

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SELULOSA MIKROBIAL  
DARI *WHEY* SERTA PENGARUH IODIUM PADA SIFAT  
MEKANIK, LISTRIK DAN ABSORBSI TERHADAP  
LIMBAH  $MgCl_2$ ,  $Mg(OH)_2$ , dan HCl**

**DISERTASI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
dokter**

**DJONAEDI SALEH  
8305000019**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL  
JAKARTA  
JANUARI 2011**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Disertasi ini adalah hasil karya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : DJONAEDI SALEH**

**NPM : 8305000019**

**Tanda Tangan :**



**Tanggal : 12 Januari 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Disertasi ini diajukan oleh :  
Nama : DJONAEDI SALEH  
NPM : 8305000019  
Program Studi : Ilmu Material  
Judul Disertasi : Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Mikrobial dari  
*Whey* serta Pengaruh Iodium pada Sifat Mekanik,  
Listrik dan Absorpsi terhadap Limbah  $MgCl_2$ ,  
 $Mg(OH)_2$ , dan HCl.

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Ilmu Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.**

### DEWAN PENGUJI

Promotor : Dr. Bambang Soegijono

Kopromotor : Dr. Budhy Kurniawan

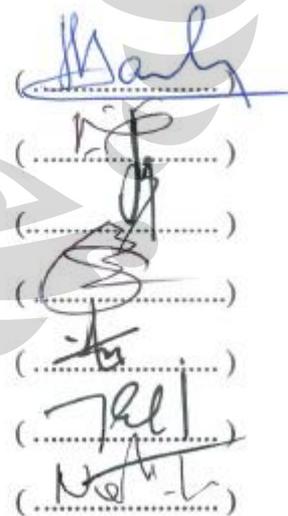
Ketua Sidang : Dr. Adi Basukriadi M.Sc

Tim Penguji : Dr. Suhardjo Poertadji

: Dr. Azwar Manaf

: Dr. Muhammad Hikam

: Dr. Nofrijon Sofyan

  
(.....)  
(.....)  
(.....)  
(.....)  
(.....)  
(.....)  
(.....)

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 12 Januari 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan disertasi ini. Penulisan disertasi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Doktor Program Studi Ilmu Material pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan disertasi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan disertasi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Bambang Soegijono, selaku Promotor dan Ketua Program Studi Ilmu Material yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan dan memotivasi saya dalam perkuliahan dan penyusunan disertasi ini.
- (2) Dr. Budhy Kurniawan selaku Kopromotor dan Sekretaris Departemen Fisika yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan dan memotivasi saya dalam perkuliahan dan penyusunan disertasi ini.
- (3) Dr. Suhardjo Poertadji, selaku Ketua Tim Penguji dan Sekretaris Program Pascasarjana Ilmu Material yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan disertasi ini.
- (4) Dr. Azwar Manaf, selaku Anggota Tim Penguji dan Mantan Pembimbing Tesis Program Master Ilmu Material FMIPA Universitas Indonesia yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan disertasi ini.
- (5) Dr. Muhammad Hikam, selaku Anggota Tim Penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan disertasi ini.
- (6) Dr. Nofrijon Sofyan, selaku Anggota Tim Penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan disertasi ini.

- (7) Dr. Adi Basukriadi selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia yang telah memberikan izin untuk study serta dukungan moral dan intelektual.
- (8) Dipl. Ing, Soeprpto Hadiatmodjo, selaku Direktur Akademi Kimia Analisis Caraka Nusantara yang telah mengizinkan penggunaan Laboratorium Kimia Analisis dan memberikan dukungan serta saran yang membangun demi kesempurnaan disertasi ini.
- (9) Dirjen Dikti yang telah memberikan Beasiswa Program Pascasarjana ( BPPS) dalam study untuk mendapatkan gelar doktor.
- (10) Rekan-rekan mahasiswa dan alumni Program Studi Ilmu Material Universitas Indonesia yang telah memberikan dukungan moral dan intelektual.
- (11) Seluruh staf akademik dan non akademik Universitas Indonesia yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam membantu kelancaran kuliah dan penulisan disertasi ini.
- (12) Istri, anak, orang tua, mertua, dan saudara yang telah memberikan dukungan tenaga serta doa sebelum dan selama perjalanan kuliah sampai penyelesaian disertasi ini.
- (13) Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung, secara moral maupun material demi keberhasilan dalam pencapaian gelar Doktor ini.

Akhir kata, saya berdoa semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Disertasi ini, dengan harapan Disertasi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 12 Januari 2011

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

### TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

---

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Djonaedi Saleh  
NPM : 8305000019  
Program Studi : Ilmu Material  
Departmen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Disertasi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Mikrobial dari Whey serta Pengaruh Iodium pada Sifat Mekanik, Listrik dan Absorpsi terhadap Limbah  $MgCl_2$ ,  $Mg(OH)_2$ , dan HCl.**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 12 Januari 2011

Yang menyatakan

( Djonaedi Saleh)

## ABSTRAK

Nama : Djonaedi Saleh  
Program Study : Pascasarjana Ilmu Material  
Judul : Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Mikrobial dari *Whey* serta Pengaruh Iodium pada Sifat Mekanik, Listrik dan Absorpsi terhadap Limbah  $MgCl_2$ ,  $Mg(OH)_2$ , dan HCl.

Waktu fermentasi *whey* dengan *Acetobacter xylinum* sangat mempengaruhi sifat dari selulosa mikrobial nata de soya. Lama fermentasi 10 hari merupakan waktu terbaik untuk mendapatkan membran selulosa mikrobial dengan kuat tarik  $819 \text{ kgf/cm}^2$ , resistivitas listrik  $136,0 \text{ ohm-m}$ , dan derajat kristalinitas 45 %. Penambahan unsur iodium dengan konsentrasi 1,0 % sampai 2,5 % berat terhadap selulosa mikrobial nata de soya dengan fermentasi 10 hari mempengaruhi sifat kelistrikan dan absorpsi terhadap larutan polutan. Resistivitas listrik mempunyai nilai maksimum  $1110,37 \text{ ohm-m}$  pada saat penambahan unsur iodium 2,1 % berat. Untuk semua konsentrasi penambahan iodium nilai resistivitas listrik stabil saat diberikan beda potensial di atas 0,7 volt dengan arus listrik searah dan resistivitas listrik ini tidak dipengaruhi secara signifikan oleh frekuensi dari arus listrik pada beda potensial 2 volt. Semakin besar penambahan unsur iodium juga semakin besar kemampuan material ini dalam mengabsorpsi larutan polutan yang berupa garam  $MgCl_2$ , basa  $Mg(OH)_2$  dan asam HCl.

Kata kunci: selulosa mikrobial nata de soya, resistivitas listrik, absorpsi

## ABSTRACT

Name : Djonaedi Saleh  
Study Programe : Material Science Post Graduate  
Title : Syntesis and Characterization of Microbial Cellulose from *Whey* and Effects of Iodine on The Mechanical and Electrical Properties, as Well as Absorption to  $MgCl_2$ ,  $Mg(OH)_2$  and HCL Waste.

The influence of fermentation time of *whey* by using *Acetobacter xylinum* to obtain nata de soya microbial cellulose membrane is observed. The best fermentation time is 10 days. The microbial cellulose membrane has been produced with tensile strength of  $819 \text{ kgf/cm}^2$ , electrical resistivity of  $136 \text{ ohm-m}$ , and crystallinity degree of 45%. An addition of iodine with 1,0% - 2,5% wt to nata de soya microbial cellulose membrane influenced the electrical resistivity and absorption ability towards to pollutant solution. The maximum electrical resistivity of  $1110,37 \text{ ohm-m}$  is observed at the iodine dopant of 2,1% wt. The electrical resistivity is stable and is not influenced significantly by frequency. The addition of iodine increases the absorption ability of nata de soya microbial cellulose to solvent pollutant such as  $MgCl_2$  salt,  $Mg(OH)_2$  base and HCl acid.

Key words: Microbial Cellulose of nata de Soya, electrical resistivity, absorption.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	9
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	9
1.4 Hipotesis .....	10
1.5 Manfaat Penelitian.....	11
2 TINJAUAN PUSTAKA.....	12
2.1 Kedelai, Tahu, dan Whey .....	12
2.2 Acetobacter Xylinum .....	14
2.3 Iodium (I <sub>2</sub> ) .....	15
2.4 Selulosa Mikrobial .....	17
2.5 Konduktivitas Listrik Material .....	21

2.6	Polimer Elektrolit .....	24
2.6.1	Mekanisme Transfer Ion pada Polimer Elektrolit .....	28
2.6.2	Penggunaan Polimer Elektrolit.....	32
3	METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1	Bahan .....	33
3.2	Alat .....	33
3.3	Pembuatan dan Pendopongan Selulosa Microbial .....	33
3.3.1	Proses Pembuatan Selulosa Microbial.....	34
3.3.2	Pendopongan Nata de Soya dengan Iodium.....	36
3.4	Karakterisasi Membran Sellulosa Mikrobial.....	37
3.4.1	Uji Tarik .....	37
3.4.2	Uji sifat Listrik Membran Sellulosa Mikrobial .....	38
3.4.3	Uji Membran dengan FTIR (Fourier Transform Infra Red ).....	40
3.4.4	Uji membran dengan X-Ray Difraktometer (XRD).....	41
3.4.5	Uji Membran dengan Scanning Electron Microscope ( SEM ).....	43
3.4.6	Uji Membran dengan Elektron Spin Resonance (ESR) .....	44
3.4.7	Absorpsi terhadap Larutan Asam, Basa dan Garam.....	44
4	HASIL DAN DISKUSI .....	46
4.1	Analisis Morphologi dengan Mikroskop Elektron .....	48
4.2	Analisis dengan Uji Tarik.....	49
4.3	Analisis Spektrum Pola Difraksi Sinar - X .....	50
4.4	Analisis Spektrum Transmisi Fourier Transform Infra Red.....	55
4.5	Analisis Spektrum Electron Spin Resonance .....	58
4.6	Analisis Konduktivitas Listrik.....	60
4.7	Analisis Absorpsi terhadap Larutan Limbah.....	65
5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	69

DAFTAR ACUAN ..... 70  
LAMPIRAN ..... 76



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Perbedaan sifat konduktor ionik pada elektrolit padat dengan konduktivitas elektronik konvensional dari suatu logam .....	5
Tabel 1.2	Beberapa sifat umum dari elektrolit padat .....	6
Tabel 2.1	Kandungan zat makanan penting per 100 gram kedelai .....	13
Tabel 2.2	Sifat-sifat iodium .....	16
Tabel 4.1	Pengaruh waktu fermentasi terhadap kristalinitas dari nata de soya	52
Tabel 4.2	Pengaruh penambahan iodium terhadap kristalinitas nata de soya..	55
Tabel 4.3	Hubungan waktu fermentasi terhadap resistivitas listrik, kekuatan tarik, derajat kristalinitas nata de soya .....	67
Tabel 4.4	Pengaruh penambahan iodium terhadap resistivitas listrik, radikal bebas relatif, kristalinitas, absorpsi MgCl dan ikatan gugus C-H dan C-OH dari nata de soya .....	68

## DAFTAR GAMBAR

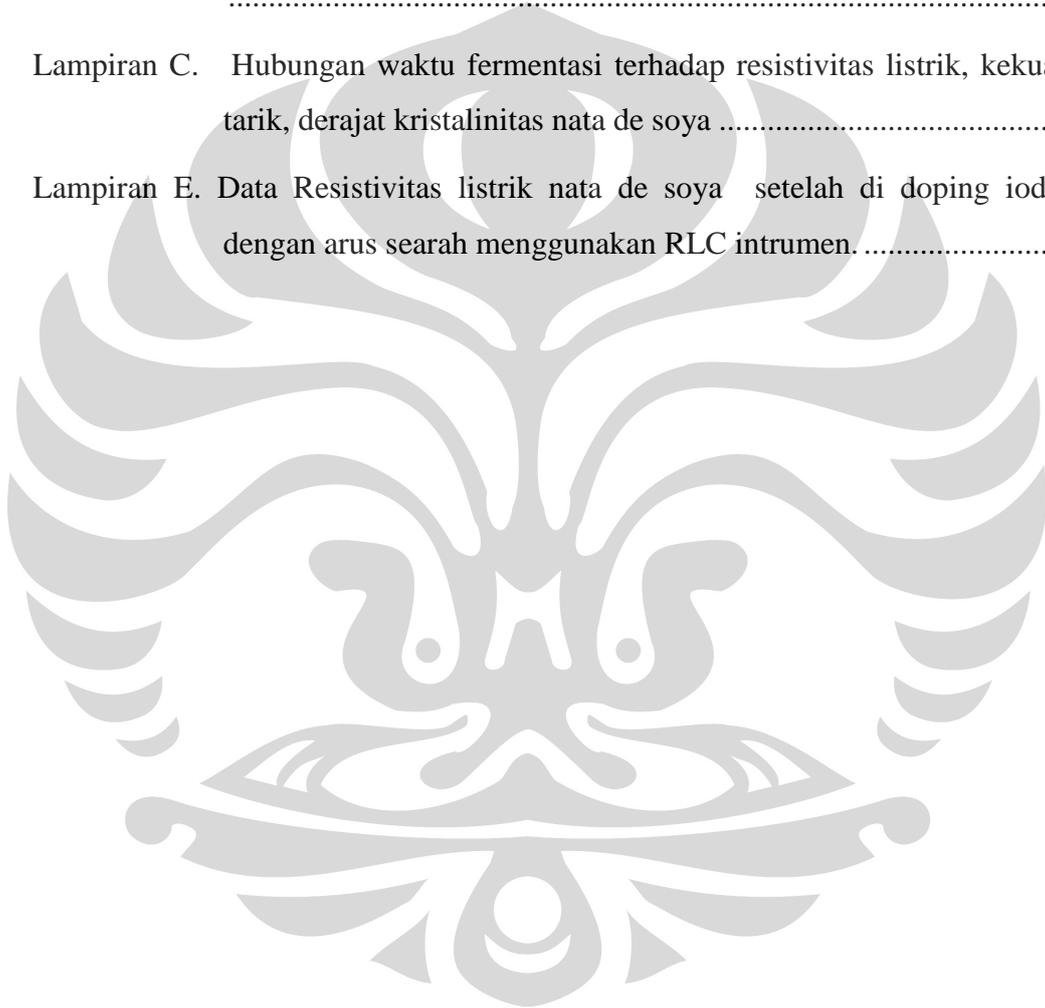
Gambar 1.1.	Struktur kimia dari selulosa.....	3
Gambar 1.2.	Skema dari dinding sel selulosa dan pengaturan mikrofibril.....	3
Gambar 2.1	Struktur kristal dan ikatan hidrogen pada selulosa 1- $\beta$ .....	18
Gambar 2.2.	Struktur pelikel selulosa .....	18
Gambar 2.3.	Spektrum difraksi sinar X dari selulose mikrobial .....	19
Gambar 2.4.	Daerah amorphous dan mikrokristal pada selulosa .....	20
Gambar 2.5.	Morfologi selulosa mikrobial .....	21
Gambar 2.6.	Plot Impedansi kompleks.....	23
Gambar 2.7.	Karakteristik I-V MEH-PPV dengan doping $PF_6^-$ .....	24
Gambar 2.8.	Model kluster dan non-kluster dari polimer elektrolit.....	24
Gambar 2.9.	Ilustrasi skematik dari soliton netral, positif dan negatif .....	25
Gambar 2.10.	Ilustrasi skematik struktur polaron dan bipolaron dan bentuk ikatan dari polimer.....	26
Gambar 2.11.	Mekanisme perpindahan ion dalam kisi kristal .....	29
Gambar 2.12.	Ilustrasi perpindahan elektron pada polimer elektrolit .....	30
Gambar 3.1.	Skema pembuatan selulosa mikrobial nata de soya.....	36
Gambar 3.2.	Skema pendopongan iodium ke dalam selulosa mikrobial.....	37
Gambar 3.3.	Alat <i>Tensile Strength</i> tester Pack Test ASTM D 638.....	38
Gambar 3.4.	Alat Four Point Probe Jandel 44(0)1 525378554 .....	39

Gambar 3.5.	Instrumen RLC untuk mengukur impedansi membran selulosa mikrobial.....	40
Gambar 3.6.	Prinsip kerja spektrometri FTIR .....	41
Gambar 3.7.	Prinsip kerja Difraktometer Sinar X.....	42
Gambar 3.8.	SEM ( <i>Scanning Electron Microscop</i> )(Jeol JSM-5310 LV).....	43
Gambar 3.9.	Skema hubungan konduktivitas listrik dengan kristalinitas, radikal bebas, perubahan ikatan gugus karbon dan kemampuan absorpsi terhadap cairan polutan .....	45
Gambar 4.1.	Pengaruh waktu fermentasi <i>whey</i> terhadap massa nata .....	47
Gambar 4.2.	Morfologi permukaan selulosa mikrobial nata de soya hasil fermentasi dengan perbesaran (a) 750 kali, (b) 3500 kali .....	49
Gambar 4.3.	Kuat tarik selulosa mikrobial untuk waktu fermentasi 5, 7, 10 dan 15 hari .....	50
Gambar 4.4.	Pola difraksi sinar-X nata de soya untuk waktu fermentasi 5, 7, 10 dan 15 hari. ....	51
Gambar 4.5.	Pola difraksi selulosa mikrobial dan selulosa murni buatan Toyoroshi Jepang.....	53
Gambar 4.6.	Pola difraksi sinar X nata de soya (a) murni, (b) <i>doping</i> iodium 1 % berat.....	53
Gambar 4.7.	Pola difraksi sinar X nata de soya setelah mengalami <i>doping</i> iodium.....	54
Gambar 4.8.	Kurva antara sudut puncak difraksi dengan penambahan iodium % berat .....	55
Gambar 4.9.	Kurva transmisi FTIR selulosa mikrobial untuk waktu fermentasi 5, 7, 10 dan 15 hari.....	56

Gambar 4.10.	Pola transmisi FTIR dari nata de soya (a) murni, (b). Setelah mengalami doping iodium 1 % berat.....	57
Gambar 4.11.	Pola radikal bebas dari (a) selulosa mikrobial dan (b) selulosa murni Toyoroshi. ....	58
Gambar 4.12.	Kurva antara intensitas normalisasi dengan konsentrasi dopant iodium pada selulosa mikrobial nata de soya .....	59
Gambar 4.13.	Kurva konsentrasi radikal bebas relatif dengan konsetrasi <i>dopant</i> iodium pada selulosa mikrobial nata de soya .....	60
Gambar 4.14.	Kurva resistivitas listrik selulosa mikrobial untuk waktu fermentasi 5, 7, 10 dan 15 hari.....	61
Gambar 4.15.	Kurva nilai resistivitas listrik terhadap doping iodium pada nata de soya dalam % berat .....	63
Gambar 4.16.	Kurva hubungan arus listrik dengan potensial listrik pada selulosa mikrobial nata de soya setelah mengalami penambahan iodium pada DC.....	64
Gambar 4.17.	Kurva hubungan potensial listrik dan konduktivitas listrik pada selulosa mikrobial nata de soya setelah mengalami penambahan iodium.....	64
Gambar 4.18.	Kurva hubungan frekuensi listrik dengan impedansi nata de soyasetelah mengalami penambahan iodium.....	65
Gambar 4.19.	Kurva hubungan koefisien absorpsi selulosa mikrobial nata de soya dengan berbagai dopan iodium terhadap garam $MgC_2$ , basa $Na(OH)_2$ , dan asam $HCl$ , .....	66

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Massa selulosa mikrobial setelah dimurnikan dalam keadaan basah dan setelah kering dengan kadar air kurang dari 14% terhadap waktu fermentasi. ....	76
Lampiran B. pengaruh waktu fermentasi terhadap ketebalan nata dan massa basah .....	76
Lampiran C. Hubungan waktu fermentasi terhadap resistivitas listrik, kekuatan tarik, derajat kristalinitas nata de soya .....	77
Lampiran E. Data Resistivitas listrik nata de soya setelah di doping iodium dengan arus searah menggunakan RLC intrumen.....	78



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Kemampuan dalam menguasai bidang ilmu pengetahuan teknologi tinggi merupakan salah satu syarat mutlak bagi suatu negara untuk memasuki industri baru. Salah satu bidang teknologi tinggi yang sangat mempengaruhi peradaban manusia di abad ini adalah teknologi material di mana hampir semua peralatan kehidupan manusia dewasa ini bertumpu pada teknologi yang aman dan ramah lingkungan. Salah satu komponen penting yang harus dipenuhi di dalam teknologi tersebut adalah bahwa material hasil suatu industri harus dapat didaur ulang atau cepat mengalami degradasi hingga habis secara alamiah tanpa mencemari lingkungan (Amhar, 2008).

Perkembangan teknologi material maju sangat pesat dan menjadi tulang punggung dalam dunia modern. Kemajuan sangat cepat ini terjadi setelah ditemukannya material polimer yang terbuat dari bahan-bahan serat. Berdasarkan data dari Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia (Food and Agricultural Organization), setiap tahunnya para petani menghasilkan sekitar 35 juta ton serat alam. Serat alam ini secara alamiah diproduksi oleh tumbuhan, hewan dan mineral-mineral (Bledzki, 1999).

Kandungan serat alam pada dasarnya terdiri dari selulosa, lignin dan hemiselulosa. Sebenarnya, masih ada komponen pembentuk serat alam lainnya seperti pektin, pigmen dan zat-zat dasar lainnya, akan tetapi, karena jumlahnya sangat sedikit, maka tidak akan diuraikan lebih lanjut. Dengan alasan kuantitatif di atas, kandungan dominan serat alam berasal dari ketiga hal dasar tadi, yang seringkali disebut serat lignoselulosa atau secara singkatnya disebut selulosa (Siqueira, 2010). Dalam tataran praktisnya, selulosa dan lignin merupakan unsur pembentuk dan penentu kualitas serat (Mudyantini, 2008).

UNIVERSITAS INDONESIA

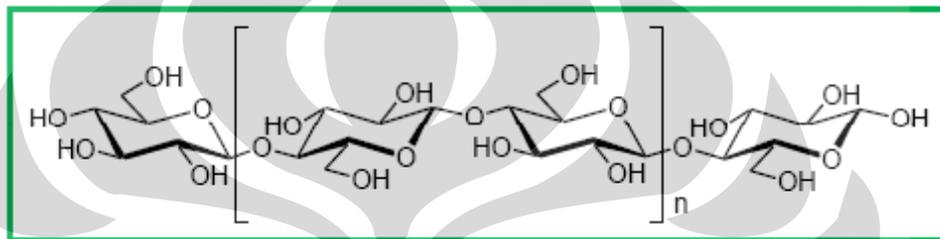
Selulosa merupakan bahan organik dan merupakan polimer yang mempunyai massa molekul besar. Selulosa alam pada kayu memiliki derajat polimerisasi (DP) sekitar 10.000 satuan *glucopyranose* dan sekitar 15.000 satuan *glucopyranose* untuk serat alam pada kapas (Siqueira, 2010). Akan tetapi, telah dibuktikan bahwa apabila dilakukan prosedur pemurnian pada serat alam tersebut, derajat polimerisasinya mengalami penurunan misalnya selulosa alam mengalami penurunan derajat polimerisasi dari 14.000 satuan *glucopyranose* menjadi 2500 satuan *glucopyranose* (Bledzki, 1999). Hal ini mengindikasikan bahwa panjang rantai polimer bervariasi sesuai dengan sumber selulosa atau bahkan bagian dari tumbuhan.

Secara kimia, selulosa dianggap sebagai polimer terbarukan yang paling berlimpah di bumi. Struktur selulosa ini secara alami diatur melalui proses biosintesis sebagai mikrofibril - mikrofibril yang saling berhubungan satu dengan yang lain untuk membentuk serat selulosa (Siqueira, 2010). Pengaturan biosintesis dilakukan oleh sejumlah organisme-organisme hidup pada rentang dari tanaman tinggi hingga rendah, beberapa amuba, binatang-binatang laut, bakteri dan jamur (Heux, 1999).

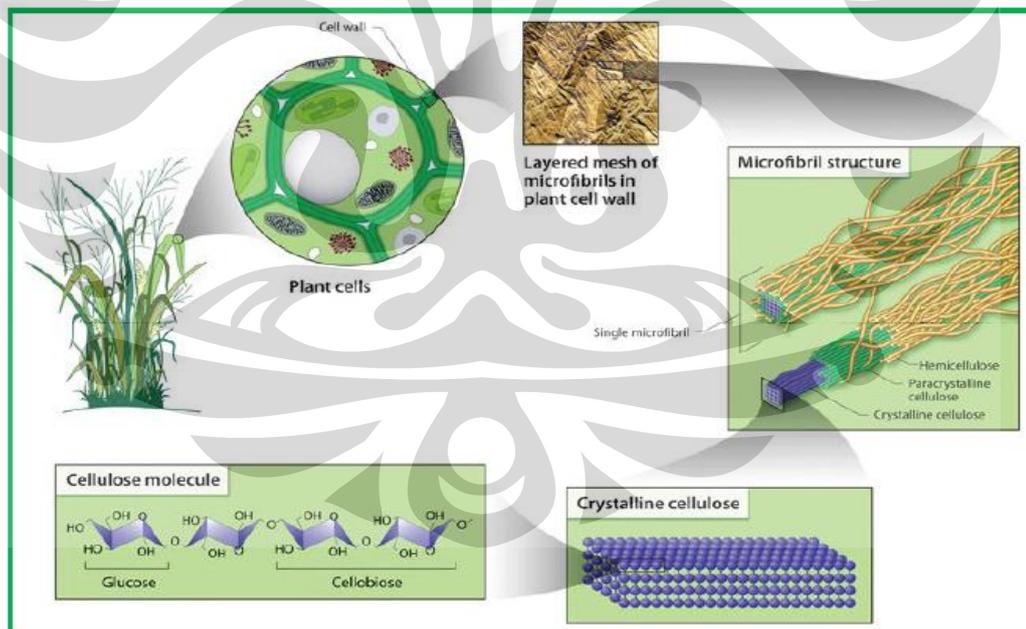
Mikrofibril adalah komponen struktur dasar dari selulosa yang terbentuk selama biosintesis. Sebenarnya, rantai dari residu poly- $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucosyl menyisakan agregat untuk membentuk fibril. Fibril adalah kumpulan benang panjang dari molekul-molekul dengan arah menyamping dan dijaga kestabilannya dengan ikatan hidrogen antar molekul (Dufresne, 1997; Andresen, 2006; Stenstad, 2008). Mikrofibril-mikrofibril selulosa individu memiliki diameter pada rentang antara 2 hingga 20 nm (Azizi, 2005; Lu, 2008). Ukuran panjang mikrofibril dan fibril (silinder) berada pada rentang antara 100 hingga 40.000 nm (Sheriff, 2005). Setiap mikrofibril dapat dianggap sebagai sebuah deretan kristal selulosa yang dihubungkan sepanjang sumbu mikrofibril oleh domain amorf yang tidak teratur, misalnya berbentuk jalinan (pilinan) simpul dan kekusutan (Montanari, 2005).

**UNIVERSITAS INDONESIA**

Selulosa terdiri dari sebuah homopolisakarida linear yang terbentuk dari satuan  $\beta$ -D-glucopyranose yang saling terhubung dengan ikatan  $\beta$ -1-4. Struktur dasar kimia selulosa merupakan multiplikasi rantai monomer sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 1.1. Setiap monomer memiliki tiga gugus hidroksil. Struktur dengan adanya tiga gugus hidroksil menunjukkan kemampuan gugus ini untuk membentuk ikatan hidrogen. Dengan struktur seperti ini, gugus hidroksil memegang peranan penting dalam penentuan arah penyusunan kristalin dan sifat fisika selulosa (John, 2008).



Gambar 1.1. Struktur kimia dari selulosa (Siqueira, 2010).



Gambar 1.2. Skema dari dinding sel selulosa dan pengaturan mikrofibril (Siqueira, 2010)

Sifat-sifat fisika dari selulosa telah diobservasi dengan menggunakan berbagai macam peralatan eksperimen. Studi spektroskopi infra merah dan difraksi sinar-X terhadap pengaturan selulosa di tumbuhan telah menunjukkan bahwa porsi utama selulosa adalah pada kristalit-kristalit yang diselang-selingi oleh daerah amorfus dengan derajat keteraturan rendah (Daniel, 1985). Selulosa alam adalah selulosa kristalin, biasa disebut selulosa I. Selulosa II adalah selulosa yang berasal dari pengendapan larutan alkali. Kedua tipe ini merepresentasi dua bentuk utama dari selulosa. Perkembangan pengetahuan terbaru mengenai kristalografi dan biosintesis dari selulosa merekomendasikan bahwa struktur selulosa I tersusun dari rantai-rantai paralel (Sugiyama, 1991; Dinand, 2002), sebaliknya struktur kristalin dari selulosa II tersusun dari rantai-rantai antiparalel (Sugiyama, 1991; French, 2003; Saxena, 2005). Selulosa I adalah bukan bentuk selulosa yang stabil. Penambahan ikatan hidrogen per residu glukosa pada selulosa II membuatnya menjadi lebih stabil secara termodinamika (Saxena, 2005).

Mudyantini (2008) melaporkan hasil penelitiannya terhadap sifat mekanik selulosa. Selulosa dan lignin merupakan salah satu kriteria yang menunjukkan kekuatan serat. Sifat mekanik yang luar biasa dari selulosa adalah regangan, kekuatan, ketahanan terhadap tekanan, mengembang dan sifat permeabilitasnya bertambah terus selama proses pembentukan dinding. Di bawah tekanan komprehensif, fibril-fibril selulosa itu membengkok. Perbedaan struktur dapat disebabkan karena perbedaan arah dan kerapatan mikrofibril selulosa, perbedaan kandungan lignin dan lain-lain. Lignin menambah ketahanan dinding terhadap tekanan dan mencegah melipatnya mikrofibril selulosa. Arah mikrofibril yang berbeda-beda pada dinding sel merupakan faktor penting penentu kekuatan dinding (Fahn, 1991). Wickens (2001) menyatakan bahwa besarnya kadar selulosa, lignin dan pektin pada serat mempengaruhi kualitas serat.

Sifat kelistrikan dari selulosa menarik untuk dikaji. Dengan bentuk yang hampir sebagian besar berbentuk larutan, maka dimungkinkan pada selulosa

**UNIVERSITAS INDONESIA**

terjadi fenomena transportasi ionik. Sebuah substansi yang menghantarkan listrik melalui pergerakan ion disebut elektrolit. Sebagian besar elektrolit adalah larutan atau garam yang dicairkan akan tetapi pada beberapa elektrolit, wujudnya dapat berupa zat padat atau zat padat kristalin. Beberapa istilah sering diberikan untuk material tersebut seperti elektrolit padat (*solid electrolyte*), konduktor ion cepat (*fast ion conductor*), konduktor super ionik (*superionic conductor*). (Schulz H, 1982)

Konduktivitas ionik pada elektrolit padat sangat dipengaruhi oleh keberadaan *defect* dan sifat *point defect*. Sifat-sifat dari *point defect* adalah *vacant lattice site*, *interstitial ions* dan *impurity ions*. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat konduksi dari transportasi ionik adalah aspek elektroda, relaksasi dielektrik, difusi dan daya elektrik termal (Lidiard, 1957). Perbedaan antara sifat konduktor ionik dengan konduktivitas elektronik konvensional dari suatu logam dapat dilihat pada Tabel 1.1 dan beberapa sifat umum dari elektrolit padat dapat dilihat pada Tabel 1.2 berikut ini :

Tabel 1.1 Perbedaan sifat konduktor ionik pada elektrolit padat dengan konduktivitas elektronik konvensional dari suatu logam (Lidiard, 1957)

	Konduktor ionik pada elektrolit padat	Konduktivitas elektronik pada logam
Jangkauan konduktivitas (S/cm)	$10^{-3}$ hingga 10	10 hingga 10 <sup>5</sup>
Pembawa muatan	Ion	Elektron
Sifat konduktivitas terhadap suhu	Konduktivitas menurun secara eksponensial ketika suhu menurun ( <i>activated transport</i> )	Konduktivitas bertambah secara linier ketika suhu menurun (hamburan fonon menurun ketika suhu menurun)

UNIVERSITAS INDONESIA

Tabel 1.2 Beberapa sifat umum dari elektrolit padat (Lidiard, 1957)

1	Sejumlah besar dari ion-ion dari suatu spesies memiliki mobilitas tinggi. Hal ini membutuhkan sejumlah besar tempat kosong, baik berupa vakansi atau <i>interstitial site</i> yang mudah diakses. Tempat kosong dibutuhkan agar ion-ion dapat bergerak melewati kisi.
2	Tempat yang kosong dan telah terisi harus memiliki energi potensial yang sama dengan aktivasi energi penghalang yang rendah untuk melakukan <i>jumping</i> antara tempat-tempat tetangga. Energi aktivasi yang tinggi akan menurunkan mobilitas pembawa muatan. Tempat yang sangat stabil (energi potensial sumur yang dalam) akan mengarahkan kepada lokalisasi pembawa muatan.
3	Struktur harus memiliki kerangka kerja yang kuat, lebih baik bila tiga dimensi, dapat ditembus dengan saluran-saluran terbuka. Migrasi kisi ion harus dicairkan, sehingga kerangka kerja dari ion-ion lain dibutuhkan untuk mencegah pencairan dari seluruh material.
4	Kerangka kerja ion-ion (biasanya anion-anion) harus dapat terpolarisasi secara tinggi. Ion-ion seperti ini dapat berdeformasi untuk menstabilkan keadaan geometri transisi dari migrasi ion melalui interaksi kovalen.

Selulosa tersedia secara alami dan juga buatan atau sintetik. Selulosa alam adalah selulosa yang banyak terdapat pada kayu, rami, kapas dan tumbuhan-tumbuhan lain. Sementara itu, selulosa buatan atau sintetik adalah selulosa yang terbentuk sebagai hasil dari suatu proses yang sudah dikondisikan. Salah satu selulosa sintetik adalah selulosa mikrobial hasil fermentasi karbohidrat dengan suatu bakteri. Selulosa mikrobial ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan makanan misalnya nata de coco dan nata de pina (Brown, 1979). Lebih dari itu, pengembangan selulosa mikrobial sesuai dengan keperluannya dapat dilakukan dengan memvariasikan jenis bakteri yang digunakan.

Selulosa mikrobial merupakan membran selulosa hasil pemanfaatan limbah cair dari suatu proses produksi yang masih mengandung karbohidrat,

**UNIVERSITAS INDONESIA**

protein dan bahan lainnya. Limbah cair dari proses produksi tersebut merupakan faktor negatif yang dapat mencemari lingkungan. Dari limbah cair tersebut dapat dibuat suatu membran selulosa yang merupakan hasil proses fermentasi bakteri *Acetobacter xylinum*, misalnya dari produksi kopra menghasilkan *nata de coco* dan dari produksi buah nenas menghasilkan *nata de pina*. Selulosa ini mempunyai molekul berbentuk mikrofibril dan fibril (silinder) dengan panjang 100 – 40.000 nm dan garis tengah 2 - 20 nm serta mempunyai kekuatan tarik yang relatif cukup baik (Sheriff, 2005).

Selulosa mikrobial mempunyai beberapa keunggulan antara lain: pertama berasal dari limbah yang mencemari lingkungan dan kedua sangat elastis dibandingkan dengan membran yang terbuat dari bahan membran organik dan membran anorganik (Panesor, 2009). Dengan melihat keunggulan tersebut, pemanfaatan membran selulosa mikrobial dari limbah cair suatu produk yang masih mengandung karbohidrat dan protein sangat patut untuk dikembangkan lebih lanjut karena bahan baku yang relatif berlimpah dan terbuang begitu saja sebagai limbah yang dapat mencemari lingkungan.

Aplikasi dari selulosa mikrobial ini salah satu di antaranya adalah dalam bidang energi polimer dimana produknya dapat dipergunakan sebagai polimer elektrolit padat (*solid polymer electrolyte*). Pada saat sekarang polimer elektrolit padat ini masih dibuat dari polietilen oksida yang di *doping* dengan Kalium Iodida (KI) dan Iodium ( $I_2$ ), akan tetapi material ini relatif belum ramah lingkungan karena tidak mudah hancur di alam setelah tidak dipergunakan lagi (Liu, 1997).

Selain dari itu, pembuatan membran selulosa mikrobial dari limbah cair suatu produksi sebagai biopolimer mempunyai suatu nilai tambah karena dari membran ini tidak hanya dapat digunakan sebagai bahan makanan berserat tinggi, tetapi juga dapat di manfaatkan dalam bidang lain misalnya dalam bidang kedokteran (proses dialysis), membrane ultrafiltrasi, dan industri untuk pembuatan air tawar dari air laut (desalinasi air laut) (Liu, 1997).

**UNIVERSITAS INDONESIA**

Peneliti dari Jepang (Fuks, 1999) atau berdasarkan hak patent United States 5,933,508 (1993) telah berhasil membuat membran polimer dari selulosa mikrobial berkualitas tinggi untuk pembuatan *sound system* dan alat musik yang bermutu tinggi. Perusahaan Sony bekerja sama dengan Ajinomoto membangun pertama kali diafragma untuk *audio speaker* dari selulosa mikrobial (hak paten United States 4,742,164, (Iguchi, 1986)) untuk memberikan perbaikan pada membran transduser suara yang mampu memberikan frekuensi tinggi di atas jangkauan frekuensi suara (Donald, 1999). Beberapa peneliti menggunakan selulosa asetat dari nata de coco sebagai membran untuk mikrofilter (Hidayat, 2006; Lindu, 2008), sebagai nanofiler pada organoclay (Rodriguez 2010), dan sebagai biomedicmolekuler untuk penyembuhan kulit yang mengalami luka (Czaja, 2007).

Limbah cair tahu (*whey*) merupakan limbah yang masih mengandung karbohidrat dan protein, dan karena itu dapat dijadikan sebagai bahan dasar dalam pembuatan selulosa melalui proses fermentasi yang dikenal sebagai *nata de soya* (Sidirdjo, 1996). Nata de soya dikenal sebagai makanan yang mengandung air dan serat seperti halnya nata de coco. Hingga saat ini belum ada literatur yang menunjukkan adanya hubungan antara waktu fermentasi terhadap karakteristik fisis (kuat tarik dan konduktivitas listrik) dari selulosa mikrobial nata de soya. Karena itu, dengan melihat kepada apa yang telah dilakukan oleh peneliti lain dalam bidang yang sama, maka usaha dalam mendapatkan hubungan ini merupakan suatu bentuk kebaruan yang dapat saya nyatakan sebagai *state of the art* dari penelitian saya.

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dalam penelitian ini, maka pada pada penelitian ini akan dilakukan beberapa karakterisasi yang berhubungan dengan sifat membran dari selulosa mikrobial hasil fermentasi *whey* dengan *Acetobacter xylinum*. Karena selulosa mikrobial nata de soya merupakan suatu polimer padat maka juga ada kemungkinan bahwa material ini nantinya dapat dibuat sebagai polimer elektrolit padat. Akan tetapi, dalam penelitian yang

**UNIVERSITAS INDONESIA**

sekarang ini, pelaksanaan penelitian masih diarahkan untuk aplikasi yang bisa digunakan untuk mengatasi suatu polutan cair dengan cara melakukan *doping* suatu unsur yaitu iodium.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari hubungan antara pengaruh waktu fermentasi dengan sifat kuat tarik dan sifat konduktivitas listrik dengan melihat perubahan derajat kristalinitas dan perubahan fisik membran selulosa mikrobial hasil fermentasi dari limbah cair tahu (*whey*) dengan *Acetobacter xylinum*.
2. Mempelajari pengaruh penambahan beberapa konsentrasi unsur iodium terhadap sifat konduktivitas listrik membran selulosa mikrobial sebagai polimer elektrolit dengan melihat perubahan derajat kristalinitas, perubahan radikal bebas, dan perubahan energi vibrasi pada membran selulosa mikrobial setelah mengalami *doping*.
3. Mempelajari pengaruh konsentrasi *doping* unsur iodium terhadap sifat absorpsi membran yang dipergunakan atau diaplikasikan sebagai filter dalam rangka mengatasi suatu polutan cair.

## 1.3 Ruang Lingkup Penelitian.

- a. Untuk mengetahui pengaruh waktu lama fermentasi terhadap sifat-sifat selulosa mikrobial, maka ruang lingkup penelitian ini dibatasi antara lain adalah pada permasalahan massa membran hasil fermentasi, resistivitas listrik menggunakan metode

UNIVERSITAS INDONESIA

*Van der Pouw* dengan instrument *four point probe*, kekuatan tarik (*tensile strenght*), radikal bebas dengan ESR, derajat kristalinitas serta pengamatan struktur selulosa mikrobial dengan menggunakan peralatan FTIR ( *Fourier Transform Infra Red* ), SEM (*Scanning Electron Microscoop*) dan XRD (*X-Ray Diffractometer*).

- b. Untuk mengetahui pengaruh penambahan iodium terhadap membran selulosa mikrobial dengan berbagai konsentrasi , maka ruang lingkup penelitian ini dibatasi antara lain adalah pada permasalahan terhadap sifat kelistrikan pada arus listrik searah (DC) dan bolak-balik (AC), radikal bebas , derajat kristalinitas, stuktur kristal, dan gugus ikatan karbon dengan menggunakan instrumen sama dengan sebelumnya.
- c. Untuk mengetahui pengaruh absorpsi limbah cair terhadap membran selulosa mikrobial sebelum dan sesudah penambahan iodium dengan berbagai konsentrasi, maka ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada pengukuran konduktivitas listrik larutan garam  $MgCl_2$ , basa  $Mg(OH)_2$ , dan asam HCl sebelum dan setelah larutan tersebut melalui membran selulosa mikrobial.

#### 1.4 Hipotesis

1. Perbedaan lama waktu fermentasi limbah cair tahu (*whey*) dengan bakteri *Acetobacter xylinum* akan menghasilkan membran selulosa mikrobial dengan kuat tarik dan konduktivitas listrik yang berbeda.
2. Penambahan suatu unsur iodium pada membran selulosa mikrobial akan dapat mempengaruhi sifat konduktivitas listrik dan sifat absorpsi membran terhadap larutan garam, asam, dan basa.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Keberhasilan pemanfaatan limbah pembuatan tahu sebagai membran selulosa mikrobial diharapkan akan dapat memberikan salah satu solusi dalam rangka mengurangi limbah industri yang biasa dibuang ke lingkungan begitu saja. Selain dari itu, untuk tujuan jangka panjang, hasil dari penelitian diharapkan juga akan bisa berfungsi sebagai membran selulosa murni, yang nantinya diharapkan akan dapat dipergunakan sebagai polimer elektrolit untuk bahan baku *fuelcell* dan sebagai filter untuk mendapatkan air bersih yang layak pakai.



**UNIVERSITAS INDONESIA**

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kedelai, Tahu, dan Whey

Kedelai merupakan salah satu tanaman multiguna karena dapat digunakan sebagai pangan, pakan, bahan baku berbagai industri manufaktur dan olahan. Pada awalnya kedelai dikenal dengan beberapa nama botani, yaitu *Glycine Soya* dan *Soya max*. Pada tahun 1948 disepakati nama botani yang diterima dalam istilah ilmiah yaitu *Glycine. Max L. Merril* (Adisarwanto, 2005). Kedelai merupakan tanaman dataran rendah dengan daerah pertumbuhan sampai 500 m di atas permukaan laut, tumbuh baik pada iklim panas dengan curah hujan 200 mm / bulan (Adisarwanto, 2005).

Tanaman kedelai umumnya tumbuh tegak, berbentuk semak dan merupakan tanaman semusim. Waktu panen ditentukan oleh umur sesuai varitas kedelai yang ditanam dan setelah ada perubahan warna polong dari kehijauan ke coklat kekuningan. Panen dilakukan saat warna polong kedelai 95 % sudah menjadi coklat kekuningan dan jumlah daun yang tersisa pada tanaman sekitar 5 – 10 %. Pengunduran waktu panen 1 – 2 hari akan mengakibatkan kadar air dari biji lebih rendah yaitu antara 12 – 13 %, disamping itu cuaca juga mempengaruhi kuantitas dan mutu kedelai (Adisarwanto, 2005). Jenis kedelai yang dipergunakan untuk memproduksi tahu ada 4 jenis yaitu kedelai kuning, kedelai hitam, kedelai coklat dan kedelai hijau. Jenis kedelai berwarna kuning banyak dipergunakan oleh produsen tahu karena rasanya disenangi oleh konsumen. Syarat untuk produksi tahu meliputi antara lain :

- \* bebas dari kotoran ( batu kerikil, ranting dll )
- \* biji kedelai tidak luka atau bebas dari serangan hama
- \* biji kedelai tidak memar
- \* kulit biji kedelai tidak keriput

UNIVERSITAS INDONESIA

Sebagai bahan makanan yang relatif murah dan bergizi juga sangat berkhasiat bagi pertumbuhan dan menjaga kondisi sel-sel tubuh. Kedelai banyak mengandung unsur dan makanan penting seperti protein, lemak, karbohidrat seperti pada Tabel 2.1 (Adisarwanto, 2005).

Tabel 2.1 Kandungan zat makanan penting per 100 gram kedelai

Komponen	Kadar %
1. Protein	35 – 45
2. Lemak	18 – 32
3. Karbohidrat	12 – 30
4. Air	7

Sumber : Adisarwanto, 2005

Menurut Liu (1997), kedelai juga mengandung komponen minor seperti isoflavan, senyawa pencegah kanker yaitu fitat, asam lemak esensial (asam linoleat dan asam linolenat) dan asam lemak lainnya (asam oleat, asam palmitat dan asam stearat). Kandungan asam amino esensial (leusin, lisin dan isoleusin) pada kedelai cukup tinggi, sedangkan kandungan asam amino sulfur seperti metinin dan sistein pada kedelai tergolong rendah. Metionon mempunyai kandungan asam amino paling rendah pada kedelai diikuti dengan sistein dan triptofan (Liu, 1997).

Tahu telah populer sejak Dinasti Han Barat kira-kira 2000 tahun silam, kemudian diperkenalkan ke negara lain seperti Korea dan Jepang. Kemudian kedua negara tersebut mengembangkan jenis tahu mereka sendiri yaitu tahu Korea dan tahu Jepang (Winarno, 2002). Tahu merupakan hasil koagulasi dari susu kedelai yang dilanjutkan dengan pengepresan. Hasilnya menyerupai keju lunak berwarna putih. Produk olahan nabati ini mempunyai kandungan protein cukup tinggi. Metoda pembuatan tahu diperkirakan telah tercipta oleh Liu An dari Dinasti Han di China sekitar 164 SM dan baru 500 tahun kemudian metoda tersebut disebarakan ke negara lain (Liu, 1997). Menurut Winarno (2002) dalam

setiap 100 gram tahu terdapat 89 – 90 % air, protein 5 – 8 %, lemak 3 – 4 %, dan karbohidrat 2 – 4 %.

Dalam proses pembuatan tahu dihasilkan limbah berupa limbah padat dan limbah cair. Limbah padat adalah ampas tahu yang merupakan sisa penyaringan tahu setelah kedelai digiling dan dimasak. Limbah cair tahu atau *whey* tahu adalah air buangan sisa pengendapan atau pengumpalan tahu waktu pembuatannya (Enie *et al* 1993).

Menurut Enie *et al* (1993) ekstraksi protein kedelai dengan air panas pada tahap pembuatan susu kedelai menyebabkan 79 – 82 % (bb) kandungan kedelai terekstrak. Protein yang terekstrak pada susu kedelai tidak semuanya dapat menggumpal. Sisa protein yang tidak menggumpal dan zat yang tidak larut dalam air akan terdapat pada *whey* tahu yang dihasilkan, termasuk lesitin dan oligosakarida. Linaya dan Sangkanparan (1982) mengemukakan bahwa *whey* tahu dapat digunakan sebagai konsentrat karena mengandung padatan total 1% (bb), protein 0,22 % (bb), karbohidrat 0,1 % (bb), lemak 0,02 % (bb) dan abu 0,2 % (bb). Menurut Winarno (2002) dari 0,45 kg kedelai dapat dihasilkan 3,6 kg tahu dan limbah cair dari tahu (*whey*) sebanyak 3,78 liter. Apabila *whey* tahu ini tidak dimanfaatkan akan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena terjadi pembusukan senyawa-senyawa organik yang masih terkandung di dalam *whey* tersebut, sedangkan pemanfaatannya pada saat ini masih sangat terbatas.

## 2.2 *Acetobacter Xylinum*

*Acetobacter xylinum* termasuk bakteri dalam kelompok genus *Acetobacter*, yaitu genus bakteri yang memiliki kemampuan mengubah etanol menjadi cuka. Di dalam proses tersebut bakteri memerlukan oksigen. Bakteri ini berbentuk batang yang tidak lurus atau kokus, panjang sekitar 2  $\mu\text{m}$  dengan permukaan berlendir dan dapat membentuk rantai pendek terdiri dari 6 – 8 sel. Dilihat dari cara memperoleh oksigen bakteri ini termasuk dalam kelompok bakteri aerob. Dari

UNIVERSITAS INDONESIA

pewarnaan gram bakteri ini termasuk dalam kelompok gram negatif yaitu bakteri yang berwarna merah saat diamati dengan mikroskop, karena saat pewarnaan gram bakteri ini tidak dapat mempertahankan warna kristal violetnya. Bakteri gram negatif memiliki membran ganda, yaitu membran plasma dan membran permeabel yang menyelimuti membran plasma. Bakteri jenis ini memiliki dinding sel tebal yang terletak di antara membran dalam dan membran luar (Mangunwidjaja *et al*, 1994).

Bakteri *Acetobacter xylinum* akan mengubah 91 % gula pada medium menjadi selulosa. Pada proses metabolismenya selaput selulosa ini terbentuk oleh aktivitas *Acetobacter xylinum* terhadap glukosa. Selulosa yang terbentuk dalam media tersebut merupakan benang-benang dan bersama-sama polisakarida membentuk jalinan yang terus-menerus menebal membentuk lapisan nata. Nata tersebut berupa lembaran selulosa dari perubahan gula yang terdapat pada substrat *whey* menjadi pelikel selulosa dengan kandungan utamanya air dan serat. Sintesa polisakarida oleh bakteri dipengaruhi oleh tersedianya nutrisi dan ion tertentu yang dapat mengkatalisasi aktivitas bakteri. Peningkatan konsentrasi nitrogen dalam substrat dapat meningkatkan jumlah polisakarida yang terbentuk, sedangkan ion-ion bivalen seperti  $Mg^{+2}$  dan  $Ca^{+2}$  diperlukan untuk mengontrol kerja enzim ekstraselluler dan membentuk ikatan dengan polisakarida. Hal yang penting diperhatikan dalam proses pembuatan nata di sini antara lain adalah bakteri, gula, nitrogen, di samping suhu dan pH, serta bahan tidak tergoyang agar pembentukan pelikel berlangsung (Mangunwidjaja *et al*, 1994).

### 2.3 Iodium (I2)

Iodium adalah salah satu unsur di dalam golongan VII A, mempunyai nomor atom 53, dan di dalam sistem periodik disebut sebagai unsur halogen. Halogen adalah suatu unsur non logam yang paling reaktif, berbau, berwarna, beracun serta tidak terdapat bebas di alam. Dalam keadaan bebas unsur halogen

sebagai molekul diatomik. Sifat iodium yang lain dapat dilihat pada Tabel 2.2. (Brady, 1994)

Tabel 2.2 Sifat-sifat iodium (Brady, 1994)

Nomor atom	53
Massa atom	126,90447
Titik leleh °C	113,5
Massa jenis 25 °C ( gr cm <sup>-3</sup> )	4,93
Warna	ungu-hitam
Konfigurasi elektron	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup>
Keelektronegatifan	2,66
Jari-jari ion (A)	2,20
Jari-jari atom (A)	1,33
Kalor lebur (kJ mol <sup>-1</sup> )	15,78

Sumber: Brady, 1994

Iodium dipergunakan untuk bermacam-macam keperluan yaitu dalam pembuatan garam dapur untuk kestabilan kelenjar gondok, dalam bidang kedokteran nuklir untuk pengobatan kanker dan sebagai *dopant* dalam pembuatan material elektrolit padat. Sebagai *dopant* sifat dari iodium yang mempengaruhi antara lain nomor atom untuk menentukan elektron valensi atau elektron terluar dari suatu unsur. Titik didih iodium diperlukan untuk proses difusi pada selulosa mikrobial karena di dalam proses ini diperlukan iodium dalam bentuk ion. Sedangkan jari-jari ion dari iodium diperlukan untuk melihat kemungkinan substitusi unsur di dalam struktur kristal.

Sebagai *dopant* unsur iodium dapat menggantikan salah satu unsur dalam struktur material dari suatu material murni sehingga terjadi kekosongan muatan pada ikatan valensi dalam struktur material dan posisi iodium di sini stabil sebagai senyawa. Selain menggantikan unsur dalam struktur material ion iodium dapat masuk di sela-sela atom pada struktur material tanpa mengubah susunan atom dalam struktur material itu sendiri. Ion iodium ini dapat bergerak di antara atom-atom penyusun material bila diberi medan listrik luar. Hal ini bisa terjadi

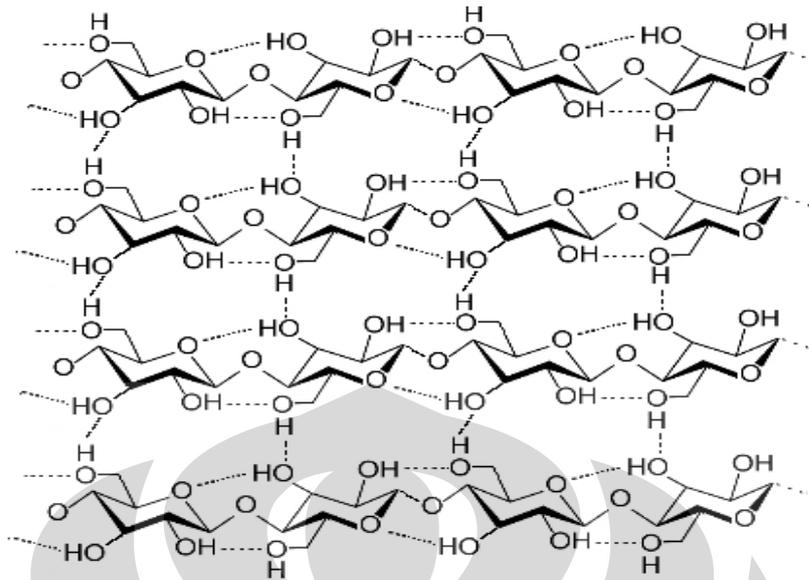
**UNIVERSITAS INDONESIA**

bila jari-jari ion iodium lebih kecil dari jarak antar atom penyusun material. Semakin tinggi derajat kristalinitas suatu material pergerakan ion iodium di dalam material semakin susah (Rubinstein, 2003). Keadaan ini dapat diartikan makin tidak sempurna keteraturan atom dalam susunan struktur material memudahkan pergerakan ion iodium karena jarak antar atom pada material melebar. Untuk material polimer, ketidak teraturan di sini dapat disebabkan karena adanya ikatan gugus C-H atau gugus OH yang putus sehingga tidak mempunyai pasangan.

#### 2.4 Selulosa Mikrobial

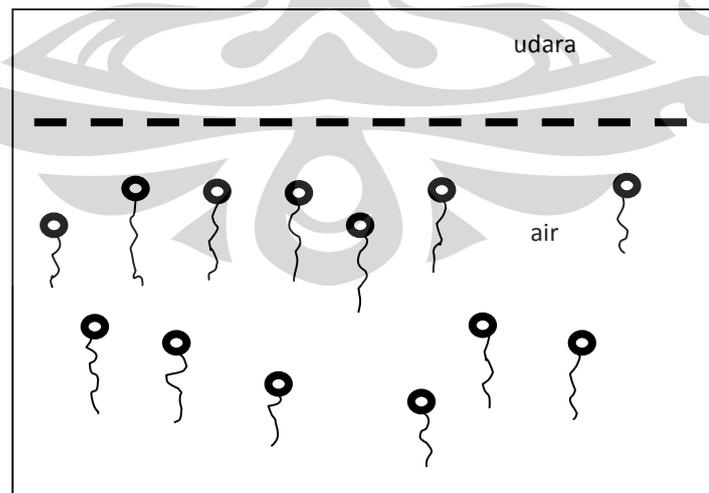
Selulosa  $(C_6H_{10}O_5)_n$  adalah polimer berantai panjang polisakarida karbohidrat, dari beta-glukosa, mempunyai bobot molekul tinggi, dengan struktur teratur berupa polimer linier. Karakteristik selulosa ditimbulkan karena adanya struktur kristalin dan amorf serta pembentukan *microfibril* dan *fibril* yang pada akhirnya menjadi serat selulosa (Iguchi *et al*, 1996).

Selulosa mikrobial merupakan suatu selulosa hasil suatu fermentasi karbohidrat dengan bakteri *Acetobacter xylinum*. Selulosa mikrobial merupakan polimer linier glukosa yang terikat dalam ikatan  $\beta$ -1,4 glikosida. Selulosa mikrobial relatif murni tidak bercampur dengan lignin dan hemiselulosa (Gelin *et al*, 2007), mempunyai bobot molekul tinggi, sifat kristalin tinggi, derajat polimerisasi tinggi, kekuatan tarik dan ketahanan tinggi, serta sangat hidrofilik. (Zhijiang, 2010)

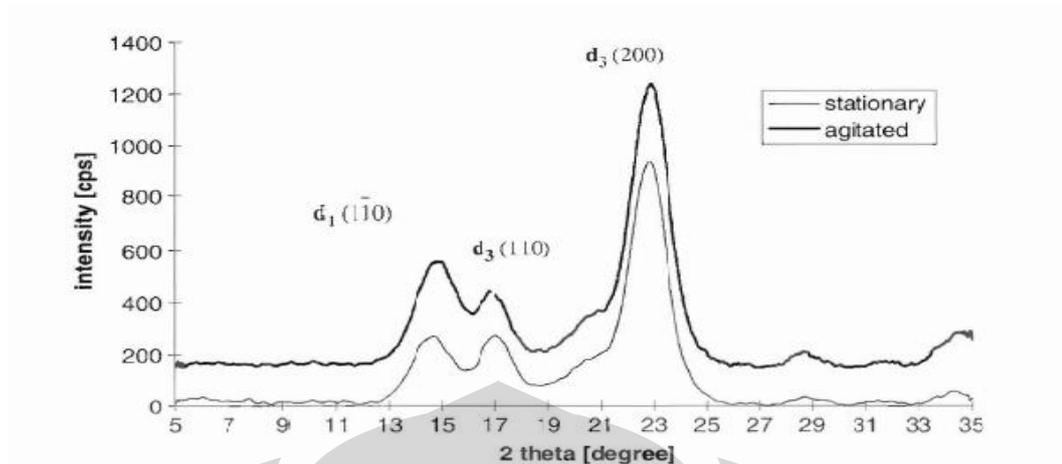


Gambar 2.1 Struktur kristal dan ikatan hidrogen pada selulosa 1- $\beta$  (Nishiyama, 2002)

Bakteri *Acetobacter xylinum* merupakan bakteri Gram Negatif yang dapat menghasilkan serat-serat selulosa sehingga membentuk suatu jaringan yang tipis di antara udara dan air berupa cairan yang disebut pelikel. Ketebalan pelikel tergantung pada masa pertumbuhan mikroba. Pelikel pada permukaan batas medium dengan udara terdiri dari pita-pita dengan kandungan kristalin tinggi berukuran antara 40 nm sampai 100 nm, dan pita-pita tersebut tersusun atas bagian mikrofibril melalui ikatan hidrogen (Rategi, 2010).



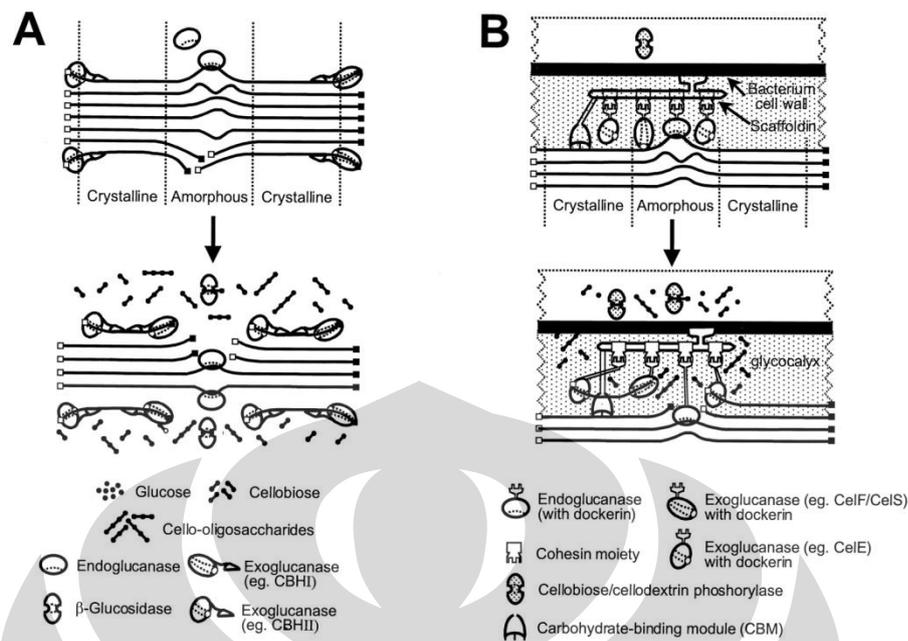
Gambar 2.2. Struktur pelikel selulosa (Chaplin, 2008)



Gambar 2.3. Spektrum difraksi sinar X selulose mikrobial (Wojciech *at all* 2004).

Suatu material apabila mengandung selulosa dapat membentuk struktur kristalin, sehingga air tidak mudah masuk ke dalam daerah aktif kristalin pada suhu kamar. Selulosa mikrobial mengandung dua struktur kristalin yaitu selulosa  $1\alpha$  dan selulosa  $1\beta$ . Selulosa  $1\alpha$  adalah satu unit sel triklin mengandung satu rantai selulosa. Sedangkan selulosa  $1\beta$  adalah satu unit sel monoklin mengandung dua rantai selulosa (Sullivan, 1997).

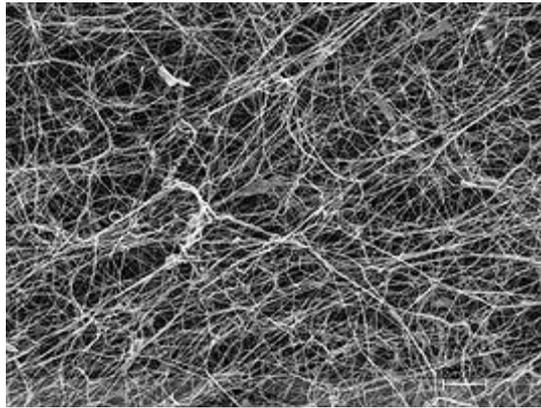
Serat selulosa tidak sepenuhnya kristalin (Lynd *at all* 2002.). Serat selulosa terdiri dari daerah amorpous dan kristal, di mana daerah amorpous berada di antara daerah kristal (lihat Gambar 2.4).



Gambar 2.4. Daerah amorphous dan mikrokristal pada selulosa (Lynd *et al* , 2002).

Pertumbuhan selulosa mikrobial diakibatkan karena terbentuk serat dari sel bakteri sehingga merupakan jaringan serat sangat rapat dan tebal. Jaringan serat selulosa mikrobial bercabang-cabang dan tersusun rapat menyebabkan selulosa mikrobial mempunyai sifat kenyal, alot dan tahan terhadap gaya untuk merentangkan (Sidirjo, 1996).

Selulosa mikrobial dapat dibuat menjadi lembaran dengan cara mengeringkannya di udara bebas di atas tempat rata dengan luas tertentu. Gugus OH dalam air lebih reaktif daripada gugus OH pada komponen lignoselulosa, sehingga hidrolisis berlangsung lebih cepat dari pada substitusi. Suhu untuk suatu reaksi sempurna pada selulosa mikrobial harus cukup rendah (<150 °C) sehingga tidak terjadi degradasi serat (Panesor, 2009).



Gambar 2.5. Morfologi selulosa mikrobia (Lynd *et al.* 2002)

## 2.5 Konduktivitas Listrik Material

Konduktivitas listrik adalah ukuran dari kemampuan suatu material untuk menghantarkan arus listrik (Giancoli, 2004). Satuan konduktivitas adalah  $(\text{ohm meter})^{-1}$ . Material konduktor mempunyai nilai konduktivitas listrik tinggi sehingga merupakan penghantar listrik yang baik, sebaliknya material isolator memiliki nilai konduktivitas listrik yang sangat rendah sehingga susah untuk menghantarkan listrik (Giancoli, 2004).

Pada polimer *amorf* faktor konduksi listrik tergantung pada sudut antara dipol dari molekul-molekulnya karena tidak dapat berotasi pada saat diberi medan listrik. Sudut dan rotasi di sini tergantung pada suhu dan frekuensi. Untuk polimer semikristalin nilai konstanta dielektrik merupakan rata-rata dari bagian yang *amorf* dan kristalin. Pada suhu rendah cuplikan *amorf* mempunyai banyak kebebasan dalam berotasi dalam PET, momen dipol dari  $\text{C} = \text{O}$  di dalam kristal dipertahankan. Pada suhu  $T > T_g$  momen dipole dari  $\text{C} = \text{O}$  dilepas. ( $T_g \sim 354 \text{ K}$ ). Makin tinggi derajat kristalinitas polimer nilai konduktivitas listrik menurun (Rubinstein, 2003).

Sifat konduktivitas listrik pada suatu material polimer dapat diubah-ubah dengan menambahkan materi lain (biasa disebut materi *doping*). Penambahan

materi *doping* tersebut dapat meningkatkan pembawa mayoritas *kation* atau *anion* pada suatu material tergantung pada materi *doping* yang ditambahkan.

Banyaknya muatan yang bergerak memberikan kontribusi pada konduktivitas listrik dari suatu material. Muatan yang bergerak di sini bisa berupa *kation*, *anion*, *elektron* dan *hole*. Setiap partikel memberikan konduktivitas listrik sebesar  $\sigma_i$  yaitu :

$$\sigma_i = \mu_i(n_i z_i e) \quad (2.1)$$

dengan  $\mu_i$  adalah mobilitas,  $n_i$  adalah banyaknya partikel,  $z_i$  adalah partikel ion, dan  $e$  muatan elementer, dan seterusnya sehingga total konduktivitas listrik adalah

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \dots + \sigma_i + \dots \quad (2.2)$$

fraksi dari total konduktivitas listrik untuk setiap muatan :

$$t_i = \sigma_i / \sigma \quad (2.3)$$

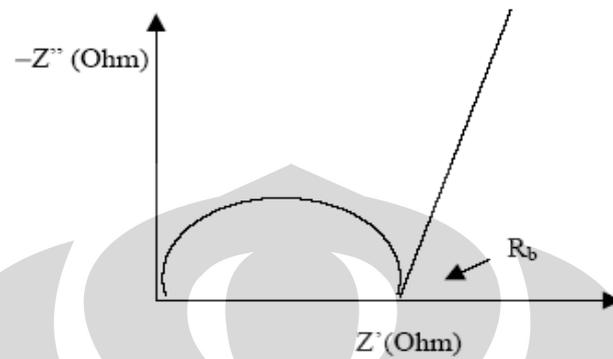
dengan  $t_i$  disebut sebagai *transference number* dan jumlah totalnya harus satu.

$$t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i + \dots = 1 \quad (2.4)$$

Di sini hubungan pembawa muatan individu mungkin saja muatan kation, muatan anion, muatan elektron dan muatan hole yang memberikan kontribusi nilai konduktivitas listrik material.

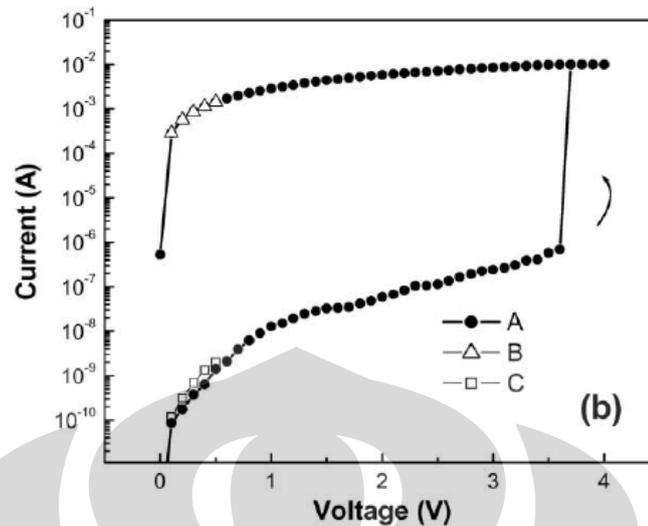
Dalam kenyataannya, metode pengukuran konduktivitas terbagi dua yaitu metode DC dan metode AC. Metode DC adalah metode yang memakai tegangan DC. Idealnya, pengukuran seharusnya dilakukan dengan metode DC, karena hasil konduktivitas merupakan imigrasi ion. Metode AC adalah metode yang memakai tegangan AC dan diukur dengan variasi frekuensi (West, 1984). Pada metode AC, hasil yang terukur adalah impedansi dari sampel, dan sering ditampilkan seperti

pada Gambar 2.6. Menurut Chee (2005), plot impedansi kompleks untuk suatu elektrolit polimer sering tidak menunjukkan semibulat seperti Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Plot Impedansi kompleks (Chee, 2005)

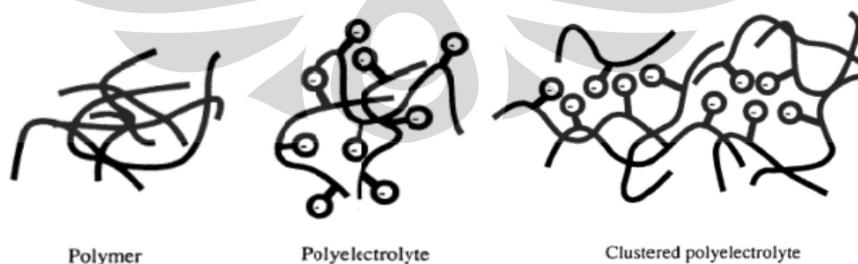
Gambar 2.7 memperlihatkan pendopongan anion hexafluorophosphate ( $\text{PF}_6^-$ ) pada polimer Poly[2-methoxy-5-(2'-ethylhexyloxy)-p-phenylene vinylene] (MEH-PPV) yang diukur pada tegangan 0-4 volt dan 4-0 volt, dengan kurva karakteristik I-V yang membuka ke bawah. Sehingga apabila dilakukan pendopongan kation pada polimer maka akan mempunyai kurva karakteristik I-V yang berlawanan dengan kurva karakteristik I-V dopingan anion yaitu kurva yang membuka ke atas (Satish *et al*, 2006)



Gambar 2.7. Karakteristik I-V MEH-PPV dengan doping  $\text{PF}_6^-$  (Satish *et al*, 2006)

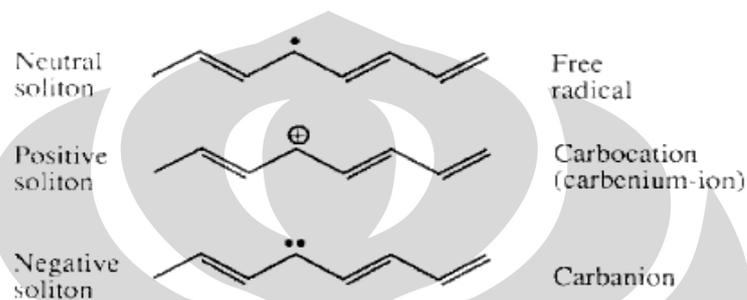
## 2.6 Polimer Elektrolit

Polimer kebanyakan bersifat tidak menghantarkan muatan sebelum mengalami perlakuan khusus. Dengan suatu perlakuan tertentu polimer dapat berfungsi sebagai medium dielektrik atau menghantarkan muatan bahkan sekarang sudah ada yang bersifat konduktor (Gelin, 2007). Sifat konduktivitas polimer terjadi karena pergerakan ion pada rantai panjang atau lompatan ion dari satu rantai ke rantai lain akibat adanya radikal bebas pada polimer. Radikal bebas tersebut bisa terjadi karena ketidak sempurnaan rantai struktur polimer atau karena radiasi (Chee, 2005).



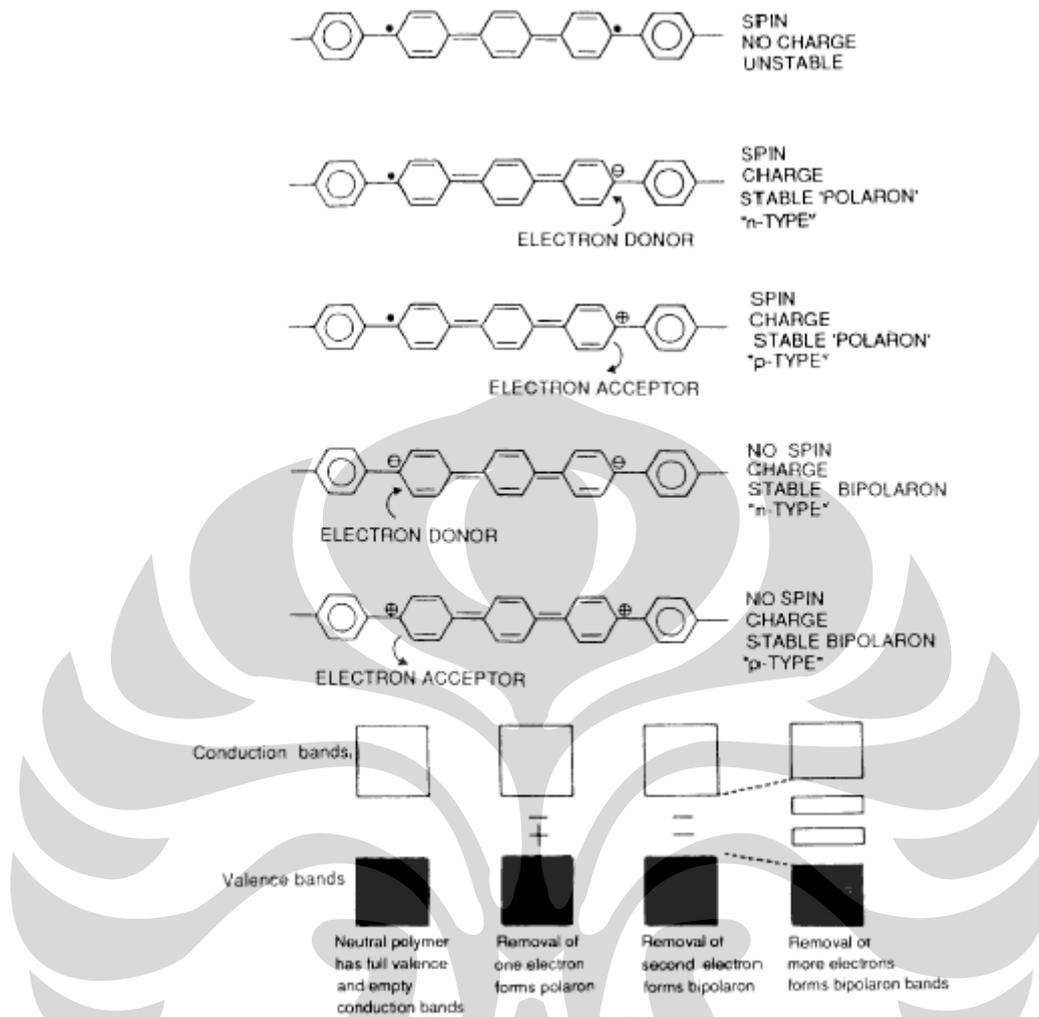
Gambar 2. 8. Model kluster dan non-kluster dari polimer elektrolit (Chee, 2005)

Polimer dari bahan organik linier ketidaksempurnaan radikal bebas disebut sebagai *neutral soliton* (Chee, 2005). Ketidaksempurnaan ini disebabkan karena terputus atau perubahan bentuk ikatan rangkap pada suatu rantai. Muatan dari ion tersebut tersebar dalam beberapa unit monomer sehingga relatif stabil (Chee, 2005).



Gambar 2.9. Ilustrasi skematik dari soliton netral, positif dan negatif (Chee, 2005)

Sedangkan polimer dari bahan organik siklik ketidaksempurnaan rantai dan pembawa muatan disebut *polaron* (Chee, 2005). Tidak seperti soliton, elektron bebas dari polaron hanya dapat berpindah bila dapat mengatasi *energi barrier*.



Gambar 2.10. Ilustrasi skematik struktur polaron dan bipolaron dan bentuk ikatan dari polimer (Chee, 2005)

Polimer elektrolit disebut juga sebagai elektrolit padat. Elektrolit padat adalah konduktor listrik padat yang menghantar perpindahan ion melalui kekosongan (atau posisi kristalografik yang kosong) pada kisi kristal. Elektrolit padat berada di antara kristal padat yang memiliki struktur teratur dan ion-ion tak mudah bergerak, tidak seperti dengan elektrolit cair yang tidak memiliki struktur teratur dan ion-ion yang bebas bergerak (Gray, 1987).

Polimer elektrolit mengandung kation atau anion yang bebas bergerak dan bertindak sebagai pembawa muatan. Konduktivitas ion suatu polimer bergantung

UNIVERSITAS INDONESIA

pada konsentrasi/kepekatan dan mobilitas suatu ion serta jarak antar molekul. Suatu polimer menjadi konduksi ion apabila ditambahkan bahan anorganik atau bahan organik ke dalam polimer tersebut (Gray, 1987).

Penggunaan polimer elektrolit sebagai salah satu alternatif pengganti elektrolit cair sering menimbulkan masalah. Polimer elektrolit bisa digunakan sebagai pemisah dalam komponen elektronik dalam sistem baterai. Di samping itu, elektrolit polimer dapat beroperasi pada suhu yang tinggi yaitu antara  $60^{\circ}$  -  $100^{\circ}\text{C}$  dan mempunyai sifat yang fleksibel yaitu dapat dibentuk sesuai kebutuhan (Linden, 1995)

Ciri-ciri suatu polimer yang dapat didoping dan berfungsi sebagai induk ion (*host ion*) yaitu (Chee, 2005 ):

- a. Polimer mempunyai gugus yang mampu untuk menyumbang ion guna membentuk ikatan koordinasi dengan kation garam dopan. Interaksi ini terjadi bila polimer mempunyai pasangan ion bebas yang disediakan oleh atom nitrogen, oksigen, sulfur atau klor.
- b. Polimer yang mempunyai rantai fleksibel sehingga atom doping dengan mudah terikat dengan polimer aktif.
- c. Mempunyai temperatur peralihan kaca ( $T_g$ ) yang rendah supaya pergerakan ion mudah.

Beberapa model dari polimer elektrolit (Chee, 2005)

1. amorphous macromolecule dari garam kompleks (  $\text{PEO}_n \cdot \text{LiCF}_3\text{SO}_3$  )
2. sistem plasticized yaitu sedikit dari low-molar-mass polar masuk dalam model 1 (PEO-LiCF<sub>3</sub>SO<sub>3</sub> dengan modifikasi karbonat)
3. polielektrolit yaitu muatan ion positif atau negatif bervalensi sama menggantikan ke polimer *backbone*.

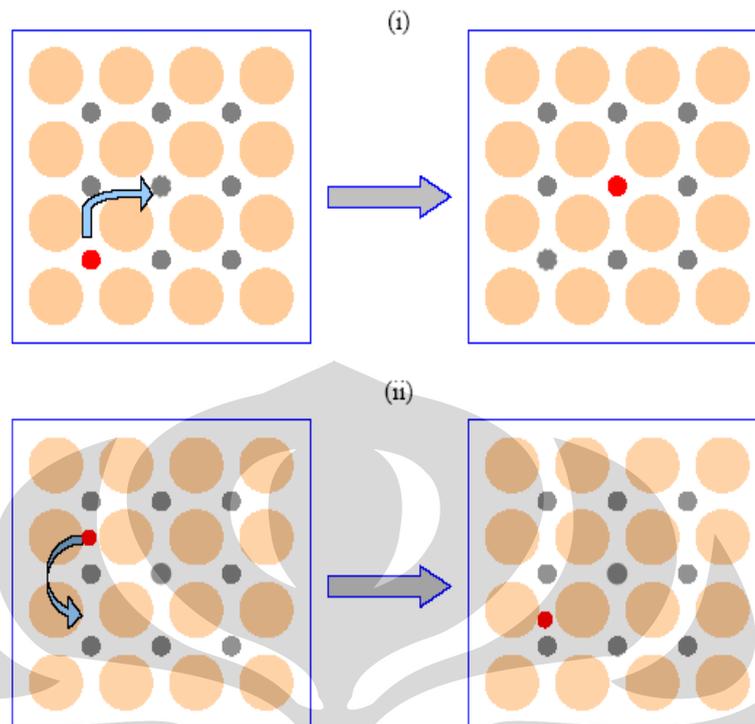
4. gel elektrolit, terbentuk oleh penggabungan *nonaqueous elektrolite solution* dengan struktur matrik polimer yang tidak aktif.
5. polimer dalam garam atau *rubbery elektrolite* (garam<sup>2</sup> litium dari bis(trifluorochlorosulfonyl)imide /TSFI,
6. komposit, (PEO-LiCF<sub>3</sub>SO<sub>3</sub>-Li<sub>3</sub>N)

### 2.6.1 Mekanisme Transfer Ion pada Polimer Elektrolit

Ketidakteraturan posisi atom atau adanya cacat dalam struktur menyebabkan tersedianya posisi kosong pada tempat-tempat tertentu dalam kristal. Posisi yang kosong ini dapat diisi oleh atom lain di sekitarnya dan meninggalkan posisi kosong yang baru, demikian seterusnya sehingga ion dalam kristal tersebut dapat berpindah-pindah. Inilah yang berperan dalam tingginya konduktivitas ionik (Basar, 2007). Mekanisme difusi ion dalam polimer sama seperti mekanisme kristal ion, di mana terdapat kekosongan dalam susunan kisi (Chee, 2005). Gambar 2.11 menggambarkan cara perpindahan ion yang terjadi dalam kristal ion.

Mekanisme perpindahan ion dalam kisi kristal, yaitu :

- i. Perpindahan ion dengan mengisi bagian kisi kristal yang kosong.
- ii. Perpindahan ion ke bagian sempit di antara kisi-kisi kristal.



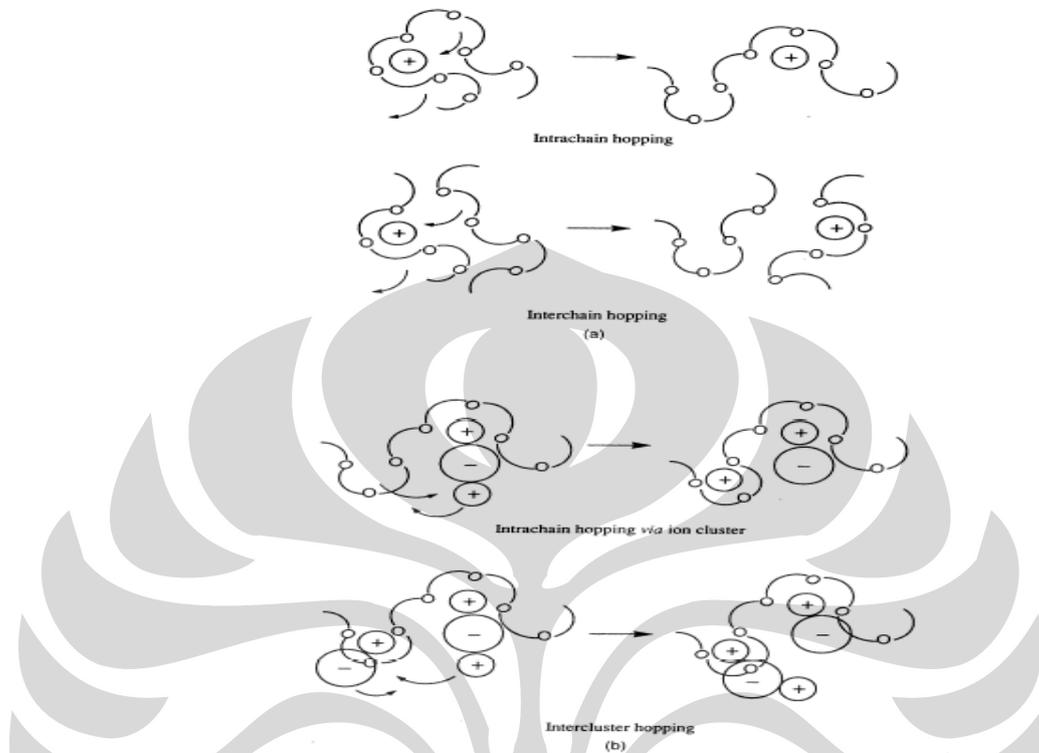
Gambar 2.11. Mekanisme perpindahan ion dalam kisi kristal (Chee, 2005)

Model volume bebas merupakan solusi yang mudah untuk memahami perpindahan ion melalui konduksi ionik dalam sistem cair di mana terjadi penyebaran awal (*redistribution*) dengan sistem. Sementara itu, peningkatan suhu juga memberi pengaruh terhadap pemuaiannya suatu material dan selanjutnya menciptakan kekosongan tempat yang memperbolehkan pergerakan segmen bagi ion yang datang dalam suatu polimer. Mekanisme pergerakan ion yang fleksibel dalam matriks polimer tergantung kepada kepekatan/konsentrasi garam yang terkandung dalam matriks polimer tersebut (Chee, 2005).

Kelemahan utama model volume bebas adalah tidak melibatkan pengaruh kinetik yang berkaitan dengan makromolekul dan pengaruh mikroskopi seperti ukuran ion, pasangan ion, polarisasi ion, konsentrasi ion, ataupun struktur polimer yang memberi pengaruh terhadap proses konduksi ionik (Chee, 2005). Karena itu diusulkan mekanisme lain, yaitu apa yang disebut sebagai mekanisme

**UNIVERSITAS INDONESIA**

*hoping* atau loncatan. Gambar 2.12 menunjukkan perpindahan kation secara loncatan (*hopping*) (Chee, 2005).



Gambar 2.12. Ilustrasi perpindahan elektron pada polimer elektrolit (Chee, 2005).

Pembawa muatan yang pindah dari rantai satu ke rantai lain merupakan persoalan yang sangat kompleks, perbedaan mekanisme ini disebabkan oleh perbedaan doping. Pada suhu tinggi *hoping* mengambil daerah di antara daerah yang sama- sama tertutup, sedangkan pada suhu rendah *hoping* mengambil daerah hanya di antara daerah yang terpisah oleh energi rendah (Rubinstein *et al*, 2003).

Pergerakan ion melewati kisi-kisi suatu kristal dipengaruhi oleh gaya dari medan listrik yang sebanding dengan energi termal untuk menerobos energi barrier yang terdapat di antara kisi-kisi. Kerapatan arus yang terjadi di dalam medan listrik  $E$  adalah :

$$j_{forward} = z_i n_i a v \exp\left(\frac{-\Delta G' + z_i e E a / 2}{kT}\right) \quad (2.5)$$

$$j_{backward} = z_i n_i a v \exp\left(\frac{-\Delta G' - z_i e E a / 2}{kT}\right) \quad (2.6)$$

dengan  $a$  adalah jarak lompatan,  $\nu$  frekuensi vibrasi kisi-kisi ( $\sim 10^{13}$ /detik), dan  $\Delta G'$  energi bebas Gibbs yang merupakan energi aktivasi dari pergerakan ion. Fluk kerapatan arus total,

$$j_{total} = j_{forward} - j_{backward} = 2z_i n_i a v \exp\left(\frac{-\Delta G'}{kT}\right) \sinh\left[\frac{z_i e E a}{2kT}\right] \quad (2.7)$$

Nilai istimewa dari  $E$ ,  $a$  dan  $T$  suatu keadaan di dalam persamaan di atas mempunyai nilai yang kecil ( $\sim 10^{-5}$ ) sehingga nilai dari fluk kerapatan arus mendekati :

$$j_{total} = 2z_i n_i a v \left[\frac{z_i e E a}{2kT}\right] \exp\left(\frac{-\Delta G'}{kT}\right) = \left(\frac{z_i^2 e^2 n_i a^2 \nu}{kT} e^{-\Delta G'/kT}\right) E = o_i E \quad (2.8)$$

sehingga mobilitas ion dari persamaan 2.1 dapat dituliskan sebagai :

$$\mu_i = \frac{z_i n_i a^2 \nu}{kT} e^{-\Delta G'/kT} \quad (2.9)$$

mobilitas absolut yang terjadi dapat dirumuskan sebagai :

$$B_i = \frac{a^2 \nu}{kT} e^{-\Delta G'/kT} = \frac{D_i}{kT} \quad (2.10)$$

dan ini merupakan hubungan Nernst-Einstein. Untuk setiap ion mempunyai transference number  $t_i$ , sehingga konduktivitas setiap ion di dalam suatu kristal dapat dituliskan sebagai

$$\sigma_i = t\sigma = f(n_i e z_i)(e z_i) \left( \frac{D_i}{kT} \right) = \frac{f D_i n_i z_i^2 e^2}{kT} \quad (2.11)$$

Dengan  $f$  merupakan faktor perhitungan banyaknya daerah yang ekuivalen.

### 2.6.2 Penggunaan Polimer Elektrolit

Polimer elektrolit yang diperoleh dari penambahan suatu bahan organik atau anorganik terhadap suatu polimer pada saat ini perkembangannya sangat pesat. Keadaan ini dikarenakan masyarakat sekarang mulai memikirkan bagaimana cara untuk mengurangi pemanasan global dan limbah dari suatu industri atau perumahan agar tidak merusak lingkungan. Dalam bidang energi polimer elektrolit dipergunakan sebagai bahan fuel cell untuk menggantikan elektrolit cair. Dalam bidang kesehatan elektrolit polimer dipergunakan sebagai filter membran dialisis untuk membersihkan darah pasien gagal ginjal. Dalam bidang industri polimer elektrolit dipergunakan sebagai filter untuk mendapatkan air layak pakai dari suatu limbah cair yang tercemar zat kimia berbahaya atau bakteri yang akan merusak kesehatan lingkungan. Polimer elektrolit pada saat sekarang kebanyakan masih menggunakan material yang tidak mudah mengalami degradasi setelah pemakaian selesai, sehingga menjadikan material ini sebagai limbah padat. Untuk menghindari atau mengurangi limbah padat yang terjadi maka dipergunakan polimer elektrolit yang berasal dari suatu polimer yang mudah mengalami degradasi setelah dipakai contohnya selulosa asetat sebagai filter padatan atau bakteri yang terkandung dalam cairan. Pada penelitian ini dilakukan penambahan iodium terhadap selulosa mikrobial untuk mendapatkan polimer elektrolit yang nantinya dapat menggantikan polimer elektrolit yang berasal dari penambahan iodium terhadap polietelin atau polianilin. Di samping itu penggunaan selulosa mikrobial di sini menggunakan fermentasi limbah cair tahu (*whhey*) dengan *Acetobakter xylinum* yang mudah hancur dan menyatu dengan alam setelah tidak dipergunakan.

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Bahan

Bahan dalam penelitian ini menggunakan limbah cair tahu (*whey*) dari industri pengrajin tahu Jatiasih sebagai bahan baku membran selulosa mikrobial, stater bakteri *Acetobacter xylinum* sebagai fermentor dari Bogor, selulosa murni buatan Toyoroshi Jepang sebagai pembanding, unsur iodium ( $I_2$ ) sebagai *dopant* dengan berbagai konsentrasi, yeast/fermipan sebagai ragi untuk enzim, gula pasir merupakan gabungan satu molekul glukosa dengan satu molekul fruktosa untuk polisakarida, urea untuk meningkatkan jumlah polisakarida,  $MgSO_4$  dipergunakan untuk mengontrol enzim dan beberapa larutan  $MgCl_2$ , HCl dan  $Mg(OH)_2$  sebagai bahan yang diabsorpsi.

#### 3.2 Alat

Peralatan penunjang penelitian menggunakan peralatan dari laboratorium di Departemen Fisika FMIPA-UI, AKACN Cimanggis. BATAN Pasar Jumat dan Balai Besar Kimia Pekayon. Peralatan tersebut berupa: neraca analitis, alat penghalus butiran (mortal), oven, *Tensile Strength tester* (Pack Test ASTM D 638-00), SEM (*Scanning Electron Microscop*)(Jeol JSM-5310 LV), XRD (*X-Ray Difraktometer*)(Phillip PW 3710), FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) Spectroscopy (Shimadzu DTA=50), ESR (*Electron Spin Resonance*), RLC (Fluke tipe PM6306) dan *Four Point Probe* (Jandel +44(0)1 525378554).

#### 3.3 Pembuatan dan Pendopongan Selulosa Mikrobial

Penelitian mengenai selulosa mikrobial nata de soya ini dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah pembuatan membran selulosa mikrobial nata de

**UNIVERSITAS INDONESIA**

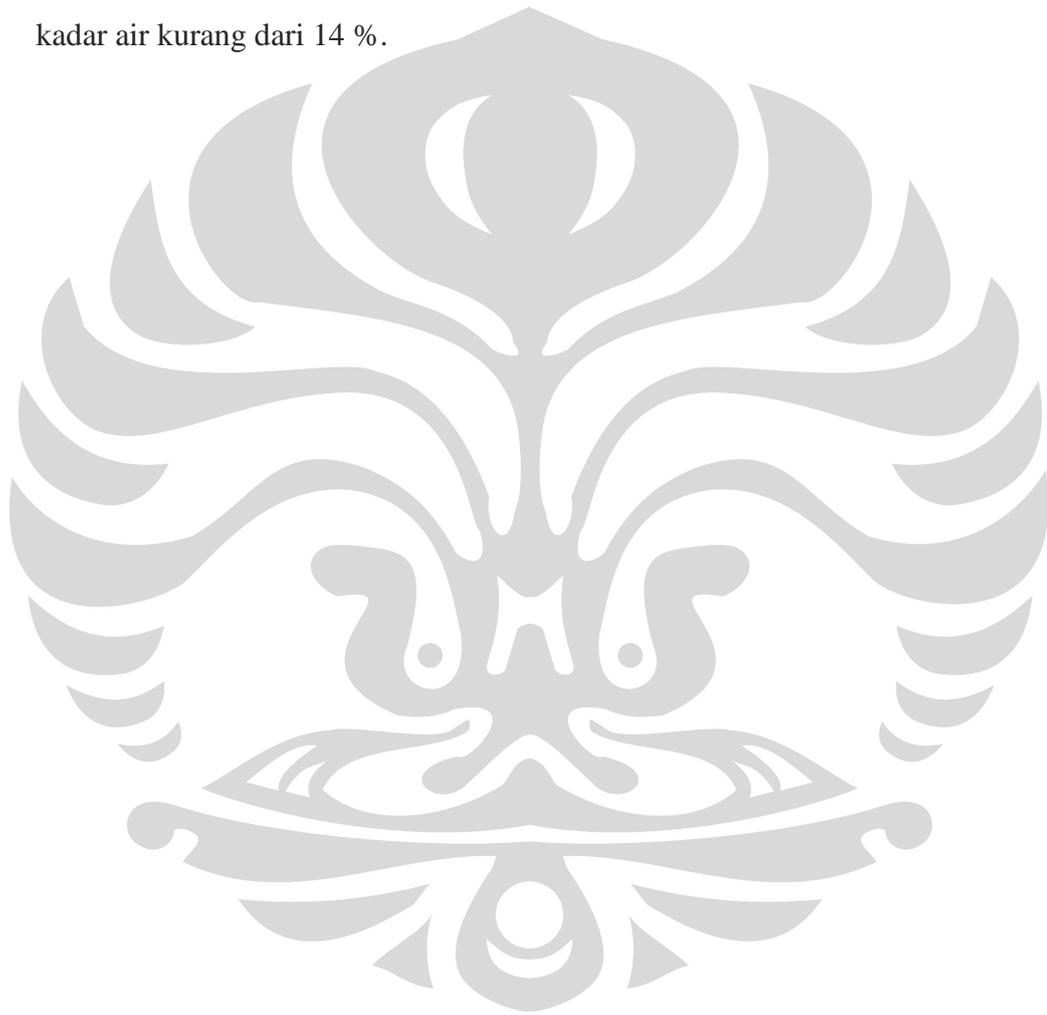
soya hasil dari fermentasi *whey* dengan *Acetobacter xylinum*. Dalam tahapan ini dilakukan variasi waktu fermentasi pada *whey* untuk mendapatkan hasil selulosa mikrobial nata de soya terbaik. Tahap kedua adalah penambahan unsur iodium ke dalam selulosa mikrobial nata de soya untuk mendapatkan polimer elektrolit. Dalam tahapan kedua ini dilakukan variasi konsentrasi *dopant* iodium pada selulosa mikrobial nata de soya. Dari kedua tahapan dilakukan beberapa parameter pengujian : sifat mekanik (kekuatan tarik), struktur material, sifat kelistrikan dan absorsi terhadap beberapa larutan polutan.

### 3.3.1 Proses Pembuatan Selulosa Mikrobial

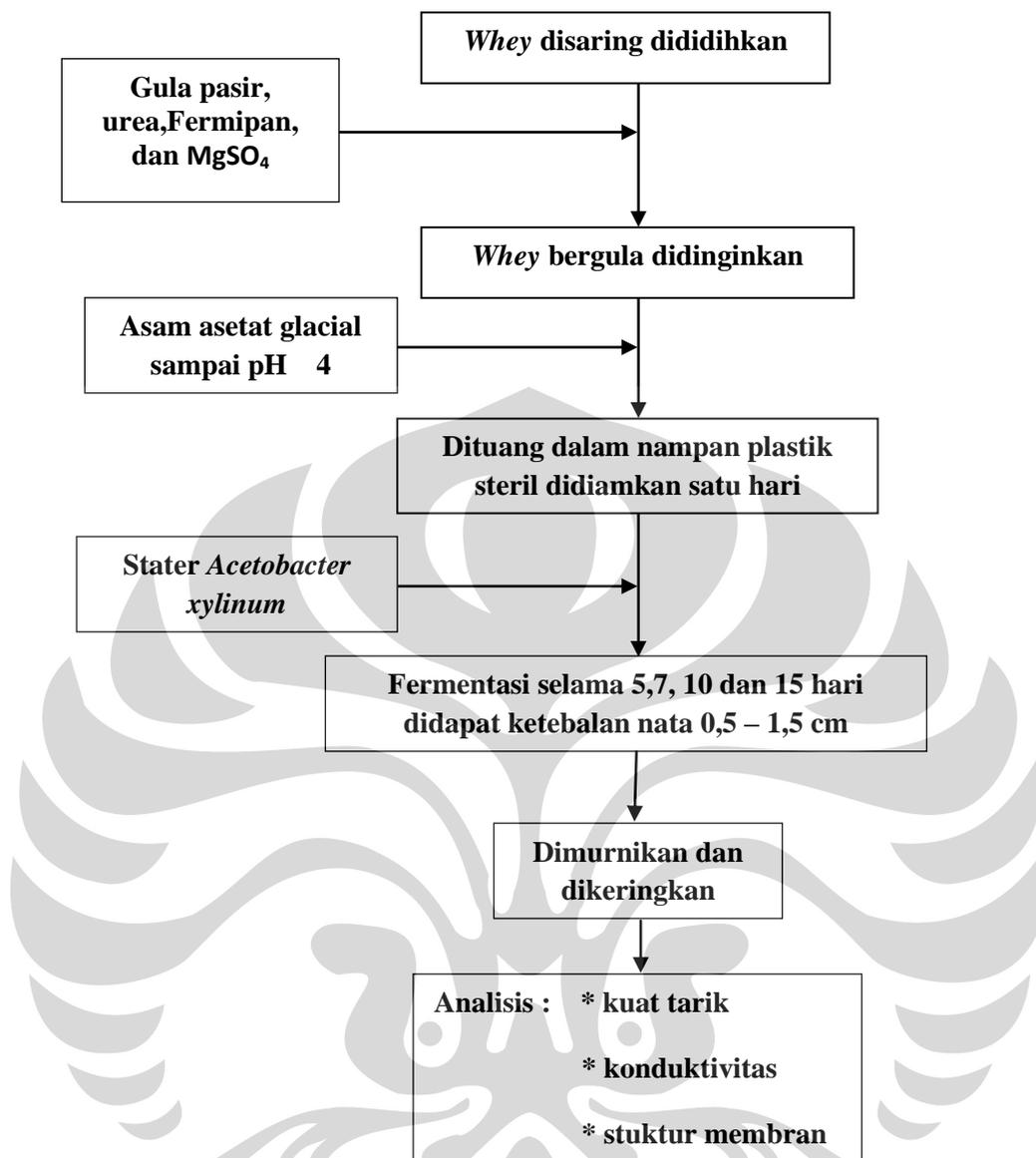
Limbah cair tahu (*whey*) yang diperoleh dari industri pengrajin tahu sebanyak 20 liter disaring menggunakan kain atau saringan plastik. Penyaringan harus dilakukan untuk menghilangkan kotoran padatan yang ada pada *whey*. *Whey* yang sudah disaring dipanaskan sampai mendidih kemudian ditambah dengan gula pasir 400 gram dan yeast 15 gram, urea 10 gram dan  $MgSO_4$  15 gram. Waktu pendidihan dilakukan lebih kurang 10 menit agar larutan tersebut steril terhadap bakteri lain, kemudian didinginkan sehingga suhu larutan berada pada suhu kamar. Setelah mencapai suhu kamar larutan ditambah asam asetat glasial atau asam cuka, diaduk sehingga homogen. Penambahan asam asetat ini dipergunakan untuk menurunkan pH larutan sampai lebih kurang 4, dan untuk mencegah terjadi kontaminasi dengan mikroba lain. Kemudian larutan dengan pH 4 tersebut ditambah stater *Acetobacter xylinum* sebanyak 10 % v/v. Campuran cairan tersebut dimasukkan ke dalam nampan plastik transparan steril dengan ketebalan 2 cm, kemudian ditutup dengan kertas bersih. Inkubasi dilakukan pada suhu kamar selama beberapa hari di tempat yang diam (selama fermentasi berlangsung wadah/tempat tidak boleh bergerak). Selama proses fermentasi pada cairan setiap hari diamati, dan diukur ketebalan lapisan nata de soya yang terbentuk. Pada awalnya padatan nata yang terbentuk diambil setelah fermentasi selama 5, 7, 9, 10, 11, 13 dan 15 hari dan ditimbang untuk mengetahui keadaan awal dari bioselulosa atau selulosa mikrobial. Selulosa mikrobial yang dihasilkan dicuci untuk pemurnian. Pemurnian selulosa mikrobial dilakukan berdasarkan US

UNIVERSITAS INDONESIA

Patent 4742164 (Iguchi, *et al*). Membran selulosa mikrobial hasil dari fermentasi karbohidrat dengan *Acetobacter xylinum* berdasarkan lama fermentasi selama 10 hari mempunyai ketebalan  $\pm 1,5$  cm. Membran hasil fermentasi ini mula-mula dicuci dengan air yang diberi larutan NaOH untuk menghilangkan pengaruh asam kemudian dicuci dengan air bersih beberapa kali. Setelah pengaruh asam dan NaOH pada membran hilang, membran dikeringkan dalam oven pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  selama kira-kira 1 jam untuk mendapatkan selulosa mikrobial dengan kadar air kurang dari 14 %.



**UNIVERSITAS INDONESIA**



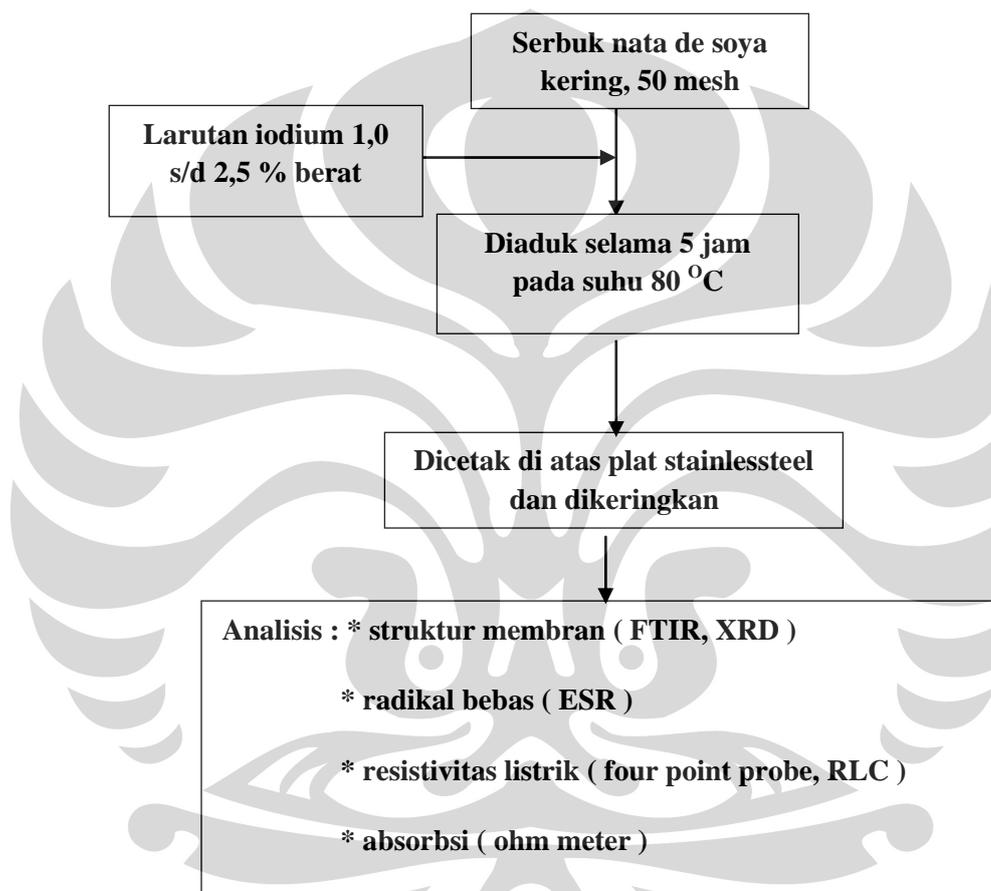
Gambar 3.1. Skema pembuatan selulosa mikrobial nata de soya

### 3.3.2 Pendopongan Nata de Soya dengan Iodium

Nata de soya kering hasil fermentasi 10 hari dengan kadar air lebih kurang 14 % dipotong-potong kemudian dihaluskan/digerus dengan menggunakan mortal, dan diayak dengan ayakan ukuran 50 mesh. Membuat larutan iodium dengan berbagai konsentrasi. Bubuk nata de soya sebanyak 2 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer dicampur dengan larutan iodium diaduk selama 5 jam dengan menggunakan *magnetic stirer* pada suhu tetap 80 °C agar bercampur

UNIVERSITAS INDONESIA

homogen. Penggunaan suhu  $80^{\circ}\text{C}$  pada proses ini karena pada suhu tersebut molekul selulosa mikrobial nata de soya mengembang dan kemungkinan terjadi adanya unsur iodium masuk ke dalam struktur molekul atau terjadi perubahan ikatan karbon. Endapan yang terbentuk pada proses ini dicetak dan kemudian dikeringkan pada suhu  $90^{\circ}\text{C}$  selama 60 menit untuk menguapkan kadar air yang kemungkinan masih terikat dalam campuran nata de soya.



Gambar 3.2. Skema pendopongan iodium kedalam selulosa mikrobial

### 3.4 Karakterisasi Membran Sellulosa Mikrobial

#### 3.4.1 Uji Tarik

Pengukuran kekuatan tarik suatu material dilakukan untuk mengetahui sifat elastisitas membran selulosa mikrobial nata de soya dari hasil variasi waktu

fermentasi terhadap *whey*. Metode pengujian dilakukan dengan menggunakan metode ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 638-00. Cuplikan dibentuk dengan menggunakan ukuran standard panjang 20 cm dan lebar 1,5 cm. Dalam hal ini dipergunakan alat *tensile strength tester* dengan cara menarik cuplikan hingga putus (gambar 3.1). Dari data tensile strength akan didapatkan modulus elastisitas ( $Fx/A$ ), tegangan putus ( $F/A$ ) dan perpanjangan putus  $\{(L_1 - L_0) / L_0\}$  dari suatu material. Dengan  $Fx$  merupakan beban untuk menarik cuplikan sejauh  $x$ ,  $F$  beban yang diperlukan hingga cuplikan putus,  $A$  luas penampang kerja,  $L_1$  panjang cuplikan saat putus dan  $L_0$  panjang cuplikan awal.



Gambar 3.3. Alat *Tensile Strength tester* Pack Test ASTM D 638

#### 3.4.2 Uji sifat Listrik Membran Sellulosa Mikrobial

Pengukuran resistivitas listrik bahan selulosa mikrobial nata de soya dalam bentuk membran menggunakan metode Van der Pouw yaitu menggunakan 4 titik (four point probe). (lihat Gambar 3.4)



Gambar 3.4. Alat Four Point Probe Jandel +44(0)1 525378554

Peralatan ini terdiri dari jajaran empat probe berjarak masing-masing  $S$  dipasang di atas membran selulosa mikrobial nata de soya. Sumber tegangan dipasang pada dua probe terluar untuk menghasilkan arus  $I$  dan voltmeter dihubungkan pada dua probe yang ditengah untuk mengukur tegangan jatuh  $V$

$$\rho = 2\pi S \frac{V}{I} \quad \text{dengan} \quad S = 0.5 \text{ mm}$$

$V$  dalam volt,  $I$  dalam amper,  $S$  dalam meter,  $\rho$  dalam ohm-meter ( $\Omega\text{m}$ ).

Kelebihan dari penentuan resistivitas listrik dengan metode ini adalah; pertama mudah dan cepat, kedua tidak memperhatikan geometri sample dan ketiga tidak memerlukan kontak yang permanen.



Gambar 3.5. Instrumen RLC untuk mengukur impedansi membran selulosa mikrobial

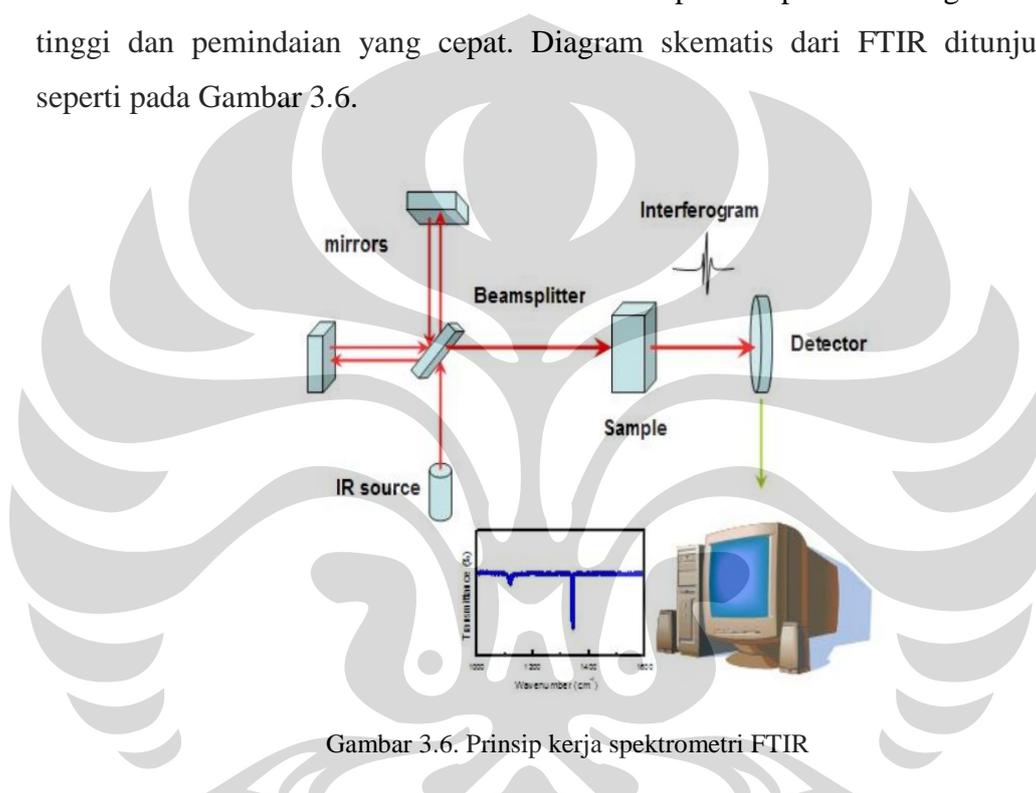
Untuk menentukan nilai impedansi,  $Z$ , dari sampel selulosa mikrobial nata de soya dalam bentuk padatan dipergunakan instrumen  $RLC$  (Gambar 3.3) dengan berbagai frekuensi antara 50 Hz – 1 Mhz. Dari pengamatan di sini dapat diketahui apakah konduktivitas listrik material dipengaruhi oleh frekuensi dari arus listrik. Pemberian beda potensial berubah-ubah pada suatu material dari 50 mV sampai dengan 5V dengan arus listrik searah (DC) akan didapatkan nilai konduktivitas material. Perubahan frekuensi masukan dari 50 Hz – 1 Mhz dengan beda potensial tertentu pada arus listrik bolak-balik (AC) akan didapat nilai impedansi,  $Z$ , nilai reaktansi induktif,  $X_L$ , dan reaktansi kapasitif,  $X_C$ , dari suatu material. Instrumen  $RLC$  disini menggunakan teori rangkaian seri dari komponen  $R$ ,  $L$ , dan  $C$  pada arus listrik bolak-balik (AC).

### 3.4.3 Uji Membran dengan FTIR (Fourier Transform Infra Red )

Spektrometri inframerah merupakan teknik analisis untuk karakterisasi gugus molekul yang didasarkan pada penyerapan energi pada daerah inframerah oleh molekul. Radiasi inframerah mencakup spektrum dalam rentang bilangan gelombang  $12.800 - 10 \text{ cm}^{-1}$ . Energi foton dalam radiasi inframerah tidak cukup untuk memicu suatu transisi elektronik molekul. Akibat penyerapan inframerah suatu molekul mengalami transisi vibrasional atau rotasional. Hanya molekul-molekul yang mempunyai dipole yang dapat bertransisi.

UNIVERSITAS INDONESIA

Spektrum inframerah adalah suatu ukuran penyerapan radiasi inframerah oleh suatu molekul. Setiap molekul memiliki serangkaian mode vibrasional yang unik. Serangkaian puncak serapan dalam spektrum inframerah terkait dengan mode ini menjadi *fingerprint* (sidik jari) suatu molekul. Karena fitur spektral molekul adalah unik, maka spektra inframerah sangat berguna untuk mengidentifikasi molekul. Spektrometri FTIR menggunakan teknik interferometer Michelson dan transformasi Fourier untuk mendapatkan spektrum dengan resolusi tinggi dan pemindaian yang cepat. Diagram skematis dari FTIR ditunjukkan seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Prinsip kerja spektrometri FTIR

FTIR di sini hanya digunakan untuk memastikan bahwa selulosa mikrobial hasil fermentasi *Acetobacter xylinum* terhadap whey sesuai atau mirip dengan selulosa komersial.

#### 3.4.4 Uji membran dengan X-Ray Difraktometer (XRD)

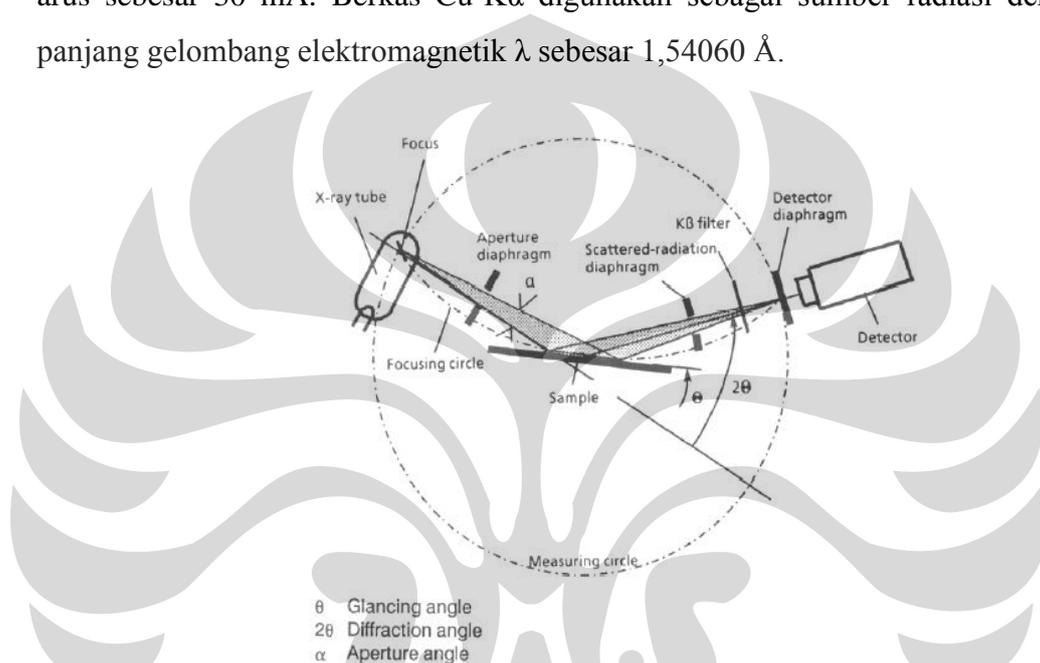
X – Ray Difraktometer (XRD) merupakan suatu alat analisa material menggunakan difraksi sinar-X. Panjang gelombang sinar X tergantung pada target material di dalam tabung sinar- X. Analisis suatu material.dengan difraksi sinar X menggunakan hukum Bragg yaitu :

**UNIVERSITAS INDONESIA**

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

dengan  $d$  jarak antara bidang kisi,  $\theta$  sudut difraksi,  $m$  orde, dan  $\lambda$  panjang gelombang sinar- X.

Alat *X-Ray Powder Diffractometer* yang digunakan adalah Philips PW 3710/40 kV yang berlokasi di Salemba. Beroperasi pada tegangan 40 kV dengan arus sebesar 30 mA. Berkas Cu-K $\alpha$  digunakan sebagai sumber radiasi dengan panjang gelombang elektromagnetik  $\lambda$  sebesar 1,54060 Å.



Gambar 3.7. Prinsip kerja Difraktometer Sinar X

Alat ini dapat dipergunakan untuk menganalisa struktur material baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Cuplikan dapat dalam bentuk membran atau dalam bentuk bubuk yang dipadatkan. Di dalam penelitian ini penggunaan XRD dilakukan pada suatu cuplikan untuk mengetahui struktur membran tersebut apakah merupakan polimer kristalin atau non kristalin serta membandingkan pola difraksinya dengan membran selulosa komersial. Selain itu juga ingin melihat apakah ada perubahan struktur akibat adanya doping iodium.

### 3.4.5 Uji Membran dengan Scanning Electron Microscope ( SEM )

*Scanning Electron Microscope (SEM)* adalah jenis mikroskop elektron yang mampu menghasilkan citra resolusi tinggi dari permukaan sampel. Ketika berkas elektron primer berinteraksi dengan sampel, elektron tersebut kehilangan energi akibat hamburan dan serapan yang berulang dalam volume spesimen yang berbentuk air menetes yang dikenal sebagai volume interaksi, yang berkembang dari 100 nm s/d 5  $\mu$ m ke dalam permukaan. Ukuran volume interaksi bergantung pada tegangan pemercepat berkas, nomor atom specimen dan massa jenis specimen. Pertukaran energi antara berkas elektron dan sampel menghasilkan emisi elektron radiasi gelombang elektromagnetik yang dapat dideteksi untuk menghasilkan suatu citra.



Gambar 3.8. SEM (*Scanning Electron Microscop*)(Jeol JSM-5310 LV)

SEM dapat digunakan untuk melihat morfologi permukaan, besarnya butir, defek defek permukaan. Pada penelitian ini, SEM digunakan untuk melihat morfologi permukaan membran selulosa mikrobial yang dihasilkan dari limbah cair tahu dan dibandingkan dengan morfologi membran selulosa komersial.

**UNIVERSITAS INDONESIA**

### 3.4.6 Uji Membran dengan Elektron Spin Resonance (ESR)

*Elektron Spin Resonance* (ESR) merupakan suatu alat analisa material untuk mengamati ada tidaknya radikal bebas dari suatu material. Prinsip kerja *ESR* adalah mengukur perubahan medan magnet dari spin elektron suatu material karena pengaruh frekuensi gelombang elektromagnet. Bila di dalam material terdapat elektron bebas atau radikal bebas maka akan terjadi perubahan medan magnet yang diakibatkan oleh spin elektron yang terganggu akibat adanya radiasi gelombang elektromagnet luar.

$$\Delta E = hf = g \beta H$$

Dengan  $\Delta E$  perubahan energi tingkat Zeeman,  $h$  konstanta Plank,  $f$  frekuensi gelombang radio,  $g$  faktor *splitting* spektroskopi,  $\beta$  Bohr magneton, dan  $H$  medan magnet. Di dalam penelitian ini cuplikan dalam bentuk bubuk kering berukuran 50 mesh yang dimasukkan ke dalam tabung kaca. Peralatan ini dioperasikan pada suhu 20 °C, Radio Frekuensi (RF) 9,44 Ghz, medan magnet 345 mT  $\pm$  25 mT, modulasi medan magnet 0,5 H x 1,0 mT dengan power 1 mW.

### 3.4.7 Absorpsi terhadap Larutan Asam, Basa dan Garam

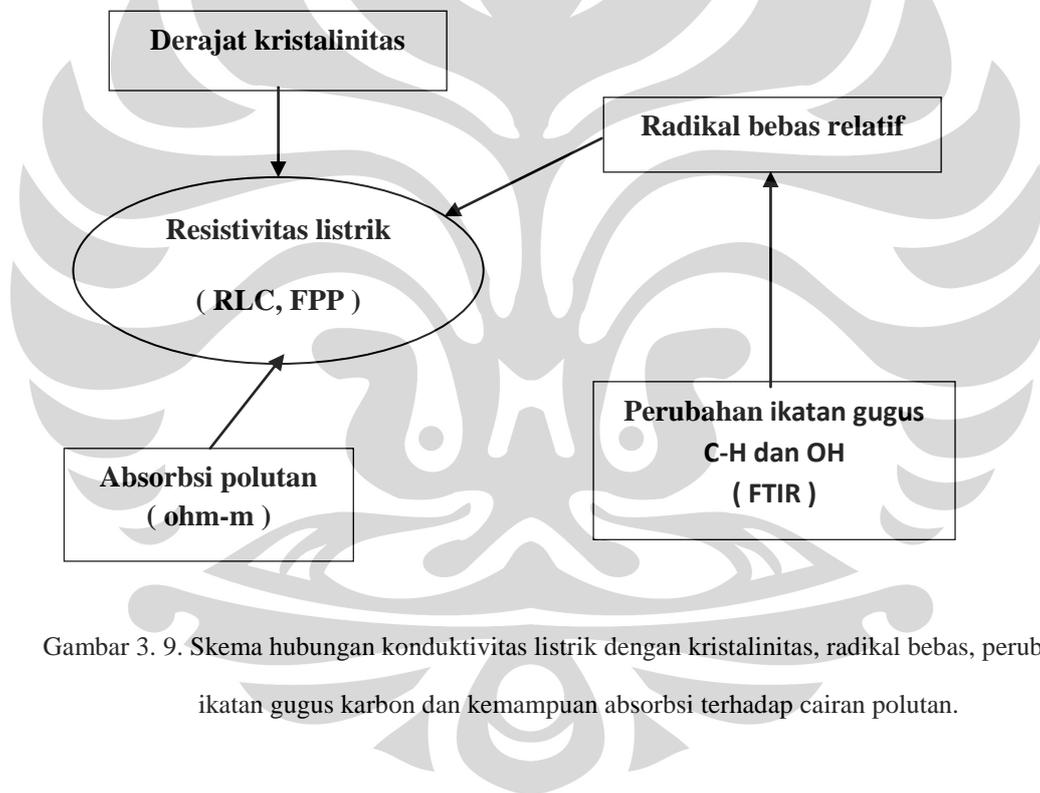
Pengukuran prosentase absorpsi suatu larutan menggunakan cara mengukur konduktivitas listrik dari larutan sebelum dan sesudah melalui membran selulosa mikrobial. Cuplikan absorber menggunakan padatan bubuk selulosa dengan beberapa konsentrasi *dopant* iodium sebanyak 10 gram dibuat membran pada tekanan 1 ton. Dengan menggunakan dua plat sejajar berjarak 1mm terbuat dari kawat terisolasi sebagai *probe* dan ohm meter dapat dihitung konduktivitas listrik dari larutan. Nilai konduktivitas listrik yang didapat di sini sebanding konsentrasi dari larutan.

Hasil data-data yang diperoleh dari pengukuran di atas dianalisis dan dicari pengaruh waktu fermentasi *whey* terhadap sifat konduktivitas listrik selulosa mikrobial dengan melihat kuat tarik, derajat kristalinitas, dan stuktur membran sebelum mengalami penambahan iodium. Setelah mengalami

UNIVERSITAS INDONESIA

penambahan iodium pada selulosa mikrobial untuk fermentasi 10 hari data-data yang didapat dianalisis dan dicari pengaruh konsentrasi *doping* iodium terhadap konduktivitas listrik dengan melihat perubahan derajat kristalinitas, perubahan ikatan karbon dan radikal bebas dari selulosa mikrobial. Di samping itu dicari pengaruh konsentrasi *doping* iodium terhadap kemampuan absorpsi membran selulosa mikrobial terhadap larutan  $MgCl_2$ ,  $Mg(OH)_2$ , dan HCL sebagai filter.

Setelah menganalisis data-data yang didapat dari percobaan maka dicari hubungan satu dengan yang lain sehingga nantinya dapat disimpulkan pengaruh waktu fermentasi dan pendopingan iodium dari selulosa mikrobial nata de soya.



Gambar 3. 9. Skema hubungan konduktivitas listrik dengan kristalinitas, radikal bebas, perubahan ikatan gugus karbon dan kemampuan absorpsi terhadap cairan polutan.

## BAB 4

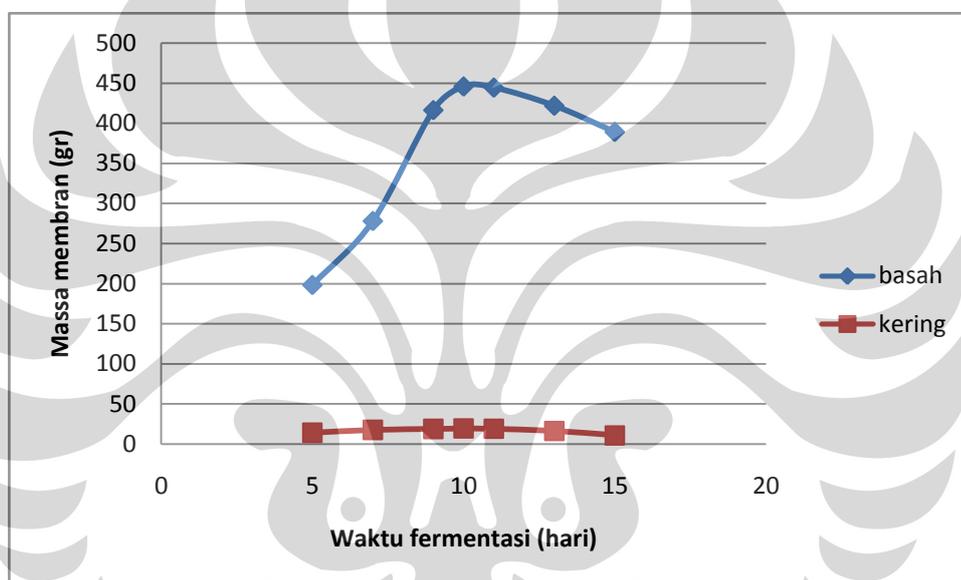
### HASIL DAN DISKUSI

Dalam penelitian ini telah berhasil dilakukan pembuatan selulosa mikrobial nata de soya yang diproses melalui fermentasi *whey* dengan bakteri *Acetobacter xylinum* dan penambahan unsur iodium terhadap selulosa mikrobial yang terjadi. Bakteri *Acetobacter xylinum* akan mengubah gula pada medium *whey* menjadi selulosa. Pada proses metabolisme di sini selaput selulosa terbentuk oleh aktivitas *Acetobacter xylinum* terhadap glukosa. Selulosa yang terbentuk dalam media tersebut merupakan benang-benang yang bersama-sama polisakarida membentuk jalinan yang terus-menerus menebal membentuk lapisan nata. Nata tersebut berupa lembaran selulosa dari perubahan gula yang terdapat pada substrat *whey* menjadi pelikel selulosa dengan kandungan utamanya air dan serat. Sintesa polisakarida oleh bakteri dipengaruhi oleh tersedianya nutrisi dan ion tertentu yang dapat mengkatalisasi aktivitas bakteri. Peningkatan konsentrasi nitrogen dalam substrat dapat meningkatkan jumlah polisakarida yang terbentuk, sedangkan ion-ion bivalen  $Mg^{+2}$  diperlukan untuk mengontrol kerja enzim ekstraseluler dan membentuk ikatan dengan polisakarida. Hal yang penting diperhatikan dalam pembuatan nata di sini antara lain adalah bakteri, gula dan nitrogen di samping itu suhu dan pH serta tidak tergoyang agar pembentukan pelikel berlangsung.

Proses fermentasi di dalam pembuatan selulosa mikrobial nata de soya dilakukan dengan berbagai variasi waktu antara 5 sampai 15 hari. Dari pengamatan didapatkan ketebalan antara 0,5 cm sampai dengan 1,5 cm. Makin lama waktu fermentasi menjadikan ketebalan nata bertambah dan maksimum pada waktu fermentasi 10 hari. Keadaan ini terjadi dikarenakan proses pembentukan polisakarida berlanjut terus sampai bahan yang difermentasi habis. Pada Gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara waktu fermentasi dengan massa

UNIVERSITAS INDONESIA

selulosa mikrobial seluas  $660 \text{ cm}^2$  dalam keadaan basah dan kering. Dari sini terlihat bahwa massa selulosa mikrobial yang terjadi menurun setelah fermentasi selama 10 hari baik yang masih mengandung air maupun yang sudah dikeringkan dengan kadar air kurang dari 14 %. Setelah fermentasi 10 hari, cairan di nampan pada proses tersebut mulai habis dan mulai mengering serta mulai tumbuh bercak-bercak kuning pada permukaan nata yang diperkirakan merupakan jamur. Jamur yang berada di permukaan nata ini menyebabkan massa dari nata berkurang setelah mengalami pemurnian. Di samping massa nata berkurang juga menyebabkan sifat fisis yang lain ikut pula berubah.



Gambar 4.1. Pengaruh waktu fermentasi whey terhadap massa nata

Setelah mengalami analisis kuat tarik pada membran selulosa nata de soya maka dipergunakan membran hasil waktu fermentasi 10 hari untuk dipergunakan sebagai material yang akan di *doping*. Dipilihnya waktu fermentasi 10 hari dikarenakan kekuatan tarik yang dialami membran maksimum pada fermentasi 10 hari (Gambar 4.3). Keadaan ini sangat penting karena sifat fisis ini sangat diperlukan bila bahan ini nantinya akan dipergunakan sebagai membran.

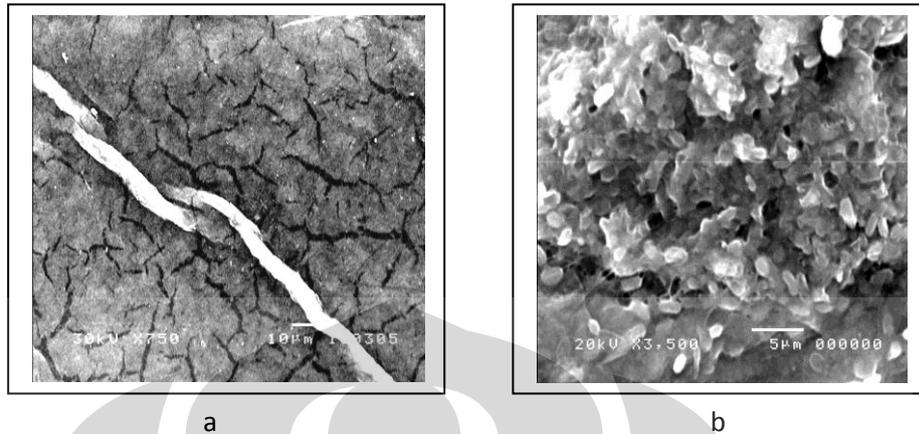
Selulosa mikrobial nata de soya hasil fermentasi 10 hari dengan kadar air

**UNIVERSITAS INDONESIA**

kurang dari 14 % dihaluskan menggunakan mortar dan diayak dengan ukuran 50 mesh. Penambahan unsur iodium ke dalam selulosa mikrobial nata de soya dilakukan dengan cara mencampur bubuk kering selulosa mikrobial ke dalam larutan iodium dalam beberapa konsentrasi. Campuran tersebut diaduk selama 5 jam pada suhu 80 °C agar terjadi reaksi atau substitusi ion iodium ke dalam selulosa mikrobial nata de soya secara merata. Setelah 5 jam diaduk endapan yang diperoleh dibuat membran dan dikeringkan sehingga kadar air kurang dari 14 %. Selulosa mikrobial nata de soya hasil fermentasi 10 hari sebelum dan sesudah mengalami *doping* unsur iodium dianalisis menggunakan beberapa peralatan untuk mengetahui keadaan sifat listrik selulosa mikrobial nata de soya.

#### **4.1 Analisis Morphologi dengan Mikroskop Elektron**

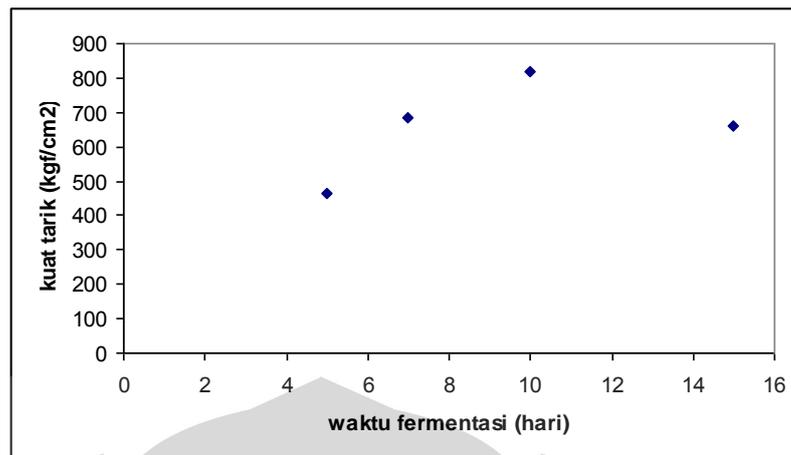
Morfologi selulosa mikrobial nata de soya hasil fermentasi dengan menggunakan SEM sama atau mirip dengan morfologi selulosa murni yang dihasilkan oleh peneliti sebelumnya. Pada Gambar 2.5 dilakukan perbesaran 100 kali dan pada gambar 4.2.a dilakukan perbesaran 750 kali. Di sini terlihat terjadi sel-sel terikat satu sama yang lain membentuk suatu jaringan serat yang panjang dan bercabang-cabang sangat kuat pada selulosa mikrobial nata de soya, sehingga dapat dikatakan pula bahwa selulosa mikrobial nata de soya hasil fermentasi *whey* dengan *Acetobacter xylinum* merupakan selulosa murni. Dari hasil pengamatan dengan perbesaran 3500 kali pada Gambar 4.2.b terlihat adanya mikrofibril berbentuk silinder dengan ukuran panjang  $\pm 3,0 \mu\text{m}$  dan garis tengah  $\pm 0,5 \mu\text{m}$  dengan posisi acak.



Gambar 4.2. Morfologi permukaan selulosa mikrobia nata de soya hasil fermentasi dengan perbesaran a, 750 kali dan b. 3500 kali

#### 4.2 Analisis dengan Uji Tarik

Dalam aplikasi membran selulosa, kekuatan tarik merupakan sifat yang diperlukan. Oleh karenanya, dalam penelitian ini dilakukan uji tarik. Kuat tarik pada selulosa mikrobia nata de soya dengan waktu fermentasi 5, 7, 10, dan 15 hari menghasilkan kuat tarik yang bervariasi mulai dari  $462 \text{ kgf/cm}^2$  ( $45,3 \text{ MPa}$ ) sampai dengan  $819 \text{ kgf/cm}^2$  ( $80,3 \text{ Mpa}$ ) dengan elongation rata-rata 2 %. Dari pengamatan kuat tarik selulosa mikrobia nata de soya didapatkan nilai maksimum untuk waktu fermentasi selama 10 hari (Gambar 4.3).



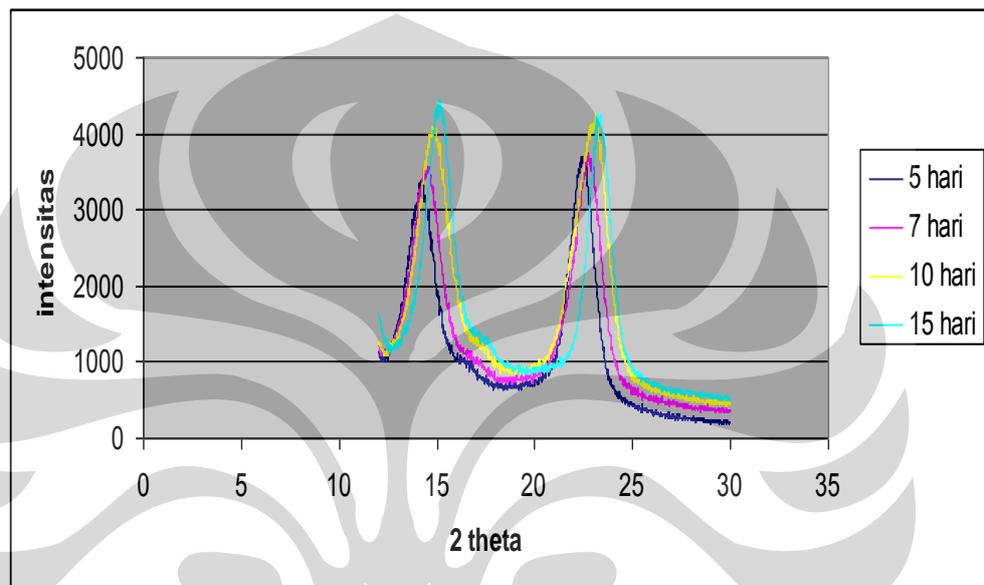
Gambar 4.3. Kuat tarik selulosa mikrobial untuk waktu fermentasi 5, 7, 10 dan 15 hari

Kenaikan waktu fermentasi meningkatkan kenaikan panjang rantai selulosa mikrobial yang mengakibatkan kenaikan kuat tarik. Tetapi, untuk waktu fermentasi lebih besar dari 10 hari, kuat tarik dari selulosa mikrobial menurun. Keadaan ini disebabkan karena setelah fermentasi 10 hari terjadi bercak-bercak berwarna kuning kecoklatan akibat adanya pertumbuhan jamur pada permukaan membran selulosa mikrobial nata de soya. Pertumbuhan jamur tersebut mengakibatkan munculnya pori di dalam nata setelah melewati waktu fermentasi 10 hari. Pori dan cacat lain yang terjadi setelah fermentasi 10 hari pada nata de soya memungkinkan terjadi degradasi pada membran sehingga menyebabkan pemutusan ikatan antar fibril di dalam polimer. Dengan adanya pemutusan ikatan antar fibril pada membran akan mengurangi kekuatan tarik dari selulosa mikrobial nata de soya.

### 4.3 Analisis Spektrum Pola Difraksi Sinar - X

Spektrum pola difraksi XRD untuk selulosa mikrobial nata de soya dengan waktu fermentasi 5, 7, 10 dan 15 hari dapat dilihat pada Gambar 4.4. Dari pola ini dapat diketahui bahwa struktur selulosa mikrobial nata de soya tidak berubah dengan berubahnya waktu fermentasi. Hal ini dapat dilihat pada pola

difraksi sinar-X dari selulosa mikrobial nata de soya hanya terjadi sedikit pergeseran sudut puncak dan perubahan intensitas saja dan tidak ada puncak baru yang terjadi. Makin lama fermentasi sudut puncak dari pola difraksi bergeser ke kanan yang menunjukkan terjadi perubahan jarak bidang kisi mengecil. Keadaan tersebut dimungkinkan karena terjadi pemadatan dan penambahan panjang struktur pada rantai polimer saat fermentasi berlangsung.



Gambar 4.4. Pola difraksi sinar-X nata de soya untuk waktu fermentasi 5, 7, 10 dan 15 hari.

Dengan menggunakan data spektrum pola difraksi di atas dapat diketahui derajat kristalinitas dari cuplikan. Derajat kristalinitas selulosa mikrobial nata de soya mempunyai nilai maksimum pada waktu fermentasi 10 hari yaitu 45 % (Tabel.4.1). Keadaan ini disebabkan terjadi degradasi pada selulosa mikrobial nata de soya setelah fermentasi 10 hari. Degradasi pada selulosa mikrobial menyebabkan terputusnya ikatan rantai pada polimer sehingga terjadi penambahan daerah *amorf* dari material polimer. Terjadi degradasi pada membran terlihat mulai adanya jamur lain yang tumbuh di atas membran karena media fermentasi mulai kering tetapi masih lembab dan bersifat asam.

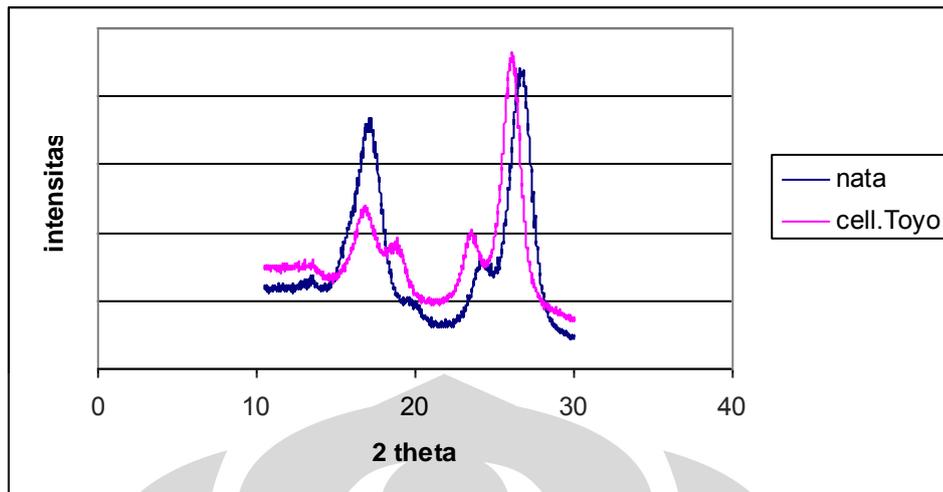
Tabel 4.1 Pengaruh waktu fermentasi terhadap kristalinitas dari nata de soya

Sampel	Lama fermentasi (hari)	Sudut difraksi $2\theta$	Derajat kristalinitas rata-rata (%)
Nata de Soya	5	14,18 <sup>0</sup> ; 20,42 <sup>0</sup>	31,71
Nata de Soya	7	14,48 <sup>0</sup> ; 22,74 <sup>0</sup>	33,16
Nata de Soya	10	14,82 <sup>0</sup> ; 23,00 <sup>0</sup>	45,00
Nata de Soya	15	14,82 <sup>0</sup> ; 23,38 <sup>0</sup>	27,95
Nata de Coco*	-	14,12 <sup>0</sup> ; 22,36 <sup>0</sup>	44,42

\* dari pasar tradisional

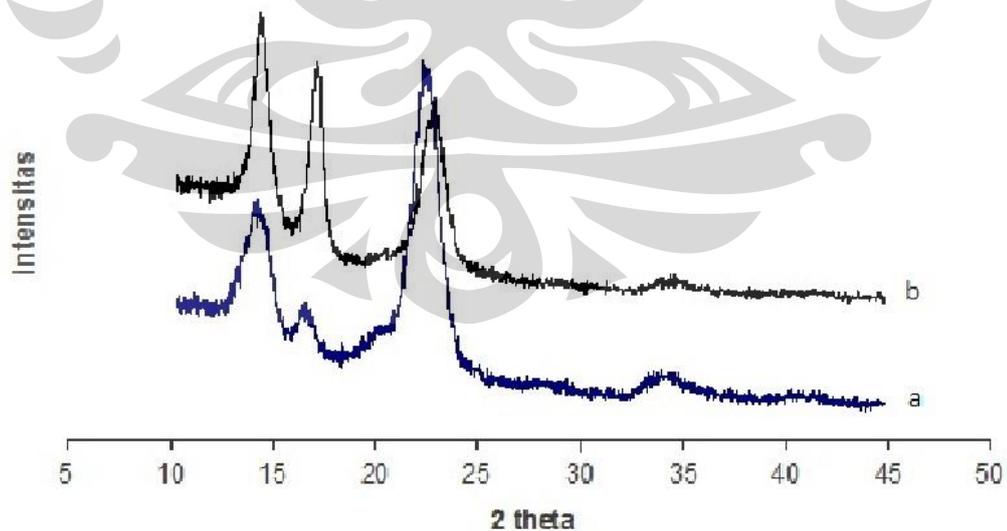
Dengan membandingkan spektrum pola XRD antara selulosa mikrobial nata de soya dengan waktu fermentasi 10 hari terhadap selulosa murni dari Toyoroshi Jepang (Gambar 4.5) dapat diketahui bahwa hasil fermentasi *Acetobacter xylinum* terhadap whey merupakan selulosa murni yang tidak tercampur dengan material lain. Di dalam Gambar 4.5 ditunjukkan hasil fermentasi *Acetobacter xylinum* terhadap whey terjadi pergeseran sudut puncak ke kanan dan ini menunjukkan bahwa selulosa hasil sintesa mempunyai beberapa jarak antar bidang kisi yang lebih kecil dibandingkan selulosa komersial. Dengan kata lain selulosa mikrobial yang dihasilkan lebih padat dibandingkan selulosa komersial.

Di samping itu dari hasil spektrum pola difraksi sinar-X yang didapat juga sesuai dengan penelitian selulosa mikrobial sebelumnya pada (Gambar 2.3). Hal ini memperkuat bahwa selulosa mikrobial hasil fermentasi whey dengan *Acetobaxter xylinium* menghasilkan selulosa murni.



Gambar 4.5. Pola difraksi selulosa mikrobal dan selulosa murni buatan Toyoroshi Jepang

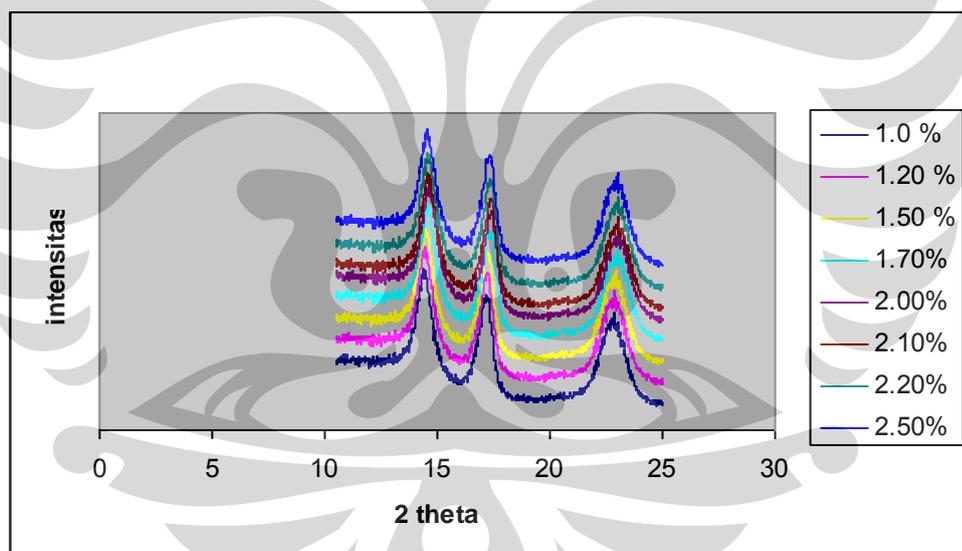
Dengan penambahan unsur iodium pada selulosa mikrobal terlihat tidak terjadi perubahan struktur kristal pada material (Gambar 4.6) karena tidak terlihat adanya penambahan atau pengurangan puncak pada spektrum pola difraksi sinar-X. Pada Gambar 4.6 diperlihatkan adanya spektrum pola difraksi yang mirip dan hanya sedikit beda ketinggian dari puncak intensitas untuk beberapa bidang tertentu.



Gambar 4.6. Pola difraksi sinar X nata de soya (a) murni, (b) *doping* iodium 1 % berat

UNIVERSITAS INDONESIA

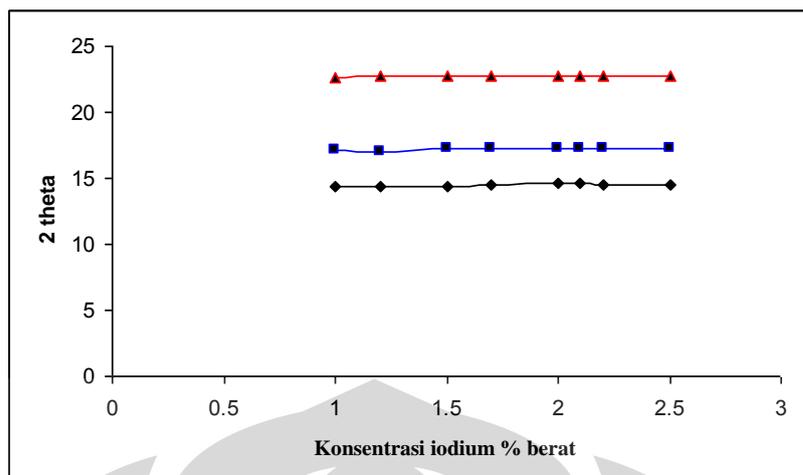
Makin besar penambahan unsur iodium posisi sudut puncak pada pola difraksi makin besar dan maksimum pergeseran terjadi pada konsentrasi iodium 2,1 % berat kemudian menurun kembali seperti pada Gambar 4.7. Pergeseran sudut puncak pada pola difraksi menunjukkan terjadi perubahan jarak bidang kisi dari nata de soya. Makin besar sudut difraksi makin kecil jarak bidang kisi yang terjadi begitu pula sebaliknya. Terjadi perubahan jarak antar bidang kisi pada selulosa nata de soya dimungkinkan adanya ion iodium masuk diantara struktur kristal saat dilakukan pengadukan selulosa mikrobial nata de soya dalam larutan iodium pada suhu 80 °C. Ion iodium dapat masuk ke dalam struktur kristal karena pada suhu 80 °C struktur ikatan kimia dari selulosa nata de soya mengembang sehingga ion iodium dapat masuk saat dilakukan pengadukan. Di samping itu kemungkinan untuk terjadi reaksi kimia antara selulosa mikrobial dengan ion iodium pada suhu ini lebih besar dibandingkan dengan suhu kamar.



Gambar 4.7. Pola difraksi sinar X nata de soya setelah mengalami *doping* yodium

Pergeseran sudut puncak dari spektrum pola difraksi ke arah lebih kecil setelah penambahan iodium sebanyak 2.1 % berat, kemungkinan terjadi karena terputusnya rantai ikatan antar fibril di dalam polimer sehingga terjadi pelebaran jarak antar bidang kisi.

**UNIVERSITAS INDONESIA**



Gambar 4.8. Kurva antara sudut puncak difraksi dengan penambahan iodium % berat

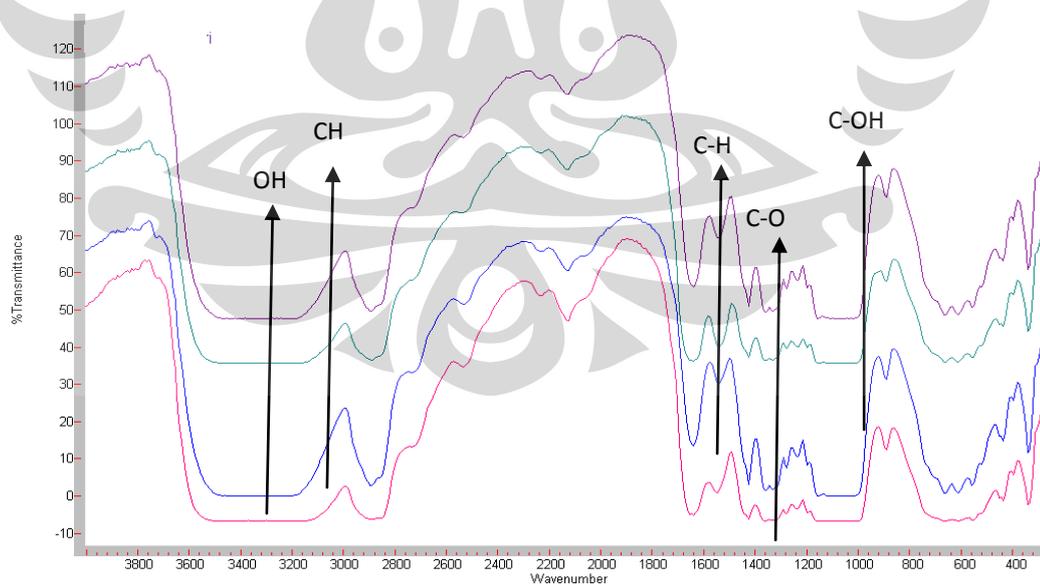
Tabel 4.2 Pengaruh penambahan iodium terhadap kristalinitas nata de soya

Konsentrasi iodium (%)	Sudut difraksi $2\theta$ ( $^{\circ}$ )	Derajat kristalinitas rata-rata (%)
1,0	14,40 ; 17,18 ; 22,86	51,15
1,2	14,44 ; 17,21 ; 22,90	54,32
1,5	14,47 ; 17,25 ; 22,92	57,48
1,7	14,54 ; 17,34 ; 23,02	60,01
2,0	14,60 ; 17,39 ; 23,08	65,24
2,1	14,58 ; 17,38 ; 23,06	67,03
2,2	14,56 ; 17,35 ; 23,04	64,85
2,5	14,52 ; 17,32 ; 23,00	64,68

#### 4.4 Analisis Spektrum Transmisi Fourier Transform Infra Red

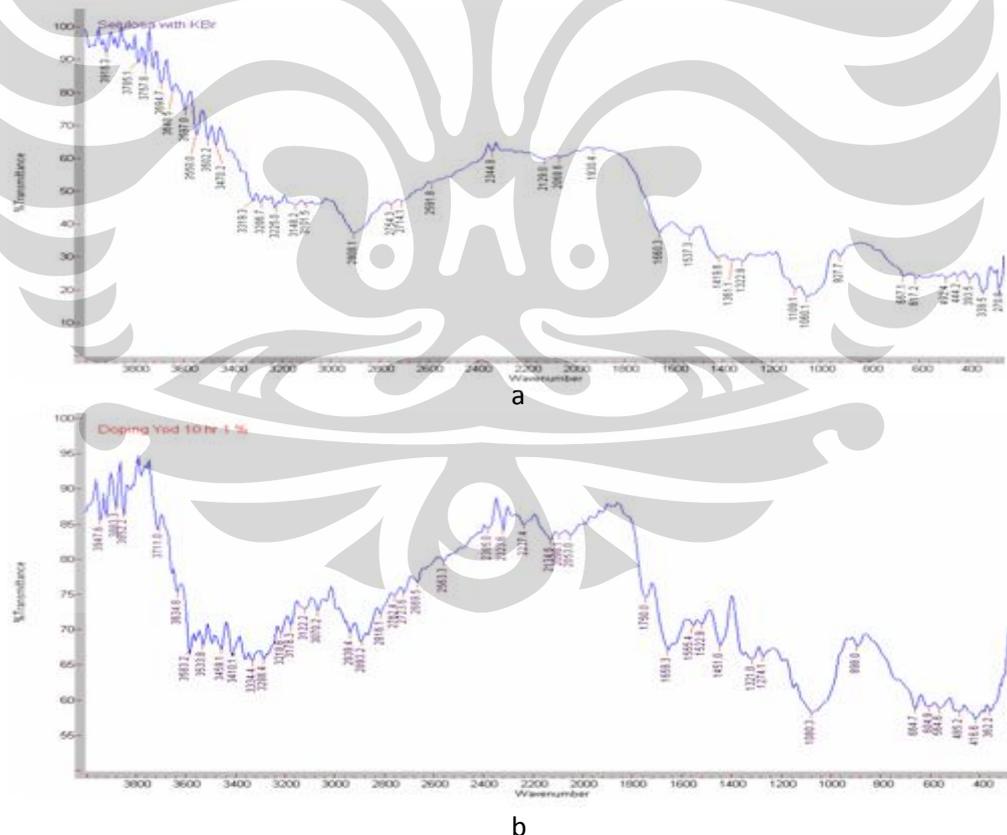
Analisis selulosa mikrobial nata de soya dengan menggunakan FTIR sebelum mengalami penambahan iodium juga didapatkan tidak terjadi perubahan struktur ikatan kimia karena posisi gugus ikatan karbon dari selulosa mikrobial nata de soya tidak berubah walaupun lama waktu fermentasi berbeda (Gambar 4.9). Dengan memperhatikan pola transmisi terhadap bilangan gelombang sinar infra merah dari 300 sampai dengan 4000 terhadap selulosa mikrobial nata de

soya dengan waktu fermentasi berbeda-beda tidak menunjukkan adanya perubahan posisi puncak yang disebabkan oleh gugus ikatan karbon. Ikatan karbon pada pola spektrum transmisi FTIR dari selulosa mikrobial nata de soya adalah; gugus OH pada daerah bilangan gelombang  $3464,1 \text{ cm}^{-1}$ , gugus hidrogen pada daerah bilangan gelombang  $2895,8 \text{ cm}^{-1}$ , gugus C-H pada daerah bilangan gelombang  $1644,6 \text{ cm}^{-1}$ , gugus ikatan C-O eter pada daerah bilangan gelombang  $1352 \text{ cm}^{-1}$ , dan gugus alkohol pada daerah bilangan gelombang  $1026,9 \text{ cm}^{-1}$ . Dengan tidak adanya perubahan posisi pada pola transmisi dari selulosa mikrobial nata de soya pada Gambar 4.9 maka dapat dinyatakan bahwa waktu fermentasi pada *whey* tidak mempengaruhi ikatan struktur kimia dari selulosa mikrobial nata de soya yang dihasilkan. Tinggi rendahnya spektrum transmisi FTIR pada suatu bilangan gelombang tertentu menunjukkan kuantitas dari selulosa mikrobial. Pengukuran intensitas spektrum transmisi di sini menggunakan selulosa mikrobial nata de soya murni tanpa campuran sehingga perbedaan tinggi rendahnya spektrum transmisi yang didapat dikarenakan adanya perbedaan ketebalan cuplikan.



Gambar 4.9. Kurva transmisi FTIR selulosa mikrobial untuk waktu fermentasi 5, 7, 10 dan 15 hari

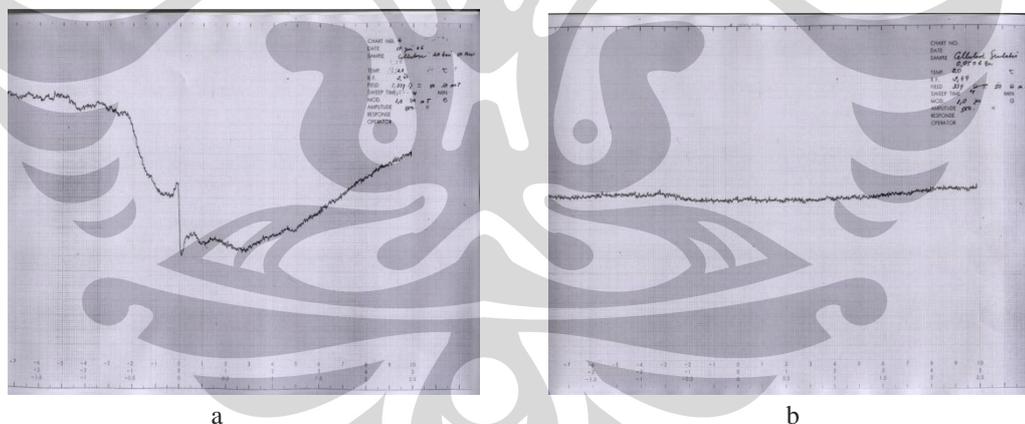
Kurva intensitas transmisi dari hasil analisis FTIR (Gambar 4.10) memperlihatkan dengan adanya penambahan iodium terjadi perubahan intensitas dari pola spektrum transmisi. Pada penambahan iodium 1 % berat terdapat gugus OH pada bilangan gelombang  $3288.4\text{ cm}^{-1}$ , gugus ikatan hidrogen pada bilangan gelombang  $2910,2\text{ cm}^{-1}$ , gugus C-H alkana pada bilangan gelombang pada bilangan gelombang  $1522,9\text{ cm}^{-1}$ , gugus C-O eter pada bilangan gelombang  $1321,0\text{ cm}^{-1}$ , dan gugus alkohol pada bilangan gelombang  $1080,3\text{ cm}^{-1}$ . Dibanding dengan selulosa mikrobial nata de soya murni maka selulosa mikrobial yang didoping dengan iodium mengalami pergeseran bilangan gelombang spektrum transmisi yaitu pada gugus OH dan C-H. Keadaan ini menunjukkan terjadi perubahan energi vibrasi pada gugus tersebut. Pergeseran bilangan gelombang spektrum transmisi disini dikarenakan adanya penyusupan atau pemutusan rantai ikatan pada gugus OH dan gugus C-H pada selulosa mikrobial nata de soya.



Gambar 4. 10. Pola transmisi FTIR dari nata de soya (a) murni, (b). Setelah mengalami doping iodium 1 % berat

#### 4.5 Analisis Spektrum Electron Spin Resonance

Spektrum yang terjadi pada ESR dapat dipergunakan untuk menerangkan adanya radikal bebas, di mana terdapat ion yang tidak berpasangan atau adanya pemutusan ikatan struktur kimia pada polimer akibat perlakuan pada proses pembuatan material. Pengamatan pada selulosa mikrobial nata de soya disesuaikan dengan penggunaan bahan organik yaitu menggunakan medan magnet  $334 \pm 50$  mT, RF = 9,44 GHz pada suhu  $20$  °C. Dari hasil pengamatan diketahui selulosa mikrobial nata de soya terdapat spektrum yang menunjukkan adanya radikal bebas sedangkan pada selulosa sintetis murni Toyoroshi tidak terlihat adanya spektrum yang menunjukkan adanya radikal bebas (Gambar 4.11). Radikal bebas disini kemungkinan terjadi karena ketidak teraturan susunan kristal sehingga terjadi ion yang tidak berpasangan atau adanya gugus rantai karbon yang terputus dari selulosa mikrobial nata de soya. Dengan adanya radikal bebas pada selulosa mikrobial nata de soya dimungkinkan material hasil fermentasi dari *whhey* tersebut dapat menghantarkan muatan ( mengalirkan arus listrik).

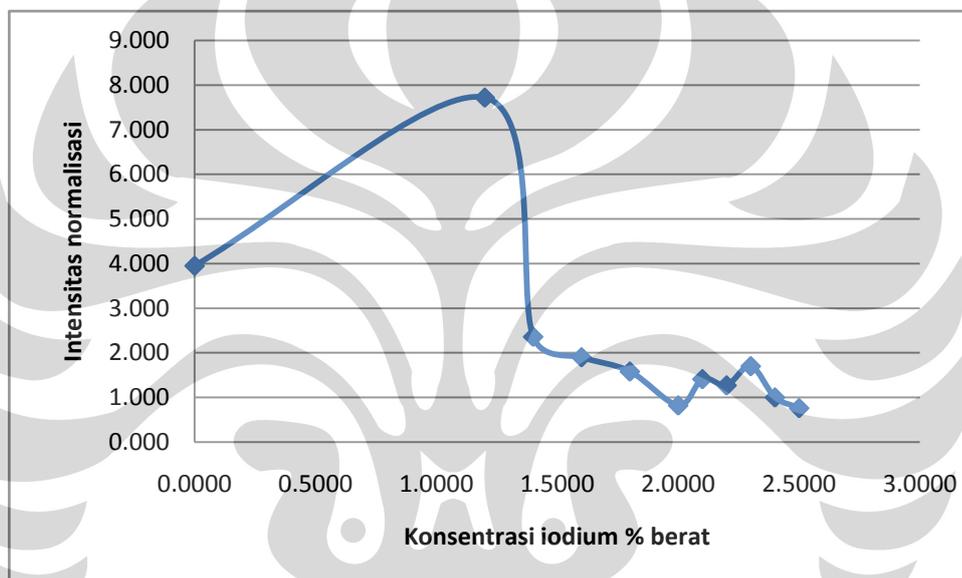


Gambar 4.11. Pola radikal bebas dari (a) selulosa mikrobial dan (b) selulosa murni Toyoroshi.

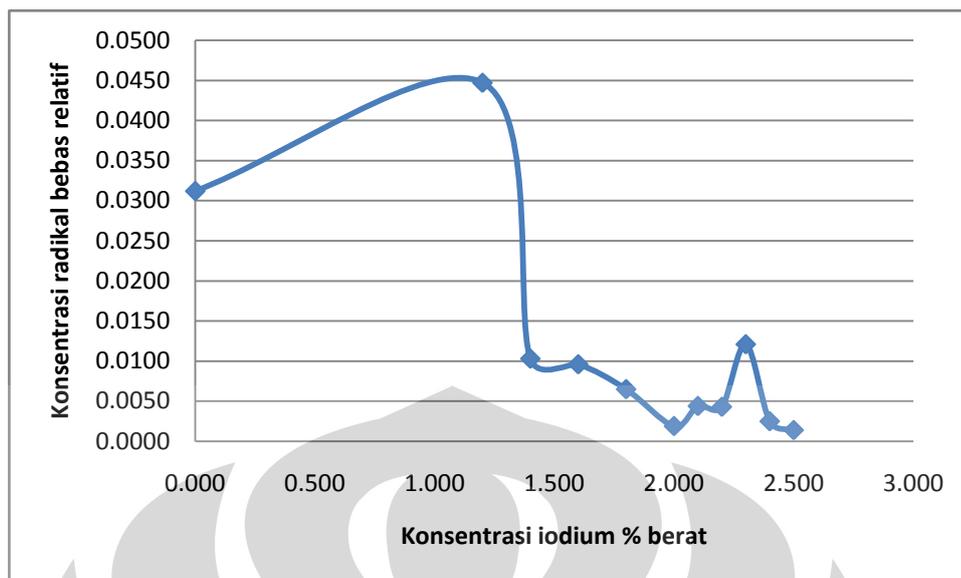
Dari hasil pengamatan analisis dengan ESR pada selulosa mikrobial nata de soya akibat penambahan unsur iodium terlihat terjadi perubahan pola spektrum yang mengidentifikasi terjadi perubahan radikal bebas relatif. (Gambar 4.12

**UNIVERSITAS INDONESIA**

dan Gambar 4.13). Disini diperlihatkan nilai dari radikal bebas relatif selulosa mikrobial saat ditambah iodium 1 % berat naik dibandingkan sebelumnya. Tetapi nilai radikal bebas relatifnya menurun dengan penambahan iodium diatas 1 % berat. Diambil nilai radikal bebas relatif karena tidak ada cuplikan standart yang dapat dipergunakan untuk menghitung radikal bebas yang ada, sehingga pengukuran dilakukan dengan menggunakan nilai relatif terhadap cuplikan yang ada dengan membandingkan normalisasi intensitas yang terjadi.



Gambar 4.12. Kurva antara intensitas normalisasi dengan konsentrasi *dopant* iodium pada selulosa mikrobial nata de soya



Gambar 4.13. Kurva konsentrasi radikal bebas relatif dengan konsentrasi *dopant* iodium pada selulosa nata de soya

Terjadi perubahan radikal bebas relatif disini menunjukkan adanya perubahan ion bebas relatif pada selulosa mikrobial nata de soya yang mengakibatkan perubahan resistivitas listrik pada bahan. Makin besar penambahan unsur iodium pola spektrum semakin kecil. Disini tidak terlihat adanya pola yang membalik seperti pada pola spektrum difraksi sinar X atau pada pengukuran resistivitas listrik saat penambahan unsur iodium di atas 2,1 % berat pada selulosa mikrobial nata de soya.

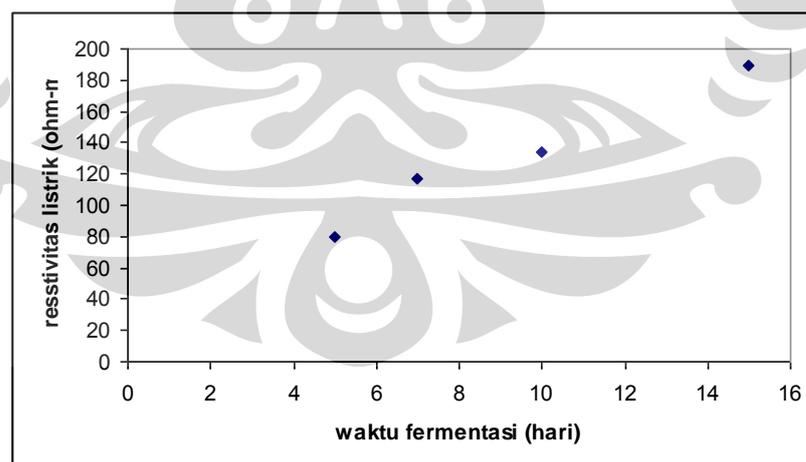
#### 4.6 Analisis Konduktivitas Listrik

Pengamatan menggunakan *four point probe* pada arus listrik searah (DC) dapat dibuktikan bahwa selulosa mikrobial nata de soya pada suhu kamar dapat menghantarkan muatan. Hasil pengamatan dari selulosa mikrobial nata de soya dengan variasi waktu fermentasi didapatkan nilai resistivitas listrik berkisar antara 80 ohm-m sampai dengan 190 ohm-m. Nilai resistivitas listrik dari selulosa mikrobial nata de soya bertambah besar dengan makin lama waktu fermentasi

UNIVERSITAS INDONESIA

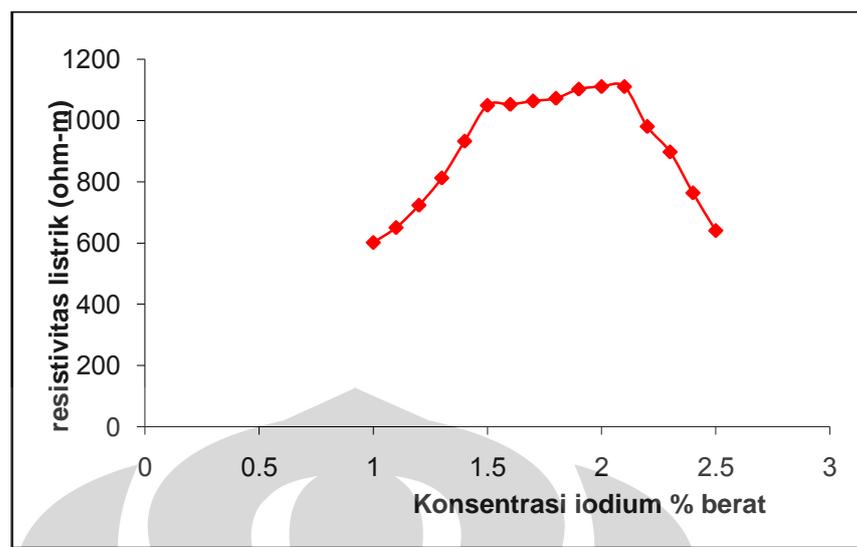
yang dilakukan terhadap *whey* (Gambar 4.14). Keadaan ini terjadi karena proses fermentasi pada media terus berlangsung sehingga rantai ikatan antara selulosa mikrobial terus terjadi dan menjadikan daerah non kristalin bertambah. Setelah 10 hari fermentasi nilai resistivitas listrik masih naik dan ini kemungkinan terjadi adanya jamur yang merusak material. Keadaan ini dikarenakan setelah waktu fermentasi 10 hari media sudah habis dan membran hasil fermentasi masih dalam keadaan lembab sehingga mudah terkontaminasi dengan jamur.

Pada dasarnya selulosa atau polimer merupakan material yang susah menghantarkan muatan atau isolator. Tetapi untuk selulosa mikrobial disini pada suhu kamar dapat menghantarkan listrik. Menurut Nishiyama (2002) ikatan gugus hidrogen pada struktur kristal Gambar 2.1 merupakan ikatan gugus yang paling rendah sehingga ion hidrogen mudah putus atau lepas. Maka dapat diartikan bahwa yang bergerak di dalam material ini adalah ion hidrogen yang bebas bergerak pindah diantara ikatan pada gugus OH dan gugus C-H. Keadaan ini dimungkinkan karena ion hidrogen merupakan ion ringan yang mudah bergerak pindah dari ikatan rantai satu ke rantai satunya bila dipengaruhi medan listrik dari luar.



Gambar 4.14. Kurva resistivitas listrik selulosa mikrobial untuk waktu fermentasi 5, 7, 10 dan 15 hari.

Pengukuran resistivitas listrik selulosa mikrobial nata de soya dengan menggunakan four point probe menunjukkan perubahan nilai resistivitas listrik dari selulosa mikrobial nata de soya akibat adanya penambahan unsur iodium. Keadaan ini sesuai dengan pengamatan spektrum emisi pada FTIR dengan terjadinya perubahan energi vibrasi pada ikatan gugus OH dan C-H setelah selulosa mikrobial ditambah unsur iodium. Makin besar penambahan unsur iodium pada selulosa mikrobial nata de soya nilai resistivitas listrik naik maksimum terjadi pada penambahan iodium sebesar 2,1 % berat dan setelah penambahan iodium 2,1 % berat nilai dari resistivitas listrik menurun. Keadaan ini mirip dengan spektrum pola difraksi sinar-X akibat penambahan iodium pada selulosa mikrobial nata de soya. (Gambar 4.15) Kenaikan nilai resistivitas listrik dikarenakan jarak antar bidang kisi makin kecil dan derajat kristalinitas selulosa mikrobial makin besar sehingga mempersulit pergerakan dari ion hidrogen didalam material. Pada penambahan iodium di atas 2,1 % berat terjadi penurunan resistivitas listrik karena jarak antar bidang kisi membesar dan derajat kristalinitas turun dan ini menyebabkan pergerakan ion hidrogen lebih mudah. Dengan penambahan iodium di sini tidak otomatis yang bergerak di dalam material adalah ion iodium karena untuk memindahkan ion iodium dari rantai satu ke rantai yang lain memerlukan potensial yang besar atau suhu yang cukup tinggi. Karena penelitian ini dilakukan pada suhu kamar maka yang bergerak berpindah masih tetap ion hidrogen karena jari-jari ion dan massa hidrogen jauh lebih kecil dan lebih ringan dibandingkan ion iodium. Keadaan ini juga didukung oleh pengukuran setiap cuplikan dengan menggunakan waktu cukup lama tidak terjadi perubahan pengukuran yang menurun (*transien*) seperti pada ion suatu unsur. Di samping itu juga didukung oleh *persamaan (2.8)* di mana kerapatan arus total untuk setiap ion tergantung pada energi bebas Gibbs.

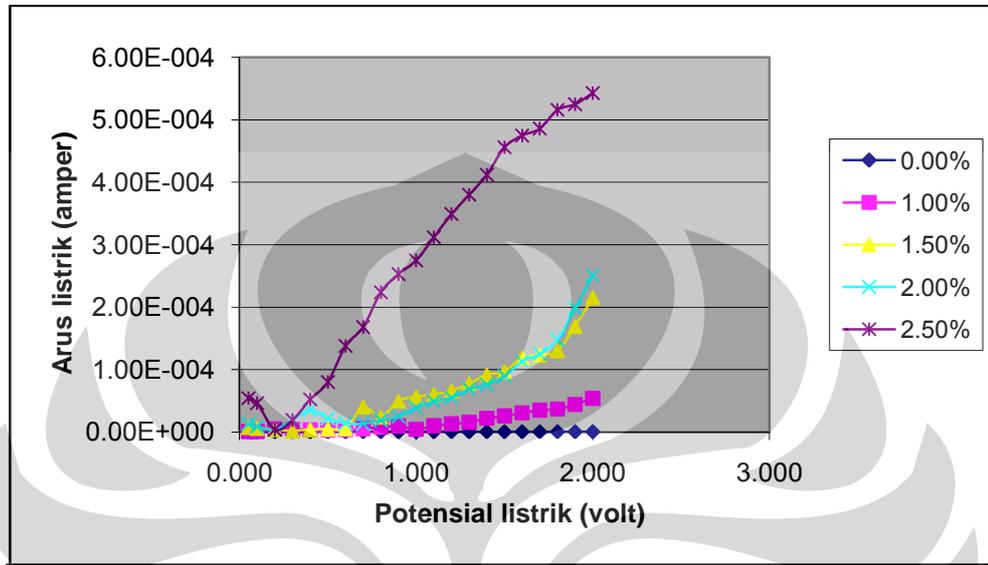


Gambar 4.15. Kurva nilai resistivitas listrik terhadap doping yodium pada nata de soya dalam % berat

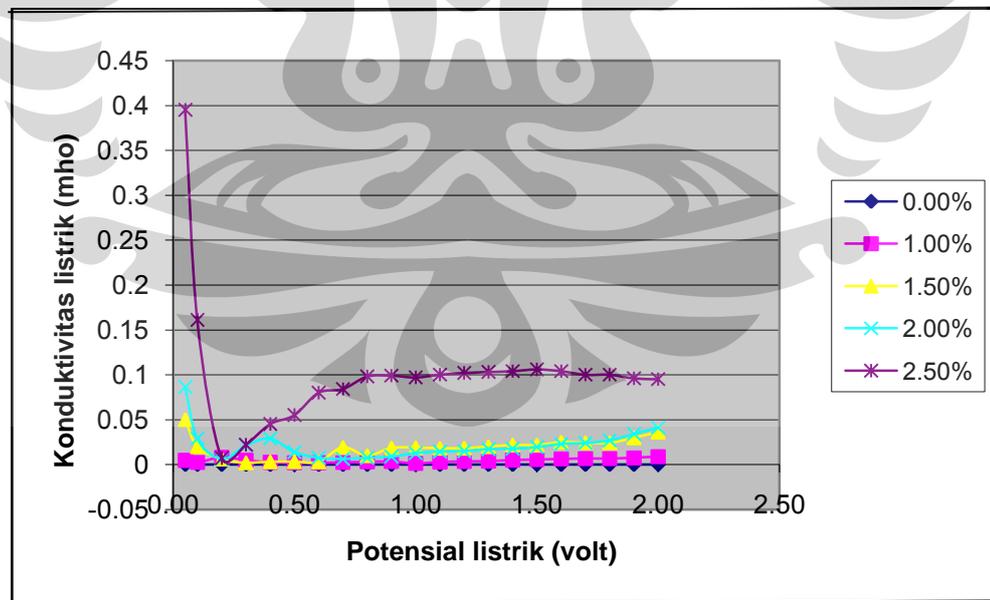
Analisis konduktivitas listrik dengan menggunakan instrumen RLC pada selulosa mikrobial nata de soya dilakukan menggunakan arus listrik searah (DC) dan arus listrik bolak-balik (AC) didapatkan nilai konduktivitas listrik berbeda untuk setiap penambahan unsur iodium yang berbeda. Pada pengukuran arus listrik searah menggunakan beda potensial 0.05 – 2.0 volt didapatkan nilai konduktivitas listrik mula-mula turun, setelah beda potensial sekitar 0.5 volt nilai konduktivitas listrik naik dan mulai stabil setelah beda potensial diatas kira-kira 0,7 volt ( Gambar 4.16 dan Gambar 4.17). Pada pengukuran arus listrik yang berubah-ubah menggunakan beda potensial 2.0 volt dengan frekuensi antara 50 Hz sampai dengan 1 Mhz. Dari pengamatan nilai resistivitas listrik pada selulosa mikrobial nata de soya hampir tidak terjadi perubahan yang berarti setelah mendapatkan penambahan unsur iodium (Gambar 4.18). Tetapi untuk selulosa mikrobial nata de soya hasil fermentasi murni menunjukkan penurunan yang cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa konduktivitas listrik dari selulosa nata de soya setelah mengalami penambahan unsur iodium tidak dipengaruhi oleh frekuensi dari arus listrik yang diberikan. Keadaan ini dapat dikatakan bahwa konduktivitas listrik disini hanya dipengaruhi oleh resistivitas listrik selulosa

**UNIVERSITAS INDONESIA**

mikrobal dengan kata lain pada material ini pengaruh reaktansi kapasitif dan reaktansi induktif hampir tidak ada.

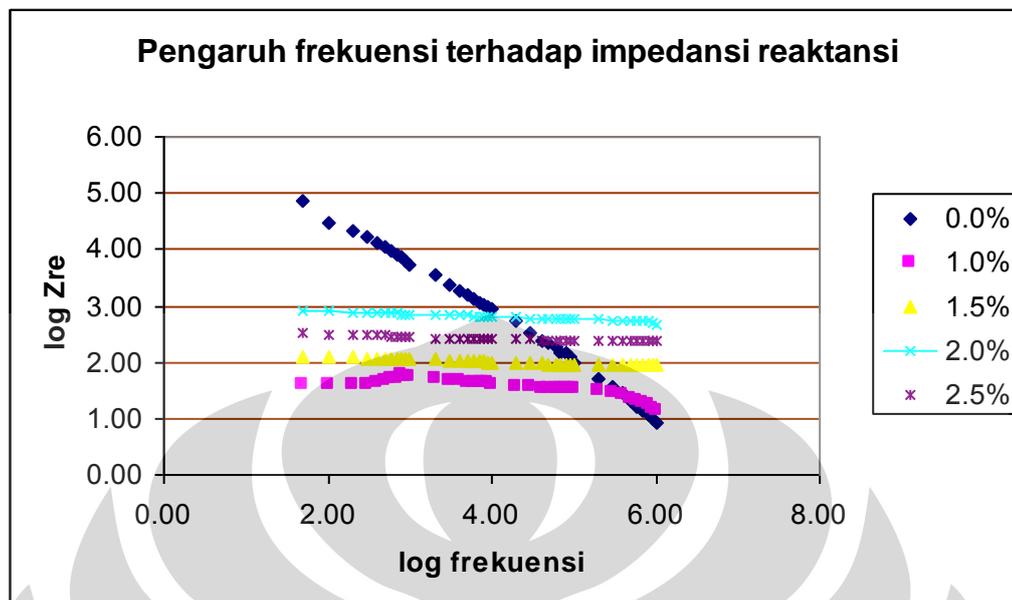


Gambar 4.16. Kurva hubungan arus listrik dengan potensial listrik pada selulosa mikrobal nata de soya setelah mengalami penambahan iodium pada DC



Gambar 4.17. Kurva hubungan potensial listrik dan konduktivitas listrik pada selulosa mikrobal nata de soya setelah mengalami penambahan iodium

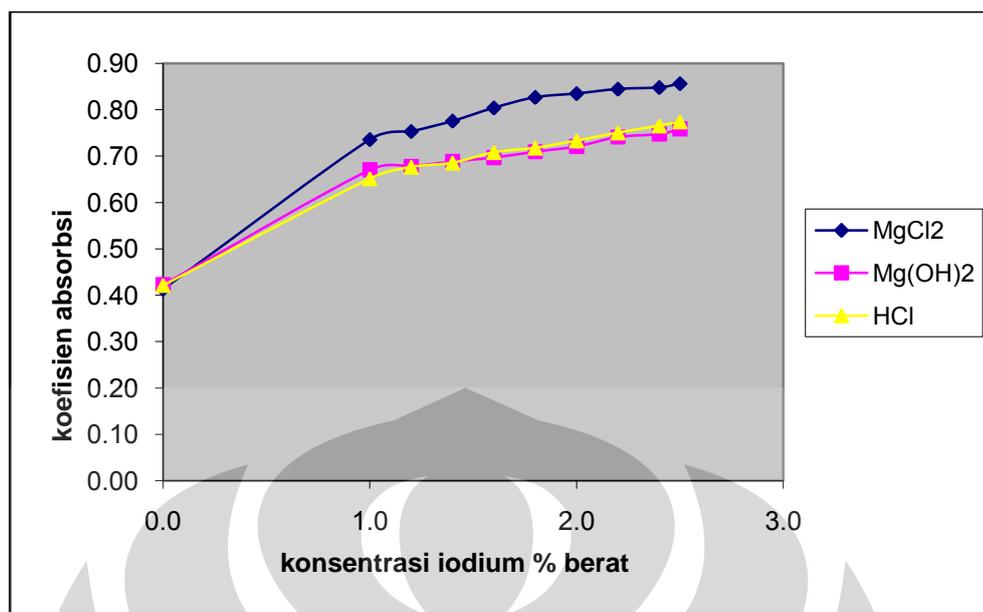
**UNIVERSITAS INDONESIA**



Gambar 4.18. Kurva hubungan frekuensi listrik dengan impedansi nata de soya

#### 4.7 Analisis Absorpsi terhadap Larutan Limbah

Pengaruh penambahan iodium kedalam selulosa mikrobial nata de soya untuk pemurnian suatu limbah asam, basa dan garam menggunakan bubuk selulosa nata de soya ukuran 50 mesh sebanyak 10 gram dibuat membran. Cairan atau larutan yang dilewatkan sebanyak 100 CC dengan konsentrasi larutan tertentu. Hasil pengukuran konduktivitas listrik dari larutan sebelum dan sesudah melalui absorber memperlihatkan terjadi penurunan konduktivitas listrik dari larutan setelah melewati selulosa mikrobial nata de soya. Makin besar konsentrasi doping iodium pada selulosa mikrobial nata de soya makin besar pengurangan konduktivitas listrik dari cairan setelah melewatinya. Pada polutan larutan garam  $MgCl_2$ , asam  $HCl$  dan basa  $Mg(OH)_2$  didapatkan nilai absorpsi polutan yang hampir sama. Konsentrasi doping iodium antara 1.0 – 2.5 % berat pada selulosa mikrobial nata de soya menghasilkan nilai absorpsi untuk larutan  $MgCl_2$  antara 75,4 – 85,8.6 %, untuk larutan  $Mg(OH)_2$  antara 71,8 – 78.8 % dan untuk larutan  $HCl$  antara 61,6 – 75,4 % (Gambar. 4.19)



Gambar 4.19. Kurva hubungan koefisien absorpsi selulosa mikrobial nata de soya dengan berbagai *dopant* iodium terhadap garam MgCl<sub>2</sub>, basa Na(OH)<sub>2</sub> dan asam HCl.

Adanya sifat konduktivitas listrik pada suatu cairan menunjukkan bahwa ada suatu polutan pada cairan tersebut. Terjadi pengurangan nilai konduktivitas listrik cairan setelah melalui selulosa mikrobial nata de soya menunjukkan bahwa bahan selulosa mikrobial nata de soya dapat dipergunakan untuk menjernihkan suatu limbah cair dari garam MgCl<sub>2</sub>, basa Mg(OH)<sub>2</sub> dan asam HCl. Dari Gambar 4.18 koefisien absorpsi pada larutan garam MgCl<sub>2</sub> paling besar dari pada kedua larutan yang lain.

Hasil analisis selulosa mikrobial nata de soya terhadap kuat tarik, derajat kristalinitas, dan resistivitas listrik, untuk waktu fermentasi berbeda pada Tabel 4.3 dapat di pergunakan untuk menerangkan mengapa dipilihnya sintesa hasil fermentasi 10 hari yang di *doping* dengan iodium. Pada lama waktu fermentasi 10 hari kuat tarik dari membran mencapai nilai maksimum dan ini penting untuk proses manufaktur selanjutnya di samping itu juga dari segi ekonomi dihasilkan membran yang paling maksimum dalam ketebalan dan massa.

UNIVERSITAS INDONESIA

Tabel 4.3 Hubungan waktu fermentasi terhadap resistivitas listrik, kekuatan tarik, derajat kristalinitas nata de soya

Waktu fermentasi (hari)	Kuat tarik (kgf/cm <sup>2</sup> )	Derajat kristalinitas (%)	Resistivitas listrik (ohm-m)	Massa basah (g)
5	462	31,71	80	198,1
7	678	33,16	117	277,9
10	819	45,00	136	445,7
15	663	27,95	189	389,0

Hasil analisis dari selulosa mikrobial nata de soya setelah mengalami penambahan iodium dengan berbagai konsentrasi dari Tabel 4.4 terjadi perubahan pada struktur ikatan gugus kimia, derajat kristalinitas, resistivitas listrik serta kemampuan mengabsorpsi larutan polutan garam  $MgCl_2$ , basa  $Mg(OH)_2$  dan asam HCl. Nilai resistivitas listrik turun setelah didoping iodium 2,1 % berat dan ini menunjukkan ada kenaikan nilai konduktivitas listrik dan mungkin nilai konduktivitas listrik akan naik lagi bila dilakukan penambahan iodium dengan konsentrasi yang lebih besar. Perubahan nilai resistivitas di sini didukung dengan pengamatan yang lain (derajat kristalinitas, Log Ze dan radikal bebas relatif) pada membran selulosa mikrobial nata de soya.

Tabel 4.4 Pengaruh penambahan iodium terhadap resistivitas listrik, radikal bebas relatif, kristalinitas, absorpsi MgCl dan ikatan gugus C-H dan C-OH dari nata de soya

Iodium %	$\rho$ omh-m	Radikal bebas relatif	Kristalinitas %	Log Ze	Abs. thd MgCl <sub>2</sub> %	Pola FTIR
0,0	138	312	45,00	0,93	41	Standart
<b>1,0</b>	<b>601</b>	<b>447</b>	<b>51,15</b>	<b>1,12</b>	<b>74</b>	Bergeser gugus C-H dan OH
1,1	650					
1,2	723	447	54,32			
1,3	812					
1,4	932	103			78	
1,5	1049		57,48	1,93		
1,6	1052	96			80	
1,7	1063		60,01			
1,8	1072	65			83	
1,9	1102					
2,0	1110	19	65,24	2,68	83	
<b>2,1</b>	<b>1120</b>	<b>44</b>	<b>67,03</b>			
2,2	980	43	64,85		84	
2,3	897					
2,4	763	25			85	
2,5	640	14	64,08	2,37	86	

Untuk kemampuan mengabsorpsi makin besar konsentrasi iodium di dalam selulosa mikrobial nata de soya makin besar. Disini dapat dilihat bahwa kemampuan untuk mengabsorpsi larutan polutan garam lebih baik dari pada basa dan asam.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil Penelitian mengenai sintesa selulosa dari bahan *whey* dan analisis hasil sintesa selulosa mikrobial nata de soya hingga mengalami penambahan unsur iodium dapat disimpulkan bahwa :

- a. Pada proses sintesa, lama waktu fermentasi *whey* dengan *Acetobacter xylinum* mempengaruhi kekuatan tarik membran, derajat kristalinitas, resistivitas listrik, tetapi tidak mempengaruhi struktur kristal serta ikatan gugus karbon pada selulosa mikrobial nata de soya.
- b. Penambahan unsur iodium pada selulosa mikrobial nata de soya menyebabkan terjadi perubahan resistivitas listrik yang disebabkan karena terjadi perubahan pada derajat kristalinitas, perubahan ikatan gugus C-H dan OH dari struktur ikatan polimer, serta mempunyai nilai resistivitas maksimum pada penambahan iodium 2,1% berat. Nilai resistivitas dari material ini hampir tidak dipengaruhi oleh frekuensi arus listrik.(50 Hz – 1 MHz)
- c. Konsentrasi unsur iodium di dalam selulosa mikrobial nata de soya mempengaruhi kemampuan absorpsi material terhadap larutan polutan garam  $MgCl_2$ , basa  $Mg(OH)_2$ , dan asam HCl. Makin besar konsentrasi iodium makin besar pula kemampun untuk mengabsorpsi polutan tersebut.

Penelitian di atas penulis menyarankan untuk dilanjutkan karena membran selulosa ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk pemakaian peralatan yang menggunakan membran polimer elektrolit atau sebagai membran untuk absorpsi beberapa jenis limbah larutan kimia

## DAFTAR ACUAN

- Adisarwanto. T. (2005). *Kedelai*, Penebar Swadaya, Jakarta
- Abbas Razaee, Hattan Godini, Hossein Bakhtou, (2008), *Mikrobal cellulose as support material for the immobilization of denitrifying bacteria*, Environmental Engineering and management Journal Vol 7, No 5, 589 – 594.
- Albert Mihranyan, (2005) *Engineering of native cellulose structure for pharmaceutical application*, Universitatis Upsalienses, Upsala .
- Alexander Despotuli at all, (2007) *High-capacity capacitors for 0.5 voltage nanoelectronics of the future*, Journal Modern Electronics No 7, 24-29, Russian
- Antoinette C. O'Sullivan, (1997), *Cellulose: the structure slowly unravels*, Cellulose , 4, 173-207
- A. Retegi, N. Gabilondo, C.Petia, R. Zuraga, I. Mondragon,(2010) *Bacterial cellulose film with controlled microstructure-mechanical property relationship*, Spinger Science+Busines Media, Cellulose , 17;661-669
- Khairul Basar. (31 Juli 2007). *Konduktor Superionik, Teknologi di Balik Baterai Isi Ulang*. 25 Oktober 2008. [http:// netsains.com/2007/07/ konduktor-superionik-teknologi-di-balik-baterai-isi-ulang/](http://netsains.com/2007/07/konduktor-superionik-teknologi-di-balik-baterai-isi-ulang/)
- Blaney, et al.(1994). *Absorbent Structure Comprising a Microbial Polysaccharide and a Process of Making The Same*, United State Patent Office No. 5.580.348.
- Brady, J. E, 1994, *General Chemistry : Principles and Structures*, 5<sup>th</sup> , ed. John Welly & Son

**UNIVERSITAS INDONESIA**

Brown, Jr. R. M. (1979) *Biogenesis of natural polymer systems, with special reference to cellulose assembly and deposition*. Proceedings of the Third Phillip Morris U.S.A. Operations Center. Richmond, Virginia, November 1978. pp. 50-123.

Brown. R. M. Jr. 1989. "*Bacterial Cellulose*" *In Cellulose Structure and Functional Aspect*, Ed Kennedy, Phillips & William, Ellis Horwood Ltd.

Chee Lip Chew, (2005), *Kajian Kekonduksian Ionik Terhadap Adunan Elektrolit Polimer PVC-Getah Asli Terepoksi dan PVDF-Getah Asli Terepoksi*, Fakulti Sains. Universiti Teknologi Malaysia.

Chung Chin Liu and Zhihong Jin, (1997), *Applications of Micro fabrication and Micromachining Techniques to Biotechnology*, Biotechnologi volume 15 N0. 6(161) 213- 216.

David Linden.(1995). *Handbook of Batteries, 2nd Ed.*, New York : McGraw-Hill. 36.13-36.17.

Danuta Ciechariska,(1997) *Multifungional bacterial cellulose/ chitosan composite material for medical application*, Institut of Chemical Fibre

Djonaedi Saleh<sup>1</sup>, Budhy Kurniawan and Nurul Asni. (2007), *Electrical and Mechanical characteristic from nata de soya by time of fermentation*, Sym A, ICMAT , Singapore.

Djonaedi Saleh<sup>2</sup>, Elly. (2009). *Sifat konduktivitas listrik selulosa microbial nata de soya dengan doping kalium*. Seminar Nasional MIPAnet, Bali..

Djumali Mangunwidjaja, Ani Suryani (1994), *Tenologi bioproses*, PT Penebar Swadaya, Jakarta.

- Evans, Barbara R. O'Neill, Hugh M, Jansen, Valerie Malyvanh Woodward, Jonathan. (2006), *Metallization of bacterial cellulose for electrical and electronic device manufacture* United States Patent 6986963.
- Fahmi Amhar, (2008) *Mencari Teknologi Ramah Lingkungan*. Fahmi@Multiply. Bakosurtanal.
- Fred W. Billmeyer, Jr. (1971), *Text Book of Material Science*. John Wiley & Sons, New York.
- Fumio Tanaka and Tadahisa Iwata,(2006), *Estimation of the elastic modulus of cellulose crystal by molekul mechanics simulation*, Journal Cellulose Vol 13, No 5 .
- Gray, F.M. (1987). *Polymer Electrolyte Review*. London: Elsevier Applied Sciences. 139-172.
- Haim Aviv and Philip Leder,(1972) *Purification of biologically active globin messenger RNA by chromatography on oligothymidilic acid-cellulose*, Proceeding Nat. Acad. Sci USA Vol 69 No 6 1408-1412.
- Harris, Jeremy J, Serafica, Gonzalo, Damien, Christopher J, Nonnenmann, Heather R.(2007) *Oxidized Microbial Cellulose and use thereof P*, United States Patent 2007106251 20070920
- Hei Chan Lee,(1999) *Reduced Production of Micobial cellulose caused by aggregation of acetobacter xylinum under shaking culture condition-observation by scanning electron microscope*, Applied Chemistry, Vol 1, No 2, 92-96
- H.J. Walls, Jian Zhou, Jeffrey A. Yerian,(2000) *Fumed silica-base composite polymer electrolyte; synthesis, rheology, and electrochemistry*, Elsevier, Journal of power sources, 89, 156-162.

- Iguchi, et al. (1986), *Bacterial Cellulose, Containing Molding Material Having High Dynamic Strength*. United State Patent Office No. 4.742.1
- James A. Jacobs, Thomas F. Kilduff., (1997), *Engineering Material Technology. Structures, Processing, Properties and Selection*. Prentice Hall, New Jersey, Columbus, Ohio.
- J.Y.Song, Y.Y. Wang, C.C.(1999) Wan, *Review of gel-type polymer electrolytes for lithium-ion batteries*, Elsevier, Journal of Power Sources, 77, 183-197
- Kristina Gelin, et al, (n.d.) .*Characterisation of water in Bacterial Cellulose using dielectric spectroscopy and electron microscopy*. Article in Press.
- Kuan Chen Cheng, Jeff M Catemark, Ali Demicri, (2009) *Enhanced production of bacterial cellulose by using a biofilm reactor and its material property analysis*, Journal of Biological Engineering,
- Lee R.Lynd, Paul J. Weimer, Willem H. Van Zyl and Isak S. Pretorius, (2002) *Mikrobal cellulose utilization; Fundamentals and Biotechnology*, Microbiology and molecularbiology reviews.
- Leger, Janelle M. (2005). *Electrochemical Doping and the Optical Properties of Light-Emitting Polymer Materials and Devices*. Santa Cruz : University of California.
- Linaya, C and H. Sangkanparan, (1982), *The treatment of soybean by ultrafiltration using locally produced polyimide membrane*. Prosedings of The second ASEAN Workshop on membran Tecnology, ASEAN- Committee on Science and Tech, Bangkok, Thailand
- M.Rikukawa, K. Sanui, (2000), *Proton-conducting polymer electrolyte membranes based on hydrocarbon polymers*, ELSEVIER, Progres Polymer Science , 25, 1463-1502

**UNIVERSITAS INDONESIA**

- Nicholas P. Cheremisinoff, (1996), *Polymer Characterization Laboratory Techniques and Analysis*, Noyes Pub, Westwood, New Jersey.
- Pranshant R.Chawla, Iswar B. Bajaj, Shrkant A.Survase and Rekha S. Singhal, (2009) *Microbial cellulose; Fermentative Production and Application*, Food Technol, Biotechnol, 47 (2) 107-124
- PS Panesar, YU Chavan, MB Bara, O Chand, H Kumar,(2009) *Evaluation of acetobacter strain for the production of microbial cellulose*, Asian Journal of Chemestri Vol 21, No 100,
- R Chandra, Renurustgi, (1998), *Biodegradable Polymer*, Dept of Polymer Technology and Applied Chemistry, Delhi College of Engineering, India.
- R. H. Pelton, (2004) *Electrolyte effects in the adsorption and desorption of a cationic polyacrylamide on cellulose fibers*, Pulp and Paper Research Institute of Canada, Quebec, H9R 3J9, Canada.
- Riikka Makki-Onito, Karinde Moel, at all, (2002) *Tridirectional protonic conductivity in soft material*, Wiley-VCH Verlag GmbH, Advan Material Vol 14, No 5.
- Saleh Djonaedi and Kurniawan Budhy, (2008), *The Influence of Doping Iodine in Crystal Structure and Electrical Resistivity of Organic Semiconductor From Microbial Cellulose Nata de Soya*, International Conference Young Chemistry, Penang , Malaysia.
- S. F. Sun, (2004), *Physical Chemistry of Macromolecule, Basic Principles and issues*, Second edition, John Welley & Son.
- Sherif M.A.S. Keshk and Kazuhiko Samesshima, (2005), *Evaluation of different carbon sources for bacterial cellulose production*, African Journal of Biotechnology Vol 4(6),478-482,

- Sidirjo, S. T. 1996, *Sellulosa Bakteri Sebagai alternatif Sumber Serat Di dalam Berita selulosa*. Vol. XXXII. No 3
- Shulz H, (1982), *Crystal structures of fast ion conductors*, Annual Review of Material Science. Vol 12, 351-376
- T.E. Spinger, T.A. Zowodzinski, S. Gottesfeld, (1999), *Polymer Electrolyte fuel cell model*, Journal Electrochem.Soc ,Vol 138, No 8.
- West, Anthony R. (1984). *Solid State Chemistry and Its Applications*. Aberdeen: John Wiley & Sons Ltd.
- Winarno, FG (2002), *Pangan, Gizi, Teknologi dan Konsumen*, PT Gramidia Pustaka Utama, Jakarta
- Wojciech Grzaja, Dwight Romanovica and R M Brown Jr. (2004), *Structural investigation of microbial cellulose produced in stationary and agitated culture*, Kluwer Academic Publisher, Netherland
- Wojciech Grzaja, Alina Krystynowicz, Stanislaw Bielecki, R.Malcolm Brown Jr, (2006), *Microbial cellulose- the natural power heal wounds*, ELSEVIER Biomaterial 27, 145-151
- Winarno, F. G, (2002), *Produksi Tahu Cina Tradisional*. MBRIO, Bogor
- Yoshiharu Nishiyama, Paul Langan, and Henri Chanzy, (2002), *Crystal Structure and Hydrogen-Bonding System in Cellulose I $\beta$  from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction*, J. Am. Chem. Soc., 124 (31), pp 9074–9082
- Zhijiang Cai and Jaehwan Kim, (2010), *Preparation and Characterization of Novel Bacterial Cellulose/Gelatin Scaffold for Tissue Regeneration Using Bacterial Cellulose Hydrogel*, J. Nanotechnol. Eng. Med. Volume 1, Issue 2,021002

## LAMPIRAN

Lampiran A. Massa selulosa mikrobial setelah dimurnikan dalam keadaan basah dan setelah kering dengan kadar air kurang dari 14% terhadap waktu fermentasi.

Waktu fermentasi (hr)	Massa basah rata-rata (g)	Massa kering Rata-rata (g)
5	198,10	14,00
7	277,90	17,60
9	416,20	18,90
10	445,70	19,35
11	444,30	19,03
13	421,69	16,30
15	389,00	10,80

Lampiran B. pengaruh waktu fermentasi terhadap ketebalan nata dan massa basah

Waktu fermentasi (hr)	Massa Kering (g)	Tebal basah (mm)
5	14,00	5,1
7	17,60	7,2
9	18,90	8,9
10	19,35	10,4
11	19,03	10,3
13	16,30	9,1
15	10,80	8,6

Lampiran C. Hubungan waktu fermentasi terhadap resistivitas listrik, kekuatan tarik, derajat kristalinitas nata de soya

Waktu fermentasi hari	Kuat tarik kgf/cm <sup>2</sup>	Kristalinitas %	Resistivitas omh-m
5	462	31,71	80
7	678	33,16	117
10	819	45,00	136
15	663	27,95	189

Lapiran D. Resistivitas listrik nata de soya setelah mengalami doping Iodium

Iodium % berat	Resistivitas listrik (Ohm-m)
1	601,45
1,1	650,37
1,2	723,21
1,3	812,37
1,4	932,37
1,5	1049,27
1,6	1052,37
1,7	1063,43
1,8	1072,39
1,9	1102,13
2	1110,43
2,1	1110,37
2,2	980,3
2,3	897,31
2,4	763,42
2,5	640,34

Lampiran E. Data Resistivitas listrik nata de soya setelah di doping iodium dengan arus searah menggunakan RLC intrumen.

Cuplikan No.	Tegangan (volt)	Arus listrik (amper)				
		0,00%	I %	I.5 %	2,00%	2,50%
1	0,05	6,80E-09	5,88E-07	9,39E-06	1,31E-05	2,62E-05
2	0,1	3,30E-09	7,35E-07	6,82E-06	9,05E-06	2,07E-05
3	0,2	5,00E-09	4,98E-06	4,29E-06	2,69E-06	3,98E-06
4	0,3	1,05E-08	9,54E-06	1,90E-05	1,94E-05	2,82E-05
5	0,4	1,75E-08	3,15E-06	3,83E-05	3,50E-05	5,20E-05
6	0,5	2,47E-08	3,02E-06	4,86E-05	4,05E-05	7,17E-05
7	0,6	3,15E-08	3,79E-06	5,46E-05	1,41E-05	1,40E-04
8	0,7	3,87E-08	5,39E-06	4,01E-05	1,36E-05	1,68E-04
9	0,8	4,59E-08	7,46E-06	3,97E-05	1,75E-05	2,00E-04
10	0,9	5,03E-08	9,72E-06	4,88E-05	2,63E-05	2,35E-04
11	1	6,04E-08	1,21E-05	6,58E-05	3,87E-05	2,71E-04
12	1,1	6,76E-08	1,01E-05	5,88E-05	5,41E-05	3,12E-04
13	1,2	7,51E-08	1,12E-05	6,58E-05	6,77E-05	3,49E-04
14	1,3	8,29E-08	1,44E-05	7,60E-05	6,77E-05	3,80E-04
15	1,4	9,12E-08	1,99E-05	8,86E-05	7,57E-05	4,12E-04
16	1,5	9,97E-08	2,66E-05	1,00E-04	8,90E-05	3,16E-04
17	1,6	1,08E-07	3,06E-05	1,14E-04	1,06E-04	3,43E-04
18	1,7	1,17E-07	3,17E-05	1,19E-04	1,28E-04	3,65E-04
19	1,8	1,25E-07	3,67E-05	1,30E-04	1,59E-04	3,86E-04
20	1,9	1,36E-07	3,73E-05	1,49E-04	1,97E-04	4,15E-04
21	2	1,48E-07	5,39E-05	2,99E-04	2,62E-04	4,43E-04