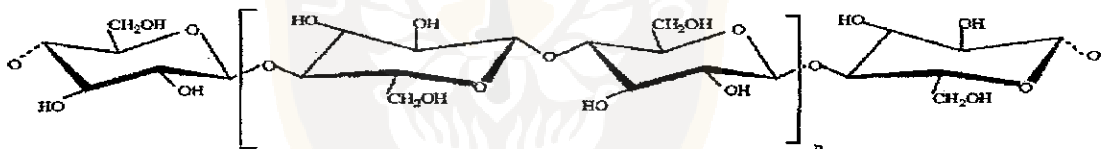


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Selulosa

Selulosa terdiri atas unit-unit anhidroglukopiranososa yang bersambung membentuk rantai molekul, karena itu selulosa dapat dinyatakan sebagai polimer linear glukosa dengan struktur rantai yang seragam. Unit-unit terikat dengan ikatan glikosida- β -1,4. Dua rantai glukosa yang berdekatan bersatu dengan mengeliminasi satu molekul air diantara gugus hidroksil mereka pada karbon 1 dan karbon 4. Secara tepat unit pengulangan selulosa adalah selubiosa dengan panjang 1,03 nm^[5]



Gambar 2.1. Struktur selulosa^[6]

Stabilisasi rantai-rantai molekul panjang dalam sistem yang teratur yaitu pembentukan struktur supramolekul, ditimbulkan oleh adanya gugus fungsional yang dapat mengadakan interaksi satu dengan lainnya. Gugus –gugus fungsional yang terdapat dalam rantai selulosa adalah gugus-gugus hidroksil, tiga daripadanya terikat pada setiap unit glukosa. Permukaan rantai-rantai selulosa penuh dengan gugus-gugus hidroksil yang bukan hanya menentukan struktur supramolekul tapi juga sifat –sifat fisik dan kimia selulosa^[5,7]

Gugus-gugus -OH molekul-molekul selulosa dapat membentuk dua macam ikatan hidrogen tergantung pada letaknya pada unit-unit glukosa. Terdapatnya ikatan hidrogen antara gugus OH dari unit-unit glukosa yang berdekatan dalam molekul selulosa yang sama (ikatan intramolekuler). Ikatan itu memberikan kekakuan tertentu pada masing-masing rantai. Terdapat juga ikatan hidrogen antara gugus-gugus OH dari molekul-molekul selulosa yang berdampingan (ikatan intermolekuler). Ikatan tersebut menyebabkan adanya pembentukan struktur supramolekuler. Ikatan hidrogen tidak hanya ada antara gugus-gugus OH selulosa tetapi juga antara OH-air. Tergantung pada kandungan air, molekul air tunggal atau kelompok air dapat terikat dengan permukaan-permukaan selulosa^[5,7].

2.1.1. Bioselulosa

Polisakarida bakterial telah diketahui sejak berabad-abad yang lalu dan informasi mengenai struktur dan sifatnya diteliti pada akhir-akhir dekade ini. Pada akhir abad 18, Brown menemukan suatu organisme yang dapat membentuk suatu membran ketika di inokulasikan dalam suatu medium yang mengandung karbohidrat seperti D-fruktosa, D-glukosa, organisme ini diyakini sebagai bakteri *xylum* (*acetobacter xylinum*) dan membran yang dihasilkan merupakan selulosa dan selanjutnya disebut sebagai bakterial selulosa (bioselulosa). Dan kemudian peneliti yang lainnya melaporkan mengenai pembentukan bioselulosa dari berbagai organisme yang lainnya seperti *acetobacter pasteurianum*, *acetobacter rancens*. Bioselulosa atau biasa disebut juga mikrobial selulosa merupakan selulosa yang dihasilkan dari proses polimerisasi oleh suatu bakteri. Salah satu

jenis bakteri yang cukup dikenal sebagai penghasil bioselulosa adalah *Acetobacter xylinum*.

Publikasi pertama mengenai pembentukan bioselulosa secara detil dipublikasikan oleh Tarr dan Hibbert. Suatu publikasi eksperiment yang sistematis mengenai pembentukan bioselulosa. Suatu organisme tertentu akan membentuk bioselulosa jika dalam kultur medium terdapat sumber karbon. Pembentukan optimum terjadi pada suhu 30°C sepuluh hari setelah inokulasi dan penambahan etanol akan meningkatkan hasil. Pembentukan bioselulosa terjadi setelah pada kultur medium ditambahkan gula heksosa (5-10%), D-fruktosa, D-glukosa, D-galaktosa merupakan gula yang memberikan hasil yang maksimal.

Hibbert dan Barsha mengemukakan bahwa bioselulosa terdiri atas sejumlah membran hampir tidak terhinnga yang sangat rapat dan dapat menyerap air seratus kali melebihi berat bioselulosa itu sendiri. Berdasarkan kerapatan, membran kering bioselulosa menunjukkan ketahanan yang lebih baik daripada selulosa terhadap beberapa zat kimia yang digunakan untuk menentukan strukturnya. Asetalisasi produk dengan asam asetat dan asetat anhidrat menggunakan sulfur klorida sebagai katalis memberikan hasil pembentukan triasetat yang mempunyai sifat yang sama dengan triasetat yang dihasilkan dari selulosa kapas^[8].

2.2. Nata de Coco

Nata adalah nama yang berasal dari Philipina untuk menyebut suatu pertumbuhan yang menyerupai gel yang terapung pada permukaan medium yang mengandung gula dan asam yang dihasilkan oleh mikroorganisme *Acetobacter*

xylinum. Menurut Collado (1986), Nata berasal dari bahasa Spanyol *nadar* yang berarti berenang, rupanya istilah tersebut diturunkan dari kata latin *natare* yang artinya terapung, sedangkan nama Coco diambil dari nama spesies tanaman kelapa (*cocos nucifera*, L). Nata de Coco merupakan selulosa bakteri yang mengandung air sekitar 98 %, dengan tekstur agak kenyal, padat, memiliki konsistensi yang tegar, berwarna putih dan transparan. Biasanya dihidangkan bersama es krim atau buah-buahan (*cocktail*) sebagai hidangan pencuci mulut. Bakteri pembentuk nata adalah *Acetobacter xylinum*. *Acetobacter xylinum* termasuk bakteri golongan asam asetat yang mempunyai ciri-ciri : gram negatif, obligat aerobik, berbentuk batang, membentuk kapsul, bersifat nonmotil dan tidak membentuk spora. Bakteri ini mempunyai ciri-ciri bundar, cembung, berwarna putih atau merah muda dengan diameter koloni kurang dari 3 mm. Kemudian jika ditumbuhkan pada medium yang cocok, akan memproduksi selaput tebal yang mengandung selulosa^[9]. Dalam pertumbuhannya dipengaruhi oleh faktor-faktor antara lain pH, suhu, sumber nitrogen dan sumber karbon dan sebagai sumber gula dapat sukrosa, glukosa ataupun fruktosa, sedangkan untuk mengatur pH digunakan asam asetat glasial. *Acetobacter xylinum* mengekskresi selulosa dalam bentuk fibril kedalam medium yang kemudian saling berikatan dan memberikan kekokohan seperti kulit. Pada produksi Nata de Coco, *Acetobacter xylinum* yang ditumbuhkan pada medium air kelapa yang mengandung gula akan memecah komponen gula dan selanjutnya membentuk suatu polisakarida di permukaan medium. Polisakarida tersebut dikenal sebagai *Selulosa ekstraseluler*. Menurut Albersheim, senyawa yang berperan dalam biosintesis selulosa tersebut adalah

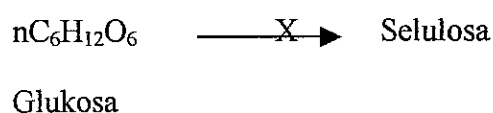
nukleotida glukosa, dimana enzim yang mengkatalisis polimerisasi glukosa menjadi selulosa dengan ikatan β -1,4 membutuhkan akseptor dari unit-unit glukosa^[10].

2.3. Biopolimerisasi

Biopolimerisasi merupakan proses polimerisasi suatu senyawa yang dilakukan oleh bakteri atau makhluk hidup lainnya. Polimerisasi pada umumnya terdiri atas polimerisasi addisi yang melibatkan pemutusan ikatan rangkap dan polimerisasi kondensasi yang selain menghasilkan suatu polimer juga dihasilkan molekul kecil seperti CO_2 dan H_2O .

Salah satu contoh biopolimerisasi adalah pembentukan selulosa pada tumbuhan tingkat tinggi misalnya kapas, kapuk dan tumbuhan berkayu. Pada tumbuhan, selulosa terdapat pada dinding sel bersama-sama dengan protein, lemak dan senyawa lainnya. Pembentukannya dikontrol oleh sel tumbuhan itu sendiri. Menurut Brown, sintesis selulosa terjadi dalam dua tahap yaitu tahap polimerisasi (monomer-monomer glukosa berikatan membentuk ikatan glukon) dan tahap pasca polimerisasi (pembentukan kristal selulosa oleh ikatan-ikatan glukon).

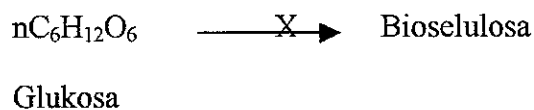
Reaksi yang terjadi:



X merupakan kondisi dalam sel tumbuhan tersebut yang mempengaruhi pembentukan selulosa pada dinding sel

Selain pada tumbuhan tingkat tinggi, biopolimerisasi selulosa juga terjadi pada bakteri dan bakteri yang telah dikenal secara umum dapat menghasilkan selulosa adalah *Acetobacter xylinum*. Selulosa yang dihasilkan merupakan selulosa ekstraseluler karena selulosa tersebut hasil ekskresi dari bakteri itu sendiri dan biasa disebut sebagai bio selulosa.

Reaksi yang terjadi:



X merupakan kondisi media biopolimerisasi yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri itu sendiri misalnya pH, sumber nitrogen, sumber karbon dan temperatur. Biopolimerisasi bio selulosa pada bakteri dipengaruhi oleh kemampuan bakteri tersebut untuk mengubah glukosa menjadi selulosa

2.4. Biodegradasi

Biodegradasi adalah peruraian suatu senyawa karena kerja enzim tertentu yang dihasilkan mikroorganisme. Pada umumnya organisme hidup tidak hanya dapat mensintesa biopolimer juga dapat membiodegradasinya, sehingga dapat dikatakan bahwa polimer alam seperti amilum, protein, kitin dan sebagainya bersifat biodegradabel. Setiap mikroorganisme menghasilkan lebih dari satu enzim. Semakin tinggi tingkat organisme tersebut maka enzim yang dihasilkan semakin banyak. Namun dalam merombak substrat mikroorganisme memerlukan waktu untuk beradaptasi dengan substrat baru. Dengan demikian agar polimer mampu terbiodegradasi oleh mikroorganisme, polimer tersebut harus dikondisikan

agar disekitarnya tumbuh mikroorganisme. Pengkondisian ini harus sesuai dengan pertumbuhan mikroorganisme yang dipengaruhi oleh pH, suhu, nutrisi, kebutuhan oksigen dan air. Secara umum media yang dipakai adalah tanah karena didalamnya terdapat berbagai jenis mikroorganisme pengurai. Mikroorganisme yang tumbuh dekat permukaan tanah bersifat aerob dimana untuk melangsungkan metabolisme tubuhnya memerlukan oksigen sebagai akseptor elektron, sedangkan mikroorganisme yang tumbuh jauh dari permukaan tanah bersifat anaerob dimana akseptor elektron digantikan oleh senyawa lain karena oksigen justru mematikannya. Melihat hal ini ada kecenderungan mikroorganisme anaerob lebih mampu menguraikan polimer daripada mikroorganisme aerob yang terlebih hanya menguraikan aditifnya^[11]. Biodegradasi merupakan potensi terbesar untuk menguraikan kontaminan organik dengan sempurna. Kerja biodegradasi kontaminan organik tidak lepas dari peranan enzim yang dihasilkan mikroorganisme untuk menjalankan fungsi metaboliknya^[12].

2.5. Spektroskopi IR^[6,14,17]

Spektroskopi IR merupakan teknik analisa yang cukup penting dalam polimer. Spektroskopi IR yang umum digunakan adalah jenis Medium Infra Red (MIR) dengan daerah serapan pada $\lambda = 4.000-200 \text{ cm}^{-1}$. Spektroskopi MIR didasarkan pada getaran molekul atau atom yang diindikasikan oleh serapan karakteristik pada frekuensi tertentu sehingga spektra polimer dapat disebabkan karena getaran atau vibrasi dari seluruh makromolekul ataupun sebagian besar dari makromolekul tersebut. Dalam hal ini, vibrasi dari atom-atom dipengaruhi

oleh atom-atom lainnya sehingga konformasi atau struktur kristal polimer sangat mempengaruhi posisi, kekuatan dan ketajaman dari serapan ikatan yang terjadi.

Pada umumnya spektroskopi MIR digunakan untuk menganalisa dan identifikasi struktur kimia dan perubahannya pada suatu polimer selain itu dapat juga untuk menentukan taksisitas dari suatu polimer.

Spektroskopi IR untuk selulosa dan bioselulosa memiliki pita serapan pada daerah $3700-667\text{ cm}^{-1}$ dengan serapan karakteristik pada daerah $1162-1115\text{ cm}^{-1}$ untuk gugus C-O-C yang menunjukkan telah terjadinya ikatan 1-4 β - glikosida. serapannya sebagian lebih tajam dari yang lain pada daerah $1200-900\text{ cm}^{-1}$. oleh karena itu struktur, ikatan yang terjadi dan perubahannya dapat dipelajari dengan menggunakan spektroskopi MIR dalam hal ini dapat digunakan spektroskopi FTIR yang mempunyai daerah serapan sama dengan spektroskopi MIR selain itu juga memungkinkan untuk mengetahui apakah telah terjadi transformasi struktur dari proses biodegradasi pada perubahan pola spektranya. Hal ini dapat dilakukan dengan mengamati pola spektra yang terjadi pada variasi waktu tertentu, dan dari pola spektra ini kita dapat mengetahui penambahan atau pengurangan suatu gugus fungsi tertentu sebagai fungsi waktu. Pada MIR juga dapat diketahui pengaruh dari keberadaan ikatan hidrogen melalui pelebaran dan ketajaman serapan. Hal ini akan semakin mendukung dalam analisa bioselulosa karena dalam bioselulosa sendiri banyak terdapat gugus OH yang dapat membentuk ikatan hidrogen. Pada tabel 2.1 berikut dapat terlihat gugus pada struktur selulosa yang memberikan pita serapan yang khas pada daerah IR.

Tabel 2.1. Daerah serapan IR untuk selulosa^[14,15]

Daerah serapan λ (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
3650-3600	OH- bebas
3448-3445	OH intramolekular
3350-3175	OH Intermolekuler
3275-2933	CH ₂ Stretching asimetris
2914-2850	CH ₂ Stretching simetris
1470-1475	OH bending
1440-1430	CH ₂ Bending
1365-1335	OH Bending
1317-1315	CH ₂ Wagging
1282-1227	CH Bending
1257-1200	OH Bending
1162-1115	C-O-C Simetris Stretching
1078-1000	CO Stretching
1045-1005	C-OH Stretching
663-650	OH internal Bending