

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kayu

Kayu berasal dari berbagai jenis pohon dengan sifat yang berbeda-beda. Sifat yang dimaksud adalah yang berkaitan dengan sifat-sifat anatominya, sifat-sifat fisik dan sifat-sifat kimianya. Walaupun demikian ada beberapa persamaan sifat umum yang terdapat pada semua jenis kayu, yaitu : (i) Kayu tersusun dari sel-sel dengan komponen utama dinding sel yang meliputi unsur karbohidrat (selulosa dan hemiselulosa) dan unsur non karbohidrat yang berupa lignin, (ii) Kayu merupakan suatu bahan yang bersifat higroskopis.

Kayu sebagai material pembangun dengan proses kimia dapat dibuat menjadi "wood pulps" dan produk lain yang merupakan hasil degradasi, oksidasi, destilasi atau hidrolisa dari kayu, meliputi asam oksalat dan alkali lignin.

Secara umum komponen kimia kayu terdiri dari tiga unsur utama, yaitu :

- Unsur karbohidrat (selulosa dan hemiselulosa)
- Unsur nonkarbohidrat (lignin)
- Unsur yang diendapkan selama proses pertumbuhan (zat ekstraktif).

Distribusi komponen-komponen kimia tersebut dalam dinding sel kayu tidak merata. Selulosa dan hemiselulosa

banyak terdapat dalam dinding kayu sekunder, lignin banyak terdapat dalam dinding primer, sedangkan zat ekstraktif terdapat diluar dinding sel kayu. Perbandingan komposisi unsur-unsur kimia kayu meliputi : unsur karbon 49%, hidrogen 6%, nitrogen 0,04% - 0,10%, abu 0,2% - 0,5% dan sisanya adalah oksigen. Dari ke tiga komponen tersebut di atas, karbohidrat dan lignin merupakan komponen utama yang terdapat dalam jumlah besar, sedangkan bahan-bahan ekstraktif hanya relatif sedikit.¹⁾

Secara garis besar komponen utama yang menyusun dalam dinding sel kayu adalah sebagai berikut :

a. Selulosa

Selulosa merupakan komponen utama dalam sel tanaman (kayu) dan terdapat bersama-sama dengan komponen lain seperti hemiselulosa dan lignin. Selulosa adalah polisakarida dengan derajat polimerisasi tinggi (500 - 10000) dan berwarna putih.

b. Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan polisakarida yang memiliki derajat polimerisasi lebih pendek dari selulosa dan merupakan polimer dengan rantai bercabang.

c. Lignin

Lignin adalah suatu polimer yang amorf, merupakan komponen non-karbohidrat dalam kayu. Lignin mempunyai susunan yang kompleks dan sampai sekarang struktur molekulnya belum dapat ditentukan secara pasti.²⁾

Pada dasarnya lignin adalah suatu fenol, sangat stabil dan sukar dipisahkan. Di dalam kayu lignin

berfungsi sebagai perekat dan memberikan ketegaran pada sel serta dapat mempertinggi sifat racun kayu.¹⁾

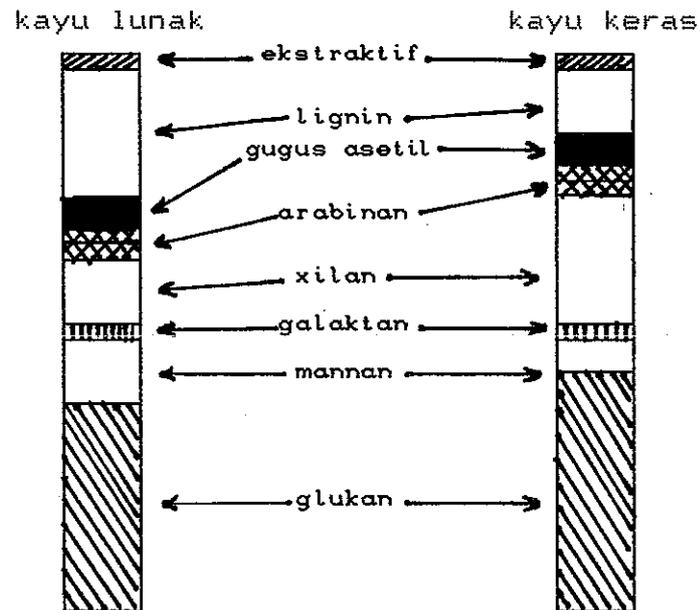
Komponen kimia kayu sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh faktor tempat tumbuh, iklim, letaknya di dalam batang atau di dalam cabang. Perbedaan komposisi kimia tersebut dapat dilihat dalam beberapa contoh sebagai berikut :

a. Komposisi kimia kayu keras (hard wood) dan kayu lunak (soft wood).

Kayu keras mempunyai kandungan karbohidrat yang lebih banyak dan kandungan lignin yang lebih sedikit dibandingkan dengan kayu lunak. Hemiselulosa pada kayu keras tersusun oleh sedikit manosa dan sejumlah besar oleh unit xilosa, sedangkan jenis kayu lunak mempunyai susunan yang sebaliknya.²⁾ "Trakeid" kayu lunak jauh lebih pendek daripada kayu keras. "Trakeid" kayu lunak panjang rata-ratanya 3 - 4 mm, sedang "trakeid" kayu keras panjang rata-ratanya kurang dari 1 mm. Perbedaan komposisi kimia ditunjukkan dalam gambar II.1 dan tabel II.1

Tabel II.1. Komposisi kimia menurut golongan kayu ¹⁾

Komponen	Kayu keras (%)	Kayu lunak (%)
Selulosa	40 - 44	40 - 44
Lignin	18 - 25	25 - 35
Hemiselulosa	15 - 35	20 - 32



Gambar II.1. Komposisi kimia kayu lunak dan kayu keras ²⁾

- b. Kayu musim semi (spring wood) dan kayu musim panas (summer wood).

Serat tanaman lunak dari kayu musim semi dan kayu musim panas berbeda dalam komposisi dan bentuk. Kayu musim semi mempunyai dinding sel yang tipis, kandungan selulosa yang lebih sedikit dan kandungan lignin yang lebih banyak dari pada kayu musim panas.

- c. Getah kayu (sap wood) dan inti kayu (heart wood)

Kandungan bahan-bahan ekstraktif dari getah kayu dan inti kayu dalam kayu keras tidak menunjukkan perbedaan yang berarti, seperti yang terjadi dalam kayu lunak. Inti kayu dalam kayu lunak umumnya mengandung lebih banyak bahan ekstraktif dibandingkan dalam getah kayu. Sebaliknya kandungan lignin, selulosa dan asetil pada inti kayu relatif lebih sedikit. ²⁾

2.1.1. Kayu Akasia

Dalam ilmu tumbuh-tumbuhan, akasia dikenal dengan nama *acacia auriculiformis*, yang termasuk suku *mimosaceae*. Jenis ini berupa pohon yang dapat mencapai tinggi 15 meter dengan penampang batang 50 cm. Batangnya umumnya bengkok-bengkok dan banyak percabangan. Kulit luarnya berwarna abu-abu kecoklat-coklatan, kadang-kadang berwarna gelap. Daun sejatinya berupa daun majemuk yang menyirip. Bunganya keluar dari ketiak daun, masing-masing bunga berukuran kecil. Bijinya berbentuk gepeng dan berwarna hitam. Pohon akasia tidak begitu banyak kegunaannya, hanya untuk pagar (tanaman penghijauan) dan kayu bakar.³⁾ Kayu akasia mempunyai kandungan selulosa sebanyak 40,5 % dan lignin sebesar 22,2 %.⁴⁾

2.1.2. Kayu Pinus

Jenis ini termasuk dalam suku *pinaceae*, pohonnya dapat mencapai 70 m dan diameter lebih dari 100 cm dengan batang bebas cabang sekitar 70% dari tinggi pohon. Umumnya batang berbentuk bulat dan lurus, kadang-kadang memilin. Kulitnya berwarna coklat tua agak kelabu, kasar dan menyerpih dalam keping-keping panjang. Daunnya berbentuk seperti jarum, bunga berkelamin satu (jantan atau betina). Bunga jantan tersusun berkelompok pada dasar ranting muda. Bunga betina berbentuk kerucut yang tumbuh dekat ujung ranting. Buahnya berbentuk kerucut yang terdiri atas sisik-sisik. Kayu ini baik dipakai sebagai bahan bangunan dibawah atap, misalnya ; alat-alat dapur, pegangan sapu dan korek api.³⁾ Sedangkan kandungan selulosa dan lignin pada kayu pinus masing-masing sebesar, 41,1 % dan 28,6 %.⁴⁾

2.2. Pembuatan Pulp Kayu

Pulp adalah produk utama kayu terutama digunakan untuk pembuatan kertas dan dapat diproses menjadi berbagai turunan selulosa, seperti sutra rayon dan plastik. Pembuatan pulp dapat dilakukan secara kimia, secara mekanik atau kombinasi keduanya.

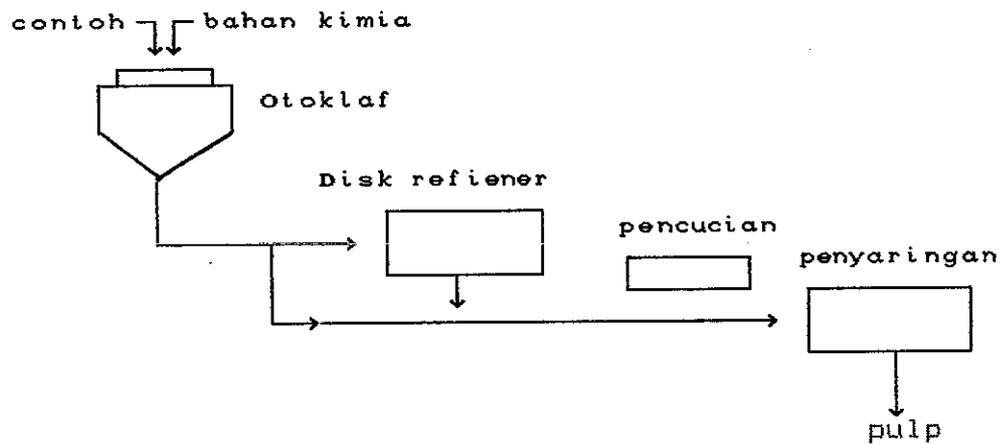
Pulp kayu yang digunakan pada penelitian ini, diperoleh dengan cara kimia melalui proses kraft. Proses ini mempunyai kelebihan dalam hal pemilihan bahan kimia yang lebih ekonomis dan mempunyai sifat-sifat pulp yang lebih baik dalam hubungannya dengan kebutuhan pasar. Meskipun demikian proses kraft masih memiliki kelemahan yaitu timbulnya bau gas yang tidak enak.

Pembuatan pulp kraft dilakukan dengan larutan yang terdiri atas natrium hidroksida dan natrium sulfida dalam air. Banyaknya NaOH dan Na_2S yang digunakan biasanya berkisar antara 15% - 25% berat dari kayu dengan rasio air : kayu = 5,5 : 1. Pada proses pemasakan dibutuhkan temperatur antara 170 - 175 °C, tekanan 100 - 110 psi (6,805 - 7,485 atm) dan lama pemasakan sekitar 2 - 3 jam.⁵⁾

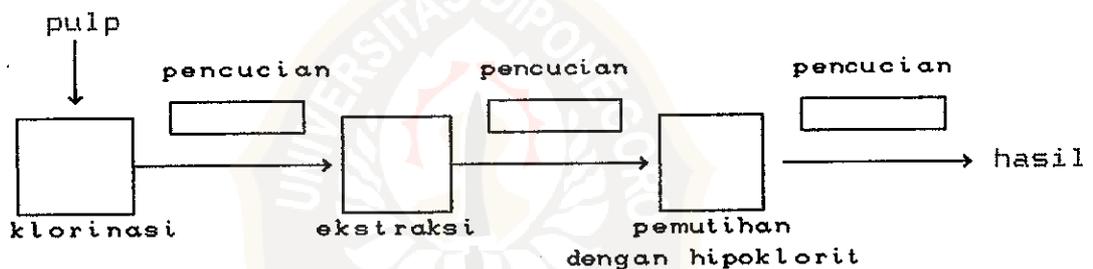
Pulp yang dihasilkan pada proses tersebut di atas belum bersih dan murni, untuk itu perlu dilakukan proses pengelantangan. Ada beberapa tahap dalam proses pengelantangan, yaitu : tahap klorinasi, tahap ekstraksi alkali dan tahap hipoklorit.⁴⁾

Skema percobaan pembuatan pulp kayu dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Dissolving pulp



Pengelantangan

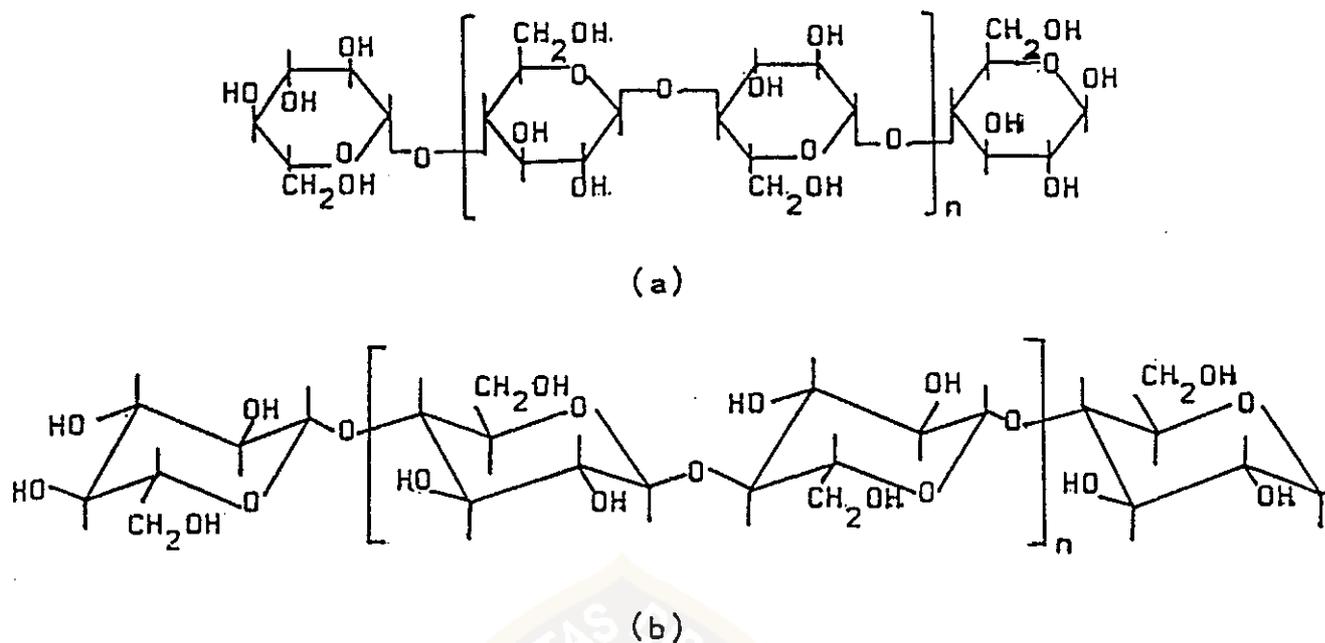


Gambar II.2. Skema percobaan pembuatan pulp kayu

2.3. Selulosa

Selulosa adalah polimer alam yang tersusun atas perulangan D-glukosa yang bergabung pada atom karbon 1 dan atom karbon 4 pada posisi β yang dihubungkan oleh ikatan-ikatan linier.⁶⁾ Konfigurasi β -D-glukosa adalah posisi yang paling stabil dan hal ini dapat dipahami bahwa pada bentuk β , semua substituen -OH dan gugus hidroksi metil ada pada posisi equatorial.²⁾

Konfigurasi molekul selulosa adalah sebagai berikut :



Gambar II.3. Struktur selulosa
a. Tanpa konformasi,
b. Dengan konformasi

Selulosa merupakan senyawa organik polisakarida yang paling melimpah dan elemen struktur utama dari dinding sel tanaman dan tumbuhan tingkat tinggi lainnya. Terdapat kurang lebih sepertiga bagian dalam tanaman muda dan setengah bagian dalam tanaman yang sudah cukup tua. Diperkirakan sekitar 10^{11} ton selulosa dibiosintesa setiap tahunnya, yaitu untuk digunakan secara luas sebagai bahan dasar industri pulp, kertas, industri serat tekstil, turunan selulosa dan produk-produk selulosa regenerasi.³⁾

Kandungan selulosa dari berbagai tanaman berbeda-beda, walaupun demikian tetap sebagai komponen utama dalam dinding sel tanaman dibanding komponen

lainnya. Kandungan selulosa dalam sel kayu mencapai 50%,

pada daun kering 10% - 20% dan dalam kapas yang merupakan sumber selulosa murni mencapai 98%.

Polimer selulosa murni mempunyai bentuk linier dengan derajat polimerisasi rata-rata sekitar 2000 - 6000, tergantung sumber asalnya. Sedangkan berat molekulnya berkisar antara 300000 - 1000000. Menurut Haworth dan teman kerjanya, bahwa struktur molekul selulosa tersusun oleh 200 unit D-glukopiranosida dengan berat molekul 32000. Rumus molekul selulosa adalah $(C_6H_{10}O_5)_n$ dan n dapat berupa angka ribuan. Untuk itu sangat sukar mengukur massa molekul relatif selulosa.⁷⁾

Harga berat molekul untuk berbagai macam selulosa ditunjukkan seperti tabel II.2.

Tabel II.2. Berat Molekul Selulosa dan turunannya

Bahan	Derajat Polimerisasi	Berat Molekul
selulosa alam	3500 - 10000	600000 - 1500000
katun	500 - 3000	80000 - 500000
pulp kayu	500 - 2100	80000 - 340000
selulosa regenerasi :		
- pita ban	400 - 550	65000 - 89000
- serat rayon	350 - 450	57000 - 73000
nitroselulosa komersil	100 - 3500	16200 - 875000
Selulosa Asetat komersil	175 - 360	28000 - 58000

Kelompok polimer yang termasuk dalam selulosa meliputi :

1) Selulosa alam

Merupakan unsur pokok dalam dunia tumbuhan dan mempunyai kegunaan sangat besar pada hampir semua segi

kehidupan manusia. Yang termasuk didalamnya adalah kayu, kapas, rami dan sebagian besar dari bahan tumbuhan.

2) Regenerasi selulosa

Merupakan proses pemurnian dari selulosa. Selulosa dari regenerasi ini tidak berbeda jauh dari selulosa alam sebab hasil dari regenerasi masih berupa selulosa. Contoh selulosa regenerasi adalah viscose atau rayon.

3) Turunan selulosa

Sudah banyak turunan selulosa yang pernah disintesa. Sintesa ke bentuk lain adalah tergantung dari kebutuhannya. Bentuk turunan selulosa dapat berupa ester selulosa, eter selulosa dan sebagainya.⁹⁾

2.4. Selulosa Asetat

2.4.1. Sejarah dan Penggunaan Selulosa Asetat

Pembuatan selulosa asetat diperkenalkan oleh G.W. Miles pada tahun 1905 dan mulai dikenal dalam bentuk lembaran atau batangan pada waktu perang dunia I.¹⁰⁾ Pembuatan selulosa asetat meningkat tajam pada masa perang dunia II, yaitu sekitar tahun 1930 - 1940.⁸⁾ Agar permintaan selulosa asetat (terutama selulosa triasetat) dapat terpenuhi maka digunakan selulosa kayu sebagai pengganti selulosa kapas.¹¹⁾

Setelah perang dunia II, selulosa asetat dikembangkan ke arah pembuatan serat tekstil karena kain yang dihasilkan mempunyai daya tahan terhadap kerut, stabil terhadap dimensi dan panas, serta cepat pengeringannya.⁸⁾

Penelitian besar-besaran dilakukan pada tahun 1949 - 1954,

kemudian diperdagangkan di beberapa negara, yaitu USA, Kanada, Inggris, Prancis dan Jerman. Serat selulosa asetat kurang lebih 175 juta kg telah diproduksi pada tahun 1962. Dan sejak tahun 1965 Uni Soviet telah memproduksinya.¹¹⁾

Meskipun serat selulosa asetat tidak seawet bila dibandingkan dengan beberapa serat sintetis, tapi sampai sekarang ini masih dibutuhkan untuk pakaian-pakaian wanita. Serat tersebut dibuat dengan melarutkannya ke dalam aseton kemudian dilewatkan melalui lubang-lubang halus (piring pemintal). Setelah aseton diuapkan maka akan dihasilkan filamen-filamen padat untuk tekstil.⁸⁾

Selulosa asetat adalah padatan yang tidak beracun, tidak berbau, tidak berasa dan berwarna putih. Selulosa asetat merupakan ester yang paling penting yang berasal dari asam organik dan sekarang ini telah banyak menggantikan selulosa nitrat dalam banyak produk, misalnya film-film fotografik, gambar bioskop dan pita magnetik tape recorder. Film-film yang dihasilkan selulosa asetat mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya kekuatan yang lebih baik, bahan tidak mudah terbakar, lembut untuk dicetak, merupakan penyerap air yang tinggi, cemerlang dan mengkilat. Karena kecemerlangan tersebut maka sebagian besar digunakan untuk packing kapsul. Sifat-sifat selulosa asetat ditentukan oleh derajat substitusi (DS) dan kelarutannya. Derajat substitusi didefinisikan sebagai jumlah rata-rata gugus OH selulosa yang tersubstitusi oleh reagen kimia yang berhubungan (gugus asetil dari asam asetat anhidrid).⁸⁾ Beberapa penggunaannya dapat diringkas

dalam tabel II.3.

Tabel II.3. Tingkat kualitas selulosa asetat perdagangan⁵⁾

DS	Pelarut	Kegunaan
1,8 - 1,9	air-propanol-kloroform	campuran bahan tenun
2,2 - 2,3	aseton	pernis, plastik
2,3 - 2,4	aseton	kayu asetat
2,5 - 2,6	aseton	film-film
2,8 - 2,9	metilena klorida- etanol, kloroform	lembaran isolator
2,9 - 3,0	metilena klorida, kloroform	bahan tenun

2.4.2. Pembuatan Selulosa Asetat Primer

Walaupun selulosa asetat sudah diproduksi lebih dari 50 tahun yang lalu, penelitian-penelitian tetap diteruskan terhadap reagen asetilasi, perbaikan metode dan penekanan biaya produksi. Seperti yang dilakukan oleh I.G. Farben, dia telah mensintesa dengan perbandingan sebagai berikut ; selulosa : asetat anhidrid : metilena klorida : asam sulfat = 100 : 300 : 400 : 1. Temperatur dan waktu asetilasi yang digunakan adalah 15 - 20°C dan 5 - 6 jam.¹⁰⁾ V.E. Yarsley melakukan penelitian pada temperatur awal di bawah 5°C dengan perbandingan, selulosa kapas : asetat anhidrid : asetat glasial : asam sulfat = 1 : 3 : 5 : 1,5. Temperatur dijaga pada 20 - 25°C dengan waktu reaksi total 24 jam. Beberapa penelitian dilakukan lagi sehingga didapatkan perbandingan reagen-reagen asetilasi sebagai berikut, selulosa : asetat anhidrid : asetat glasial : asam sulfat = 1 : 10 : 10.¹²⁾

Beberapa tahap utama dalam Pembuatan selulosa asetat, yaitu :

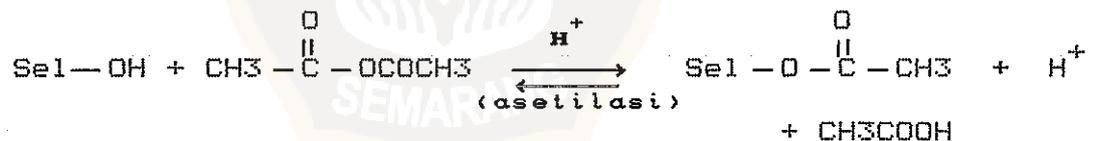
1. Perlakuan awal

Selulosa membutuhkan pengaktifan sebelum asetilasi. Pengaktifan dilakukan dengan cara merendam selulosa ke dalam asam asetat dengan katalisator atau tanpa katalisator. Tujuan utama pengaktifan adalah untuk penggembungan serat agar lebih mudah bereaksi dengan reagen pengasetilasi.¹³⁾

2. Asetilasi

Asetilasi adalah proses terjadinya substitusi gugus OH selulosa dengan gugus asetil pada asam asetat anhidrid selulosa. Perlu diketahui bahwa gugus OH selulosa mempunyai kereaktifan yang berbeda dengan gugus OH pada alkohol alifatik.⁸⁾

Reaksi asetilasi yang terjadi adalah :



Ada dua jenis proses asetilasi, yaitu :

(i) Proses serat

Proses asetilasi serat dikerjakan dengan adanya cairan yang sesuai (misalnya benzen), dimana produk reaksi tidak larut tetapi tetap berbentuk serat.⁴⁾

Proses ini mempunyai beberapa keuntungan dan kerugian.

(ii) Proses larutan

Hampir semua selulosa asetat diproduksi dengan proses larutan.¹³⁾ Dalam reaksi ini selulosa membentuk sebuah gel dan lama kelamaan larut setelah esterifikasi berlangsung. Agar asetilasi berjalan dengan baik maka dibutuhkan selulosa yang sesuai dan asam sulfat hampir umum digunakan sebagai katalis. Selama asetilasi reaksi yang terjadi adalah sangat eksoterm sehingga memungkinkan selulosa terdegradasi. Degradasi dapat dikontrol dengan mengatur jumlah konsentrasi asam dan temperatur reaksi. Temperatur reaksi yang diperbolehkan adalah 5 - 45°C.¹³⁾

3. Hidrolisa

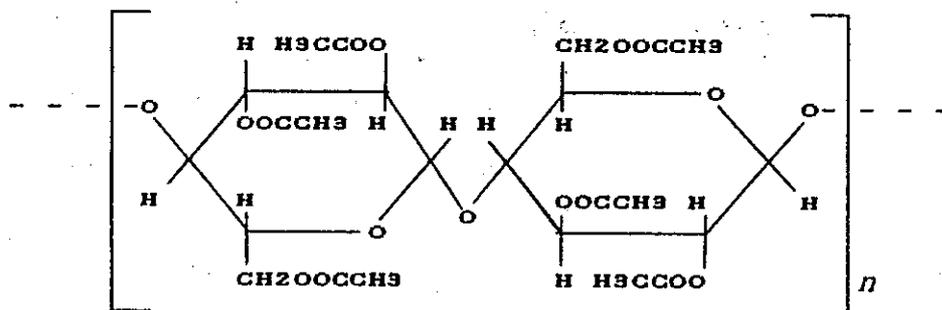
Tujuan utamanya adalah untuk mendapatkan suatu produk dengan derajat substitusi yang dikehendaki. Hidrolisa selulosa asetat dilakukan dengan cara menambahkan sejumlah asam asetat yang mengandung air ke dalam campuran asetilasi.¹³⁾

2.4.3. Klasifikasi Selulosa Asetat

klasifikasi selulosa asetat didasarkan atas jumlah gugus asetil yang menggantikan gugus OH pada selulosa. Ada dua jenis selulosa asetat, yaitu :

1. Selulosa asetat primer (selulosa triasetat),

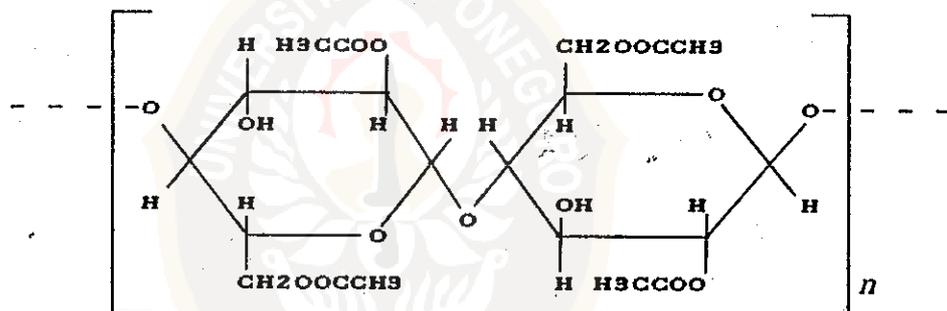
Dari 6 gugus OH pada unit selobiosa diasetilasi semua menjadi 6 gugus OCOCH_3 . (Lihat gambar II.4.).



Gambar II.4. Selulosa asetat primer

2. Selulosa asetat sekunder

Diperoleh dengan cara menghidrolisa selulosa asetat primer sehingga hanya terdapat 2 gugus asetat per unit glukosa atau 4 gugus asetat per unit selobiosa, seperti pada gambar II.5.



Gambar II.5. Selulosa asetat sekunder

Baik selulosa asetat primer maupun sekunder adalah polimer dengan rantai lurus dan mempunyai sifat nonpolar. Selulosa asetat sekunder mempunyai panjang 160 nm, tebal 2,3 nm dan DP 130 per unit selobiosa, sedangkan selulosa asetat primer mempunyai panjang 240 nm, tebal 2,6 nm dan DP 225.¹⁴⁾

Selulosa asetat sekunder dengan kadar asetil 32 - 38% larut dalam aseton dan phenol. Sedangkan selulosa asetat primer dengan kadar asetil 42,5 - 44,8 % larut dalam kloroform dan metilena klorida & etanol.¹⁴⁾

Diperkirakan ada kurang lebih 40% kristalin dan 60% amorf pada selulosa asetat sekunder, sedangkan selulosa asetat primer mempunyai sedikit lebih banyak kristalin. Kedua jenis ini mempunyai sifat plastik dan lembek apalagi bila dalam keadaan basah.¹⁴⁾

2.4.4. Degradasi Selulosa dan Turunannya

Degradasi polimer selulosa ataupun turunannya dapat menurunkan harga derajat polimerisasi. Derajat polimerisasi menurun karena terjadi pemutusan ikatan antar atau intra molekul selulosa.

Penyebab terjadinya degradasi adalah :

1. Hidrolisa asam

Pada kondisi asam misalnya dengan penambahan asam-asam kuat, maka dengan mudah terhidrolisa menjadi polisakarida yang lebih sederhana.

2. Oksidasi oleh zat pengoksidasi

Suatu asam dapat mengoksidasi selulosa dan selulosa asetat sehingga berat molekulnya berkurang. Dengan adanya panas yang cukup, selulosa lebih mudah terdegradasi oleh asam.¹⁴⁾

3. Degradasi karena panas atau suhu

Seperti kebanyakan senyawa organik lainnya, maka selulosa atau selulosa asetat terdegradasi karena panas.

4. Degradasi oleh sinar, terutama oleh sinar uv dan radiasi energi tinggi yang dapat membentuk radikal,

seperti sinar-X.

5. Degarasi oleh mikroba

Mikroba tertentu dapat menghasilkan enzim selulase yang dapat memotong-motong rantai selulosa, sehingga selulosa akan terhidrolisa.⁴⁾

2.5. Karakterisasi Polimer

2.5.1. Penentuan Berat Molekul dengan Viskometri

Faktor yang sangat penting dalam sintesa dan aplikasi polimer adalah berat molekul. Banyak sekali sifat polimer bergantung pada berat molekulnya, misalnya ; kelarutan, kekakuan, kekentalan dan pelelehan. Karena itu perlu diketahui cara menentukan berat molekul suatu polimer. Beberapa cara diantaranya adalah dengan analisa gugus ujung, osmometri, tonometri, gel permeation chromatography (GPC) dan viskosimetri.

Polimer dengan berat molekul tinggi mempunyai rantai yang panjang dan sebaliknya. Panjang rantai molekul dinyatakan dengan derajat polimerisasi. Derajat polimerisasi menunjukkan berapa banyak monomer yang membentuk rantai molekul.⁷⁾

Pengukuran viskositas polimer dapat memberikan penjelasan tentang berat molekul dan konfigurasi molekul. Viskositas didefinisikan sebagai suatu gesekan pada fluida yang bergerak. Pengukuran viskositas larutan biasanya dilakukan dengan membandingkan waktu, t yang dibutuhkan volume tertentu untuk mengalir melalui pipa kapiler dengan waktu yang dibutuhkan pelarut, t_0 . Dari t , t_0 dan konsentrasi larutan diturunkan beberapa persamaan dan namanya didefinisikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \eta &= \text{Viskositas Larutan} \\ \eta_0 &= \text{Viskositas Pelarut} \\ \eta_r &= \text{Viskositas Relatif} = \eta / \eta_0 = t / t_0 \\ \eta_{sp} &= \text{Viskositas Spesifik} = \eta_r - 1 = (\eta - \eta_0) / \eta_0 \\ &= (t - t_0) / t_0 \\ \eta_{red} &= \text{Viskositas Reduksi} = \eta_{sp} / c \\ [\eta] &= \text{Viskositas Intrinsik} = \lim_{c \rightarrow 0} (\eta_{sp} / c) \\ &= \lim_{c \rightarrow 0} [(\eta_r - 1) / c] \end{aligned}$$

Perumusan penting yang digunakan dalam pengukuran berat molekul atau derajat polimerisasi adalah viskositas intrinsik $[\eta]$, dimana viskositas akan meningkat dengan penambahan jumlah berat molekul atau derajat polimerisasi.

Secara empiris hubungan viskositas dengan berat molekul atau derajat polimerisasi polimer dinyatakan dalam persamaan "Mark dan Houwink" sebagai berikut :¹⁵⁾

$$[\eta] = K (M)^a = K (DP)^a \dots \dots \dots (1)$$

dan $[\eta]$ didapat dari persamaan Huggins :

$$[\eta_{sp} / c] = [\eta] + k [\eta]^2 c \dots \dots \dots (2)$$

dimana :

K , K dan a = tetapan khas untuk sistem polimer, harganya dapat dilihat pada tabel II.4.

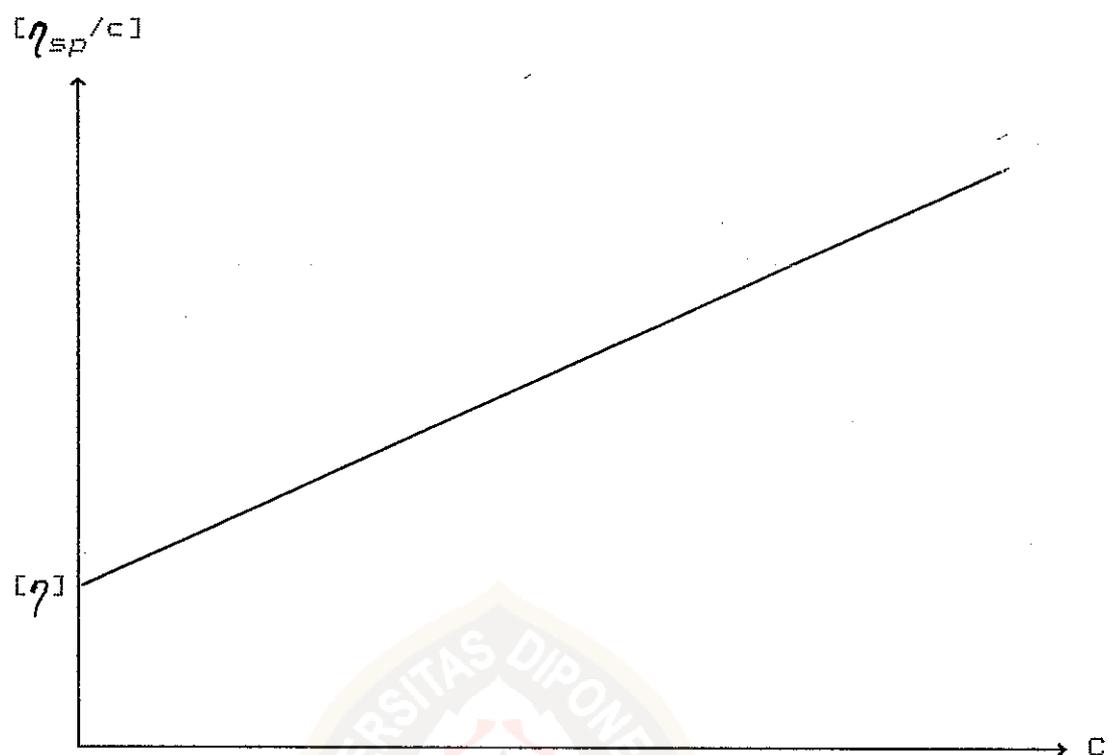
k = tetapan Huggens

M = berat molekul relatif polimer

DP = derajat polimerisasi polimer

Harga $[\eta]$ dapat diperoleh dari hubungan grafik antara

$[\eta_{sp} / c]$ terhadap c sebagai intersepnya.



Grafik II.1. Hubungan antara $[\eta_{sp}/c]$ terhadap C

Tabel IV.4. Tetapan K_1 , K_2 dan a untuk sistem polimer pada temperatur 25°C ¹⁵⁾

Polimer	Pelarut	$K \times 10^5$ (dL/g)	$K \times 10^3$ (dL/g)	a	DP
Selulosa	cuoxam		8,0	0,81	90-3500
	cuen		17	0,8	320-900
	cadoxen	5,96		0,94	520-2500
Selulosa asetat	kloroform		2,23	1,02	260-1130
	aseton		6,17	1	
Selulosa nitrat	etil asetat	16,6		0,86	2300-8400
	aseton	2,8		1	44-840
	aseton		5,0	1	250-9000
metil selulosa	air	316		0,55	640-3100
	air		16	0,86	150-2000
hidroksi etil selulosa	cadoxen		13	0,79	330-2600
karboksi metil selulosa	air		11	0,87	330-2600
	cadoxen		20	0,73	280-4000
	0,2 M NaCl 4 M HCl	43		0,74	600-4300
			9,7	0,83	>150

2.5.2. Penentuan Struktur dengan Spektroskopi Infra Merah

Radiasi Infra Merah (IR) merupakan bagian dari spektrum radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang lebih panjang dari sinar tampak, tetapi lebih pendek daripada gelombang mikro. Daerah IR yang paling lazim dalam penentuan spektrum untuk penentuan struktur adalah daerah IR sedang ($\lambda = 2,5 \text{ nm} - 15 \text{ nm}$ atau $\bar{\nu} = 4000 - 666 \text{ cm}^{-1}$). Pada daerah ini, energi yang diabsorpsi digunakan untuk vibrasi molekuler. Radiasi IR yang diabsorpsi oleh molekul polimer akan diubah menjadi energi yang digunakan untuk vibrasi molekuler, sehingga spektroskopi IR sering disebut spektroskopi vibrasional. Frekuensi vibrasi dari ikatan kedua atom, menurut hukum Hooke dinyatakan sebagai berikut :

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{k}{m_1 m_2 / (m_1 + m_2)} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (3)$$

dimana :

$$\nu = c \cdot \bar{\nu}$$

ν = frekuensi vibrasi

$\bar{\nu}$ = bilangan gelombang

c = kecepatan cahaya ($3 \times 10^{10} \text{ cm /detik}$)

k = tetapan gaya untuk ikatan kimia yang bersangkutan

Besaran $m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ sering dinyatakan sebagai μ .

Letak pita atau puncak dinyatakan dalam panjang gelombang atau dengan bilangan gelombang (cm^{-1}).

Intensitas puncak dinyatakan dalam transmisi, T atau absorpsi, A dengan hubungan $A = \log 1/T$.

Spektrum IR dapat digunakan untuk penentuan struktur senyawa polimer dengan cara mencocokkan spektrum IR dari senyawa yang telah diketahui atau dapat juga dengan menginterpretasi spektrum IR-nya, karena masing-masing ikatan memberikan frekuensi vibrasi yang spesifik. Dengan demikian maka spektroskopi IR dapat dipakai untuk karakterisasi senyawa polimer dan memungkinkan untuk mengetahui apakah telah terjadi transformasi dari selulosa menjadi turunannya melalui perubahan spektrum.¹⁶ Tabel II.5. menunjukkan daftar penyerapan spektrum Infra Merah yang mungkin dari vibrasi ikatan selulosa asetat primer.

Tabel II.5. Daerah spektrum IR selulosa asetat primer

Daerah spektrum litelatur (cm^{-1})		Jenis ikatan pengabsorbsi	
3571	-	3125	uluran O-H selulosa
2967	-	2857	uluran C-H dari CH ₂
1820	-	1600	uluran C=O ester
1650	-	1612	uluran H O-H air
1300	-	1200	uluran C-O asetil
1161			uluran C-O-C asimetri selulosa
1058	-	1027	uluran C-O selulosa

2.5.3. Penentuan Titik Leleh

Pelelehan pada dasarnya merupakan pemisahan rantai-rantai dalam kristal dan titik leleh bergantung juga pada gaya antaraksi rantai. Karakteristik senyawa polimer dapat ditentukan dengan mengetahui harga titik lelehnya. Dalam satu jenis polimer, Titik leleh berbanding lurus dengan berat molekul polimer. Semakin besar berat

molekul polimer maka semakin tinggi harga titik lelehnya.⁷⁾

2.5.4. Kelarutan Polimer

Kelarutan merupakan salah satu sifat khusus dari suatu polimer dan faktor-faktor yang menentukan kelarutan polimer lebih kompleks daripada faktor-faktor yang mempengaruhi kelarutan senyawa dengan berat molekul rendah. Beberapa polimer tidak mempunyai keadaan jenuh, polimer itu larut sempurna atau hanya mengembang oleh pelarut tertentu. Jika polimer itu larut maka dengan menambahkan lebih banyak polimer, proses kelarutannya mungkin menjadi lebih lambat atau bahkan dicegah oleh kekentalan larutan yang semakin tinggi, bukan karena tercapainya keadaan yang jenuh.

Beberapa kaidah umum dapat diterapkan untuk menjelaskan kerumitan tadi, yaitu : pelarut akan melarutkan senyawa yang sejenis. Misalnya polimer polar cenderung larut dalam pelarut polar. Kelarutan polimer berkurang dengan bertambahnya berat molekul dan salah satu ciri dari polimer adalah dapat menghasilkan larutan yang jauh lebih kental daripada pelarut murninya.⁷⁾