

**BIOSELULOSA NATA DE COCO: STUDI BIOPOLIMERISASI DAN
BIODEGRADASI DENGAN METODE SPEKTROSKOPI IR**



SKRIPSI

OLEH:

RIDA MAULANI

J 2CO 96 142

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2002

HALAMAN PENGESAHAN

Lembar Pengesahan I

Judul skripsi : Bioselulosa Nata de Coco: Studi Biopolimerisasi dan
Biodegradasi dengan Metode Spektroskopi IR

Nama : Rida Maulani

NIM : J 2CO 96 142

Telah lulus ujian sarjana pada tanggal: 27 Juni 2002



Semarang, Juni 2002

Mengetahui

Ketua Panitia Ujian

Drs. Parsaoran Siahaan, M.S.
NIP.131 875 473

HALAMAN PENGESAHAN

Lembar Pengesahan II

Judul skripsi : Bioselulosa Nata de Coco: Studi Biopolimerisasi dan
Biodegradasi dengan Metode Spektroskopi IR

Nama : Rida Maulani

NIM : J 2CO 96 142

Telah disetujui dan layak untuk diuji pada ujian sarjana pada tanggal:

Semarang, Juni 2002

Pembimbing I



Drs. Parsaoran Siahaan, M.S.
NIP.131 875 473

Pembimbing II



Dra. Dwi Hudyanti, M.Sc.
NIP.131 835 917

*Allah (pemberi) cahaya langit dan bumi.
Perumpamaan cahaya Allah adalah seperti sebuah lubang
yang tak tembus, yang didalamnya ada pelita besar.
Pelita itu didalam kaca (dan) kaca itu seakan-akan bintang
(yang bercahaya) seperti mutiara, yang dinyalakan dengan
minyak dari pohon yang banyak berkahnya,
pohon Zaitun yang tumbuh tidak disebelah timur dan tidak
disebelah barat. Yang minyaknya hampir-hampir menerangi
walaupun tidak disentuh api.
Cahaya diatas cahaya (bertapis-lapis),
Allah membimbing pada cahaya-Nya siapa yang Dia
kehendaki, dan
Allah membuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia,
dan Allah mengetahui segala sesuatu.
(An-Nuur: 35)*

** Sesungguhnya beserta kesulitan itu ada satu kemudahan
(kelapangan).
(Al-Insyirah: 6)*

** Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai
dengan kesanggupannya
(Al-Baqarah: 286)*

Untuk orang-orang yang kucintai
Papa, Mama, Aa Dede, Teteh Wienz, Teteh Alis dan
Neng Tika serta ponakan-ponakan tersayang yang
telah menjadi motivasi dan penyejuk hatiku

RINGKASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan biosintesis bioselulosa Nata de Coco dan pengujian sifat biodegradasinya. Biosintesis dilakukan untuk membuktikan terjadinya biopolimerisasi menghasilkan bioselulosa. Pengujian sifat biodegradabel dilakukan untuk mengetahui terjadinya reaksi biodegradasi pada bioselulosa yang dihasilkan. Pada penelitian ini, baik untuk hasil biopolimerisasi maupun biodegradasi dilakukan analisa dengan metode spektroskopi FTIR.

Hasil penelitian menunjukkan telah terjadi reaksi biopolimerisasi pada media air kelapa menghasilkan bioselulosa dan bersifat biodegradabel. Terjadinya biopolimerisasi ditunjukkan dengan adanya pita serapan khas bioselulosa pada puncak serapan antara $1110 - 1165 \text{ cm}^{-1}$ untuk gugus C-O-C dan perubahan pola spektra pada $3200-3500 \text{ cm}^{-1}$ untuk vibrasi gugus OH. Hal ini dipertegas dengan penurunan kadar gula reduksi pada sisa media biopolimerisasi yang menunjukkan telah terjadi perubahan glukosa yang terkandung dalam media biopolimerisasi menjadi bioselulosa

Biodegradasi bioselulosa ditunjukkan dengan adanya penurunan rasio intensitas dari gugus C-O-C. Rasio intensitas gugus C-O-C berturut-turut 0,168, 0,179 dan 0,0373 untuk waktu biodegradasi 1, 5 dan 10 hari. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi pengurangan ikatan C-O-C (ikatan β -1,4- glikosida) pada bioselulosa setelah biodegradasi. Hal ini dipertegas dengan kenaikan rasio intensitas sekitar 0,0413 dari gugus aldehid yang merupakan serapan khas untuk glukosa dan persen penurunan berat bioselulosa setelah biodegradasi yang berkisar 1,11-2,64 %.

Spektra FTIR menunjukkan bahwa panjang rantai bioselulosa bertambah dengan pertambahan waktu biopolimerisasi. Selain berantai panjang bioselulosa juga linear dan teratur serta mempunyai gugus-gugus yang sama dengan selulosa pada umumnya dan dapat terbiodegradasi.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa bioselulosa dapat dihasilkan dari biopolimerisasi air kelapa dengan sifat berantai panjang dan linear serta dapat terbiodegradasi.

SUMMARY

The research have carried out Nata de Coco biocellulose biosynthesis and its biodegradable test. Biosynthesis have done to prove biopolymerization and result biocellulose which have structure as same as cellulose. In addition, biodegradable test have done to know reaction of biocellulose biodegradation that have resulted. In this research, FTIR spectroscopy method was used to analyze biopolymerization and biodegradable product

Reaction of biopolymerization in the coconut water medium produced biodegradable biocellulose. It was shown with a biocellulose characteristic band in the peak of absorption between $1110-1165\text{ cm}^{-1}$ for C-O-C substituent vibration. The spectrum pattern conversion was also shown in the peak of absorption between $3200-3500\text{ cm}^{-1}$ for OH substituent vibration. Biocellulose spectrum were emphasized by the number of reduction sugar in the remain of biopolymerization medium. It also showed the conversion of glucose into biocellulose in the biopolymerization medium.

Biocellulose biodegradation was showed by the decreasing of absorption intensity ratio for C-O-C substituent vibration. Its intensity ratio during 1, 5 and 10 days biodegradation process declined until 0.168 ; 0.179 and 0.0373 in a row. It showed deducting of C-O-C bonding (β -1,4-glycoside bonding) in the biocellulose after biodegradation. It was also emphasized the increasing of intensity ratio about 0.0413 of aldehyde substituent which was a characteristic glucose absorption. The degradation of biocellulose weight after biodegradation approximately 1.11-2.64 %.

Based on FTIR spectrum showed that length of biocellulose chain increase as long as biopolymerisation time. Beside have a long chain, biocellulose also linear, syndiotactic and had the same substituent as ordinary cellulose that could be biodegraded.

It could be conclude that biocellulose can produced from coconut water biopolymerization and it had a long chain , linear and biodegradable properties.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat, karunia dan ridho-Nya yang telah terlimpahkan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar sarjana pada jurusan Kimia F MIPA UNDIP.

Skripsi dengan judul “ **Bioselulosa Nata de Coco: Studi Biopolimerisasi dan biodegradasi dengan metode Spektroskopi IR** “ disusun berdasarkan hasil penelitian yang dilaksanakan di laboratorium Ristek Kimia Fisik, FMIPA UNDIP serta laboratorium Kimia Organik jurusan kimia, FMIPA, UGM dan laboratorium Teknologi Hasil Pertanian, jurusan Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM untuk analisisnya.

Keberhasilan menyusun skripsi ini tak lepas dari peran, bantuan, pengorbanan dan ketulusan hati banyak pihak, oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Parsaoran Siahaan, MS dan Ibu Dra. Dwi Hudiyanti, MSc selaku pembimbing yang telah memberikan arahan dan segenap perhatiannya dengan penuh dedikasi sehingga skripsi ini terselesaikan.
2. Bapak Drs. W.H. Rahmanto, Msi, sebagai koordiantor laboratorium Kimia Fisik yang telah memberikan fasilitas dan bantuan selama menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Yang terhormat Bapak/Ibu staf dosen Kimia yang telah mendidik dan membimbing selama perkuliahan.

4. Saudara Raharjo, Hendro dan Harjanto serta Seluruh Staf dilingkungan lab. Kimia FMIPA UNDIP.
5. Ayah, Ibu tercinta, Tete Wiwin, Tete Elis, Aa Dede, dan Neng Tika yang telah melimpahkan kasih sayang, perhatian moril dan material yang tak ternilai harganya serta untuk motivasi, semangat dan Do'a yang selalu diberikan.
6. Sahabat berbagi rasa Rudy Molandi Tonda atas segenap kasih sayang, diskusi, saran dan bantuan yang diberikan kepada penulis.
7. Saudara Panca, Niswati, Ana, Herlina, Heny, Mei, Heri, Hasan dan rekan-rekan angkatan 96 atas bantuan, diskusi, kritik dan motivasi yang diberikan.
8. Kelompok Polimer (Tedy, Yusni, Verra, Rahayu, Lukman, dll), Nurdina, Ibnu, Setyo atas bantuan, masukan, kritik dan saran yang diberikan.
9. Teman-teman kost dan Riza atas bantuan dan dukungan yang diberikan.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna, karena itu masukan dan kritik yang konstruktif sangat diharapkan. Penulis berharap tulisan ini dapat berguna bagi semua yang membacanya dan bagi ilmu pengetahuan.

Semarang, Juni 2002

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Halaman pengesahan I	ii
Halaman pengesahan II	iii
Halaman Persembahan	iv
Ringkasan	v
Summary	vi
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
Daftar tabel	xii
Daftar gambar	xiii
Daftar lampiran	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. latar belakang penelitian	1
1.2. perumusan masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Kerja	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Selulosa	5
2.1.1. Bioselulosa	6
2.2. Nata de Coco	7

2.3. Biopolimerisasi.....	9
2.4. Biodegradasi	10
2.5. Spektroskopi IR	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1. Peralatan dan Bahan	14
3.1.1. Peralatan	14
3.1.2. Bahan-bahan	14
3.2. Prosedur Kerja	15
3.2.1. Biopolimerisasi Bioselulosa Nata de Coco	15
3.2.2. Biodegradasi Bioselulosa Nata de Coco	16
3.2.3. Karakterisasi Bioselulosa Nata de Coco	16
3.2.3.1. Pola spektra IR	16
3.2.3.2. Penentuan kadar gula reduksi dan gula total	16
3.2.4. Penentuan tingkat degradasi	17
3.2.4.1. Perubahan berat kering	17
3.2.4.2. Pola spektra IR	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1. Biopolimerisasi bioselulosa Nata de Coco	19
4.1.1. Hasil Biopolimerisasi	19
4.1.2. Analisa spektra IR	20
4.2. Biodegradasi Bioselulosa Nata de Coco	25

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	28
5.1. Kesimpulan	28
5.2. Saran	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	31



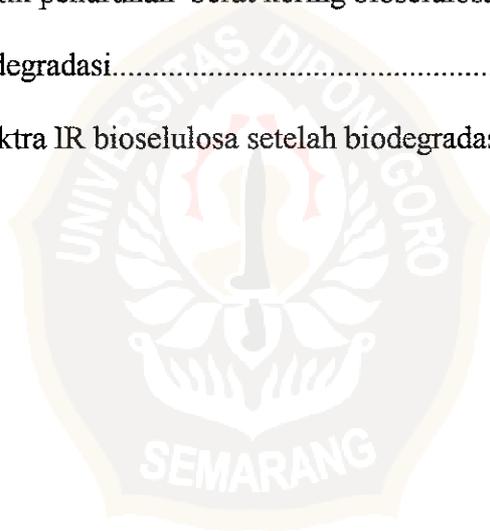
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Daerah serapan IR untuk selulosa	13
Tabel 3.1.	Komposisi media biopolimerisasi	16
Tabel 4.1.	Masa hasil biopolimerisasi sebagai fungsi waktu	19



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Struktur Selulosa	5
Gambar 4.1.	Ikatan Yang terjadi pada bioselulosa sampel A, B dan C	21
Gambar 4.2.	Ikatan yang terjadi pada bioselulosa sampel D, E dan F	21
Gambar 4.3.	Grafik kadar gula reduksi	22
Gambar 4.4.	Spektra IR Bioselulosa Sampel A, B dan C	23
Gambar 4.5.	Spektra IR bioselulosa Sampel D, E dan F	24
Gambar 4.6.	Grafik penurunan berat kering bioselulosa setelah biodegradasi.....	26
Gambar 4.7.	Spektra IR bioselulosa setelah biodegradasi	27



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I .Penentuan persen berat kering.....	31
Lampiran II.Hasil analisa kadar gula reduksi dan gula total.....	32



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Polimer terdapat dimana-mana dan dapat digunakan untuk berbagai keperluan dalam kehidupan sehari-hari. Material yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari mulai dari barang sederhana sampai peralatan mutakhir tak lepas dari sentuhan polimer. Produk polimer umumnya mempunyai sifat elastis, bening, kedap air, tidak toksik, stabil dan ekonomis sehingga banyak digunakan dalam bidang industri dan komersial sesuai fungsinya.

Selulosa merupakan salah satu jenis polimer alam yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Selulosa merupakan komponen utama dari kapas dan kayu, keduanya merupakan bahan dasar untuk kertas, tekstil, material konstruksi dan juga turunan selulosa seperti selopan, rayon dan selulosa asetat [1,2].

Sumber selulosa biasanya diperoleh dari tumbuhan yang semakin lama semakin berkurang dan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk dapat dihasilkan kembali, dan seiring dengan jumlah populasi manusia yang semakin meningkat maka kebutuhan akan material berbahan dasar selulosa semakin meningkat. Hal ini akan menyebabkan semakin berkurangnya sumber selulosa sehingga perlu dipertimbangkan untuk mencari suatu alternatif sumber selulosa^[1,2].

Salah satu alternatif selulosa adalah bioselulosa. Bioselulosa merupakan selulosa yang dihasilkan oleh suatu bakteri melalui proses biopolimerisasi^[1]. Salah satu jenis bioselulosa yaitu bioselulosa Nata de Coco. Bioselulosa Nata de Coco merupakan bioselulosa yang dihasilkan oleh bakteri *Acetobacter xylinum* melalui biopolimerisasi pada media air kelapa^[3]. Pemanfaatan Nata de Coco sebagai bioselulosa selain dapat mengatasi limbah air kelapa yang banyak dihasilkan oleh industri pengolahan kelapa, juga akan menjadikan Nata de Coco sebagai material yang mempunyai nilai tambah^[3,4].

Untuk dapat dijadikan sumber selulosa alternatif sehingga mempunyai nilai tambah, bioselulosa Nata de Coco harus mempunyai struktur dan sifat yang sama atau bahkan lebih baik dari selulosa pada umumnya. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan biosintesis bioselulosa Nata de Coco dan pengujian terhadap salah satu sifatnya yaitu sifat biodegradasinya. Biosintesis dilakukan untuk membuktikan terjadinya biopolimerisasi menghasilkan bioselulosa yang mempunyai struktur yang sama dengan selulosa. Sedangkan Pengujian sifat biodegradabel dilakukan untuk mengetahui terjadinya reaksi biodegradasi pada bioselulosa yang dihasilkan.

Pada penelitian ini, baik untuk hasil biopolimerisasi maupun biodegradasi dilakukan analisa dengan metode spektroskopi FTIR. Diharapkan dengan mengetahui pola spektra yang terjadi dapat diketahui perubahan struktur gugus fungsi yang terjadi pada bioselulosa selama waktu biopolimerisasi dan biodegradasi. Selain itu dilakukan juga analisa kadar gula total dan gula reduksi pada sisa media biopolimerisasi.

1.2. Perumusan masalah

Bioselulosa adalah selulosa yang dihasilkan dengan biopolimerisasi menggunakan bakteri dengan glukosa sebagai monomernya. Air kelapa merupakan limbah industri yang masih mengandung glukosa dan gula yang lainnya. Dengan membuat satu media yang sesuai maka diharapkan bahwa glukosa dalam air kelapa dapat berubah menjadi bioselulosa. Sesuai dengan reaksi polimerisasi bahwa glukosa dapat berubah menjadi selulosa berantai panjang dan linear dan berdasarkan interaksi dan mobilitas molekul bahwa rantai panjang dan linear selulosa ini dapat dipelajari dengan pola spektra IR. Karena bioselulosa Nata de Coco dibuat dengan memanfaatkan bakteri dan media air kelapa, maka perlu dikaji apakah terjadi reaksi polimerisasi dan bagaimana struktur internal yang terjadi dengan menggunakan bakteri tersebut.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuktikan terjadinya biopolimerisasi pada media air kelapa menghasilkan bioselulosa dan mengkaji struktur internal serta sifat biodegradasinya.

1.4. Batasan Kerja

Dalam penelitian ini diberi batasan parameter yang diukur yaitu perubahan berat kering film bioselulosa, kadar gula reduksi pada media biopolimerisasi, perubahan pola spektra IR bioselulosa dan biodegradasinya.

Variabel yang diambil sebagai variabel yang dikonstantkan adalah kondisi biopolimerisasi seperti pH, komposisi gula dan amonium sulfat yang ditambahkan pada media biopolimerisasi dan jumlah media biopolimerisasi. Sedangkan variabel berubahnya adalah waktu biopolimerisasi dan waktu biodegradasi.



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

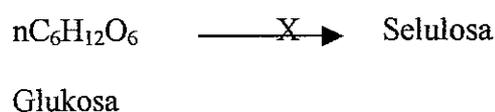
nukleotida glukosa, dimana enzim yang mengkatalisis polimerisasi glukosa menjadi selulosa dengan ikatan β -1,4 membutuhkan akseptor dari unit-unit glukosa^[10].

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).

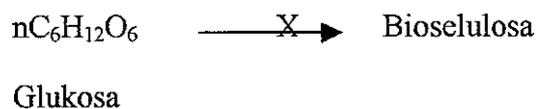
Reaksi yang terjadi:



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

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini meliputi penyiapan alat, preparasi bahan, biopolimerisasi bioselulosa Nata de Coco, biodegradasi bioselulosa Nata de Coco oleh bakteri *Clostridium Sp*, analisa bioselulosa hasil biopolimerisasi dan biodegradasi.

3.1. Peralatan dan Bahan

3.1.1. Peralatan

Penyiapan ruang biodegradasi berupa kotak kaca tertutup rapat untuk meminimalkan keberadaan oksigen didalam ruang tersebut. Alat timbang elektronik (Mettler AT200) dengan ketelitian sampai 0,1 mg untuk menentukan berat bioselulosa yang diperoleh dan berat kering bioselulosa sebelum dan sesudah biodegradasi. Spektroskopi FTIR untuk analisa bioselulosa hasil biopolimerisasi dan biodegradasi. Wadah atau nampan plastik sebagai tempat untuk media biopolimerisasi. Saringan, kompor gas, untuk preparasi media biopolimerisasi. Alat-alat gelas seperti tabung reaksi besar beserta sumbat karetinya sebagai tempat tumbuhnya bakteri *Clostridium sp* dalam media agar.

3.1.2. Bahan-bahan

Bahan yang digunakan meliputi air kelapa yang diperoleh dari pamarut kelapa dipasar Jatingaleh, gula pasir, ammonium sulfat, asam asetat glasial sebagai bahan pendukung pengkondisian media biopolimerisasi, Stater bakteri *Acetobacter xylinum* dari balai perindustrian Semarang, bahan pendukung preparasi media

agar-daging rebus Robertson seperti agar, daging sapi, glukosa, bactopecto, larutan 4 % NaOH, asam askorbat dan 0,1 % metil biru.

3.2. Prosedur Kerja

3.2.1. Biopolimerisasi Bioselulosa Nata de Coco

Biopolimerisasi meliputi persiapan media biopolimerisasi dan proses biopolimerisasi. Pertama, air kelapa disaring dengan kain saring, dipanaskan hingga mendidih (dibuang buihnya jika ada) dibiarkan selama 10 menit kemudian ditambahkan gula dan ammonium sulfat, dipanaskan sampai mendidih, dibiarkan 5 menit, ditambahkan asam asetat glasial hingga pH sebesar 4-5. Kemudian larutan air kelapa dituangkan kedalam wadah plastik dan didinginkan (sebagai media biopolimerisasi). Selanjutnya, untuk memulai proses biopolimerisasi, kedalam media biopolimerisasi yang sudah dingin ditambahkan stater *Acetobacter xylinum*. wadah plastik (media biopolimerisasi) ditutup kertas bersih, kemudian dibiarkan selama 1, 2, 4, 6, 8 dan 10 hari pada temperatur kamar. Selanjutnya hasil atau Nata de Coco yang diperoleh ditimbang. Nata de Coco dikeringkan dengan bantuan sinar matahari selama ± 3 hari sehingga diperoleh bioselulosa tanpa kandungan air. Bioselulosa yang dihasilkan pada 1, 2, 4, 6, 8 dan 10 hari ditimbang dan dianalisa dengan menggunakan metode spektroskopi FTIR untuk mengetahui perubahan pola spektra yang terjadi dengan adanya variasi waktu biopolimerisasi sedangkan sisa media biopolimerisasi dianalisa kadar gula reduksi dan kadar gula total.

Tabel 3.1. komposisi media biopolimerisasi

Bahan	Komposisi	Keterangan
Air kelapa	9 L	Setiap wadah plastik berisi
Amonium sulfat	32 g	1 liter media biopolimerisasi
Gula pasir	180 g	
Stater	100 mL / wadah plastik	

3.2.2. Biodegradasi bioselulosa Nata de Coco

Lembaran kering bioselulosa hasil biopolimerisasi selama 10 hari dipotong-potong berbentuk pita berukuran 3 x 1 cm dimasukkan kedalam ruang biodegradasi dan dibiarkan kontak dengan bakteri *Clostridium* pada media Agar-Daging rebus Robertson dalam tabung reaksi tertutup rapat selama 1, 5 dan 10 hari. Lembaran bioselulosa hasil biodegradasi ditimbang beratnya kemudian dianalisa dengan menggunakan shimadzu Hyper FTIR-820 IPC untuk kemudian dibandingkan perubahan pola spektranya dengan bioselulosa sebelum biodegradasi.

3.2.3. Karakterisasi bioselulosa Nata de Coco

3.2.3.1. Pola spektra IR

Untuk karakterisasi bioselulosa yang dihasilkan pada tiap variasi waktu biopolimerisasi dianalisis perubahan pola spektra dan interaksi-interaksi gugus-gugus yang ada dengan spektrofotometer FTIR-820 IPC merek Shimadzu.

3.2.3.2. Penentuan kadar Gula reduksi dan gula total

Untuk mengetahui apakah gula yang ada pada media biopolimerisasi telah berubah menjadi bioselulosa maka sisa media biopolimerisasi untuk tiap variasi waktu dianalisa kadar gula reduksi dan kadar gula total. Analisa dilakukan di laboratorium fakultas Teknologi Hasil Pertanian UGM Yogyakarta.

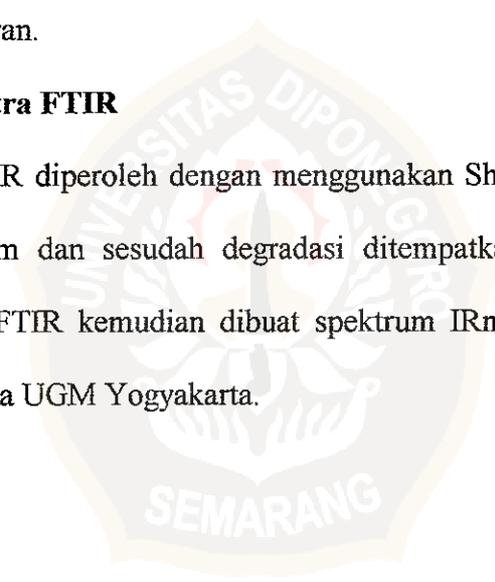
3.2.4. Penentuan tingkat Degradasi

3.2.4.1. Perubahan berat kering film Bioselulosa Nata de Coco

Film bioselulosa yang sudah dipotong-potong berbentuk pita, masing-masing ditimbang dengan alat elektronik (mettler) dengan ketelitian sampai 0,1 mg. Setelah itu pita-pita bioselulosa didegradasi selama waktu tertentu dan kemudian masing-masing ditimbang kembali. Dengan data berat awal pita bioselulosa dan berat pita bioselulosa setelah degradasi pada waktu tertentu maka dapat ditentukan persen penurunan berat kering bioselulosa, selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

3.2.4.2. Pola spektra FTIR

Spektrum IR diperoleh dengan menggunakan Shimadzu Hyper FTIR-820 IPC. Film sebelum dan sesudah degradasi ditempatkan dalam ruang sampel spektrofotometer FTIR kemudian dibuat spektrum IRnya, analisa dilakukan di laboratorium Kimia UGM Yogyakarta.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan terjadinya biopolimerisasi untuk bioselulosa yang dihasilkan, serta mengetahui terjadinya reaksi biodegradasi terhadap bioselulosa yang dihasilkan. Pembuktian terjadinya biopolimerisasi dilakukan dengan cara menganalisa semua bioselulosa yang dihasilkan pada variasi waktu biopolimerisasi dengan spektroskopi IR^[5,17]. Hasil analisa dari tiap waktu biopolimerisasi dibandingkan dengan literatur pada gugus spesifik untuk selulosa (terutama untuk gugus OH dan gugus C-O-C), sehingga dapat diketahui terjadinya bioselulosa yang mempunyai pola spektrum yang sama dengan literatur^[5,7]. Hal ini, juga dapat didukung dengan semakin berkurangnya unsur glukosa dalam media biopolimerisasi karena telah menjadi bioselulosa. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan juga analisa unsur gula reduksi dan gula total. Terjadinya reaksi biodegradasi dapat diketahui dari perubahan pola spektra dan rasio intensitas gugus spesifik selulosa. Diharapkan terjadi puncak serapan baru yang bukan merupakan puncak serapan untuk selulosa, terjadinya puncak baru dapat menandai terdapat senyawa selain bioselulosa yang telah terbentuk^[5,6,15].

4.1. Biopolimerisasi bioselulosa Nata de Coco

4.1.1. Hasil Biopolimerisasi

Setelah biopolimerisasi selama 1, 2, 4, 6, 8 dan 10 hari diperoleh bioselulosa nata de coco sebagai berikut:

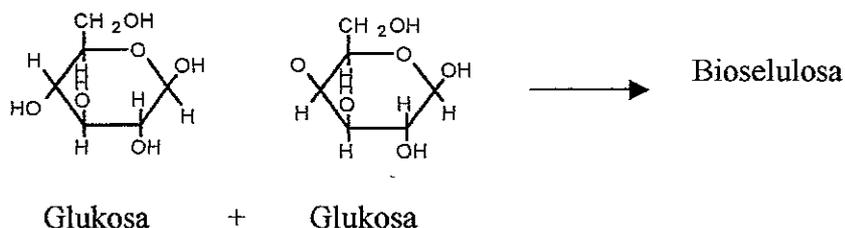
Tabel 4.1. Massa hasil biopolimerisasi sebagai fungsi waktu

Bioselulosa	t biopolimerisasi (hari)	W _{Nata de Coco} (g)	W _{bioselulosa} (g)	V _{media biopolimerisasi} (mL)	Penampakan fisik bioselulosa
A	1	1,01	0,1975	1110	Lendir
B	2	1,83	0,4710	1102	Selaput tipis
C	4	400	9,5665	707	Lembaran tipis
D	6	570	17,4395	450	Lembaran
E	8	800	28,1723	309	Lembaran
F	10	1020	32,1529	-	Lembaran

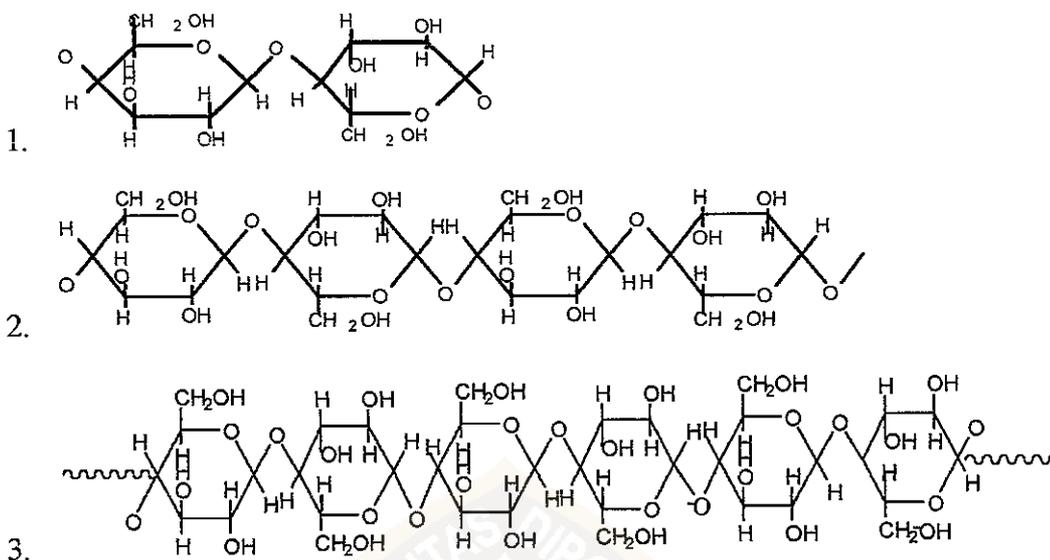
Ket: Sampel A, B, C, D, E dan F berturut-turut merupakan bioselulosa dengan waktu biopolimerisasi 1, 2, 4, 6, 8 dan 10 hari.

Dari hasil yang diperoleh dapat terlihat bahwa pembentukan bioselulosa telah terjadi pada sampel hari pertama, tetapi bioselulosa yang dihasilkan belum membentuk lembaran bioselulosa yang kokoh, begitu juga pada sampel hari ke-2, hal ini dimungkinkan bioselulosa yang terbentuk masih berupa rantai-rantai glukosa atau unit pengulangan bioselulosa yaitu unit selobiosa (struktur 1). Bioselulosa mulai terlihat terbentuk lembaran kokoh pada sampel D (sampel hari ke-6). Hal ini, menunjukkan kemungkinan dimana bioselulosa yang terbentuk semakin panjang dan teratur (struktur 3).

reaksi yang terjadi:



Kemungkinan struktur rantai bioselulosa yang terbentuk pada berbagai waktu biopolimerisasi:

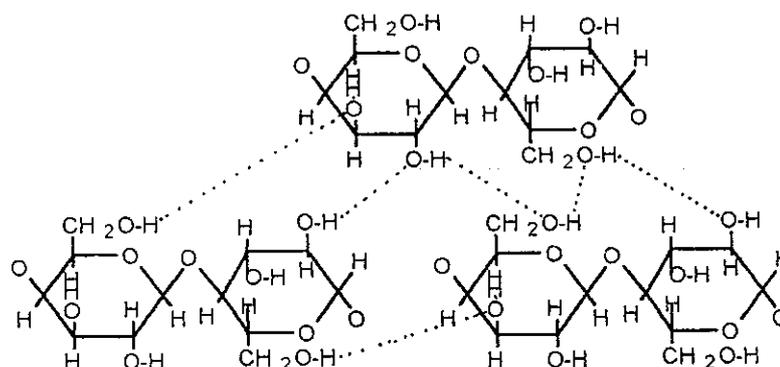


4.1.2. Analisa spektra FTIR

Berdasarkan hasil spektrum FTIR (gambar 4.2) menunjukkan adanya pita serapan khas bioselulosa pada daerah serapan $1110-1165\text{ cm}^{-1}$. Pita serapan ini terjadi pada sampel C, E dan F sebagai akibat dari stretching gugus C-O-C dan mengindikasikan bahwa telah terbentuk ikatan β -1,4 glikosida antara monomer glukosa membentuk suatu bioselulosa.

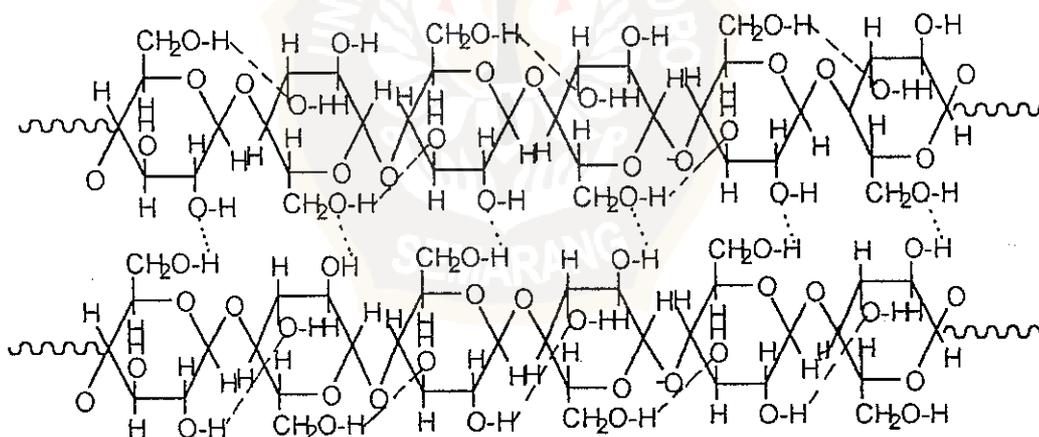
Pola spektrum FTIR (Gambar 4.4 dan gambar 4.5) terjadi Perubahan pola spektra pada pita serapan antara $3200-3500\text{ cm}^{-1}$ untuk rentang gugus OH. Pada sampel A, B, C dan D terdapat pita serapan gugus OH yang menunjukkan telah terjadi ikatan intermolekular antara gugus OH pada unit-unit glukosa^[5,7]. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya ikatan hidrogen yang terjadi antar gugus OH

merupakan interaksi antara gugus OH, pada rantai bioselulosa yang berdekatan (Gambar 4.1).



Gambar 4.1. Ikatan Intermolekular (.....) yang terjadi pada bioselulosa sampel A,B dan C

Untuk sampel E dan F terlihat pita serapan yang lebih tajam dan terdapat pada daerah serapan $3423,4 \text{ cm}^{-1}$ yang mengindikasikan bahwa disamping telah terjadi ikatan OH intermolekular juga telah terjadi ikatan OH intramolekular antar gugus OH pada unit glukosa (Gambar 4.2).



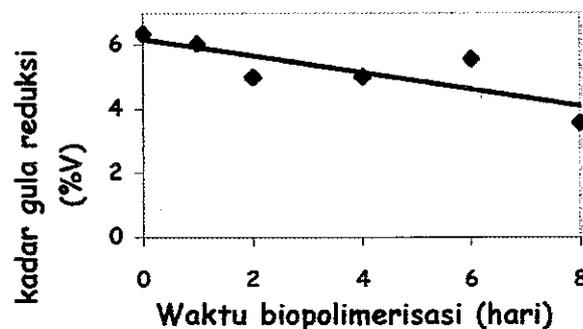
Gambar 4.2. Ikatan intermolekular (.....) dan intramolekular (- - - -) yang terjadi pada bioselulosa untuk sampel D,E dan F.

Hal ini memberikan kekakuan tertentu pada masing-masing rantai glukon dalam membentuk struktur supramolekul (struktur yang lebih kompleks). Ikatan intramolekuler dan ikatan intermolekuler yang terjadi menyebabkan susunan molekul selulosa yang sangat rapat. Keadaan molekul selulosa yang demikian

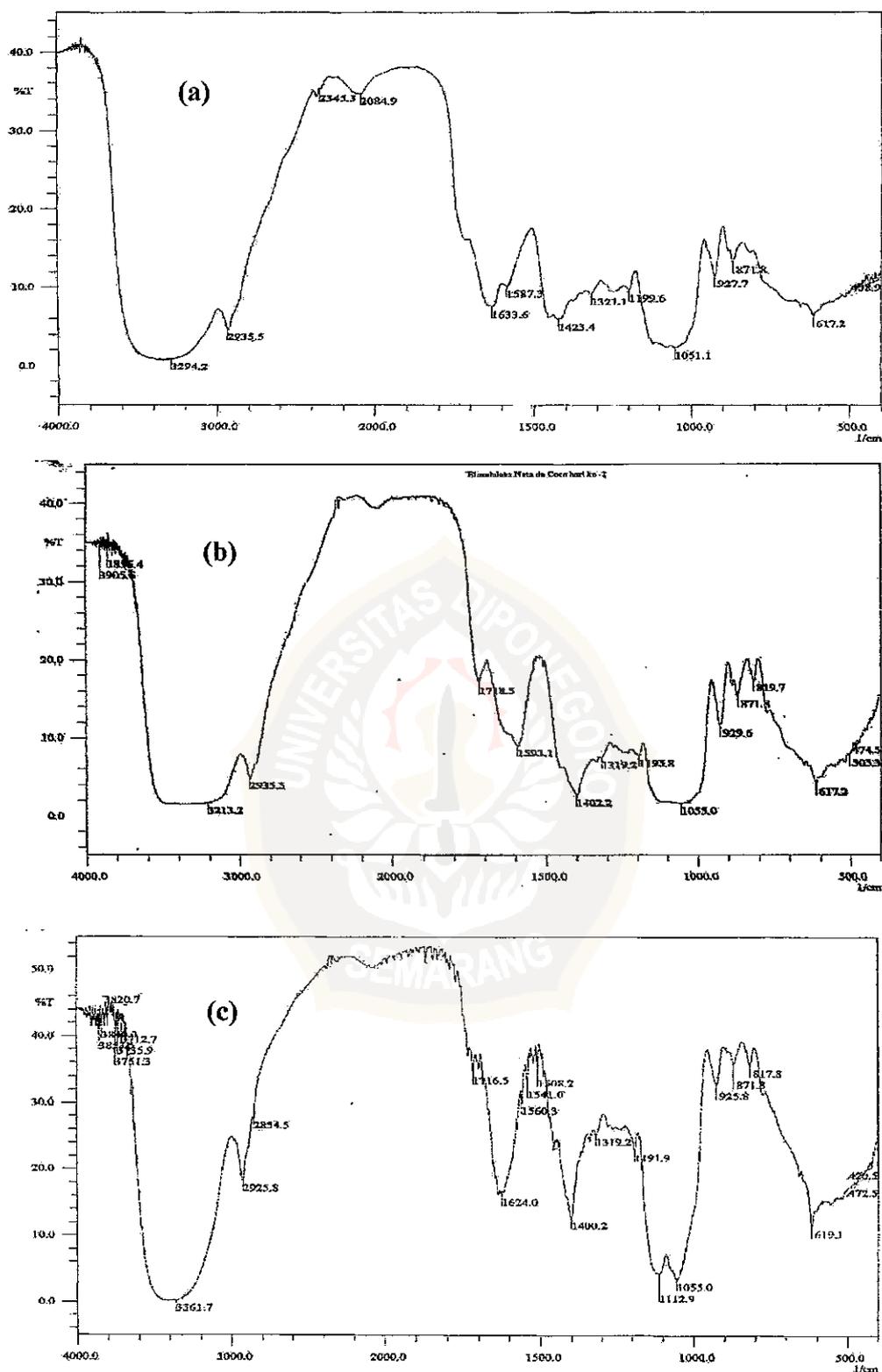
menyebabkan gugus-gugus OH didalam kristal bioselulosa tidak mudah dimasuki air (berikatan dengan air), walaupun gugus-gugus OH tidak terikat dengan ikatan hidrogen (gugus OH bebas). Keadaan demikian ditunjukkan oleh pola spektra untuk sampel E dan F dimana terdapat pita serapan OH bebas pada $3712,7\text{ cm}^{-1}$.

Ikatan OH intramolekular dapat disebabkan karena perpanjangan dari rantai bioselulosa dimana dengan bertambah panjang rantai bioselulosa maka intensitas gugus OH dari bioselulosa semakin meningkat sehingga meningkatkan interaksi dalam rantai bioselulosa itu sendiri. Keberadaan ikatan intramolekular juga menunjukkan bahwa bioselulosa yang terbentuk berada dalam keadaan teratur (syndiotaktik), keadaan teratur inilah yang menyebabkan rantai-rantai mampu saling berdekatan sehingga gaya interaksi dapat bekerja membentuk struktur yang teratur dan membentuk suatu kristal/ polimer bioselulosa^[7].

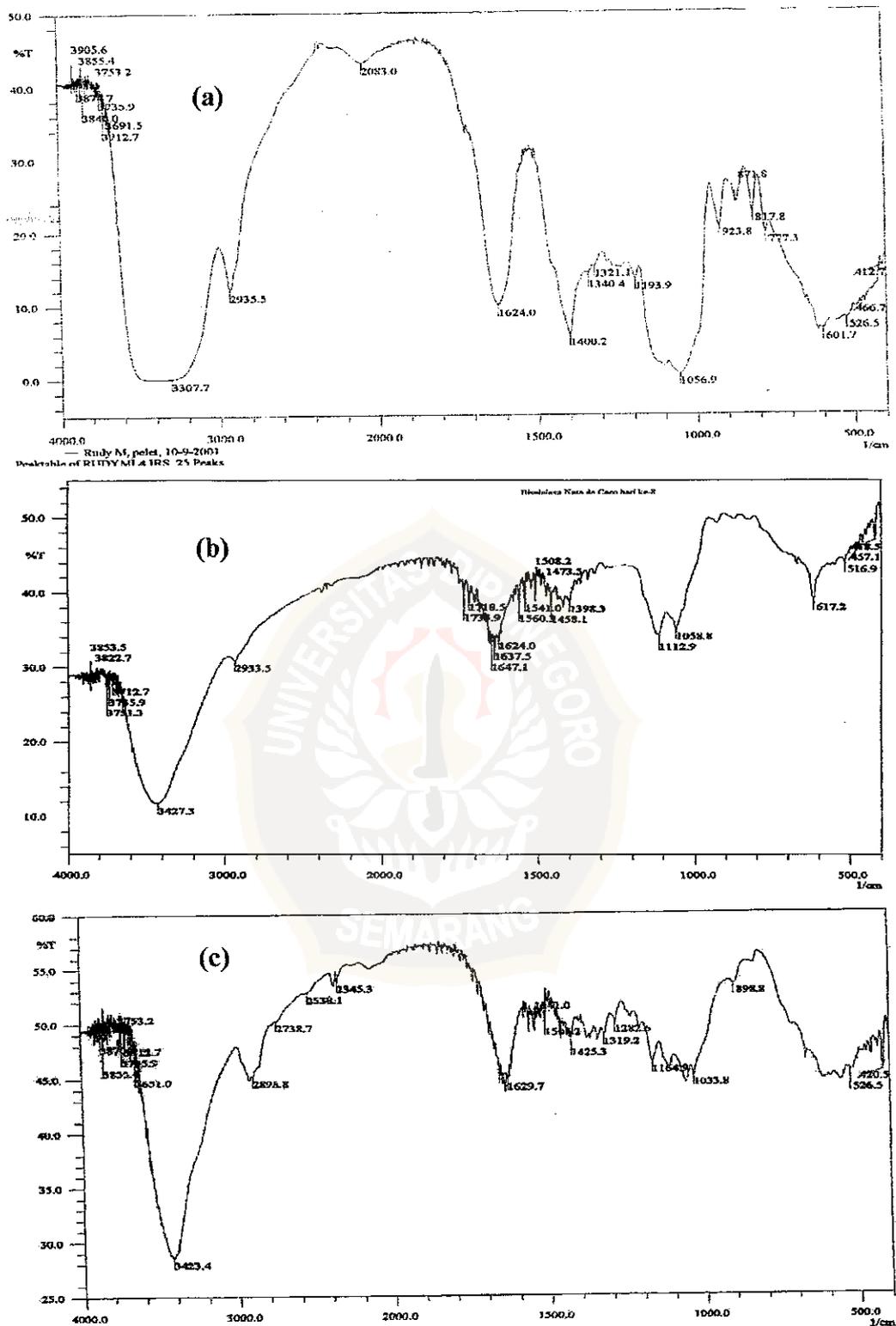
Pembentukan bioselulosa dipertegas dengan penurunan kadar gula reduksi (Gambar 4.3) pada sisa media biopolimerisasi yang menunjukkan telah terjadi perubahan glukosa yang terkandung dalam media biopolimerisasi menjadi bioselulosa.



Gambar 4.3. Grafik kadar gula reduksi



Gambar 4.4. spektra FTIR bioselulosa (a) sampel A dengan waktu biopolimerisasi 1 hari, (b) Sampel B dengan waktu biopolimerisasi 2 hari, (c) sampel C dengan waktu biopolimerisasi 4 hari



Gambar 4.5. spektra FTIR bioselulosa (a) sampel D dengan waktu biopolimerisasi 6 hari, (b) Sampel E dengan waktu biopolimerisasi 8 hari, (c) sampel F dengan waktu biopolimerisasi 10 hari

Perubahan pola spektra FTIR dari pita serapan lebar (sampel A) menuju pita serapan tajam (sampel E dan F), Keberadaan gugus OH bebas dan gugus C-O-C pada sampel E dan F Membuktikan bahwa telah terjadi reaksi biopolimerisasi pada media air kelapa menghasilkan bioselulosa berantai panjang dan teratur yang mempunyai gugus-gugus fungsi sama dengan gugus fungsi selulosa pada umumnya terutama untuk bioselulosa dengan waktu biopolimerisasi 6, 8 dan 10 hari.

4.2. Biodegradasi bioselulosa Nata de Coco

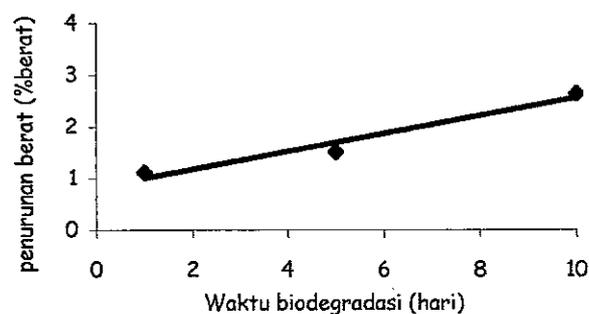
Biodegradasi adalah peruraian suatu senyawa karena kerja enzim tertentu yang dihasilkan mikroorganisme. Bioselulosa seperti juga selulosa dapat terurai kembali menjadi monomernya. Bioselulosa terurai menjadi glukosa melalui pemutusan ikatan glukukan^[6,15]. Bioselulosa yang terurai dapat diketahui dengan melihat perubahan pola spektra setelah biodegradasi. Perubahan ini dapat dilihat dari ratio intensitas gugus spesifik bioselulosa dan adanya puncak serapan baru yang bukan puncak serapan untuk bioselulosa. Pada penelitian ini dilakukan pengujian sifat biodegradasi terhadap bioselulosa yang dihasilkan saat biopolimerisasi 10 hari. Biodegradasi menggunakan bakteri *Clostridium Sp* dengan media agar-daging rebus Robertson sebagai media tumbuh bakteri. Biodegradasi dilakukan pada kondisi anaerob dimana pita bioselulosa diinokulasikan kedalam media bakteri yang berada dalam ruang biodegradasi yang hampa udara.

Hasil analisa spektroskopi bioselulosa setelah biodegradasi (Gambar 4.7) menunjukkan adanya penurunan rasio intensitas dari gugus C-O-C. Rasio intensitas

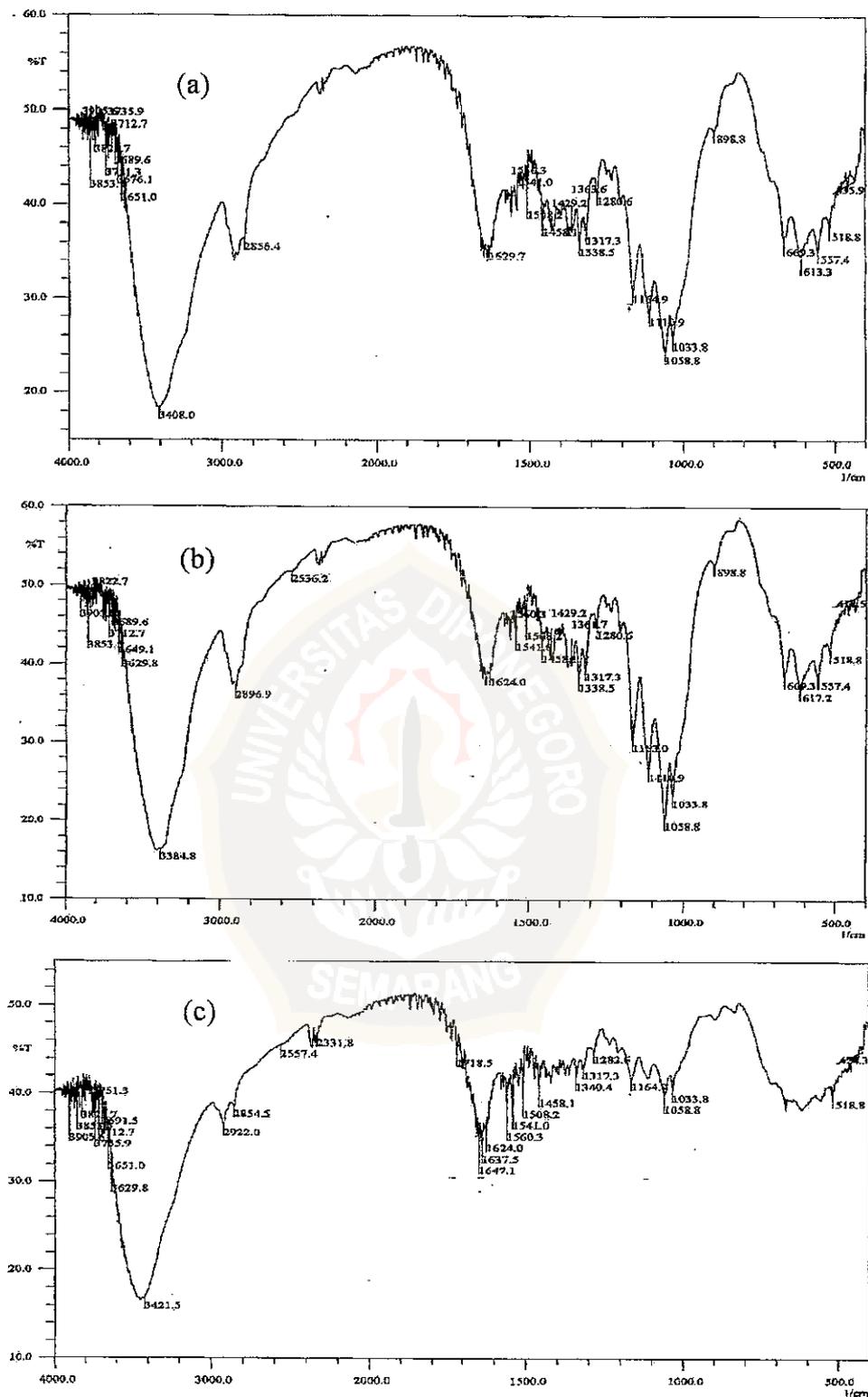
gugus C-O-C berturut-turut 0,168, 0,179 dan 0,0373 untuk waktu biodegradasi 1, 5 dan 10 hari. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi pengurangan ikatan C-O-C (ikatan β -1,4- glikosida) pada bioselulosa setelah biodegradasi. Hal ini dipertegas dengan kenaikan rasio intensitas sekitar 0,0413 dari gugus aldehid yang merupakan serapan khas untuk glukosa.

Perubahan rasio intensitas gugus C-O-C menjadi gugus aldehid menunjukkan telah terjadi biodegradasi terhadap bioselulosa terutama pada biodegradasi selama 10 hari. Untuk biodegradasi pada 1 dan 5 hari hanya menunjukkan perubahan penurunan untuk gugus C-O-C tanpa disertai oleh adanya gugus baru, hal ini dapat disebabkan adanya kemungkinan penguraian bioselulosa yang terjadi belum menguraikan bioselulosa menjadi monomernya melainkan hanya penguraian kristal bioselulosa menjadi rantai-rantai glukon.

Penguraian bioselulosa menjadi rantai-rantai glukon tidak dapat teridentifikasi pada spektroskopi IR karena keduanya mempunyai struktur yang sama sehingga spektra serapannya juga sama. Hal ini juga ditunjang oleh persen penurunan berat bioselulosa setelah biodegradasi yang hanya berkisar 1,11-2,64 % (Gambar 4.6).



Gambar 4.6. Grafik penurunan berat kering bioselulosa setelah biodegradasi.



Gambar 4.7. Spektra FTIR biodegradasi (a) biodegradasi selama 1 hari, (b) biodegradasi selama 5 hari, (c) biodegradasi selama 10 hari.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan kajian spektra IR, reaksi biopolimerisasi limbah air kelapa menghasilkan bioselulosa berantai panjang, linear dan teratur serta dapat terbiodegradasi.

5.2. Saran

Untuk memperkuat hasil penelitian perlu dilakukan analisa dengan menggunakan NIR (Near Infra Red) dan FIR (Far Infra Red) untuk menentukan kristalinitas, komposisi polimer dan absorpsi Photon. Selain itu perlu juga dilakukan analisa dengan XRD dan analisa dengan GPC (Gel Permeation Chromatography) untuk mengetahui berapa Berat Molekul dari bioselulosa Nata de Coco.

DAFTAR PUSTAKA

1. Brown, Jr, R, M. *Microbial Cellulose: A New Resource for Wood, Paper, Textiles, Food and Specialty Product*; Department Of Botany; The University of Texas at Austin: Austin, Texas, 1996, pp 1-11.
2. Brown, Jr, R, M. *The 3rd Philip Morris Science Symposium*; Walk, E, M., Ed.; Philip Morris Incorporated: New York, 1979; pp 51-123.
3. Rahayu, E, S.; Indrati, R. *Bahan Pangan Hasil Fermentasi*; Fermentation Nutrition Culture Collegation (FNCC); PAU Pangan dan Gizi UGM: Yogyakarta, 1993, pp 74-88
4. Masaoka, S.; Ohe, T.; Sakota, N. *J. Ferment. Bioengineer.* **1993**, 75(1), 18-22.
5. Fengel.; Weigner, G.; ab. Sastrohamidjojo, H. *Kayu, Kimia Ultrastruktur, Reaksi-reaksi*; 1st Ed., GadjahMada University Press: Yogyakarta, 1986, pp 76-100.
6. Brown, Jr. R. M.; Saxena, I, M.; Kudlicka. *Cellulose Biosynthesis In Higher Plants*; Elsevier Trends Journals: New York, 1996; vol 1, No 5; pp 149-156.
7. Segal leon.; H. M. Bikales. *Cellulose and Cellulose Derivates*, Willey Interscience, John Wiley and sons: New York, 1970; vol 5, part iv and v; pp 381,1047-1169
8. M. L. Wolfrom.; Taylor, H. E.; H. Hibbret. *Advances In Carbohydrate Chemistry*, Academic Press: New York, 1946; Vol.2, pp 205-209.
9. Dintcheva, N. T. *J. Polymer Degradation and Stability*, **1997** , 57, 191.
10. Printiono. *Pengaruh Suhu dan Lama Waktu Inkubasi Terhadap Nilai Kandungan Gizi Nata de Coco Hasil Fermentasi Limbah Air Kelapa oleh Acetobacter pasteurisasi*; Skripsi, Jurusan Biologi, UNDIP, Semarang. 1993
11. Prescott, L. M.; Hatley, J. P.; and Klein, D. A. *Microbiology*; John Willey and Sons, Inc: NewYork, 1990; pp. 92-107
12. Ralph, M.. *Environmental Microbiology*; John Willey & Sons Inc; New York 1992; pp.288-299.
13. Atlas, R. M.; Richard, B. *Microbial Ecology: Fundamental and Application*, Benjamin/Cummings Publishing Company Inc: New York. 1993; pp.648-673.

14. Schnabel, W. *Polymer Degradation: Principles and Practical Application*, 1st Ed, Hanser International: New York. 1981; pp.13,95,154.
15. Billmeyer, F. W. *Textbook of Polymer Science*; 3rd ed., John Willey and Sons: New York, 1984; pp. 3-9,15.
16. Sastrohamidjojo, H. *Spektroskopi Inframerah*; Liberty: Yogyakarta, 1992; pp. 108-122.
17. Klopffer, W. *Introduction to Polymer Spectroscopy*; Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 1984; pp 75-105.
18. Raymond, A., Y. and Robert, M. *Cellulose, Structure, Modification and Hydrolisis*; John Willey and Sons: NewYork, 1986; pp. 3, 9-23.
19. Kirk-Othmer. *Encyclopedia of Chemical Technology*; Second edition, Vol. 4, John Willey and Sons, Inc: USA, 1987; pp. 357-371.



LAMPIRAN I

PENENTUAN PERSEN BERAT KERING

A.1 penurunan persen berat kering

Apabila berat awal pita bioselulosa W_0 dan setelah terdegradasi selama waktu tertentu beratnya menjadi W_1 maka persen penurunan berat keringnya:

$$\% \text{ penurunan berat kering} = \Delta W/W_0 \times 100 \%$$

A.2. Contoh Perhitungan

Sampel pita bioselulosa mula-mula beratnya 0,0540 mg, setelah terbiodegradasi selama 1 hari menjadi 0,0534 mg.

Persen penurunan berat kering adalah

$$\% \text{ penurunan berat kering} = 0,0540 - 0,0534 \times 100 \%$$

$$\% \text{ penurunan berat kering} = 1,11 \%$$

Tabel A:

No	t (hari)	W ₀ (mg)	W _t (mg)	(W ₀ -W _t)/W ₀ .100% (% berat)
1	1	0,0540	0,0534	1,11
2	5	0,0528	0,0520	1,51
3	10	0,0529	0,0515	2,64

LAMPIRAN II

Hasil Analisa Kadar Gula Reduksi Dan Kadar Gula Total

UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

Jurusan Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian
Bulaksumur, Telp. (0274) 901704 Yogyakarta

HASIL ANALISA

NO. : / PS / /

No. :	Sampel / Kode	Macam Analisa	Hasil Analisa
1.	A	Gula reduksi	3.5775 % 3.3981 %
		Gula total	3.5775 % 3.3981 %
2.	B	Gula reduksi	5.1216 % 5.1751 %
		Gula total	5.8422 % 5.8937 %
3.	C	Gula reduksi	5.0187 % 5.0393 %
		Gula total	5.5734 % 5.5949 %
4.	D	Gula reduksi	4.9981 % 5.0393 %
		Gula total	6.0996 % 6.0481 %
5.	E	Gula reduksi	6.0481 % 6.0996 %
		Gula total	6.8717 % 6.7687 %
6.	F	Gula reduksi	6.3569 % 6.3055 %
		Gula total	7.9011 % 7.8496 %

Catatan :

1. Hasil analisa tidak untuk diumumkan
2. Berlaku pada waktu sampel dianalisa

Yogyakarta, 11 Sept 2001

Pengelola Pelayanan Umum


 Ad Khak