapat digolongkan berdasarkan:

A. Sifat fisiknya

- a) Termoplastik. Merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang/dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Contoh: polietilen (PE), polistiren (PS), ABS, polikarbonat (PC)
- b) Termoset. Merupakan jenis plastik yang tidak bisa didaur-ulang/dicetak lagi. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan molekul-molekulnya. Contoh: resin epoksi, bakelit, resin melamin, urea-formaldehida

B. Kinerja dan penggunaannya

- a) Plastik komoditas
 1. sifat mekanik tidak terlalu bagus
 2. tidak tahan panas
 3. Contohnya: PE, PS, ABS, PMMA, SAN
 4. Aplikasi: barang-barang elektronik, pembungkus makanan, botol minuman
- b) Plastik teknik
 1. Tahan panas, temperatur operasi di atas 100 °C
 2. Sifat mekanik bagus
 3. Contohnya: PA, POM, PC, PBT
 4. Aplikasi: komponen otomotif dan elektronik
- c) Plastik teknik khusus
 1. Temperatur operasi di atas 150 °C
 2. Sifat mekanik sangat bagus (kekuatan tarik di atas 500 Kgf/cm²)
 3. Contohnya: PSF, PES, PAI, PAR
 4. Aplikasi: komponen pesawat

C. Berdasarkan jumlah rantai karbonnya

- a) C₁ - C₄ Gas (LPG, LNG)
- b) C₅ - C₁₁ Cair (bensin)

- c) $C_9 - C_{16}$ Cairan dengan viskositas rendah
- d) $C_{16} - C_{25}$ Cairan dengan viskositas tinggi (oli, gemuk)
- e) $C_{25} - C_{30}$ Padat (parafin, lilin)
- f) $C_{1000} - C_{3000}$ Plastik (polistiren, polietilen, dll)

D. Berdasarkan sumbernya

- a) Polimer alami : kayu, kulit binatang, kapas, karet alam, rambut
- b) Polimer sintetis:
 1. Tidak terdapat secara alami: nylon, poliester, polipropilen, polistiren
 2. Terdapat di alam tetapi dibuat oleh proses buatan: karet sintetis 45T
 3. Polimer alami yang dimodifikasi: seluloid, *cellophane* (bahan dasarnya dari selulosa tetapi telah mengalami modifikasi secara radikal sehingga kehilangan sifat-sifat kimia dan fisika asalnya)

2.3 Plastik *Biodegradable*

Biodegradable berasal dari kata bio dan degradable. *Bio* berarti hidup, sedangkan *degradable* berarti dapat diuraikan. Plastik *biodegradable* merupakan plastik yang digunakan layaknya seperti plastik sintetis, namun akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi hasil akhir air dan gas karbondioksida setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan. Plastik *biodegradable* adalah bahan yang mampu mengalami dekomposisi menjadi karbondioksida, metana, senyawa organik atau biomassa yang mekanismenya didominasi oleh aksi enzimatik dari mikroorganisme yang bisa diukur dengan pengujian standar, dalam waktu spesifik, mencerminkan kondisi penggunaan yang tersedia (Anggarini Fetty, 2013).

Plastik berbahan dasar tepung pati (amilum) dan polisakarida telah diproduksi oleh beberapa perusahaan dunia. Plastik *starch-based* ini seringkali bersifat menyerap air sehingga semakin mudah di degradasi. Beberapa plastik terdiri atas tepung pati saja, ada juga yang memadukan tepung pati dengan

komponen *biodegradable* lain. Plastik ini dibentuk dari bahan-bahan alam yang dapat diperbaharui daripada dibuat dari bahan bakar fosil yang sulit diperbaharui.

Degradasi (*degradation*) merupakan proses satu arah (*irreversible*) yang mengarah pada perubahan signifikan dari suatu struktur material, dengan cara kehilangan komponen, misalnya berat molekul atau berat struktur disertai dengan pemecahan (*fragmentation*). Degradasi disebabkan oleh kondisi lingkungan dan terjadi dalam satu tahap atau lebih, sedangkan plastik *biodegradable* menunjukkan keadaan plastik yang terdegradasi sebagai hasil dari aktivitas alam yang melibatkan mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan alga. Plastik *biodegradable* dapat terdegradasi oleh lingkungan tertentu misalnya tanah, kompos, atau lingkungan perairan.

Plastik *biodegradable* berbahan dasar pati/amilum dapat didegradasi oleh bakteri *pseudomonas* dan *bacillus sp* memutus rantai polimer menjadi monomer-monomernya. Senyawa-senyawa hasil degradasi plastik *biodegradable* selain menghasilkan senyawa organik dan aldehyd sehingga plastik ini aman bagi lingkungan. Sebagai perbandingan, plastik sintetik membutuhkan waktu sekitar 100 tahun agar dapat terdekomposisi 10 hingga 20 kali lebih cepat. Hasil degradasi plastik ini dapat digunakan sebagai makanan ternak atau sebagai pupuk kompos. Plastik *biodegradable* yang terbakar tidak menghasilkan senyawa kimia yang berbahaya.

Ungkapan plastik *biodegradable* merujuk pada serangan mikroorganisme pada material berbasis polimer yang tidak larut dalam air, yaitu plastik. Oleh karena kurang larut dalam air dan ukuran molekul polimer, yaitu mikroorganisme tidak mampu berpindah dalam material polimer secara langsung ke dalam sel sebagai tempat sebagian besar proses biokimia.

2.3.1 Faktor- faktor yang mempengaruhi Biodegradabilitas Plastik

Biodegradabilitas plastik polimer terbuat dari bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui sangat rendah, sehingga perlu dibuat suatu plastik yang memiliki biodegradabilitas yang tinggi setelah dipakai dan dibuang ke lingkungan.

Biodegradabilitas plastik, misalnya PHA (polihidroksilalkanoat) ditentukan oleh banyak faktor diantaranya faktor lingkungan, meliputi cuaca iklim, dan kelembaban udara. Faktor lainnya adalah temperatur, cahaya, pH, kandungan oksigen, kandungan air dan keberadaan organisme pengurai. Komposisi plastik berhubungan dengan sifat biodegradabilitasnya. Kondisi permukaan (luas permukaan, hidrofil), titik leleh, elastisitas, dan kristalinitas mempunyai peranan penting dalam proses biodegradasi (Tokiwa, dkk., 2009). Tanah yang mengandung bakteri dan fungi penghasil enzim depolimerisasi plastik *biodegradable* mampu mendegradasi plastik tersebut dengan cara memutuskan rantai polimernya.

ASTM (*American Society for Testing of Material*) dan ISO (*International Standards Organization*) mendefinisikan plastik *biodegradable* sebagai plastik yang bisa mengalami perubahan signifikan dalam struktur kimia pada kondisi lingkungan yang spesifik. Plastik *biodegradable* mengalami degradasi melalui aksi natural dari jamur (fungi), bakteri, dan alga. Plastik dapat dibuat sebagai plastik *photoegradable*, *oxidative degradable*, *hydrolytically degradable*, atau dapat dikomposkan (Kumar, dkk., 2011).

2.3.2 Karakterisasi Plastik *Biodegradable*

2.3.2.1 Uji Kuat Tarik (Tensile Strength)

Dalam istilah umum, *strength* atau kekuatan dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu struktur untuk menahan beban tanpa mengalami kerusakan. Kerusakan dapat terjadi oleh deformasi struktur. *Tensile* termasuk juga ketahanan material terhadap kuat tekan atau tegangan. Jumlah kekuatan yang dibutuhkan untuk memecahkan material dan perkiraan jumlah sebelum pecah adalah hal penting untuk kebanyakan material dan perkiraan jumlah sebelum pecah adalah hal penting untuk kebanyakan material dan perkiraan jumlah sebelum pecah adalah hal yang penting untuk kebanyakan material, ketahanan awal dari tekanan, atau modulus, dan titik defomasi tetap, berasal dari kurva tekanan (*force*) versus perpanjangan (elongation). Analisis kurva force-elongation atau tekanan-regangan (stress-strain) dapat memberitahu banyak hal tentang material yang diuji, dan hal

ini sangat membantu dalam memperkiraan sifat material tersebut. Hasil pengukuran ini berhubungan erat dengan jumlah *plasticizer* yang di tambahkan pada proses pembuatan plastik.

2.3.2.2 Uji Ketahanan Air

Uji ketahanan air dari plastik berbahan propilen (PP) adalah sebesar 0,01 atau sebesar 1% sehingga plastik tersebut efektif digunakan sebagai wadah makanan yang banyak mengandung air. Uji ketahanan air ini diperlukan untuk mengetahui sifat bioplastik yang dibuat sudah mendekati sifat plastik sintetis atau belum, karena konsumen plastik memilih plastik dengan sifat yang sesuai keinginan, salah satunya adalah tahan terhadap air (Darni, dkk., 2009).

Penelitian yang dilakukan oleh Sarka, dkk (2011) dengan membandingkan antara pati asli dengan pati terasetalisasi dalam hal sifat ketahanan airnya, maka pati terasetilasi mampu meningkatkan ketahanan air plastik daripada pati asli.

2.3.2.3 Uji Biodegradasi

Uji biodegradasi atau kemampuan biodegradasi plastik dilakukan untuk mengetahui pengaruh alam terhadap plastik dalam jangka waktu tertentu, sehingga akan diperoleh persentase kerusakan. Selanjutnya dapat diperkirakan lamanya waktu yang dibutuhkan oleh plastik untuk terurai di alam secara sempurna.

Pimpan, dkk (2001) melakukan penelitian tentang pembuatan plastik *biodegradable* dari pati singkong termodifikasi. Salah satu uji yang dilakukan untuk mengetahui sifat plastik yang dihasilkan adalah uji biodegradasi dengan metode soil burialtest. Uji ini menunjukkan bahwa plastik tersebut terdegradasi secara sempurna dalam jangka waktu sebulan, ditinjau dari persen hilangnya berat plastik (*% weight loss*) yang tercapai 100%.

Biodegradasi tidak sepenuhnya berarti bahwa material *biodegradable* akan selalu terdegradasi. Berdasarkan standar *European Union* tentang biodegradasi plastik, plastik *biodegradable* harus terdekomposisi menjadi karbondioksida, air, dan substansi humus dalam waktu maksimal 6 sampai 9

bulan (Sarka, dkk, 2011). Percobaan yang dilakukan Sarka, dkk (2011) dengan menggunakan pati dari gandum, menunjukkan bahwa semakin banyak bagian patinya, maka semakin mudah pati terasetilasi, menunjukkan bahwa pati asli lebih mudah terdegradasi dari pati terasetilasi.

2.4 Ampas Tahu

Ampas Tahu merupakan limbah padat yang diperoleh dari proses pembuatan tahu dari kedelai . Sedangkan yang dibuat tahu adalah cairan atau susu kedelai yang lolos dari kain saring. Ditinjau dari komposisi kimianya ampas tahu dapat digunakan sebagai sumber protein. Kandungan protein dan lemak pada ampas tahu yang cukup tinggi namun kandungan tersebut berbeda tiap tempat dan cara pemrosesannya. Terdapat bahwa kandungan ampas tahu yaitu protein 8,66%; lemak 3,79%; air 51,63% dan abu 1,21%.

2.4.1 Cara Pembuatan Ampas Tahu

Proses pembuatan tahu melalui beberapa tahap pengolahan yaitu perendaman, penggilingan, ekstraksi, protein, penggumpalan dan pencetakan. Banyaknya air yang digunakan untuk ekstraksi protein menentukan banyaknya yang terekstrak, ditandai dengan banyaknya rendaman yang dihasilkan. Ekstraksi dilakukan dengan menggunakan sejumlah air tertentu dan pada suhu pendidihan bubur kedelai selanjutnya dilakukan penyaringan dan penggumaplan serta pencetakan. Sehingga pembuatan tahu ini didapatkan dua macam limbah yaitu limbah cairan dan limbah padat (ampas tahu).

2.4.2 Komposisi Zat Gizi

Ditinjau dari komposisi kimianya ampas tahu dapat digunakan sebagai sumber protein. Ampas tahu lebih tinggi kualitasnya dibandingkan dengan kacang kedelai. Protein ampas tahu mempunyai nilai biologis lebih tinggi dari pada protein biji kedelai dalam keadaan mentah, karena bahan ini berasal dari kedelai yang telah dimasak.

Ampas tahu juga mengandung unsur-unsur mineral mikro maupun makro yaitu untuk mikro; Fe 200-500 ppm, Mn 30-100 ppm, Cu 5-15 ppm, Co kurang dari 1 ppm, Zn lebih dari 50 ppm. Ampas tahu dalam keadaan segar berkadar air sekitar 84,5 % dari bobotnya. Kadar air yang tinggi dapat menyebabkan umur simpannya pendek. Ampas tahu basah tidak tahan disimpan dan akan cepat menjadi asam dan busuk selama 2-3 hari, sehingga ternak tidak menyukai lagi. Ampas tahu kering mengandung air sekitar 10,0 - 15,5 % sehingga umur simpannya lebih lama dibandingkan dengan ampas tahu segar. Komposisi Nutrisi/Kimia dapat dilihat pada tabel 7 di bawah ini :

Tabel 7. Komposisi Nutrisi/Kimia

Nutrisi	Ampas tahu	
	Basah (%)	Kering (%)
Bahan. Kering	14,69	88,35
Protein Kasar	2,91	23,39
Serat. Kasar	3,76	19,44
Lemak kasar	1,39	9,96
Abu	0,58	4,58
BETN	6,05	30,48

Sumber : TPDKBM, 2010

Tahu diproduksi dengan memanfaatkan sifat protein, yaitu akan menggumpal bila bereaksi dengan asam. Penggumpalan protein oleh asam cuka akan berlangsung secara cepat dan bersamaan diseluruh bagian cairan sari kedelai, sehingga sebagian besar air yang semula tercampur dalam sari kedelai akan terkumpul di dalamnya. Pengeluaran air yang terkumpul tersebut dapat dilakukan dengan memberikan tekanan. Semakin besar tekanan yang diberikan, semakin banyak air dapat dikeluarkan dari gumpalan protein. Gumpalan protein itulah yang disebut dengan tahu. Sebagai akibat proses pembuatan tahu, sebagian protein terbawa atau menjadi produk tahu, sisanya terbagi menjadi dua, yaitu terbawa dalam limbah padat (ampas tahu) dan limbah cair. Kandungan gizi dalam tepung ampas tahu masing-masing dapat dilihat dalam tabel 8 sebagai berikut :

Tabel 8. Kandungan gizi dalam tepung ampas tahu kadar 100 gr/ bahan

Unsur Gizi	Tepung Ampas Tahu
Karbohidrat	66,24 %
Protein	17,72 %
Lemak	2,62 %
Serat Kasar	3,23 %

Sumber: TPDKBM, 2010

2.5 *Plasticizer* Gliserin

2.5.1 *Plasticizer*

Plasticizer merupakan bahan yang ditambahkan ke dalam suatu bahan pembentuk film untuk meningkatkan fleksibilitasnya, karena dapat menurunkan gaya intermolekuler sepanjang rantai polimernya, sehingga film akan lentur ketika dibengkokkan (Mustikasari, 2014). Karakteristik fisik *edible film* dipengaruhi oleh jenis bahan serta jenis dan konsentrasi *plasticizer*. *Plasticizer* dari golongan polihidrik alkohol atau poliol di antaranya adalah gliserol dan sorbitol. Penambahan gliserol 1,5% pada pati garut butirat memberikan *edible film* lebih baik dibandingkan dengan penambahan sorbitol dan sirup glukosa.

Sifat fisik yang menentukan kualitas dan penggunaan *edible film* antara lain ketebalan, pemanjangan (*elongation*), dan kekuatan peregangan (*tensile strength*). Ketebalan menentukan ketahanan film terhadap laju perpindahan uap air, gas, dan senyawa volatil lainnya. *Edible film* relatif tahan terhadap perpindahan oksigen dan karbondioksida, namun kurang tahan terhadap uap air (Mustikasari, 2014).

Pemanjangan menunjukkan kemampuan rentang *edible film* yang dihasilkan. Penambahan sorbitol dapat meningkatkan nilai pemanjangan sehingga kerapuhan *edible film* menurun dan permeabilitasnya meningkat. Kekuatan peregangan (*tensile strength*) merupakan tarikan maksimum yang dapat dicapai sampai film tetap bertahan sebelum putus/sobek, yang menggambarkan kekuatan film (Devino, 2014).

2.5.2 Gliserin

Gliserin (Bahasa Inggris: *glycerol*, *glycerin*, *glycerine*) adalah senyawa Gliserida yang paling sederhana, dengan hidroksil yang bersifat hidrofilik dan higroskopik. Gliserin merupakan komponen yang menyusun berbagai macam lipid, termasuk trigliserida. Gliserin terasa manis saat dikecap, namun bersifat racun.

Edible film membutuhkan *plasticizer* dengan berat molekul rendah untuk meningkatkan fleksibilitas dan ketahanannya, dengan cara menginterupsi interaksi rantai polimer dan menurunkan suhu Transition Glass. Gliserin adalah senyawa alkohol polihidrat (polyol) dengan 3 buah gugus hidroksil dalam satu molekul atau disebut alkohol trivalent. Rumus kimia gliserin adalah $C_3H_8O_3$, berat molekul gliserin 92,10 massa jenisnya 1,23 g/cm³ dan titik didihnya 204°C. Gliserin mempunyai sifat mudah larut air, meningkatkan viskositas larutan, dan mengikat air. Gliserin merupakan salah satu *plasticizer* yang banyak digunakan karena cukup efektif mengurangi ikatan hidrogen internal sehingga akan meningkatkan jarak intermolekuler. Secara teoritis *plasticizer* dapat menurunkan gaya internal diantara rantai polimer, sehingga akan menurunkan tingkat kegetasan dan meningkatkan permeabilitas terhadap uap air (Mustikasari, 2014).

Gliserin merupakan *plastizicer* yang bersifat hidrofilik, sehingga cocok untuk bahan pembentuk film yang bersifat hidrofilik seperti pati. Ia dapat meningkatkan sorpsi molekul polar seperti air. Peran gliserol sebagai *plasticizer* dan konsentrasinya meningkatkan fleksibilitas film (Mustikasari, 2014). Molekul *plastizicer* akan mengganggu kekompakan pati, menurunkan interaksi intermolekuler dan meningkatkan mobilitas polimer. Selanjutnya mengakibatkan peningkatan elongation dan penurunan tensile strength seiring dengan peningkatan konsentrasi gliserin. Penurunan interaksi intermolekuler dan peningkatan mobilitas molekul akan memfasilitasi migrasi molekul uap air.

Gliserin adalah cairan kental yang tidak berwarna dan jika dicicipi terasa manis. Ia memiliki titik didih tinggi dan membeku dalam bentuk pasta. Yang paling umum gliserin yang digunakan adalah dalam sabun dan produk kecantikan

lainnya seperti lotion, meskipun juga digunakan, dalam bentuk nitrogliserin, untuk menciptakan dinamit.

Cairan ini sangat populer dalam produk kecantikan karena merupakan humektan – menyerap air sekitarnya. Ini berarti bahwa gliserin dapat membantu melapisi dengan kelembaban. Tidak hanya itu digunakan dalam proses pembuatan sabun, gliserin juga sebagai produk sampingan. Banyak produsen sabun sebenarnya mengekstrak gliserin selama proses pembuatan sabun dan membuat cadangan untuk digunakan dalam produk yang lebih mahal. Mengambil sejumlah tetap setiap batang dari sabunya, kemudian dapat ditambahkan untuk menghasilkan produk akhir yang bagus dengan pelembab ekstra. Tambahan juga meningkatkan aspek pembersihan sabun. Gliserin yang dapat dilarutkan dengan mudah ke dalam alkohol dan air tetapi tidak menjadi minyak. Senyawa kimia murni disebut Gliserol, yang menunjukkan bahwa itu adalah alkohol.

2.6 Tepung Maizena

Tepung jagung, pati jagung, atau tepung maizena adalah pati yang didapatkan dari endosperma biji jagung. Tepung jagung merupakan bahan makanan populer yang biasa digunakan sebagai bahan pengental sup atau saus, dan digunakan untuk membuat sirup jagung dan pemanis lainnya.

Tepung jagung digunakan sebagai bahan pengental pada makanan berbasis cairan (seperti sup). Tepung jagung dapat membentuk adonan ketika dicampur dengan air dingin. Nugget ayam menggunakan tepung jagung untuk meningkatkan penyerapan minyak dan kerenyahan ketika penggorengan. Tepung jagung dapat diolah menjadi bioplastik. Tepung jagung juga digunakan sebagai bahan anti lengket pada proses transportasi gula dan produk yang terbuat dari lateks, termasuk kondom dan sarung tangan medis.

2.7 Air (H₂O)

Air adalah substansi kimia dengan rumus kimia H₂O: satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) and temperatur 273,15 K (0 °C). Zat

kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting, yang memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik.

Keadaan air yang berbentuk cair merupakan suatu keadaan yang tidak umum dalam kondisi normal, terlebih lagi dengan memperhatikan hubungan antara hidrida-hidrida lain yang mirip dalam kolom oksigen pada tabel periodik, yang mengisyaratkan bahwa air seharusnya berbentuk gas, sebagaimana hidrogen sulfida. Dengan memperhatikan tabel periodik, terlihat bahwa unsur-unsur yang mengelilingi oksigen adalah nitrogen, fluor, fosfor, sulfur dan klor. Semua elemen-elemen ini apabila berikatan dengan hidrogen akan menghasilkan gas pada temperatur dan tekanan normal. Alasan mengapa hidrogen berikatan dengan oksigen membentuk fase berkeadaan cair, adalah karena oksigen lebih bersifat elektronegatif ketimbang elemen-elemen lain tersebut (kecuali fluor).

Tarikan atom oksigen pada elektron-elektron ikatan jauh lebih kuat dari pada yang dilakukan oleh atom hidrogen, meninggalkan jumlah muatan positif pada kedua atom hidrogen, dan jumlah muatan negatif pada atom oksigen. Adanya muatan pada tiap-tiap atom tersebut membuat molekul air memiliki sejumlah momen dipol. Gaya tarik-menarik listrik antar molekul-molekul air akibat adanya dipol ini membuat masing-masing molekul saling berdekatan, membuatnya sulit untuk dipisahkan dan yang pada akhirnya menaikkan titik didih air. Gaya tarik-menarik ini disebut sebagai ikatan hidrogen yang disajikan pada gambar 3 sebagai berikut :



Gambar 3. Ikatan Hidrogen dalam Air (H_2O)

Air sering disebut sebagai pelarut universal karena air melarutkan banyak zat kimia. Air berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan padat di bawah tekanan dan temperatur standar. Dalam bentuk ion, air dapat dideskripsikan sebagai sebuah ion hidrogen (H^+) yang berasosiasi (berikatan) dengan sebuah ion hidroksida (OH^-). Sifat fisik pada air dapat dilihat pada tabel 8 dibawah ini :

Tabel 8. Sifat-sifat Fisik pada Air (H_2O)

Sifat	Nilai
Massa molar	18.0153 g/mol
Densitas dan fase	0.998 g/cm ³ (cairan pada 20 °C) 0.92 g/cm ³ (padatan)
Titik lebur	0 °C (273.15 K) (32 °F)
Titik didih	100 °C (373.15 K) (212 °F)
Kalor jenis	4184 J/(kg·K) (cairan pada 20 °C)

Sumber: Wikipedia.org, 2015