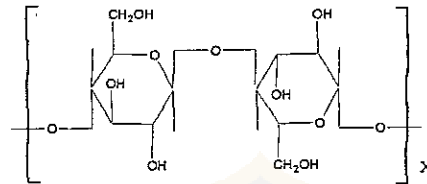


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Selulosa

Selulosa merupakan senyawa organik paling melimpah di bumi, mencakup sekitar 50 % dari karbon tak bebas di bumi. Suatu molekul tunggal selulosa merupakan polimer lurus dari 1,4 - β -D glukosa. Strukturnya sebagai berikut.



Gambar 2.1. Struktur selulosa (Cowd, 1991)

Polimer selulosa dibagi menjadi:

1. Selulosa alami, termasuk kayu dan sebagian besar tumbuhan.
2. Selulosa regenerasi.
3. Turunan kimia selulosa.

Kelarutan selulosa sangat rendah, pelarutan sangat diragukan terjadi jika selulosa tidak dibuat dalam bentuk senyawa kimia turunannya. Meskipun demikian, selulosa mengembang pada pelarutan wilayah amorf (Billmeyer, 1984).

Ketidaklarutan selulosa dalam air disebabkan oleh kekakuan rantai dan tingginya gaya antarrantai, yaitu ikatan hidrogen antargugus hidroksil pada rantai yang berdekatan. Hal tersebut membuat kristalinitas selulosa tinggi. Jika ikatan

hidrogen berkurang, gaya antarrantai juga berkurang, itulah sebabnya pengesteran selulosa menyebabkan menurunnya kristalinitas (Cowd, 1991).

2.2 Bioselulosa *Nata de Coco*

Indonesia merupakan negara penghasil kelapa dengan jumlah yang cukup besar, yaitu 10.800.000 ton/tahun (Awang, 1991). Air kelapa yang dibuang begitu saja di tanah mudah terfermentasi oleh bakteri pembentuk asam menghasilkan alkohol dan asam, sehingga dapat menurunkan kadar keasaman tanah dan mengganggu tanaman. Mineral dan vitamin yang terdapat di dalam air kelapa, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan 2.2, menjadikan air kelapa sebagai cairan bernutrisi serta merupakan media yang paling baik untuk pertumbuhan mikroba (Rahayu, 1993).

Tabel 2.1. Komposisi air kelapa (Rahayu, 1993)

Komponen	%
Air	83,82
Kalium	6,60
Zat padat total	3,71
Gula total	2,08
Gula reduksi	0,80
Kalsium Oksida	0,69
Mineral (abu)	0,62
Magnesium Oksida	0,59
Asam Fosfat	0,56
Fe	0,5
Nitrogen	0,03

Tabel 2.2. Komposisi vitamin dalam air kelapa (Rahayu, 1993)

Vitamin	$\mu\text{g/mL}$
Asam nikotinat	0,01
Biotin	0,02
Asam pantotenat	0,52
Riboflavin	0,01
Asam folat	0,03

Bioselulosa *nata de coco* dapat dibuat dengan menumbuhkan bakteri *Acetobacter xylinum* dalam media air kelapa. Dalam kondisi optimum, bakteri akan berkembang dan mampu mensekresikan selulosa sebagai membran kokoh berwarna putih dan kenyal (Budhiono, 1999).

Beberapa faktor yang berpengaruh pada pembuatan bioselulosa adalah:

1. Tingkat keasaman.

Selulosa terbentuk pada interval pH 4 sampai 5.

2. Temperatur.

Temperatur optimum media adalah 28-31 °C.

3. Gula sebagai sumber karbon.

Selulosa terbentuk pada pemakaian glukosa dan fruktosa dalam media.

4. Sumber nitrogen.

Sumber yang biasa dipakai adalah diammonium fosfat.

5. Faktor oksigen.

Acetobacter xylinum merupakan bakteri aerobik. Pada persediaan O₂ yang cukup, populasi sel *Acetobacter Xylinum* bertambah dan mengakibatkan membran selulosa yang terbentuk juga bertambah (Rahman, 1992; Rahayu, 1993; Budhiono, 1999).

Nata de Coco sebagai produk fermentasi air kelapa oleh bakteri *Acetobacter xylinum*, dibuat dengan menyaring dan memanaskan air kelapa lalu ditambah sukrosa, diammonium fosfat dan asam asetat untuk mengkondisikan media dalam kondisi asam. Setelah dingin ditambahkan starter *Acetobacter xylinum*.

2.3 *Acetobacter xylinum*

Acetobacter xylinum adalah bakteri asetat. Bakteri tersebut mempunyai kemampuan untuk mengoksidasi etanol dan karbon menjadi asam asetat. Jika ditumbuhkan dalam media larutan gula yang cocok, *Acetobacter xylinum* dapat membentuk selulosa yang tersusun dari unit-unit glukosa dengan ikatan 1-4 glikosidik dalam bentuk membran putih dan kenyal pada permukaan media (Fardiaz, 1992).

Tahap perkembangbiakan sel *Acetobacter xylinum* adalah sebagai berikut.

1. Fase induksi.

Terjadi akumulasi asam glukonat disebabkan oksidasi glukosa yang dikonsumsi bakteri.

2. Akumulasi asam glukonat bertambah besar ketika hampir seluruh glukosa dikonsumsi. Pertambahan sel bakteri dimulai dan bertambah banyak.

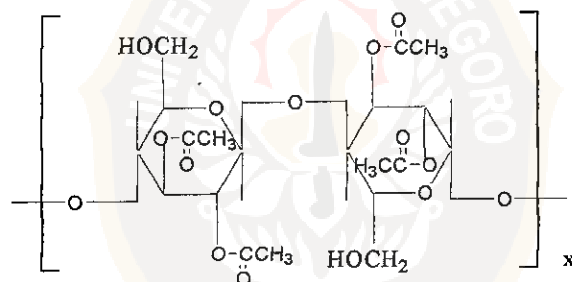
3. Sel bakteri semakin banyak sehingga selulosa mulai terbentuk.

4. Fase stasioner. Pertambahan jumlah sel bakteri dengan jumlah kematian sel seimbang dan selulosa sudah tidak terbentuk lagi (Kook Yang, 1998).

Proses metabolisme *Acetobacter xylinum* terjadi melalui lintas pentosa. Glukosa-6-fosfat yang diperoleh dari lintas pentosa diubah menjadi glukosa-1-fosfat oleh fosfoglukomutase. Dengan adanya UTP dan UDPG pirofosforilase, glukosa-1-fosfat menjadi UDP-glukosa yang berperan sebagai substrat bagi selulosa sintase dalam pembentukan selulosa di luar sel *Acetobacter xylinum* (Saxena, 1996).

2.4 Selulosa Asetat

Selulosa asetat adalah ester selulosa. Selulosa asetat dibuat dengan asetilasi gugus hidroksil selulosa oleh asam asetat anhidrid dengan penambahan katalis asam.



Gambar 2.2. Struktur selulosa asetat (Fessenden, 1999)

Selulosa sebagai polihidroksi alkohol bisa mengalami reaksi esterifikasi. Adanya asam menyebabkan terjadi reaksi kesetimbangan berikut:



Agar reaksi berjalan ke kanan, asam yang digunakan diganti dengan asam asetat anhidrid, dan asam sulfat berperan sebagai katalis.

Hidrolisis selulosa asetat bisa dilakukan dengan menambahkan asam asetat yang mengandung air dalam sistem reaksi. Gugus asetil pada atom karbon no. 6 terhidrolisis menjadi gugus hidroksil karena posisi atom karbon tersebut mempunyai halangan sterik yang paling kecil. Produk yang dihasilkan adalah selulosa diasetat, dan setelah dicuci dan dikeringkan, selulosa diasetat bisa dilarutkan dalam aseton untuk operasi pemintalan. Sifat-sifat termoplastik selulosa asetat ditunjukkan pada Tabel 2.3 (Billmeyer,1984).

Table 2.3. Sifat termoplastik selulosa asetat (Billmeyer, 1984)

Sifat	Besaran	Satuan
Spesifik gravitasi	1,22 - 1,34	g/cm ³
Perpanjangan	6 - 70	%
Modulus tarik	4,14 - 27,58	10 ⁵ KPa
Konstanta dielektrik	23,44 - 48,26	10 ⁵ KPa
Absorpsi air	1,7 - 6,5	%*
Kecepatan alir	Lambat	
Efek asam/basa kuat	Terurai	
Efek pelarut organik	Larut	
Sifat terang	Transparan	

* Percobaan dilakukan pada tekanan 12,5 KPa selama 24 jam

2.5 Spektroskopi Inframerah

Inframerah adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 0,7–1000 μm . Panjang gelombang 0,7–30 μm biasa digunakan sebagai inframerah dekat untuk mengubah energi vibrasi suatu molekul.

Spektrometer inframerah mempunyai bagian-bagian pokok, antara lain sumber cahaya, monokromator serta detektor. Sumber cahaya yang biasa digunakan adalah kawat pijar Nernst yang memancarkan panjang gelombang

2-15 μm . Cahaya dari sumber dipecah menjadi frekuensi-frekuensi individunya dalam monokromator, dan setelah melewati sampel, intensitas relatif dari frekuensi individu diukur dengan detektor.

Sinar inframerah adalah paket-paket foton yang mempunyai energi karakteristik yang dihubungkan dengan frekuensinya. Molekul juga mempunyai energi vibrasi yang sifatnya khas. Jika dipol listrik radiasi elektromagnetik dari sinar inframerah berinteraksi dengan molekul karena kesamaan energi antara keduanya, pengabsorpsian energi terjadi menyebabkan terjadinya transisi energi sebesar $\Delta E = h\nu$. Transisi yang terjadi berkaitan dengan membesarnya amplitudo vibrasi molekul.

Ketika sinar inframerah dilewatkan melalui cuplikan suatu senyawa, sejumlah frekuensi diserap sedang yang lain diteruskan. Grafik persen transmitansi lawan frekuensi menghasilkan suatu spektra inframerah. Ikatan-ikatan molekul yang berbeda mempunyai frekuensi vibrasi yang berbeda dan dapat dideteksi dengan mengidentifikasi frekuensi-frekuensi karakteristiknya sebagai pita serapan dalam spektra. Daerah serapan selulosa asetat dalam spektra inframerah ditunjukkan pada tabel 2.4 (Sastrohamidjojo, 1991).

Tabel 2.4. Daerah serapan inframerah selulosa asetat (Sastrohamidjojo, 1991).

Daerah serapan λ (cm^{-1})	Gugus fungsi
3650-3175	OH
2914-2850	CH ₂ simetri
1820-1600	C=O
1300-1000	C-O asetil
1078-1000	Uluran C-O Selulosa
1045-1005	uluran C-OH

2.6 Difraksi Sinar-X

Sinar-X dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron energi tinggi. Ketika tumbukan terjadi antara elektron datang dengan elektron kulit atom, sebuah elektron dikeluarkan dan elektron dengan energi lebih tinggi masuk ke tempat kosong tersebut, lalu memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar-X. Sinar-X dapat digunakan untuk menganalisa keteraturan atom-atom pembentuk suatu zat padat karena panjang gelombangnya sama dengan jarak antar atom-atom, yaitu sekitar 0,1 nm.

Beberapa polimer membentuk kristal ketika bahan tersebut membeku. Atom-atom monomernya mengatur diri secara teratur dan berulang pada pola tiga dimensi. Ketika atom-atom disinari sinar-X, pemantulan terjadi dan berkas sinar pantulannya bisa diamati bila intensitas sinar mengalami penguatan. Penguatan intensitas disebabkan sinar yang dipantulkan atom-atom mempunyai selisih panjang jalan mencapai detektor sebesar kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang. Jadi, ketika panjang gelombang λ dan sudut pemantul θ sudah

ditentukan, jarak antar atom d bisa diketahui dengan mengamati pantulan sinar-X. Hal ini dijelaskan dalam hukum Bragg (Atkins, 1997).

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Data yang lengkap difraktometer sinar-X terdiri dari daftar sudut tempat teramatinya pantulan dan intensitas. Metode sinar-X memungkinkan penghitungan jumlah relatif material berkrystal dan amorf dalam sampel. Kontribusi dua jenis struktur tersebut adalah puncak kristalin dan puncak lebar amorf. Penghitungan jumlah kristalinitas bisa dilakukan berdasarkan perbandingan area dibawah puncak (Billmeyer, 1984).

Daerah kristal pada polimer disebabkan rantai polimer mempunyai gaya antaraksi antarrantai yang kuat sehingga rantai dapat mendekat secara sejajar membentuk keteraturan struktur yang tinggi. Salah satu gaya antaraksi rantai adalah ikatan hidrogen. Ketika atom hidrogen terikat pada atom yang sangat elektronegatif, inti hidrogen hampa akan elektron pelindung karena awan pasangan elektron tertarik pada atom yang lebih elektronegatif. Inti hidrogen kemudian membentuk ujung positif dipol kuat dan mencari daerah berkepadatan elektron tinggi rantai tetangganya. Hasilnya adalah tarik menarik antarrantai yang kuat (Cowd, 1991).

2.7 Kekuatan Tarik

Deformasi terjadi bila bahan mengalami gaya. Selama deformasi, bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang jarak deformasi. Kekuatan (*strength*) adalah ukuran besar gaya yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak suatu bahan. Kekuatan tarik suatu bahan ditetapkan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang mula, dimensinya sama dengan tegangan σ (Van Vlack, 1995).

