

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodegradable foam

Salah satu jenis plastik yang populer sebagai bahan pengemas makanan dan minuman adalah styrofoam. Styrofoam banyak digunakan oleh produsen makanan sebagai bahan pengemas produk makanan ataupun minuman sekali pakai, baik makanan siap saji, segar maupun siap olah (Khalid, 2012: 592).

Hal tersebut dikarenakan keunggulan styrofoam yaitu tidak mudah bocor, praktis, ringan, murah dan mampu mempertahankan panas atau dingin, serta sering pula digunakan sebagai bahan pengemas barang yang bersifat fragile (Sulchan dan Endang 2007: 54). Selain memiliki banyak keuntungan, ternyata styrofoam juga memiliki banyak dampak negatif bagi kesehatan dan lingkungan (Etikaningrum, 2007: 1).

Styrofoam yang selama ini digunakan mengandung berbagai macam zat kimia yang dapat membahayakan makhluk hidup. Selain itu, styrofoam terbukti tidak ramah lingkungan, karena tidak dapat diuraikan sama sekali. Bahkan pada proses produksinya sendiri, menghasilkan limbah yang tidak sedikit, sehingga dikategorikan sebagai penghasil limbah berbahaya ke-5 terbesar di dunia oleh EPA (Environmental Protection Agency). Salah satu pilihan untuk pengganti polimer berbasis minyak bumi dan sintetis adalah polimer alam seperti pati dan kitosan (Tharanathan, 2003: 73). Berdasarkan sifat toxic yang dimiliki styrofoam, dilakukan pembuatan biodegradable foam yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme dalam tanah

Biodegradable foam merupakan bahan kemasan nabati yang ditujukan sebagai pengganti styrofoam. *Biodegradable foam* dibentuk dari biopolymer yaitu polimer yang dihasilkan dari alam dan sumber daya terbarukan (Siang, 2012). Pada proses pembuatan *biodegradable foam* tidak digunakan bahan kimia berbahaya seperti benzene dan styrene yang bersifat karsinogenik. Pembuatan *biodegradable foam* memanfaatkan kemampuan pati untuk mengembang akibat adanya proses panas dan tekanan. *Biodegradable foam* juga dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran sesuai kebutuhan.

Biodegradable foam memiliki tiga jenis yaitu (1) *biodegradable foam* berupa butiran kecil (loose fill foam) yang umumnya digunakan sebagai penyerap getaran atau bantalan pada produk-produk yang mudah rusak seperti elektronik, (2) *biodegradable foam* yang berupa lembaran yang selanjutnya akan dibentuk atau dimolding dan (3) *biodegradable foam* yang dengan bentuk khusus seperti mangkuk, piring, dan gelas yang dibuat dengan proses pembakaran (ES Iriani, 2016).



Gambar 2.1 Biodegradable foam

Salah satu sumber daya terbarukan adalah pati. Pati memiliki polimer yang potensial karena murah, dan mudah tergedradasi oleh mikroorganisme tanah. Kelemahan dari pati yaitu bersifat hidrofilik (mudah rapuh bila terkena air), sehingga membuat produk pati sangat sensitif terhadap kelembaban relatif pada tempat penyimpanannya (Mansor, 2011).

Kemasan plastik berbahan dasar pati aman bagi lingkungan. Kemasan plastik dengan bahan baku berupa polimer sintetis membutuhkan waktu sekitar 50 tahun agar dapat terdekomposisi secara alamiah, sementara *biodegradable foam* dapat terdekomposisi 10 hingga 20 kali lebih cepat (Huda, 2007). Kemasan plastik yang terbuat dari pati bersifat isotropik, tidak beracun dan *biodegradable* (Flores dkk., 2007).

Sifat-sifat biodegradable foam sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Standar SNI Biodegradable foam

Karakteristik	Nilai
Daya Serap Air (%)	26,12 %
Kuat Tarik (Mpa)	29,16 Mpa
Tingkat Biodegradasi (%)	100% selama 60 hari

2.2 Pati

Pati merupakan polimer alami yang memiliki kemampuan untuk mengembang bila dipanaskan. Kemampuan ini dapat dimanfaatkan dalam pembuatan *biodegradable foam*. Namun demikian sifat alami pati yang hidrofilik serta mudah terdegradasi harus menjadi perhatian dalam pemanfaatannya. Berbagai upaya dilakukan untuk mengatasi kelemahan tersebut antara lain dengan modifikasi maupun dengan mencampurkan pati dengan berbagai bahan tambahan lainnya (ES Iriani, 2016)

Pati merupakan homopolimer glukosa dengan ikatan α -glikosidik (Winarno, 1984) yang juga merupakan senyawa terbanyak kedua yang dihasilkan oleh tanaman setelah selulosa (Samsuri, 2008: 3). Pati merupakan bahan yang dapat atau mudah terdegradasi menjadi senyawa-senyawa ramah lingkungan (Sirappa, 2003). Komposisi pati pada umumnya terdiri dari amilopektin sebagai bagian terbesar dan sisanya amilosa (Hartati, 2003: 29).

Amilosa merupakan komponen pati yang mempunyai rantai lurus dan larut dalam air. Umumnya komposisi amilosa sebagai penyusun pati adalah 15–30%. Amilosa terdiri dari satuan glukosa yang bergabung melalui ikatan α -(1,4)-D-glukosa. Struktur amilosa yang tidak bercabang menyebabkan amilosa memiliki sifat kristalin (Krogars, 2003). Amilosa merupakan komponen yang larut dalam air pada suhu 70 sampai 80oC (Heldman, 1980).

Polisakarida seperti pati dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan plastik *biodegradable*. Pati sering digunakan dalam industri pangan sebagai *biodegradable film* untuk menggantikan polimer plastik karena ekonomis, dapat diperbaharui, dan memberikan karakteristik fisik yang baik (Bourtoom, 2007). Ubi-ubian, sereal, dan biji polong-polongan merupakan sumber pati yang paling penting. Ubi-ubian yang sering dijadikan sumber pati antara lain ubi jalar, kentang, dan singkong (Liu, 2005 dalam Cui, 2005). Pati yang berasal dari singkong dapat diperoleh baik dari daging ataupun kulit arinya. Kandungan pati pada beberapa bahan pangan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 2.2 Kandungan Pati pada Beberapa Bahan Pangan

Bahan pangan	Pati (% dalam basis kering)
Biji gandum	67 %
Beras	89 %
Jagung	57 %
Biji sorghum	72 %
Ubi jalar	90 %
Singkong	90 %
Kentang	75 %

Sumber : Liu (2005) dalam Cui (2005)

2.1.1 Tapioka

Tapioka adalah tepung pati yang diekstrak dari umbi singkong. Tepung tapioka juga mempunyai beberapa sebutan lain, seperti tepung singkong atau tepung kanji. Tapioka memiliki sifat-sifat yang serupa dengan tepung sagu. Kandungan utama tapioka adalah karbohidrat dengan kadar rendah, protein, lemak jenuh dan mineral di dalamnya tidaklah signifikan.

Dalam memperoleh pati dari singkong (tepung tapioka) harus dipertimbangkan usia atau kematangan dari tanaman singkong. Usia optimum yang telah ditemukan dari hasil percobaan terhadap salah satu varietas singkong yang berasal dari Jawa yaitu San Pedro Preto adalah sekitar 18-20 bulan (Grace, 1977). Ketika umbi singkong dibiarkan di tanah, jumlah pati akan meningkat sampai pada titik tertentu, lalu umbi akan menjadi keras dan menyerupai kayu, sehingga umbi akan sulit untuk ditangani ataupun diolah.

Proses ekstraksi umbi kayu relatif mudah, karena kandungan protein dan lemaknya yang rendah. Jika proses pembuatannya dilakukan dengan baik, pati yang dihasilkan akan berwarna putih bersih (Moorthy, 2004). Berdasarkan derajat keputihan, maka semakin putih tepung tapioka mutunya juga semakin baik. Hal ini terdapat di dalam SNI 01-3451-1994 yang membagi tepung tapioka menjadi tiga kelas berdasarkan derajat keputihan.



Gambar 2.2 Tepung Tapioka

Tapioka adalah nama yang diberikan untuk produk olahan dari akar ubi kayu (cassava). Analisa terhadap ubi kayu yang khas mengidentifikasi kadar air 70%, pati 24%, serat 2%, protein 1%, serta komponen lain (mineral, lemak, gula) 3%. Tahapan proses yang digunakan untuk menghasilkan pati tapioka dalam industri adalah pencucian, pengupasan, pamarutan, ekstraksi, penyaringan halus, separasi, pembasahan, dan pengeringan.

Komposisi kimia tepung tapioka dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Tepung Tapioka

Komponen	Jumlah
Energi (kalori/100 gr)	363
Karbohidrat (%)	88,2
Air (%)	9
Protein (%)	1,1
Lemak (%)	0,5

Sumber: *Auliah (2012)*

Tapioka memiliki sifat-sifat yang serupa dengan sagu, sehingga kegunaan keduanya dapat dipertukarkan. Tepung ini sering digunakan untuk membuat makanan, bahan perekat, dan banyak makanan tradisional yang menggunakan tapioka sebagai bahan bakunya.

Kualitas tapioka sangat ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu :

- a. Warna tepung; tepung tapioka yang baik yang berwarna putih
- b. Kandungan air; tepung harus dijemur sampai kering benar sehingga kandungan airnya rendah.

Kehalusan tepung juga penting untuk menentukan mutu tepung tapioka. Tepung tapioka yang baik adalah tepung yang tidak menggumpal dan memiliki kehalusan yang baik. Dalam SNI tidak dipersyaratkan mengenai kehalusan tepung tapioka. Salah satu institusi yang mensyaratkan kehalusan sebagai syarat mutu tepung tapioka adalah The Tapioca Institute of America (TIA), yang membagi tepung tapioka menjadi tiga kelas (grade) berdasarkan kehalusannya.

Tabel 2.4 Standar Kehalusan Tepung Tapioka

Grade	% Lolos Ayak	Ukuran Ayakan
A	99	140
B	99	80
C	95	60

Sumber : Radley (1976)

2.3 Ampas Tebu

Ampas tebu adalah suatu residu dari proses penggilingan tanaman tebu (*Saccharum Officinarum*) setelah diekstrak atau dikeluarkan niranya pada Industri pemurnian gula sehingga diperoleh hasil samping sejumlah besar produk limbah berserat yang dikenal sebagai Ampas tebu (*bagasse*).



Sumber: www.suara.com

Gambar 2.3 Ampas Tebu

Ampas tebu sendiri berasal dari tanaman tebu yang memiliki klasifikasi yaitu sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae (tumbuhan)
Sub Kingdom	: Tracheobionta (tumbuhan berpembulu)
Super Devisi	: Spermatophyta (menghasilkan biji)
Devisi	: Magnoliophyta (Tumbuhan Berbunga)
Kelas	: Liliopsida (berkeping satu/ monokotil)
Ordo	: Poales
Famili	: Graminea atau Poaceae (suku rumput)
Genus	: Saccharum
Spesies	: Saccharum Officinarum Linn

Menurut Andaka (2011), perkebunan tebu di Indonesia menempati luas area sebesar 344.000 hektar. Pada awal tahun 2007 (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian), melakukan pengecekan bahwa produksi tebu di Indonesia mencapai 21 juta ton maka limbah yang akan dihasilkan atau ampas tebu yang akan di hasilkan berkisar 6-7 ton per tahun. Dalam penelitian Yudo Hartono (2008), rata-rata baggase yang diperoleh 90% dari setiap tebu yang di proses.

Hampir di setiap pabrik gula tebu di Indonesia menggunakan baggase sebagai bahan bakar boiler sebanyak 50% dan 50% lainnya ditimbun sebagai buangan yang memiliki nilai ekonomis yang rendah. Wardani dan Kusumawardani, (2015) penimbunan baggase terlalu lama juga dapat menimbulkan dampak yang kurang bagus terhadap pabrik, mengingat ampas tebu ini mudah terbakar, mengotori lingkungan sekitar dan menyita lahan yang luas untuk penyimpanannya. Ampas tebu mengandung 32-44% selulosa.

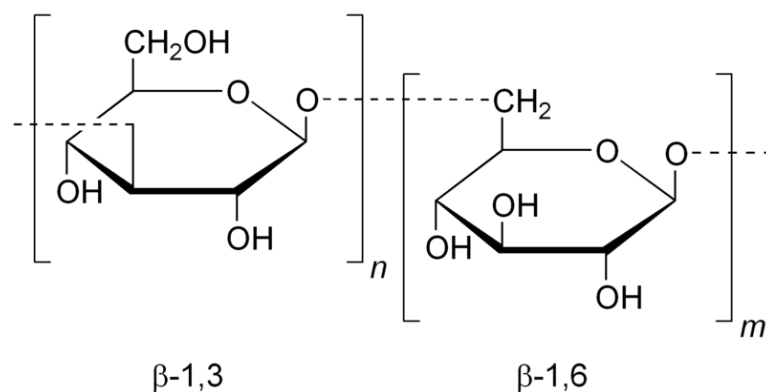
Komposisi kimia ampas tebu dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2.5 Komposisi Kimia Ampas Tebu

Komponen	% Kandungan
Abu	0,79
Lignin	12,70
Pentosa	27,90
Sari (Alkohol, Benzena)	2,00
Selulosa	44,70

Sumber: Balai Besar Penelitian & Pengembangan Industri Selulosa, 1986

Ampas tebu merupakan bahan sisa yang sangat melimpah, rata-rata diperoleh 35-40% dari setiap tebu yang diproses. Ampas tebu pada dasarnya mengandung 32- 44% selulosa. Selulosa merupakan bentuk material dari sebagian besar di dinding sel tumbuhan, umum digunakan sebagai bahan pakaian, kertas, bahan bangunan dan material polimer alam dapat diperbaharui

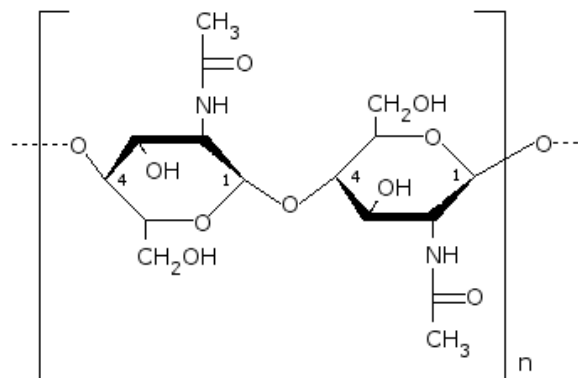


Gambar 2.4 Struktur Selulosa

Selama ini pemanfaatan ampas tebu (*sugar cane bagasse*) yang dihasilkan masih terbatas untuk makanan ternak, bahan baku pembuatan pupuk, *pulp*, *particle board* dan untuk bahan bakar boiler di pabrik gula. Di samping terbatas, nilai ekonomi yang diperoleh juga belum tinggi.

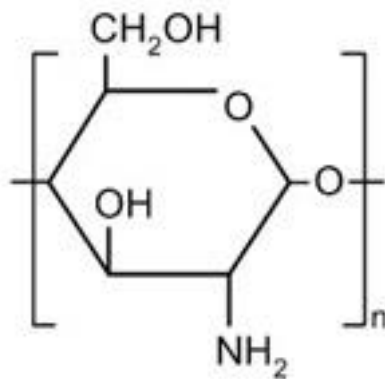
2.4 Kitosan

Kitosan merupakan senyawa turunan dari hasil proses deasetilasi kitin yang banyak terkandung didalam hewan laut. Sumber utama pembuatan serbuk kitosan adalah kitin. Nama kitin (chitin) berasal dari bahasa Yunani yang artinya jubah atau amplop, kitin diisolasi dari eksoskeleton berbagai crustacean, terutama kepiting dan udang. Kitin merupakan komponen utama dari struktur tubuh hewan golongan Crustacea, Antropoda, Annelida, Mollusca dan Nematoda (Neely, 1969).



Gambar 2.5 Struktur Kitin

Kitosan merupakan biopolimer yang banyak digunakan di berbagai industri kimia antara lain, sebagai koagulan dalam pengolahan limbah air, bahan pelembab, pelapis benih yang akan ditanam, adsorben ion logam, bidang farmasi, pelarut lemak, dan pengawet makanan. Kitosan mempunyai bentuk mirip dengan selulosa dan bedanya terletak pada gugus rantai C kedua. Kemampuan dalam menekan pertumbuhan bakteri disebabkan kitosan memiliki polikation bermuatan positif yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri dan kapang. (Mekawati *et al.*, 2000)



Sumber: Irma Nurfitasari, 2018

Gambar 2.6 Struktur Kitosan

Karakteristik dari kitosan diantara lainnya adalah struktur yang tidak teratur, bentuknya kristalin atau semikristalin. Selain itu dapat juga berbentuk padatan amorf berwarna putih dengan struktur kristal tetap dari bentuk awa kitin murni. Kelarutan kitosan dalam larutan asam. Kitosan kering tidak memiliki titik lebur. Bila disimpan dalam jangka waktu yang relatif lama pada suhu sekitar 100°F maka sifat keseluruhannya dan viskositasnya akan berubah. Bila kitosan disimpan dalam keadaan terbuka maka akan terjadi dekomposisi warna dari kekuningan dan viskositasnya menjadi berkurang (M Reizal Ath Thariq, 2016)

Kitosan tidak larut dalam air namun larut dalam asam, memiliki viskositas cukup tinggi ketika dilarutkan. Adapun berbagai solvent yang digunakan umumnya tidak beracun untuk aplikasi dalam bidang makanan. Solvent yang digunakan untuk melarutkan kitosan adalah asam format/air, asam asetat/air, asam laktat/air, dan asam glutamate/air (M Reizal Ath Thariq, 2016)

Kitosan mempunyai beberapa sifat yang menguntungkan antara lain *hydrophilicity*, *biocompatibility*, *degradability*, sifat anti bakteri, dan mempunyai afinitas yang besar terhadap enzim (Cahyaningrum, 2007: 95). Kitosan bersifat hidrofilik, menahan air dalam strukturnya dan membentuk gel secara spontan, sehingga kitosan mudah membentuk membran atau film. Pembentukan gel berlangsung pada harga pH asam yang disebabkan adanya sifat kationik kitosan. Viskositas juga meningkat dengan meningkatnya derajat deasetilasi (Lazuardi,2013: 162)

Tabel 2.6 Mutu Standar Kitosan

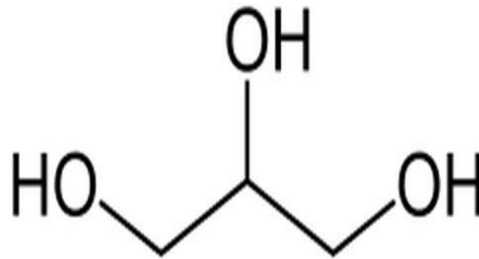
Komponen	% Kandungan
Bentuk Partikel	Butiran-bubuk
Kadar air	<10
Kadar abu	>2
Derajat deasetilasi (DD)	>70
Viskositas (cP)	
- Rendah	<200
- Sedang	200-799
- Tinggi	800-2000
- Paling Tinggi	>2000

Kitosan mempunyai potensi untuk dimanfaatkan pada berbagai jenis industri maupun aplikasi pada bidang kesehatan. Salah satu contoh aplikasi kitosan yaitu sebagai pengikat bahan-bahan untuk pembentukan alat-alat gelas, plastik, karet, dan selulosa yang sering disebut dengan formulasi adesif khusus (Joseph et al, 2009: 17)

Pemanfaatan kitosan sangat banyak diantaranya untuk pengawet makanan, pengolahan limbah, obat pelangsing, kosmetik dan lain sebagainya. Kitosan mempunyai gugus aktif yang akan berikatan dengan mikroba sehingga kitosan juga mampu menghambat pertumbuhan mikroba. Saat ini, kitosan telah diproduksi secara industri di negara-negara maju terutama Jepang dan Amerika Serikat (Mahatmanti, 2010)

2.5 Gliserol

Gliserol adalah produk samping produksi biodisel dari reaksi trans esterifikasi. Gliserol (1,2,3 propanetriol) merupakan cairan yang tidak berwarna, tidak berbau dan merupakan cairan kental yang memiliki rasa manis (Pagliaro dan Rossi, 2008). Gliserol dapat dimurnikan dengan proses destilasi agar dapat digunakan pada industri makanan, farmasi atau juga dapat digunakan untuk pengolahan air. Sebagai produk samping industri biodiesel, gliserol belum banyak diolah sehingga nilai jualnya masih rendah (Prasetyo, dkk., 2012: 26).



Sumber: Irma Nurfitasari, 2018

Gambar 2.7 Struktur Gliserol

Gliserol merupakan plasticizer yang bersifat hidrofilik, sehingga cocok untuk bahan pembentukan foam yang bersifat hidrofobik seperti pati. Ia dapat meningkatkan penyerapan molekul polar seperti air. Peran gliserol sebagai plasticizer 18 dan konsentrasinya meningkatkan fleksibilitas foam. Gliserol (gliserin) merupakan senyawa poliol sederhana. Ini adalah tidak berwarna, tidak berbau, cairan kental yang banyak digunakan dalam formulasi farmasi (Austin, 1985).

2.6 Analisa Karakteristik *Biodegradable foam*

2.6.1 Uji Ketahanan Air

Uji Ketahanan Air adalah banyaknya air yang diserap oleh biofoam setelah dicelupkan dalam air. Uji ketahanan air ini diperlukan untuk mengetahui sifat *biodegradable foam* yang dibuat sudah mendekati sifat *styrofoam* atau belum, karena konsumen kemasan plastik memilih kemasan dengan sifat yang sesuai keinginan, salah satunya adalah tahan terhadap air (Darni dan Utami, 2010).

Pengujian ketahanan air pada produk *biodegradable foam* mengacu pada standar ABNT NBR NM ISO 535, 1999. *Biodegradable foam* dipotong dengan ukuran 2,5 x 5 cm. Sampel terlebih dahulu di oven selama 5 menit pada suhu 40 - 50°C untuk menghilangkan kandungan airnya. Kemudian sampel diletakkan dalam desikator selama 20 menit dan ditimbang, prosedur tersebut diulangi hingga berat sampel konstan. Selanjutnya sampel ditimbang dan dicatat berat awalnya. Kemudian sampel di rendam di dalam air selama 1 menit untuk mengetahui daya serap sampel terhadap air. Setelah itu, air dihilangkan di

permukaan sampel menggunakan tisu kering dan ditimbang berat sampel setelah direndam dalam air. Perubahan berat yang terjadi dicatat.

Perhitungan pertambahan berat dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Pertambahan berat (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\%$$

Keterangan :

W_0 = Berat awal (gram)

W_1 = Berat akhir (gram)

2.3.2 Uji *Biodegradability*

Biodegradasi adalah penyederhanaan sebagian atau penghancuran seluruh bagian struktur molekul senyawa oleh reaksi-reaksi fisiologis yang dikatalisis oleh mikroorganisme. Biodegradabilitas merupakan kata benda yang menunjukkan kualitas yang digambarkan dengan kerentanan suatu senyawa (organik atau anorganik) terhadap perubahan bahan akibat aktivitas-aktivitas mikroorganisme (Madsen, 1997).

Proses biodegradabilitas dapat terjadi dengan proses hidrolisis (degradasi kimiawi), bakteri/jamur, enzim (degradasi enzimatik), oleh angin dan abrasi (degradasi mekanik), cahaya (foto degradasi). Proses ini juga dapat dilakukan melalui proses secara anaerobik dan aerobik. Pada penelitian sebelumnya uji biodegradasi dilakukan pada kondisi aerobik dengan bantuan bakteri dan jamur yang terdapat di tanah. Sampel berupa biodegradable foam ditanamkan pada tanah yang ditempatkan dalam pot dengan asumsi komposisi tanah sama (Ummah, 2013: 34).

Metode yang digunakan adalah metode soil burial test yaitu dengan metode penanaman sampel dalam tanah dalam kondisi aerobik. Berdasarkan standar *European Union* tentang biodegradasi kemasan plastik, kemasan *biodegradable* harus terdekomposisi menjadi karbondioksida, air, dan substansi humus dalam waktu maksimal 6 sampai 9 bulan (Sanjaya dan Puspita, 2010).

Biodegradasi adalah perubahan senyawa kimia menjadi komponen yang lebih sederhana melalui bantuan mikroorganisme. Menurut lain Gledhill (1974: 270), ada dua batasan tentang biodegradasi adalah:

1. Biodegradasi Tahap Pertama (Primary Biodegradation) merupakan perubahan sebagian molekul kimia menjadi komponen lain yang lebih sederhana.
2. Biodegradasi tuntas (Ultimate Biodegradation), merupakan perubahan molekul kimia secara lengkap sampai terbentuk CO₂, H₂O dan senyawa organik

Tabel 2.7 Faktor Biodegradasi

Parameter	Faktor
Fisika-Kimia Ekosistem	Suhu, pH, kadar air, potensi redoks, ketersediaan nutrisi, keberadaan inhibitor
Mikrobiologi ekosistem	Kepadatan populasi, deversitas mikroba, aktivitas mikroba, distribusi spatial mikroorganisme, kemampuan beradaptasi
Sifat-sifat primer bahan	Komposisi polimer, berat molekul, distribusi berat molekul, suhu transisi gelas (T _g), porositas, hidrofobitas dan jenis ikatan antar monomer
Proses pembuatan bahan	Jenis pembuatan, karakteristik permukaan, ketebalan bahan dan zat aditif dan pengisi yang digunakan

Sumber : Darni dan Herti, 2010: 90

Untuk mengetahui persen kehilangan berat dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$weight\ loss\ (\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\%$$

Keterangan :

W₀ = Berat awal (gram)

W₁ = Berat akhir (gram)

2.3.3 Uji Kuat Tarik

Kuat tarik adalah gaya tarik maksimum yang dapat ditahan oleh biofoam selama pengukuran berlangsung. Kuat tarik dipengaruhi oleh bahan pemlastis yang ditambahkan dalam proses pembuatan biofoam. Dalam istilah umum, strength atau kekuatan adalah tegangan maksimum yang bias ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah. Kemampuan suatu struktur untuk menahan beban tanpa mengalami kerusakan. Kerusakan dapat terjadi oleh perpecahan karena tekanan yang berlebihan atau kemungkinan juga disebabkan oleh deformasi struktur. Tensile termasuk juga ketahanan material terhadap kuat tekan atau tegangan. Jumlah kekuatan yang dibutuhkan untuk memecah material.