

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SELULOSA BAKTERIAL DARI  
LIMBAH CAIR TAHU : EFEK MEDIA PERENDAMAN TERHADAP  
STRUKTUR DAN SIFAT FISIK**

**SKRIPSI**

*Diajukan kepada Jurusan Kimia sebagai salah satu persyaratan guna  
memperoleh gelar Sarjana Sains*



**Oleh :**

**RANI KUSUMA**

**NIM. 1101508 / 2011**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2015**

PERSETUJUAN SKRIPSI

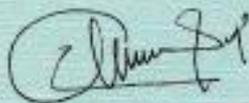
**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SELULOSA BAKTERIAL  
DARI LIMBAH CAIR TAHU : EFEK MEDIA PERENDAMAN  
TERHADAP STRUKTUR DAN SIFAT FISIK**

**Nama** : Rani Kusuma  
**NIM** : 1101508  
**Program Studi** : Kimia  
**Jurusan** : Kimia  
**Fakultas** : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2015

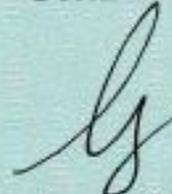
Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I



Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D  
NIP. 19720127 1997 1 002

Dosen Pembimbing II



Dr. Usman Bakar, M.Ed, St  
NIP. 19500422 197504 1 001

## HALAMAN PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

*Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Skripsi  
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang*

**Judul** : Pembuatan dan Karakterisasi Selulosa Bakterial dari  
Limbah Cair Tahu : Efek Media Perendaman terhadap  
Struktur dan Sifat Fisik

**Nama** : Rani Kusuma

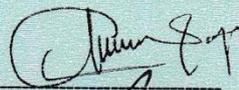
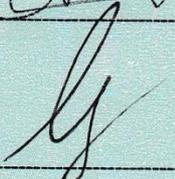
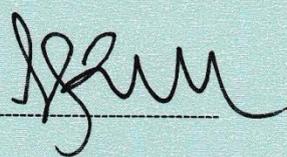
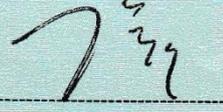
**TM / NIM** : 2011/1101508

**Program Studi** : Kimia

**Fakultas** : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2015

### Tim Penguji

No.	Jabatan	Nama	Tanda tangan
1.	Ketua	: Ananda Putra S.Si, M.Si, Ph.D	1. 
2.	Sekretaris	: Dr. Usman Bakar, M.Ed, St	2. 
3.	Anggota	: Drs. Zul Afkar, M.S	3. 
4.	Anggota	: Dra. Hj. Yustini Ma'aruf, M.Si	4. 
5.	Anggota	: Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D	5. 

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

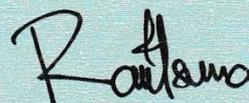
Nama : Rani Kusuma  
TM / NIM : 2011/1101508  
Tempat/Tanggal lahir : Payakumbuh/ 14 September 1993  
Program Studi : Kimia  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Alamat : Jl. Siti Hawa Dalam No. 53, Kel. Lubuk Buaya, Kec. Koto  
Tengah, Kota Padang Provinsi Sumatera Barat  
No. Hp/ Telpon : 082170489207  
Judul Skripsi : Pembuatan dan Karakterisasi Selulosa Bakterial dari Limbah  
cair Tahu : Efek Media Perendaman terhadap Struktur dan  
Sifat Fisik

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani **Asli** oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi

Padang , Agustus 2015  
Yang Membuat Pernyataan



Rani Kusuma  
NIM : 1101508

## ABSTRAK

**Rani Kusuma (2015) : Pembuatan dan Karakterisasi Selulosa Bakterial dari Limbah Cair Tahu : Efek Media Perendaman Terhadap Struktur dan Sifat Fisik**

Penelitian pengaruh konsentrasi media perendam NaOH dan NH<sub>4</sub>OH terhadap struktur dan sifat fisik selulosa bakterial dari limbah cair tahu telah dilakukan. Proses penelitian ini dimulai dari pembuatan selulosa bakterial dengan penambahan gula (SBG) dan tanpa penambahan gula (SBTG) yang difermentasikan dengan ketebalan minimal 0,5 cm. Selanjutnya, selulosa bakterial yang terbentuk direndam dalam NaOH dan NH<sub>4</sub>OH dengan variasi konsentrasi (0-20%) pada suhu kamar selama 24 jam dan suhu 85°C selama 2 jam. Kemudian dikarakterisasi struktur dan sifat fisiknya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SBG lebih tebal dari SBTG selama fermentasi. SBG dan SBTG diperlakukan dengan medium perendam NaOH 20% (w/v) pada suhu kamar selama 24 jam dan suhu 85°C selama 2 jam menunjukkan ketebalan SB mengalami penurunan yang relatif tinggi. Sedangkan penurunan ketebalan SBG dan SBTG relatif sama pada perlakuan perendaman dengan NH<sub>4</sub>OH (0%-20% (v/v)) pada suhu kamar selama 24 jam dan suhu 85°C selama 2 jam. Persentase kadar air (*water content*) dan derajat pengembangan (*swelling*) SBG dan SBTG pada perlakuan perendaman konsentrasi NaOH 20% terjadi penurunan drastis. Persentase kadar air dan derajat pengembangan relatif sama pada perlakuan perendaman NH<sub>4</sub>OH (0%-20%) pada suhu kamar selama 24 jam dan suhu 85°C selama 2 jam. Analisa spektra FTIR menunjukkan gugus fungsi yang terdapat pada SBG dan SBTG sama dengan gugus fungsi selulosa. Analisa difraktogram XRD menunjukkan derajat kristalinitas SBG dan SBTG pada perlakuan dengan NaOH 20 % pada suhu kamar selama 24 jam paling kecil (71,94% dan 68 %). SBTG perlakuan dengan NaOH 20 % pada suhu kamar selama 24 menunjukkan terjadinya perubahan selulosa I menjadi selulosa II. Derajat kristalinitas SBG dan SBTG perlakuan dengan larutan NH<sub>4</sub>OH 20% meningkat signifikan dari SBG tanpa diperlakukan dan tidak terjadi transformasi selulosa.

**Kata Kunci** : Limbah cair tahu, SB, ketebalan, kadar air, derajat pengembangan, FTIR dan XRD

## KATA PENGANTAR

Puji serta syukur kita ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis. Shalawat dan salam kita kirimkan untuk nabi besar Muhammad SAW yang telah memberikan tauladan dalam setiap aktivitas yang kita lalui, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **“Pembuatan dan Karakterisasi Selulosa Bakterial dari Limbah Cair Tahu : Efek Media Perendaman terhadap Struktur dan Sifat Fisik”**.

Skripsi ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan kelulusan dalam rangka untuk memperoleh Sarjana S-1 pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan, dan masukan yang berharga dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

1. Bapak Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D selaku pembimbing I.
2. Bapak Dr. Usman Bakar, M.Ed.St selaku pembimbing II dan penasehat akademik.
3. Ibu Dra. Hj. Yustini Ma'aruf, M.Si, Bapak Drs. Zul Afkar, M.S, dan Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D selaku penguji skripsi Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang
4. Ibu Dra. Andromeda, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.

5. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D selaku Ketua Prodi Kimia Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
6. Staf Akademik Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
7. Kedua Orang Tua penulis tercinta yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam melakukan setiap aktivitas penelitian.
8. Teman-teman prodi kimia angkatan 2011 yang telah memberikan masukan dan dorongan kepada penulis dalam pelaksanaan penelitian.
9. Pihak-pihak lainnya yang mendukung dan membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Untuk kesempurnaan skripsi yang telah penulis lakukan, maka dengan kerendahan hati penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari semua pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis haturkan terima kasih.

Padang, Agustus 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN .....	viii
DAFTAR SINGKATAN .....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Pembatasan Masalah .....	3
1.4 Perumusan Masalah .....	4
1.5 Tujuan Penelitian .....	5
1.6 Pertanyaan Penelitian .....	5
1.7 Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Limbah Cair Tahu .....	7
2.2 Selulosa .....	8
2.3 Selulosa Bakterial .....	12
2.4 <i>Acetobacter xylinum</i> .....	13
2.5 Karakterisasi Selulosa Bakterial .....	17
2.5.1 Karakterisasi Sifat Fisik SB .....	17
2.5.2 Karakterisasi struktur SB .....	18
BAB III METODE PENELITIAN .....	20
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	20
3.2 Objek Penelitian .....	20
3.3 Variabel penelitian .....	20
3.4 Bahan dan Peralatan .....	21
3.4.1 Bahan .....	21
3.4.2 Peralatan .....	21
3.5 Prosedur Penelitian .....	21
3.5.1 Pembuatan / Penyediaan Starter <i>A. xylinum</i> .....	21
3.5.2 Penyimpanan Medium .....	22
3.5.3 Pembuatan Selulosa Bakterial .....	22
3.5.4 Pemurnian Selulosa Bakterial .....	22
3.5.5 Karakterisasi Selulosa Bakterial .....	23

3.6	Desain Penelitian Secara Keseluruhan .....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		27
4.1	Ketebalan dan Pemurnian SBG dan SBTG dari Limbah Cair Tahu .....	27
4.2	Karakterisasi Selulosa Bakterial.....	28
4.2.1	Ketebalan SB.....	28
4.2.2	Kadar Air ( <i>water content</i> ) SB .....	32
4.2.3	Derajat Penggembungan ( <i>Sweling</i> ) SB .....	34
4.2.4	Analisa Struktur SB.....	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		45
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran .....	46
DAFTAR PUSTAKA .....		47
LAMPIRAN .....		51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Struktur molekul selulosa.....	8
2.2 Pengaturan rantai selulosa I $\beta$ dan I $\alpha$ .....	9
2.3 Transformasi selulosa menjadi berbagai polimorf.....	11
2.4 Intesitas pola difraksi versus sudut berbagai polimorf selulosa.....	11
2.5 Struktur SB.....	12
2.6 Struktur selulosa tanaman (kanan) dan SB (kiri) .....	13
2.8 Biosintesis selulosa .....	15
2.9 Skema pembentuknan nanofiber selulosa (a) Penampakan atas dan (b) Penampakan samping.....	16
4.2 Ilustrasi pengaruh konsentrasi media perendam terhadap SB.....	29
4.3 Ilustrasi terjadinya penyusutan SB dalam perlakuan NaOH.....	31
4.4 Grafik pengaruh konsentrasi NH <sub>4</sub> OH (%v/v) terhadap $\Delta t$ SB.....	32
4.5 Grafik pengaruh konsentrasi NaOH (%w/v) terhadap kadar air SB .....	33
4.6 Grafik pengaruh konsentrasi NH <sub>4</sub> OH (%v/v) terhadap kadar air SB .....	34
4.7 Grafik pengaruh konsentrasi NaOH (%v/v) terhadap derajat pengembangan SB .....	35
4.8 Grafik pengaruh konsentrasi NH <sub>4</sub> OH (%v/v) terhadap derajat pengembangan SB .....	36
4.9 Spektra FTIR pengaruh konsentrasi NaOH (%w/v) terhadap analisa gugus fungsi SB.....	38
4.10 Spektra selulosa standar .....	39
4.11 Spektra FTIR pengaruh konsentrasi NH <sub>4</sub> OH (%v/v) terhadap analisa gugus fungsi SB .....	40
4.12 Difraktogram X-ray pengaruh konsentrasi NaOH (%w/v) terhadap analisa struktur SB .....	42
4.13 Difraktogram X-ray pengaruh konsentrasi NH <sub>4</sub> OH (%v/v) terhadap analisa struktur SB .....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Komposisi gizi cair limbah tahu dalam 100 gr .....	8
2.2 Dimensi unit sel bermacam-macam allomorf selulosa .....	10
4.1 Puncak gugus fungsi selulosa pada SBG dan SBTG pada perendaman konsentrasi NaOH (%w/v) .....	39
4.2 Puncak gugus fungsi selulosa pada SB pada perlakuan konsentrasi NH <sub>4</sub> OH (%v/v) .....	41
4.3 Derajat kristalinitas dan ukuran kristal SBG dan SBTG dengan perlakuan konsentrasi larutan NaOH (% w/v) .....	43
4.4 Derajat kristalinitas dan ukuran kristal SBG dan SBTG dengan perlakuan konsentrasi larutan NH <sub>4</sub> OH (% v/v) .....	44

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema Pembuatan SB .....	51
2. Skema Pembuatan SB tanpa penambahan gula .....	52
3. Skema Permurnian Selulosa Bakterial .....	53
4. Karakterisasi Selulosa Bakterial .....	54
5. Perhitungan pembuatan larutan media perendaman .....	55
6. Data Ketebalan SB .....	58
7. Data Kadar Air SB .....	59
8. Data Persentase Derajat Pengembangan SB .....	60
9. Data Spektra FTIR .....	61
10. Difraktogram XRD .....	65
11. Gambar .....	69

## DAFTAR SINGKATAN

<i>A. xylinum</i>	= <i>Acetobacter xylinum</i>
ADP	= Adenosine Diphospat
ATP	= Adenosine Triphospat
DP	= Derajat Peggembungan
FTIR	= <i>Fourier Transform Infra Red</i>
NaOH	= Natrium hidroksida
NH <sub>4</sub> OH	= Amonium hidroksida
SB	= Selulosa Bakterial
SBG	= Selulosa Bakterial dengan penambahan gula
SBG (0%)	= Selulosa Bakterial dengan penambahan gula tanpa perlakuan
SBG NaOH Suhu Kamar	= Selulosa Bakterial dengan penambahan gula yang direndam dalam larutan NaOH pada suhu kamar selama 24 jam
SBG NaOH Suhu 85°C	= Selulosa Bakterial dengan penambahan gula yang direndam dalam larutan NaOH pada suhu 85°C selama 2 jam
SBG NH <sub>4</sub> OH Suhu Kamar	= Selulosa Bakterial dengan penambahan gula yang direndam NH <sub>4</sub> OH suhu kamar selama 24 jam
SBG NH <sub>4</sub> OH Suhu 85°C	= Selulosa Bakterial dengan penambahan gula yang direndam NH <sub>4</sub> OH suhu 85°C selama 2 jam
SBTG	= Selulosa Bakterial tanpa penambahan gula
SBTG (0%)	= Selulosa Bakterial tanpa penambahan gula dan tanpa perlakuan
SBTG NaOH Suhu Kamar	= Selulosa Bakterial tanpa penambahan gula yang direndam larutan NaOH suhu kamar selama 24 jam
SBTG NaOH Suhu 85°C	= Selulosa Bakterial tanpa penambahan gula yang direndam larutan NaOH suhu 85°C selama 2 jam
SBTG NH <sub>4</sub> OH Suhu Kamar	= Selulosa Bakterial tanpa penambahan gula yang direndam NH <sub>4</sub> OH suhu kamar selama 24 jam
SBTG NH <sub>4</sub> OH Suhu 85°C	= Selulosa Bakterial tanpa penambahan gula yang direndam NH <sub>4</sub> OH suhu 85°C selama 2jam
t <sub>0</sub>	= tebal SB sebelum direndam

$t_1$	=	tebal SB setelah direndam
UDP-glukosa	=	<i>Uridin difosfat glukosa</i>
$W_b$	=	Berat basah
$W_c$	=	<i>Water content</i>
$W_k$	=	Berat kering
XRD	=	<i>X-ray Diffraction</i>

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Industri tahu merupakan industri kecil yang banyak tersebar di kota-kota besar dan juga di pedesaan. Tahu adalah makanan yang relatif murah dan bergizi tinggi. Salah satu zat gizi utama yang terkandung di dalam tahu adalah protein dan karbohidrat. Tahu ini terbentuk dengan adanya bahan penggumpal dalam proses pembuatan tahu. Proses pembuatan tahu akan menghasilkan limbah. Limbah dari pengolahan tahu berupa limbah padat dan limbah cair. Limbah padat berupa ampas tahu, umumnya telah dapat ditanggulangi dengan memanfaatkannya sebagai bahan pembuatan oncom dan bahan pakan ternak. Limbah cair tahu adalah air buangan sisa proses penggumpalan tahu yang biasanya tidak dimanfaatkan (Budiarti, 2008).

Di Indonesia, industri tahu membutuhkan kedelai sekitar 450 ribu ton per tahun, sehingga dihasilkan limbah cair tahu sebanyak 19.575.000 ton per tahun atau 54.375 ton per hari. Limbah cair tahu merupakan limbah organik yang berasal dari industri tahu yang belum layak dibuang ke lingkungan. Jika limbah cair industri tahu tersebut dibuang langsung ke lingkungan tanpa proses pengolahan, maka akan terjadi proses pembusukan zat-zat organik pada badan perairan, dan berkembangnya mikroorganisme patogen (Arinto *et al.*, 2013). Limbah cair tahu mempunyai kandungan air, karbohidrat, protein, dan lemak sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pertumbuhan *A. xylinum*, yang

menghasilkan lapisan serat selulosa yang dikenal dengan selulosa bakterial. Penanganan limbah organik melalui proses bioteknologi sederhana dengan bantuan bakteri *A. xylinum* merupakan suatu alternatif pemecahan masalah pencemaran lingkungan (Iryandi *et. al*, 2014).

Selulosa bakterial (SB) adalah selulosa yang diproduksi oleh *A. xylinum* melalui medium fermentasi. SB menjadi sangat populer di negara-negara Asia, seperti Filipina dan Indonesia, terutama karena sifat tekstur yang berbeda dan kandungan serat yang tinggi (Chung dan Shyu, 1999). SB memiliki kandungan nilai kalori rendah dan kandungan air yang tinggi melebihi 90% (Pandey *et. al*, 2014). SB juga memiliki sifat mekanik yang baik seperti *modulus young* dan *tensile strength* yang tinggi, kapasitas menahan air yang tinggi, kristalinitas yang tinggi, dan bersifat biokompatibel tinggi sehingga SB dapat diaplikasikan dibidang medis seperti tulang rawan tiruan, pembungkus obat tablet, terapi kulit, dan pembuluh darah tiruan; dibidang elektronik seperti pembuatan membran elektroda; dibidang industri seperti industri kertas; dan dibidang pangan sebagai makanan yang berserat tinggi (Keshk, 2014)

Penelitian SB mempelajari struktur, dan sifat fisik telah banyak dilakukan. Salah satunya Pandey *et al.* (2014), meneliti penguraian dan regenerasi SB dari *nata de coco* menggunakan rasio yang berbeda dari natrium hidroksida (NaOH) dan urea sebagai pelarut dalam media perendaman. Ia menyatakan bahwa perendaman SB pada NaOH konsentrasi lebih dari 2% dapat meningkatkan transformasi selulosa I menjadi selulosa II sedangkan maserasi dengan Urea tidak mempengaruhi dari struktur dan kristalinitasnya. Shibazaki *et al.* (1997) meneliti

maserasi dan hidrolisis asam pada SB. Ia menyatakan morfologi SB dilakukan dengan perlakuan perendaman larutan NaOH pada konsentrasi di atas 12% (w/v) struktur mikrofibril menjadi tidak teratur. Hal ini terjadinya konversi struktur menjadi selulosa II.

Berdasarkan uraian tersebut maka dilakukan penelitian tentang “Pembuatan dan Karakterisasi Selulosa Bakterial dari Limbah Cair Tahu : Efek Media Perendaman Terhadap Struktur dan Sifat Fisik”

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah, dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Limbah cair tahu yang terbuang percuma dapat dimanfaatkan untuk sebagai bahan dasar pembuatan SB karena mengandung air, karbohidrat, protein dan lemak.
2. Limbah cair tahu diduga mampu memberikan nutrisi bagi bakteri sehingga dapat menghasilkan SB dengan penambahan gula dan tanpa penambahan gula.
3. Media perendaman larutan konsentrasi NaOH dan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dapat mempengaruhi struktur dan sifat fisik SB.

## **1.3 Pembatasan Masalah**

Adapun pembatasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Limbah cair tahu digunakan sebagai medium pembuatan SB yang diambil dari Pabrik Tahu, Cengkeh, Padang, Sumatera Barat.

2. Bakteri yang digunakan adalah *A. xylinum* (ATCC 53582) dalam stater berasal dari Laboratorium Kimia, FMIPA, UNP.
3. Parameter yang akan diuji adalah ketebalan, kandungan air (*water content*), derajat pengembangan (*swelling*), karakterisasi FTIR, dan XRD.
4. Nutrien karbon tambahan yang digunakan adalah gula.
5. Media perendam yang digunakan adalah NaOH dan NH<sub>4</sub>OH.

#### **1.4 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang timbul dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana struktur dan sifat fisik selulosa bakterial dari limbah cair tahu yang di produksi dengan dan tanpa penambahan nutrien sumber karbon.
2. Bagaimana pengaruh NaOH sebagai media perendam pada temperatur kamar selama 24 jam dan temperatur tinggi (85°C) selama 2 jam dalam proses pemurnian selulosa bakterial dari limbah cair tahu terhadap struktur dan sifat fisik.
3. Bagaimana pengaruh NH<sub>4</sub>OH sebagai media perendam pada temperatur kamar selama 24 jam dan temperatur tinggi (85°C) selama 2 jam dalam proses pemurnian selulosa bakterial dari limbah cair tahu terhadap struktur dan sifat fisik.

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Menentukan struktur dan sifat fisik selulosa bakterial dari limbah cair tahu yang di produksi dengan dan tanpa penambahan nutrien sumber karbon.
2. Menentukan pengaruh NaOH sebagai media perendam pada temperatur kamar selama 24 jam dan temperatur tinggi (85°C) selama 2 jam dalam proses pemurnian selulosa bakterial dari limbah cair tahu terhadap struktur dan sifat fisik.
3. Menentukan pengaruh NH<sub>4</sub>OH sebagai media perendam pada temperatur kamar selama 24 jam dan temperatur tinggi (85°C) selama 2 jam dalam proses pemurnian selulosa bakterial dari limbah cair tahu terhadap struktur dan sifat fisik.

### **1.6 Pertanyaan Penelitian**

Apakah pengaruh penambahan gula dan tanpa penambahan gula pada produksi SB dari limbah cair tahu serta media perendam NaOH dan NH<sub>4</sub>OH pada suhu kamar selama 24 jam dan suhu 85°C selama 2 jam dapat merubah struktur dan sifat fisik?

### **1.7 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Menambah wawasan tentang pemanfaatan limbah cair tahu sebagai pembuatan selulosa bakterial.

2. Memberikan informasi mengenai karakteristik selulosa bakterial tanpa penambahan gula kepada pembaca, sehingga bisa diolah menjadi produk yang berbahan baku selulosa bakterial.
3. Menjadi suatu acuan pendukung untuk penelitian lebih lanjut.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Limbah Cair Tahu**

Limbah yang dihasilkan dari pabrik pengolahan tahu adalah limbah cair tahu dan limbah padat. Limbah cair tahu apabila dibuang langsung ke lingkungan akan berdampak terhadap lingkungan. Hal ini disebabkan oleh (1) air limbah tahu mengandung zat-zat organik terlarut yang cenderung membusuk jika dibiarkan tergenang sampai beberapa hari ditempat terbuka, (2) suhu air limbah tahu rata-rata berkisar 40-60°C, suhu ini lebih tinggi dibandingkan suhu rata-rata air di lingkungan. Air limbah tahu bersifat asam karena proses penggumpalan sari kedelai, sehingga apabila dibuang secara langsung tanpa proses, dapat membahayakan kelestarian lingkungan hidup, (3) keasaman limbah dapat membunuh mikroba, misalnya bakteri. Bakteri tumbuh optimal pada pH 6,5-8.5. Agar aman limbah tahu perlu diolah hingga mempunyai pH 6,5 (Sarwono dan Saragih, 2001).

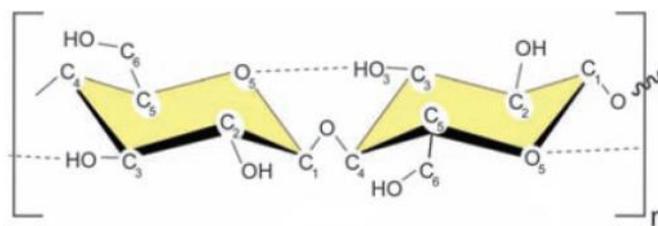
Limbah cair tahu mempunyai sumber yang kaya nutrisi yang mengandung protein, pati, lemak dan gula seperti glukosa, fruktosa, sukrosa, rafinosa dan stakiosa sehingga dapat diolah menjadi SB (Suwanposri *et. al*, 2014). Adapun komposisi gizi dalam 100 gr limbah cair tahu dapat dilihat pada table 2.1 (Budiarti, 2008).

Tabel 2.1 Komposisi gizi limbah cair tahu dalam 100 gr

Zat Gizi	Limbah cair tahu (g)
Karbohidrat	2
Protein	1,75
Lemak	1,25
Serat kasar	0,001
Kalsium	0,045

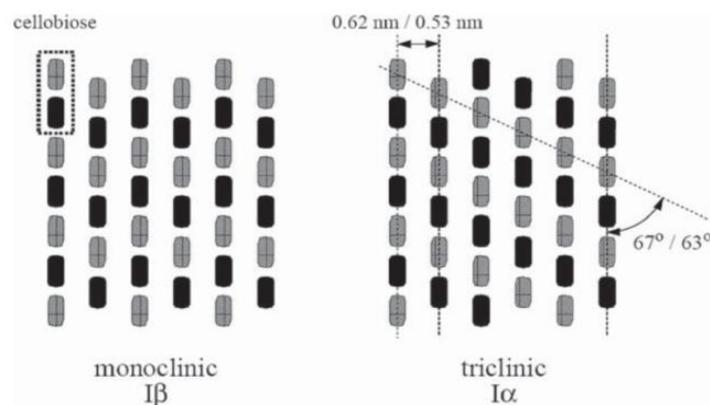
## 2.2 Selulosa

Selulosa adalah komponen struktural dari dinding sel tanaman. Selulosa terdiri dari polimer dalam unit  $\beta$ -D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan glikosida  $\beta$  (1,4) (Dennisto dan Topping, 2003). Selulosa di alam memiliki derajat polimerisasi sekitar 10.000 sampai 15.000 tergantung dari sumber dan jenis selulosa. Monomer selulosa disebut unit anhidroglukosa (AGU) yang terdiri dari 3 gugus hidroksil. Gugus ini memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan hidrogen yang kuat sehingga memberikan sifat selulosa yang sangat penting, khususnya: (i) struktur mikrofibril berbagai skala, (ii) daerah amorf atau kristal, dan (iii) sifat kohesi yang tinggi (dimana suhu transisi kaca lebih tinggi daripada suhu degradasi) (Lavoine *et. al*, 2012). Struktur molekul selulose pada gambar 2.1(Poletto, 2013).



Gambar 2.1 Struktur molekul selulosa

Selulosa terdiri dari empat polimorf yang berbeda yaitu : selulosa I, selulosa II, selulosa III dan selulosa IV (Lavoine *et al.*, 2012). Selulosa I terdiri dari dua struktur kristal yang berbeda yaitu : selulosa I $_{\alpha}$  dan selulosa I $_{\beta}$ . Berdasarkan karakteristik menggunakan spektroskopi  $^{13}\text{C}$ -NMR, perbedaan kedua selulosa tersebut terdapat pada resonansi pada atom C-1 dimana selulosa I $_{\alpha}$  berada pada puncak singlet sedangkan selulosa I $_{\beta}$  berada pada puncak doublet. SB dan selulosa Valonia (dari alga) terdiri dari modifikasi selulosa I $_{\alpha}$ , sedangkan rami, katun, dan selulosa kayu mendominasi modifikasi selulosa I $_{\beta}$ . Modifikasi selulosa I $_{\alpha}$  memiliki struktur triklinik sedangkan selulosa I $_{\beta}$  diasumsikan monoklinik pada unit sel. Selulosa I $_{\alpha}$  bersifat metastabil, dimana dapat diubah dengan pemanasan menjadi lebih stabil ke selulosa I $_{\beta}$  melalui proses anil. Bentuk struktur selulosa I $_{\alpha}$  dan selulosa I $_{\beta}$  dipaparkan pada gambar 2.2 (Klemm *et al.*, 2004; Zugenmaier, 2008).



Gambar 2.2 Pengaturan rantai selulosa I $_{\beta}$  dan I $_{\alpha}$

Selulosa II merupakan bentuk selulosa yang stabil. Selulosa II dapat dibuat dengan cara maserasi atau perendaman selulosa didalam larutan NaOH dan netralisasi dengan air atau asam (Klemm *et al.*, 2004; Lavoine *et al.*, 2012).

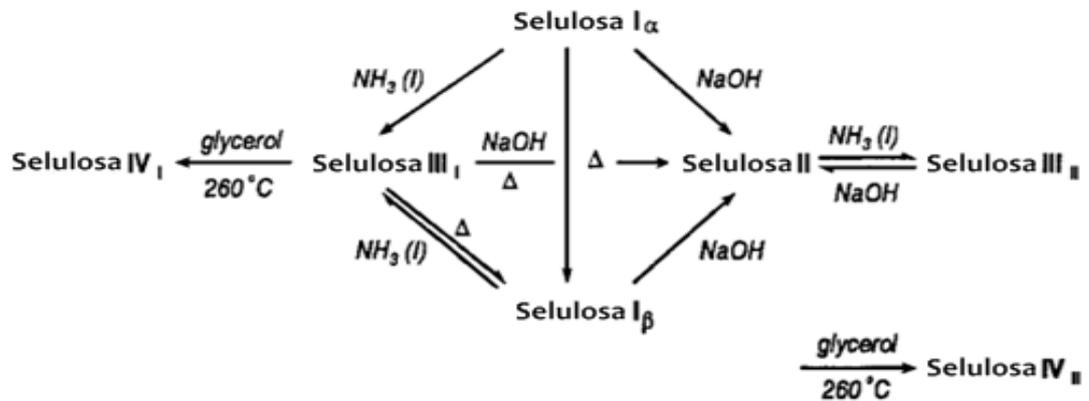
Struktur kristal selulosa II terdiri unit sel monoklinik terdapat dua segmen rantai mengikuti selulosa antiparalel (Klemm *et al.*, 1998; Lavoine *et al.*, 2012).

Modifikasi selulosa III diperoleh dengan memperlakukan selulosa I dan II dengan amonia cair atau amina organik, diikuti dengan penguapan atau pencucian dengan alkohol atau air. Perbedaan dimensi kisi yang kecil, selulosa III dibedakan menjadi submodifikasi selulosa III<sub>I</sub> dan selulosa III<sub>II</sub> dimana selulosa III<sub>I</sub> memiliki struktur rantai parallel sedangkan selulosa III<sub>II</sub> memiliki struktur rantai antiparalel (Klemm *et al.*, 2004; Zugenmaier, 2008).

Selulosa IV diproduksi dengan memanaskan selulosa III dalam gliserol selama 20 menit pada 260°C sehingga terbentuk dua polimorf selulosa IV<sub>I</sub> dan IV<sub>II</sub>. Polimorf kristal selulosa diklasifikasikan ke dalam dua kelompok yang berbeda dalam rantai polaritas : kelompok rantai paralel (selulosa I $\alpha$ , I $\beta$ , III<sub>I</sub> dan IV<sub>I</sub> ) dan kelompok rantai antiparalel (selulosa II, IV<sub>II</sub>) (Zugenmaier, 2008). Transformasi selulosa dilihat pada gambar 2.3 (Klemm *et al.*, 2004). Perbedaan kisi kristal dari keempat selulosa dapat dilihat pada tabel 2.2 (Klemm *et. al.*, 1998).

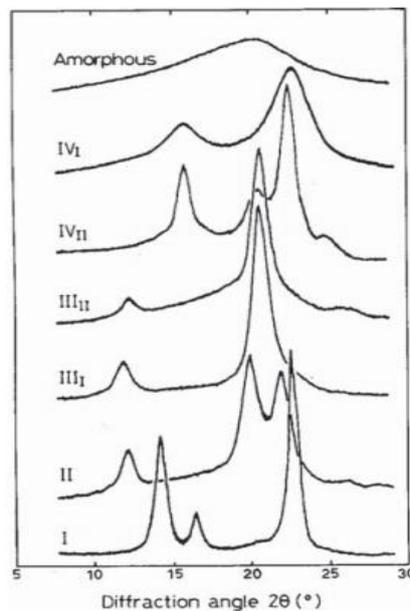
Tabel 2.2 Dimensi unit sel bermacam-macam allomorf selulosa

Polimorf	<i>a</i> -axis(Å)	<i>b</i> -axis(Å)	<i>c</i> -axis(Å)	$\gamma$ (deg) <sup>a</sup>
Selulosa I	7,85	8,17	10,34	96,4
Selulosa II	9,08	7,92	10,34	117,3
Selulosa III	9,9	7,74	10,3	122
Selulosa IV	7,9	8,11	10,3	90



Gambar 2.3 Transformasi selulosa menjadi berbagai polimorf

Polimorf selulosa dapat dilihat dari pola difraksi sinar-X, dimana kristalinitasnya dipengaruhi oleh berbagai perlakuan dari selulosa sehingga menghasilkan selulosa yang kristal atau amorf. Perlakuan terhadap selulosa I sehingga menghasilkan selulosa II, III, dan IV. Pola difraksi sinar-X dipaparkan pada gambar 2.4 (Zugenmaier, 2008).

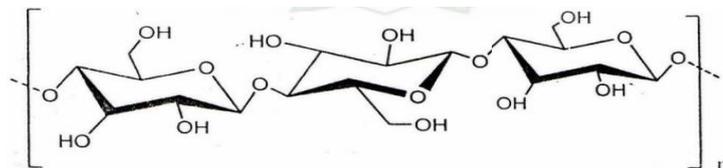


Gambar 2.4 Intesitas pola difraksi versus sudut berbagai polimorf selulosa

### 2.3 Selulosa Bakterial

SB merupakan biopolimer yang dihasilkan oleh beberapa strain *Acetobacter*, memiliki sifat fisik dan kimia yang unik. SB digunakan dalam makanan, diafragma akustik untuk audio speaker, untuk membuat kertas, dan digunakan dalam aplikasi medis seperti pembalut luka, tulang rawan dan kulit buatan (Seráfica *et al.*, 2002). Secara industri, SB diproduksi untuk produk-produk seperti makanan penutup, pembalut luka, kertas kekuatan tinggi dan makanan diet (Pa'e *et al.*, 2011).

SB memiliki kapasitas menahan air sangat tinggi dimana memiliki kadar air sekitar 99%. Derajat polimerisasi SB yang tinggi sekitar 15000 (Stokke dan Groom, 2003). Kumpulan nanofibril SB memiliki sifat intrinsik yang sangat baik karena kristalinitas yang tinggi (84-89%) dan modulus elastisitas berkisar 78 Gpa (Kalial *et al.*, 2011).

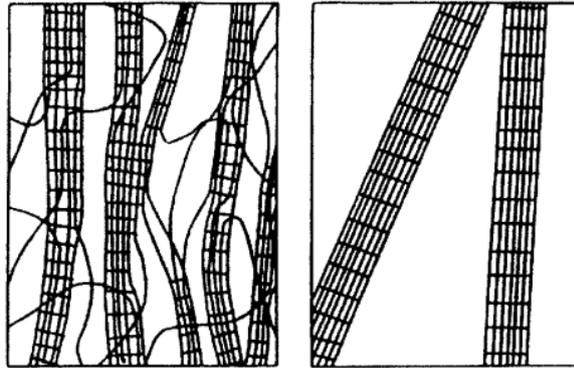


Gambar 2.5 Struktur SB (Phillips dan Williams, 2000)

Struktur SB dipaparkan gambar 2.5 (Phillips dan Williams, 2000). SB memiliki struktur kimia yang sama dengan selulosa dari tanaman. Rantai lurus molekul polisakarida SB dan selulosa tanaman memiliki D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan  $\beta$ -1,4.

Meskipun SB memiliki struktur kimia sama dengan selulosa dari tanaman, namun memiliki serat selulosa yang jauh lebih halus diproduksi oleh bakteri dan tidak mengandung hemiselulosa atau lignin yang perlu dibuang sebelum

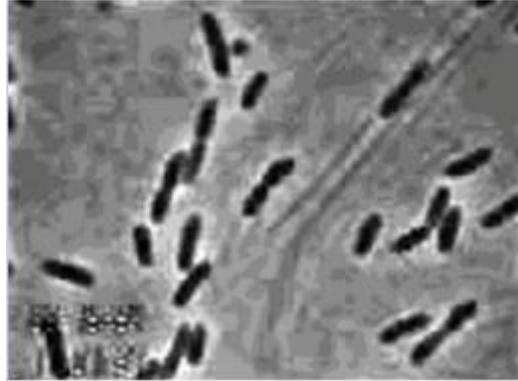
pengolahan. Serat tunggal selulosa tanaman memiliki diameter sekitar 50 nm, sedangkan SB dalam bentuk serat tunggal memiliki diameter 0.1-0.2  $\mu\text{m}$  (Pa'e *et al.*, 2011; Phillips dan Williams, 2000).



Gambar 2.6 Struktur selulosa tanaman (kanan) dan SB (kiri) (Klemm *et al.*, 2004)

#### 2.4 *Acetobacter xylinum*

*A. xylinum* merupakan jenis bakteri yang menghasilkan selulosa dengan sifat fisik yang menguntungkan (Lestari *et al.*, 2014). *A. xylinum* merupakan bakteri aerobik dalam famili bakterium yang memfermentasi karbohidrat menjadi SB (Skinne, 2000). *A. xylinum* diidentifikasi sebagai bakteri gram negatif dengan ukuran lebar 0.5–1  $\mu\text{m}$  dan panjang 2–10  $\mu\text{m}$ . *A. xylinum* dapat polimerisasi selulosa hingga 200.000 molekul glukosa per detik ke dalam rantai  $\beta(1,4)$ -glukan (Tomita dan Kondo, 2009). *A. xylinum* memproduksi SB, dimana SB memiliki sifat unik, kapasitas menyerap air tinggi, kristalinitas tinggi, jaringan serat halus, dan kekuatan tarik yang tinggi (Svensson, 2005).



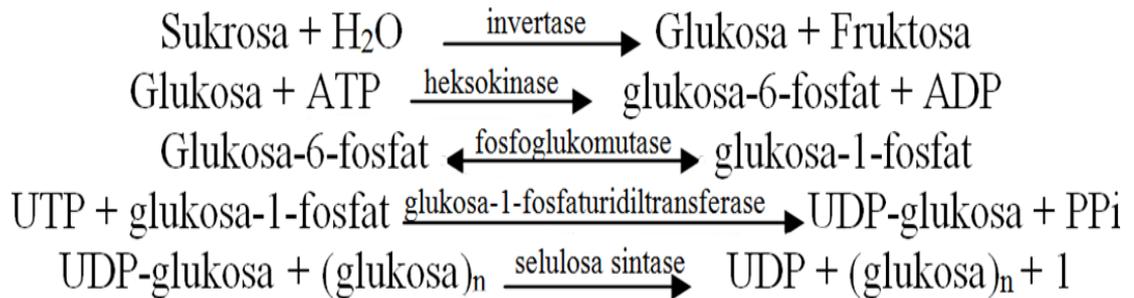
Gambar 2.7 *A.xylinum* (Wertz *et al.*, 2010)

Klasifikasi ilmiah dari *A. xylinum* :

- Kerajaan : Bacteria
- Filum : Proteobacteria
- Kelas : Alpha Proteobacteria
- Ordo : Rhodospirilia
- Famili : Pseudomonadaceaes
- Genus : Acetobacter
- Spesies : *Acetobacter xylinum* (Adam dan Moss, 2008).

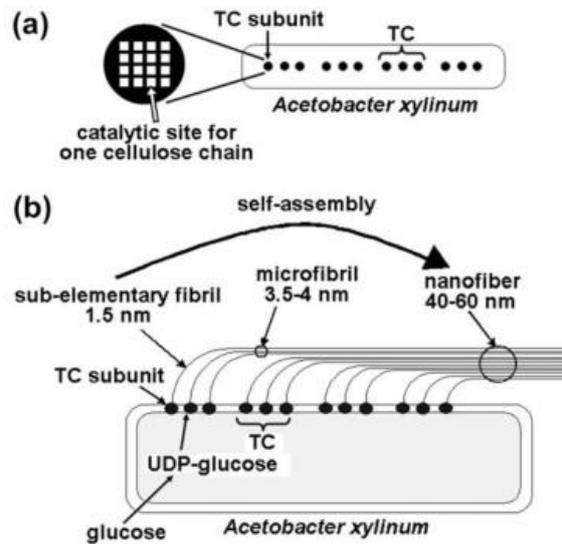
Fermentasi *A. xylinum* dipengaruhi beberapa faktor-faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhinya adalah sumber karbon, sumber nitrogen, pH dan suhu (Çoban dan Biyik, 2011). Bakteri *A.xylinum* tumbuh pada rentang suhu 20-30°C, dan pH 3,5-7 (Malvianie *et al.*, 2014). Selama fermentasi bakteri *A. xlinum* memecah gula (sukrosa) menjadi glukosa dan fruktosa. Glukosa menjadi glukosa-6-fosfat melalui enzim heksokinase. Glukosa-6-fosfat diubah menjadi glukosa-1-fosfat oleh enzim fosfoglukomutase. Reaksi selanjutnya adalah pembentukan uridin difosfat glukosa (UDP-glukosa) yang merupakan hasil reaksi antara glukosa-1-fosfat dengan uridin trifosfat (UTP), oleh kerja enzim glukosa-1-fosfaturidiltransferase. Reaksi ini dialihkan menuju ke kanan oleh kerja

pirofosfatase, yang menghidrolisa pirofosfat (PPi) menjadi ortofosfat (Pi). UDP-glukosa adalah donor langsung residu glukosa didalam pembentukan enzimatik selulosa oleh kerja selulosa sintase yang mengiatkan pemindahan residu glukosil dari UDP glukosa keujung non residu molekul selulosa (Lehninger, 1994)



Gambar 2. 8 Biosintesis selulosa (Lehninger, 1994)

Bakteri *A. xylinum* memiliki bagian perakitan atau penggabungan sintesis selulosa dan tempat untuk mengkatalisis (subunit) yang tersusun secara linier pada sumbu utama sel. Setiap tiga subunit akan membentuk *terminal complex* (TC). Setiap subunit akan menghasilkan sub-elemen fibril, dimana rantai molekul selulosa digabung secara spontan oleh masing-masing tempat katalisis dan membentuk formasi yang lebih stabil. Selanjutnya, TC dan subunit mengatur penggabungan sub-elemen fibril menjadi mikrofibril. Kemudian mikrofibril-mikrofibril bergabung dan membentuk nanofiber yang memiliki lebar 50 nm dan tebal 10 nm. Pada tahap ini, masing-masing formasi proses sintesis individu rantai molekul menjadi nanofiber diatur menjadi penggabungan secara spontan. Penggabungan secara spontan ini dinamakan *self-assembly* (Tomita dan Kondo, 2009).



Gambar 2.9 Skema pembentuknan nanofiber selulosa (a) Penampakan atas dan (b) Penampakan samping (Tomita dan Kondo, 2009)

Bakteri *A.xylinum* dalam pertumbuhannya melalui beberapa tahapan. Fase pertama pada pertumbuhan bakteri tersebut ialah fase lag/fase adaptasi yaitu fase penyesuaian mikroorganisme pada suatu lingkungan yang baru, ciri fase lag adalah tidak adanya peningkatan jumlah sel namun hanya terjadi peningkatan ukuran sel. Pada fase kedua adalah fase log/fase eksponensial merupakan fase dimana mikroorganisme tumbuh dan membelah diri pada kecepatan maksimum. Fase ketiga yaitu fase stasioner, pada fase stasioner pertumbuhan mikroorganisme mulai berhenti dan terjadi keseimbangan antara jumlah sel yang membelah dengan jumlah sel yang mati dan keempat adalah fase kematian (Malvianie *et al.*, 2014)

## 2.5 Karakterisasi Selulosa Bakterial

### 2.5.1 Karakterisasi Sifat Fisik SB

#### 2.5.1.1 Kadar Air (*water content*)

Kadar air adalah banyaknya air dalam suatu bahan yang ditentukan dari pengurangan berat suatu bahan sebelum dipanaskan dan sesudah dipanaskan pada suhu pengujian, sehingga kekurangan berat tersebut dianggap sebagai berat air (Standar Nasional Indonesia, 1992).

$$W_c(\%) = \frac{W_b - W_k}{W_b} \times 100$$

dimana:  $W_c$  = *water content* (kadar air) dalam persen,  $W_b$  berat basah, dan  $W_k$  berat gel kering.

#### 2.5.1.2 Derajat Penggembungan (*Swelling*)

Derajat penggembungan merupakan suatu parameter yang menyatakan seberapa besar membran dapat digembungkan untuk mengetahui terjadinya ikatan silang suatu polimer. Penggembungan membran dipengaruhi oleh kerapatan pori-pori membran dan adanya ikatan silang yang menjembatani dua rantai utama dalam polimer pembentuk membran. Semakin rapat pori-pori membran semakin sulit untuk digembungkan. Polimer yang berikatan silang tinggi akan lebih sulit untuk digembungkan, sehingga derajat penggembungannya menurun. Derajat penggembungan (DP) dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$DP(\%) = \frac{W_b - W_k}{W_k} \times 100$$

dimana DP = derajat penggembungan dalam persen,  $W_b$  = berat basah, dan  $W_k$  = berat gel kering. Penggembungan dilakukan dengan merendam membran dalam

zat pengembang pada setiap selang waktu tertentu hingga diperoleh berat yang konstan.

## **2.5.2 Karakterisasi struktur SB**

### **2.5.2.1 Karakterisasi Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*)**

Metode spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*), yaitu metode spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi Fourier untuk analisis hasil spektrumnya. Metode spektroskopi yang digunakan adalah metode absorpsi, yaitu metode spektroskopi yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Absorpsi inframerah oleh suatu materi dapat terjadi jika dipenuhi dua syarat, yaitu kesesuaian antara frekuensi radiasi inframerah dengan *frekuensi vibrasional* molekul sampel dan perubahan momen dipol selama bervibrasi (Anam *et al.*, 2007).

Jika seberkas sinar inframerah dilewatkan pada suatu sampel polimer, maka beberapa frekuensinya diabsorpsi oleh molekul sedangkan frekuensi lainnya ditransmisikan. Transisi yang terlibat pada absorpsi IR berhubungan dengan perubahan vibrasi yang terjadi pada molekul. Jenis ikatan yang ada dalam molekul polimer (C-C, C=C, C-O, C=O) memiliki frekuensi vibrasi yang berbeda. Adanya ikatan tersebut dalam molekul polimer dapat diketahui melalui identifikasi frekuensi karakteristik sebagai puncak absorpsi dalam spektrum IR (Rohaeti, 2009).

### 2.5.2.2 Karakterisasi XRD

Difraksi sinar-X digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal suatu padatan dengan membandingkan nilai jarak  $d$  (bidang kristal) dan intensitas puncak difraksi dengan data standar. Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang sekitar 100 pm yang dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron berenergi tinggi. Prinsip dasar dari XRD adalah hamburan elektron yang mengenai permukaan kristal. Bila sinar dilewatkan ke permukaan kristal, sebagian sinar tersebut akan terhamburkan dan sebagian lagi akan diteruskan ke lapisan berikutnya. Sinar yang dihamburkan akan berinterferensi secara konstruktif (menguatkan) dan destruktif (melemahkan). Hamburan sinar yang berinterferensi inilah yang digunakan untuk analisis.

Difraksi sinar-X dapat memberikan informasi tentang struktur polimer, termasuk tentang keadaan amorf dan kristalin polimer. Polimer dapat mengandung daerah kristalin yang secara acak bercampur dengan daerah amorf. Difraktogram sinar-X polimer kristalin menghasilkan puncak-puncak yang tajam, sedangkan polimer amorf cenderung menghasilkan puncak yang melebar. Pola hamburan sinar-X juga dapat memberikan informasi tentang konfigurasi rantai dalam kristalit, perkiraan ukuran kristalit, dan perbandingan daerah kristalin dengan daerah amorf (derajat kristalinitas) dalam sampel polimer (Rohaeti, 2009).

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Selulosa bakterial penambahan gula (SBG) lebih tebal dibandingkan selulosa bakterial tanpa penambahan gula (SBTG). Persentase kadar air (*water content*) SBG lebih besar dibandingkan SBTG. Persentase derajat pengembangan (*swelling*) SBG lebih besar dibandingkan SBTG. Analisa spektra FTIR SBG dan SBTG menunjukkan gugus fungsi selulosa. Analisa difraktogram X-ray menunjukkan derajat kristalinitas SBG lebih tinggi dibandingkan SBTG, dan menunjukkan struktur selulosa I.
2. Perlakuan perendaman larutan konsentrasi NaOH (%w/v) pada suhu kamar selama 24 jam maupun suhu 85°C selama 2 jam mempengaruhi sifat fisik dan struktur SB. Ketebalan SBG dan SBTG pada perlakuan perendaman larutan konsentrasi NaOH (%w/v) meningkat tajam dengan meningkatnya konsentrasi. Pada perlakuan perendaman larutan konsentrasi NaOH (%w/v), persentase kadar air SBG dan SBTG terjadi penurunan pada konsentrasi NaOH 20%. Analisa spektra FTIR SBG dan SBTG pada perlakuan perendaman larutan konsentrasi NaOH (%w/v) menunjukkan adanya gugus fungsi selulosa. Analisa difraktogram X-ray menunjukkan

3. derajat kristalinitas SBG NaOH (20%) dan SBTG NaOH (20%) suhu kamar yang paling rendah. SBTG NaOH (20%) suhu kamar terjadi transformasi struktur selulosa I menjadi selulosa II.
4. Perlakuan perendaman larutan konsentrasi  $\text{NH}_4\text{OH}$  (%v/v) pada suhu kamar selama 24 jam maupun suhu  $85^\circ\text{C}$  selama 2 jam signifikan mempengaruhi sifat fisik SB. Ketebalan SBG dan SBTG perlakuan perendaman konsentrasi  $\text{NH}_4\text{OH}$  pada suhu kamar selama 24 jam maupun suhu  $85^\circ\text{C}$ , pada umumnya mengalami penurunan ketebalan relatif sama. Pada perlakuan perendaman konsentrasi  $\text{NH}_4\text{OH}$ , Persentase kadar air dan derajat pengembangan SBG dan SBTG relatif sama. Analisa spektra FTIR SBG dan SBTG menunjukkan gugus fungsi selulosa. Analisa difraktogram X-ray menunjukkan derajat kristalinitas SBG dan SBTG perlakuan perendaman  $\text{NH}_4\text{OH}$ , meningkat signifikan dan tidak terjadinya transformasi selulosa.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan untuk peneliti selanjutnya diperlukan kajian lebih lanjut mengenai karakterisasi morfologi menggunakan SEM untuk analisis permukaan dari SBG dan SBTG dari limbah cair tahu serta sifat mekanik menggunakan Tensometer untuk mengetahui uji tarik, sehingga SBG dan SBTG dapat diaplikasikan sesuai karakteristiknya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, M. R., dan Moss, M. O. (2008). *Food Microbiology* (ketiga). Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Anam, C., Sirojudin, dan Firdausi, K. S. (2007). Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin Dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR. *Berkala Fisika, Vol 10*(ISSN : 1410 - 9662).
- Arinto, D. J., Paramastri, H. P., dan Soetrisnanto, D. (2013). Potensi Air Dadih (Whey) Tahu Sebagai Nutrien Dalam Kultivasi *Chlorella sp.* Untuk Bahan Baku Pembuatan Biodisel. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri, Vol. 2, No, 233–242.*
- Budiarti, R. S. (2008). Pengaruh Konsentrasi Starter *Acetobacter xylinum* Terhadap Ketebalan Dan Rendemen Selulosa Nata de Soya. *Universitas Jambi, Vol 1 No.1*, Hal 19–24.
- Chung, Y., dan Shyu, Y. (1999). The effects of pH, salt, heating and freezing on the physical properties of bacterial cellulose-Nata. *International Journal of Science and Technology*, Hal 23–26.
- Çoban, E. P., dan Biyik, H. (2011). Evaluation of different pH and temperatures for bacterial cellulose production in HS (Hestrin-Scharmm) medium and beet molasses medium. *African Journal of Microbiology Research, 5*(9), 1037–1045. <http://doi.org/10.5897/AJMR11.008>
- Dennisto, K., dan Topping, J. J. (2003). *General, Organic and Biochemistry* (ke-4th ed.). New York: The McGraw–Hill Companies.
- Gea, S., Reynolds, C. T., Roohpour, N., Wirjosentono, B., Soykeabkaew, N., Bilotti, E., dan Peijs, T. (2011). Investigation into the structural, morphological, mechanical and thermal behaviour of bacterial cellulose after a two-step purification process. *Bioresource Technology, 102*(19), 9105–9110. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.077>
- Iryandi, A. F., Hendrawan, Y., dan Komar, N. (2014). Pengaruh Penambahan Air Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*) dan Lama Fermentasi Terhadap Karakteristik Nata De Soya. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis, Vol. 1 No.*, Hal 8–15.
- Kalial, S., Kaithl, B. S., dan Kaur, I. (2011). *Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites (Green Chemistry and Technology)*. Verlag Berlin Heidelberg German: Springer. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-17370-7>