



PRODUKSI SELULOSA

oleh STRAIN BAKTERI
Acetobacter Lovaniensis
dan ***Gluconobacter Oxidans***



Risa Umami, S.Si., M.Sc.



PRODUKSI SELULOSA

oleh **STRAIN BAKTERI *Acetobacter
Lovaniensis* dan *Gluconobacter
Oxidans***

////////////////////////////////////

PRODUKSI SELULOSA

oleh **STRAIN BAKTERI *Acetobacter
Lovaniensis* dan *Gluconobacter
Oxidans***

////////////////////////////////////

Risa Umami, S.Si., M.Sc.



*Pustaka Bangsa
(Anggota IKAPI)*

PRODUKSI SELULOSA oleh STRAIN BAKTERI

Judul : PRODUKSI SELULOSA OLEH STRAIN BAKTERI
Acetobacter Lovaniensis dan *Gluconobacter Oxidans*
Penulis : Risa Umami
Editor : Ahmad Zohdi
Layout : AlBadawi
Design Sampul : Ramdhoni
Cetak : Tim CV. Pustaka Bangsa

Penerbit:

Pustaka Bangsa

e-mail : pustakabangsa05@gmail.com
website : www.pustakabangsa.com
Status Organisasi Penerbit : Anggota IKAPI
Nomor Anggota : 003/NTB/Anggota Luar Biasa/17

Alamat:

Kantor Utama : Jln. Swakarsa VII Nomor 28 Gerisak, Mataram-NTB Telp.
(0370) 629946 / Mobile Phone; +6281999271122
Kantor Cabang : Jalan Udayana Mataram-NTB (Jln. Gili Gde No.12, Komplek
Pertokoan Nusantara) Telp. (0370) 7508536 / Mobile Phone;
+6285338884131 / 08111444499

Terbitan : 22 Januari 2023
Cetakan Pertama: 22 Januari 2023

PRODUKSI SELULOSA OLEH STRAIN BAKTERI
Acetobacter Lovaniensis DAN *Gluconobacter Oxidans*
= Risa Umami, S.Si., M.Sc. =
Pustaka Bangsa, 2022
82 + x hlm.15 cm x 23 cm
ISBN: 978-623-6592-35-9

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang memperbanyak, sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk dan dengan cara apapun, tanpa izin penulis dan penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan hanya kehadiran Allah *Azza wa Jalla*, karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga Buku Referensi dengan judul “PRODUKSI SELULOSA OLEH STRAIN BAKTERI *Acetobacter Lovaniensis* DAN *Gluconobacter Oxidans*” ini dapat terselesaikan. Selanjutnya shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada junjungan alam Nabi Muhammad *Shallallahu ‘Alaihi Wassalam* yang menuntun kita kepada jalan yang benar.

Secara umum, Buku Referensi ini membahas ketersediaan selulosa di alam yang sangat melimpah dan salah satu penghasil selulosa terbesar adalah tumbuhanakan tetapi selulosa juga dihasilkan oleh bakteri memiliki sifat yang khas yaitu memiliki tingkat kemurnian dan kristalinitas yang tinggi, daya tarik

mekanik yang kuat, serta kapasitas pengikatan terhadap air yang tinggi.

Penulis sadar bahwa buku ini sarat dengan kekurangan, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini pada edisi revisi. Menurut hemat penulis, ketidaksempurnaan tersebut tidak boleh menjadi penghalang untuk menerbitkan buku, sebab tidak ada kesempurnaan yang hakiki di dunia ini karena manusia diciptakan serba kekurangan. Kesempurnaan itu adalah hanyalah milik Allah SWT semata. Jika hendak menunggu kesempurnaan, baru akan menulis buku, maka Penulis yakin tidak akan pernah bisa maju membangun peradaban di muka bumi ini.

Semoga buku ini bermanfaat bagi kita semua, khususnya bagi para pembacanya. *Amiin ya rabbal alamin.*

Mataram, 22 Januari 2022
Penulis,

ttd.

Risa Umami, S.Si., M.Sc.

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN SAMPEL.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
BAB I. PRODUKSI SELULOSA OLEH STRAIN BAKTERI.....	1
A. Pengantar Produksi Selulosa Oleh Strain Bakteri.....	1
B. Selulosa dan Ketersediaannya di Alam.....	5
1. Sifat Fisikawi dan Struktur Kimiawi Selulosa.....	5
2. Perbedaan antara Selulosa Tumbuhan dan Selulosa Bakteri.....	6
3. Aplikasi Selulosa Bakteri dalam Berbagai Bidang.....	8
C. Produksi Selulosa oleh Strain <i>Gluconacetobacter xylinus</i>	9
1. Biosintesis Selulosa	9
2. Metode Produksi Selulosa	11

BAB II. FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH TERHADAP PRODUKSI SELULOSA.....	13
A. Kemampuan Menghasilkan Selulosa oleh <i>G. xylinus</i>	13
B. Konsumsi Gula Sumber Karbon.....	15
C. Faktor-Faktor yang mempengaruhi Produksi Selulosa	18
1. Faktor Strain	19
2. Agitasi.....	19
3. Temperatur.....	20
4. Sumber Karbon.....	21
5. Sumber Nitrogen.....	22
6. Keasaman Media (pH)	22
BAB III. OPTIMASI PRODUKSI SELULOSA.....	25
A. Optimasi Produksi Selulosa	25
B. Pengaruh Berbagai Jenis Sumber Karbon	26
1. Produksi Selulosa dengan Sumber Karbon Sari Buah	26
2. Produksi Selulosa Dengan Sumber Karbon Gula Murni.....	33
C. Optimasi Kondisi Fermentasi Produksi Selulosa	37
1. Optimasi produksi selulosa dengan sumber karbon sari buah nanas standar produksi air kelapa.	37
2. Optimasi produksi selulosa dengan sumber karbon sari buah nanas standar HS.	38
3. Optimasi produksi selulosa dengan sumber karbon sukrosa standar HS.	40
D. Produksi selulosa dalam keadaan optimum	52

BAB IV. IDENTIFIKASI DAN KARAKTERISASI SELULOSA.....	55
A. Identifikasi Selulosa Dengan FT-IR spektroskopi	57
1. Selulosa bakteri dari sumber karbon nanas dengan metode fermentasi statis.	57
2. Selulosa bakteri dari sumber karbon nanas dengan metode fermentasi agitasi.....	59
3. Selulosa bakteri dari sumber karbon sukrosa dengan metode fermentasi statis	60
4. Selulosa bakteri dari sumber karbon sukrosa dengan metode fermentasi agitasi.....	61
B. Karakterisasi selulosa dengan X-ray difraktometri.....	64
1. Selulosa bakteri dari sumber karbon nanas dengan strain MGA 6.	64
2. Selulosa bakteri dari sumber karbon sukrosa dengan strain SLK 1.	66
DAFTAR PUSTAKA	71

BAB I

PRODUKSI SELULOSA OLEH STRAIN BAKTERI

A. Pengantar Produksi Selulosa Oleh Strain Bakteri

Selulosa merupakan biopolimer yang melimpah di alam dan merupakan komponen utama penyusun tumbuhan tingkat tinggi. Namun demikian, selulosa juga dihasilkan oleh mikrobia yaitu bakteri, fungi, dan alga (Chawla *et al.*, 2009). Selulosa yang dihasilkan oleh tumbuhan relatif kurang murni karena mengandung hemiselulosa, lignin, dan pektin (Wiegand & Klemm, 2006; Kato *et al.*, 2007) sedangkan selulosa bakteri bersifat lebih murni sehingga dalam pemanfaatannya tidak diperlukan proses pemurnian terlebih dahulu seperti selulosa tumbuhan. Hal itulah yang menyebabkan upaya penghasiian selulosa lebih difokuskan kepada bakteri.

Mengingat karakteristik sifat fisikawi selulosa bakteri yang khas dan berbeda dengan selulosa tumbuhan, dalam hal tingkat kemurnian dan

kristalinitas, daya tarik mekanik, serta kapasitas pengikatan terhadap air (Wiegand & Klemm, 2006; Chawla *et al.*, 2009; McKenna *et al.*, 2009; Hungund & Gupta, 2010_a) maka selulosa bakteri lebih banyak dikembangkan sebagai bahan baku industri. Oleh sebab itu, selulosa bakteri banyak diteliti untuk dimanfaatkan dalam berbagai bidang industri seperti industri makanan, pembuatan kertas, farmasi, dan medis (Lee & Zhao, 1999; Wiegand & Klemm, 2006).

Strain bakteri yang diketahui mampu menghasilkan selulosa ekstraselular adalah strain anggota genus *Gluconacetobacter* (Yamada *et al.*, 1997) (*Acetobacter* (Brown, 1886)), *Agrobacterium*, *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Sarcina*, *Salmonella*, dan *Escherichia* (Hungund & Gupta, 2010). Meskipun banyak strain anggota berbagai genus di atas yang diketahui mampu menghasilkan selulosa, akan tetapi yang paling banyak diteliti yaitu strain anggota spesies *Gluconacetobacter xylinus* (*Acetobacter xylinum*) (Chawla *et al.*, 2009) karena kemampuannya dalam memanfaatkan berbagai macam sumber karbon dan nitrogen. Dengan demikian, strain anggota *G. xylinus* ini banyak digunakan sebagai model dalam mempelajari produksi selulosa bakteri.

Sintesis selulosa bakteri merupakan aktivitas metabolik normal yang melalui berbagai macam tahapan dan melibatkan sejumlah besar enzim, baik enzim individual maupun enzim katalitik kompleks, serta

melibatkan sintesis *uridine diphosphate glucose* (UDPGlc) yang merupakan prekursor dalam polimerisasi glukosa menjadi rantai β -1,4-*glucan* (Haigler *et al.*, 1982; Chawla *et al.*, 2009). Dengan terbentuknya rantai β -1,4-*glucan* tersebut maka akan diikuti dengan pembentukan struktur pita dalam jumlah yang banyak untuk membentuk selulosa.

Polimerisasi glukosa menjadi selulosa juga dipengaruhi oleh berbagai macam faktor internal dan eksternal yang mendukung bakteri dalam melakukan proses metabolisme. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Keshk dan Sameshima (2005), diketahui bahwa *G. xylinus* ATCC 10245 mampu memanfaatkan berbagai macam sumber karbon yaitu dari kelompok monosakarida, disakarida, dan alkohol. Begitupun halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Kurosumi *et al.* (2009) yang memanfaatkan sumber karbon dari sari buah yaitu jeruk, nanas, apel, pear, dan anggur dengan menggunakan strain *Acetobacter xylinum* NBRC 13693 menunjukkan bahwa sari buah dengan penambahan sumber nitrogen menunjukkan produktivitas selulosa yang lebih tinggi dari sari buah tanpa penambahan nitrogen. Selain jenis sumber karbon, ada faktor lingkungan juga yang berpengaruh terhadap produksi selulosa yaitu kadar gula, pH, dan temperatur (Phunsri *et al.*, 2003; Tantrian *et al.*, 2005; Lee, 1999). Upaya mencari produksi selulosa dengan produktivitas yang tinggi maka perlu memperhatikan faktor-faktor yang mendukung

pertumbuhan dan metabolisme *G. xylinus* yang akan mampu meningkatkan keberhasilan produksi selulosa dalam skala industri.

Selain faktor-faktor di atas, ada juga faktor yang mempengaruhi produksi selulosa bakteri yaitu metode produksi. Metode produksi yang sering digunakan dalam skala industri yaitu metode produksi statis (Lee, 1999), akan tetapi menurut Lee (1999) dan (Tsuchida & Yoshinaga, 1997) dalam skala industri terbukti produksinya sangat rendah karena terbentuknya asam glukonik. Selain menggunakan metode fermentasi statis, ada juga fermentasi agitasi (Tsuchida & Yoshinaga, 1997; Lee & Zhao, 1999; Lee, 1999). Namun demikian, fermentasi agitasi dapat menurunkan produksi selulosa karena berkaitan erat dengan dihasilkannya mutan negatif (Lee & Zhao, 1999; Lee, 1999; Tantratian *et al.*, 2005; Cheng & Catchmark, 2009). Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut dalam upaya peningkatan produktivitas selulosa bakteri melalui berbagai cara dan salah satunya dengan melakukan optimasi terhadap faktor-faktor yang mampu meningkatkan produksi selulosa.

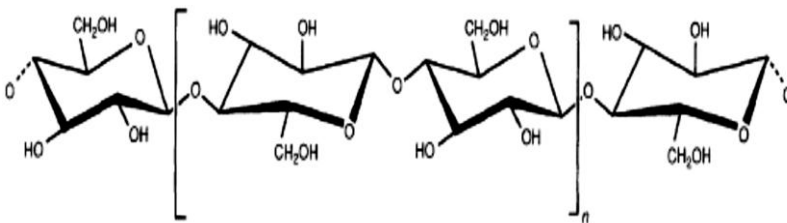
Berdasarkan uraian di atas, maka yang dibahas dalam pembahasan buku ini adalah mengenai: (1) Sumber yang paling baik untuk menghasilkan selulosa dengan metode fermentasi statis; (2) Kondisi optimum dalam hal konsentrasi sumber karbon, volume inokulum, pH, dan temperatur yang dibutuhkan oleh *Acetobacter lovaniensis* (MGA 6 dan SLK 1) dalam menghasilkan selulosa dengan

metode fermentasi statis; (3) Efisiensi penggunaan sumber karbon dalam menghasilkan selulosa oleh *A. lovaniensis* (MGA 6 dan SLK 1) dengan metode fermentasi statis; dan (4) Kualitas selulosa yang dihasilkan dalam keadaan optimum dengan metode produksi agitasi dan metode produksi statis.

B. Selulosa dan Ketersediaannya di Alam

1. Sifat Fisikawi dan Struktur Kimiawi Selulosa

Ketersediaan selulosa di alam sangat melimpah dan salah satu penghasil selulosa terbesar adalah tumbuhan karena merupakan komponen penyusun utamanya. Selain dihasilkan dari tumbuhan, selulosa juga dihasilkan oleh bakteri, fungi, dan alga (Ross *et al.*, 1991; Chawla *et al.*, 2009; Nobles *et al.*, 2001). Rumus molekul selulosa bakteri adalah sama dengan selulosa tumbuhan yaitu $(C_6H_{10}O_5)_n$ (Gambar 1), tetapi yang membedakannya adalah sifat fisikawi, dan kimiawinya (Watanabe *et al.*, 1998; Shoda & Sugano, 2005).



Gambar 1. Rumus struktur selulosa (Brown *et al.*, 1996)

Salah satu perbedaan yang paling dasar yaitu terletak pada struktur selulosanya yaitu selulosa pada

tumbuhan membentuk struktur yang kompleks dengan kandungan hemiselulosa, lignin, dan berbagai komponen lainnya sedangkan selulosa pada bakteri membentuk struktur yang lebih sederhana (Ross *et al.*, 1991). Akibatnya, selulosa bakteri memiliki sifat yang khas yaitu memiliki tingkat kemurnian dan kristalinitas yang tinggi, daya tarik mekanik yang kuat, serta kapasitas pengikatan terhadap air yang tinggi (Shoda & Sugano, 2005; Wiegand & Klemm, 2006; Chawla *et al.*, 2009; McKenna *et al.*, 2009; Hungund & Gupta, 2010_a). Dengan sifat khas tersebut maka selulosa bakteri banyak mendapat perhatian untuk dimanfaatkan dalam berbagai bidang aplikasi.

2. Perbedaan antara Selulosa Tumbuhan dan Selulosa Bakteri

Selulosa bakteri merupakan hasil aktivitas metabolisme primer yang menghasilkan eksopolisakarida dan berfungsi sebagai lapisan pelindung, sedangkan pada tumbuhan lebih banyak berfungsi secara struktural karena berasosiasi dengan hemiselulosa, lignin, dan pektin (Bielecki *et al.*, 2005; Shoda & Sugano, 2005). Eksopolisakarida ini berupa homopolimer yang tersusun atas unit monomer glukosa dan dihubungkan oleh ikatan β -1,4-glikosidik yang membentuk selulosa (Chawla *et al.*, 2009).

Perbedaan selulosa tumbuhan dan selulosa bakteri selain dalam aspek kemurnian, juga dalam aspek lainnya

yaitu ukuran, derajat polimerisasi, dan kristalinitas (Bielecki *et al.*, 2005; Shoda & Sugano, 2005; Chawla *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2010). Selulosa tumbuhan relatif kurang murni jika dibandingkan selulosa bakteri karena mengandung hemiselulosa, lignin, dan pektin yang merupakan komponen penyusun utama dinding sel tumbuhan (Wiegand & Klemm, 2006; Kato *et al.*, 2007) sehingga dalam proses pemanfaatannya memerlukan proses pemurnian terlebih dahulu untuk menghilangkan komponen-komponen tersebut.

Selulosa tumbuhan, dan bakteri memiliki ukuran yang berbeda berdasarkan struktur tiga dimensinya yaitu selulosa bakteri memiliki tingkat ketebalan 100 kali lebih tipis dari selulosa tumbuhan sehingga memiliki daya serap yang tinggi (Shoda & Sugano, 2005; Chawla *et al.*, 2009). Demikian pula halnya dengan derajat polimerisasi dan kristalinitas yang dihasilkan antara bakteri dan tumbuhan berbeda. Derajat polimerisasi selulosa bakteri yaitu 1.000 – 6.000 dan derajat polimerisasi selulosa tumbuhan 13.000 – 14.000 sedangkan kristalinitas selulosa bakteri ditentukan oleh adanya ikatan hidrogen antar selulosa (Bielecki *et al.*, 2005; Chawla *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2010). Berdasarkan uraian di atas tentang perbedaan antara selulosa tumbuhan dan bakteri maka hingga saat ini selulosa bakteri banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang aplikasi seperti industri pangan, industri kimia, dan dalam berbagai bidang medis.

3. Aplikasi Selulosa Bakteri dalam Berbagai Bidang

Produksi selulosa bakteri oleh berbagai strain mikrobia sangat berpotensi untuk komersialisasi karena tingkat kemurnian selulosa bakteri yang tinggi. Selulosa bakteri banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang aplikasi seperti pangan (McKenna *et al.*, 2009), kertas (Suwannapinunt *et al.*, 2007), kimia dan berbagai bidang kesehatan (Cheng *et al.*, 2009).

Selulosa bakteri yang diproduksi oleh strain *G. xylinus* (*A. xylinum*) menggunakan nutrien dalam medium air kelapa untuk membentuk suatu lapisan tipis dan transparan pada permukaan medium yang dikenal dengan nama *nata de coco* dan negara yang pertama kali mengembangkannya adalah Filipina (Czaja *et al.*, 2004; Jagannath *et al.*, 2008). *Nata de coco* baik digunakan untuk diet dan sebagai makanan penutup karena teksturnya lembut dan halus sebagai akibat dari kapasitas pengikatan terhadap air yang tinggi (Jagannath *et al.*, 2008).

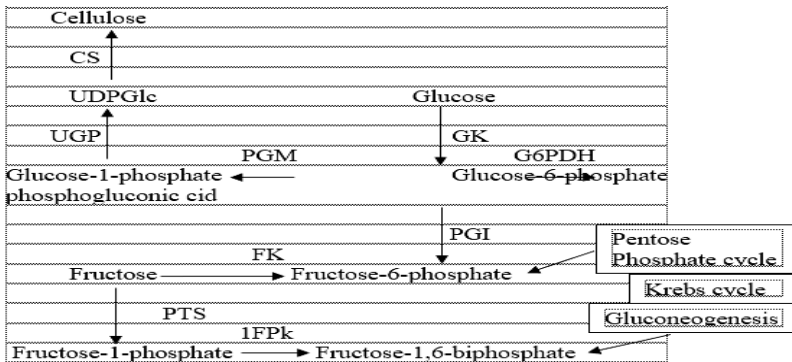
Salah satu aplikasi selulosa bakteri dalam bidang kesehatan yaitu produksi kulit buatan untuk pengobatan terhadap luka bakar dengan cara memanfaatkan bioteknologi modern (Rezaee *et al.*, 2005). Selain itu juga, dapat digunakan sebagai bahan baku dalam memproduksi kertas berkualitas tinggi karena terdiri atas sekelompok mikrofibril selulosa yang sangat kecil yang berfungsi dalam menambah kekuatan dan daya tahan kertas (Brown, 1998). Mengingat banyaknya manfaat

selulosa bakteri maka perlu dilakukan peningkatan produksi selulosa bakteri.

C. Produksi Selulosa oleh Strain *Gluconacetobacter xylinus*

1. Biosintesis Selulosa

Selulosa merupakan bentuk homopolimer yang tersusun atas unit monomer glukosa yang dihubungkan oleh ikatan β -1,4-glikosidik membentuk subfibril yang diekskresikan melalui pori pada membran sel dan akan membentuk mikrofibril (Bielecki *et al.*, 2005; Chawla *et al.*, 2009). Biosintesis selulosa (Gambar 2) oleh *G. xylinus* terdiri atas tiga tahapan yaitu : (i) biosintesis prekursor selulosa, (ii) pembentukan ikatan β -1,4-glikosidik, dan (iii) polimerisasi selulosa (Chawla *et al.*, 2009).



Gambar 2. Mekanisme biosintesis selulosa (Chawla *et al.*, 2009)

Tahapan pertama, yaitu biosintesis prekursor selulosa (UDPGlc, *Uridin Diphosphoglucose*) dengan cara glukosa ditransport melalui membran bakteri dan dikonversikan dengan reaksi fosforilasi menjadi glukosa-6-fosfat oleh enzim glukokinase. Selanjutnya, glukosa-6-fosfat mengalami reaksi isomerisasi menjadi glukosa-1-fosfat dikatalisis oleh enzim *phosphoglucomutase*, dan glukosa-1-fosfat diubah menjadi *uridine 5'-diphosphate glucose* (UDP-glukosa) dengan kehadiran UTP yang dikatalis oleh enzim *UDPG pyrophosphorylase*. UDP-glukosa yang dihasilkan digunakan sebagai substrat untuk dipolimerisasi menjadi selulosa oleh enzim *cellulose syntetase* (CS) (Bielecki *et al.*, 2005; Chawla *et al.*, 2009). Adanya UDP-glucose inilah yang merupakan prekursor dalam polimerisasi glukosa menjadi rantai β -1,4-*glucan* (Haigler *et al.*, 1982; Chawla *et al.*, 2009). Tahap kedua adalah pembentukan ikatan β -1,4-*glucan* yang dikatalis oleh enzim *cellulose syntetase* (CS) untuk membentuk pelikel (selulosa) dan tahap terakhir adalah polimerisasi yaitu pembentukan selulosa dengan struktur seperti pita yang dikatalisis oleh enzim *polymerase* yang dimiliki oleh *G. xylinus* (Krystynowicz *et al.*, 2005).

Dalam proses biosintesis selulosa oleh *G. xylinus* melibatkan berbagai jenis enzim yang berbeda dalam tiap langkah biosintesisnya yaitu (i) Glukokinase (EC 2.7.1.2), (ii) bertanggung jawab untuk fosforilasi pada C-6 glukosa,

(iii) Phosphoglucomutase (EC 5.4.2.2), yang mengkatalisis isomerisasi glukosa-6-fosfat menjadi glukosa - 1-fosfat, (iv) Glukosa-1-fosfat uridyltransferase (EC 2.7.7.9), yang mensintesis UDP-glukosa (UDPG), dan (v) *cellulose syntetase* (EC 2.4.1.12), yang menghasilkan selulosa dari UDP-glukos (Krystynowicz *et al.*, 2005).

2. Metode Produksi Selulosa

Produksi selulosa bakteri tidak hanya bergantung kepada strain bakteri yang digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh metode produksi yang dipakai. Selama ini dikenal ada dua metode produksi selulosa bakteri, yaitu (i) metode fermentasi statis dan (ii) metode fermentasi agitasi. Kedua metode ini menghasilkan selulosa bakteri dengan bentuk dan karakter yang berbeda. Menurut Watanabe *et al.* (1998) dan Bielecki *et al.* (2001), pada fermentasi statis akan terbentuk lembaran selulosa berbentuk seperti tikar dan bertekstur seperti gelatin di permukaan media fermentasi yang di dalamnya mengandung sel-sel bakteri yang terperangkap dalam jaringan serat selulosa dan pada kondisi fermentasi agitasi, pelikel lembaran tidak terbentuk dan selulosa berbentuk butiran yang tidak teratur. Menurut Lee (1999) dan Czaja *et al.* (2004), produksi selulosa dengan metode fermentasi agitasi banyak menimbulkan masalah yaitu munculnya mutan yang kehilangan kemampuan untuk memproduksi selulosa sehingga menyebabkan penurunan produksi selulosa secara keseluruhan. Meskipun demikian, beberapa peneliti menyarankan

bahwa penggunaan metode fermentasi agitasi paling cocok untuk produksi selulosa skala ekonomis karena dengan metode ini mampu meningkatkan suplai oksigen yang dibutuhkan dalam peningkatan produksi selulosa (Ross *et al.*, 1991; Krystynowicz *et al.*, 2002; Krystynowicz *et al.*, 2009).

BAB II

FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH TERHADAP PRODUKSI SELULOSA

A. Kemampuan Menghasilkan Selulosa oleh *G. xylinus*

Kemampuan menghasilkan selulosa oleh *G. xylinus* dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kemampuan strain itu sendiri dalam melakukan sintesis selulosa dengan sumber karbon yang berfungsi sebagai substratnya dan berbagai faktor yang mendukung pertumbuhannya seperti faktor fisikawi dan kimiawi. Strain anggota genus bakteri yang mempunyai kemampuan menghasilkan selulosa, yaitu *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Sarcina*, *Salmonella*, dan *Escherichia*

(Hungund and Gupta, 2010_a), tetapi kemampuan menghasilkan selulosa di antara strain anggota genus tersebut berbeda-beda. Strain anggota spesies *G. xylinus* (*A. xylinum*) merupakan strain yang paling banyak diaplikasikan pada produksi selulosa karena kemampuannya dalam menghasilkan selulosa yang paling tinggi dari berbagai macam sumber karbon dan nitrogen. Hal ini berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Phunsri *et al.* (2003), Keshk dan Sameshima (2005), dan Tantrian *et al.* (2005) dengan menggunakan strain anggota dari *A. xylinum*.

Bakteri asam asetat (*Acetobacter*) mampu menggunakan berbagai macam substrat, seperti alkohol, gula, heksosa, gliserol, inositol, fruktosa, menjadi selulosa (Habe *et al.*, 2009). Selain itu juga, penelitian yang dilakukan oleh Keshk dan Sameshima (2005) yang memanfaatkan tiga macam sumber karbon (monosakarida, disakarida, dan alkohol), mampu menghasilkan selulosa dalam jumlah banyak yaitu glicerol, glukosa, fruktosa, dan inositol. Kemampuan suatu bakteri dalam menghasilkan selulosa terletak pada kemampuannya dalam mensintesis glukosa sebagai sumber karbon serta polimerisasi glukosa menjadi selulosa. Dengan demikian, bervariasinya sumber karbon yang dapat digunakan oleh *G. xylinus* memungkinkan digunakannya berbagai sumber karbon untuk produksi selulosa bakteri (Keshk & Sameshima, 2005).

Biosintesis selulosa oleh *G. xylinus* membutuhkan substrat seperti monosakarida, disakarida, dan alkohol menjadi selulosa (Keshk & Sameshima, 2005), oksigen dan ATP (Bielecki *et al.*, 2005). Oksigen menentukan aktivitas sel karena *G. xylinus* merupakan bakteri aerob obligat (Tantrian *et al.*, 2005) yang membutuhkan oksigen untuk pertumbuhannya sedangkan ATP yang digunakan dalam biosintesis selulosa pada *G. xylinus* dihasilkan dari reaksi katabolisme (siklus pentosa fosfat, siklus Krebs, dan glukoneogenesis (Ross *et al.*, 1991). Bakteri asam asetat tidak mampu menghasilkan ATP dari reaksi glikolisis karena tidak memiliki enzim *phosphofructose kinase* yang mengkatalis isomerasi fruktosa-6-fosfat menjadi fruktosa-1,6-bifosfat (Ross *et al.*, 1991; Bielecki *et al.*, 2005). Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan, proses biosintesis selulosa pada *G. xylinus* untuk menghasilkan selulosa dipengaruhi oleh berbagai faktor fisikawi dan kimiawi yaitu agitasi, temperatur, sumber karbon, dan keasamaan media (pH). Oleh karena itu, untuk memperoleh produksi selulosa dalam jumlah maksimum harus memperhatikan faktor-faktor tersebut.

B. Konsumsi Gula Sumber Karbon

Konsumsi gula reduksi sumber karbon diukur dengan menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC). Sumber karbon yang diukur gula reduksinya sebelum fermentasi yaitu nanas dan mangga, sedangkan setelah fermentasi yaitu nanas dan sukrosa dengan medium standar HS.

Tabel 12. Kadar gula nanas dan mangga yang diuji dengan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC)

Kadar gula yang diuji	Hasil (ppm)	
	Nanas	Mangga
Glukosa	53553,92	1055,66
Fruktosa	55681,60	22625,84
Sukrosa	56361,68	1055,66

Sumber karbon sari buah nanas dan mangga yang diuji kandungan gulanya yaitu glukosa, sukrosa, dan fruktosa. Hal ini dikarenakan sumber karbon sari buah yang memiliki produktivitas dalam menghasilkan selulosa paling tinggi yaitu nanas sedangkan produktivitas menghasilkan selulosa oleh mangga tidak seoptimal pada nanas, akan tetapi strain MGA 6 merupakan hasil isolasi dari buah mangga dan strain inilah yang memiliki kemampuan produktivitas selulosa paling tinggi diantara sumber karbon sari buah. Berdasarkan tabel 12 diketahui bahwa kandungan gula yang paling tinggi dari sumber karbon nanas yaitu sukrosa sebesar 56361,68 ppm atau setara dengan 5,636 g/100 ml, diikuti dengan fruktosa dan glukosa sebesar 5,568 dan 5,355g/100 ml. Begitupun halnya dengan sari buah mangga yang memiliki kandungan glukosa, fruktosa, dan sukrosa yang berbeda-beda. Kandungan gula yang paling tinggi yaitu fruktosa sebesar 2,263 g/100 ml sedangkan kandungan gula sukrosa dan fruktosa sama yaitu 1,056 g/100 ml.

Strain MGA 6 merupakan isolat yang memiliki kemampuan produktivitas paling tinggi dalam menghasilkan selulosa bila dibandingkan dengan isolat SLK 1 dan GDN 32 dengan sumber karbon sari buah dan yang paling tinggi yaitu nanas karena kandungan gula sari buah nanas lebih tinggi bila dibandingkan dengan mangga (tabel 12). Selulosa yang dihasilkan dengan fermentasi statis menggunakan sumber karbon sari buah sari buah nanas dengan strain MGA 6 pada kondisi optimum sebesar 0.35 g/100 ml dengan standar medium produksi air kelapa tanpa penambahan gula 5%. Dengan mengetahui kandungan gula pada nanas maka diharapkan penambahan gula 5% dalam standar produksi air kelapa dapat dikurangi untuk mengurangi biaya produksi nata dengan sumber karbon sari buah nanas.

Tabel 13. Kadar gula nanas dan sukrosa yang diuji dengan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) setelah fermentasi secara statis dengan standar medium HS.

Kadar gula yang diuji	Hasil (ppm)	
	Nanas (isolat MAG 6)	Sukrosa (isolat SLK1)
Glukosa	2129,28	-
Fruktosa	2268,60	-
Sukrosa	2146,72	16581,02

Tabel 13 menunjukkan bahwa kadar gula yang mengalami pengurangan selama proses fermentasi secara statis baik dengan sumber karbon sari buah nanas

maupun gula murni yaitu sukrosa. Persentase konsumsi gula untuk sumber karbon sari buah nanas dengan strain MGA 6 yang berupa glukosa, fruktosa, dan sukrosa masing-masing sebesar 96.02%, 95.93%, 96.19% sedangkan persentase konsumsi untuk gula murni sukrosa dengan strain SLK 1 yaitu sebesar 44.73%. Berdasarkan persentase konsumsi sumber karbon yang diperoleh maka diketahui yang paling tinggi persentasenya yaitu sukrosa dari sumber karbon nanas dengan strain MGA 6, dan persentase terendah yaitu sumber karbon gula murni sukrosa dengan isolat SLK 1. Sukrosa merupakan disakarida, maka dalam pemanfaatannya oleh kedua strain (MGA 6 dan SLK1) akan dipecah terlebih dahulu menjadi glukosa dan fruktosa, setelah mengalami perubahan maka tahap selanjutnya adalah isolat melakukan polimerisasi glukosa menjadi selulosa yaitu dari MGA 6. Adanya perbedaan konsumsi baik glukosa, fruktosa, maupun sukrosa oleh strain MGA 6 dan SLK1 karena kemampuan setiap strain dalam mensintesis dan melakukan polimerasi glukosa menjadi selulosa berbeda (Keshk & Sameshima, 2005).

C. Faktor-Faktor yang mempengaruhi Produksi Selulosa

Dalam proses produksi selulosa seperti dalam hal pembuatan *nata* maka perlu memperhatikan kondisi optimal bagi aktivitas bakteri penghasil *nata*. Kegagalan produksi *nata* sering terjadi sebagai akibat tidak

diperhatikannya faktor-faktor lingkungan untuk pertumbuhan bakteri *G. xylinus*.

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap produksi selulosa yaitu terdiri atas faktor strain dan faktor lingkungan. Faktor lingkungan berupa faktor fisikawi dan faktor kimiawi. Faktor fisikawi berupa agitasi dan temperatur sedangkan faktor kimiawi berupa pH, sumber karbon, dan sumber nitrogen.

1. Faktor Strain

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap produksi selulosa adalah strain bakteri yang digunakan dalam proses fermentasi dalam menghasilkan selulosa. Penelitian yang dilakukan oleh Hungund dan Gupta (2010), dengan strain *Enterobacter amnigenus* GH-1 dengan berbagai macam sumber karbon dan produktivitas selulosa yang paling tinggi dihasilkan dari sumber karbon fruktosa. Sedangkan penelitian Keshk dan Sameshima (2005) dengan strain anggota *G. xylinus* ATCC 10245, produktivitas selulosa yang paling tinggi yaitu glicerol. Adanya perbedaan produktivitas selulosa dari strain yang berbeda di sebabkan karena perbedaan strain bakteri dalam mensintesis dan melakukan polimerisasi glukosa menjadi selulosa (Keshk & Sameshima, 2005).

2. Agitasi

Agitasi merupakan faktor fisikawi yang mampu mempengaruhi produksi selulosa karena agitasi akan

memberikan pengaruh terhadap kelarutan oksigen dalam medium fermentasi. Penelitian yang dilakukan oleh Tantrian *et al.* (2005) berupa percobaan dengan perlakuan kecepatan agitasi pada 50, 100, dan 150 rpm dengan tujuan untuk mengetahui kadar oksigen terlarut selama proses fermentasi dengan metode agitasi. Pada kecepatan rotasi 50 rpm, tingkat kelarutan oksigen dalam medium rendah dan pembentukan asam glukonik juga rendah, akan tetapi produksi selulosa rendah. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh jumlah oksigen yang tidak mencukupi untuk aktivitas sel dan produksi selulosa. Pada kecepatan rotasi 150 rpm, oksigen terlarut dalam medium berlebih dan meningkatkan akumulasi asam glukonik. Oksigen yang berlebih dalam medium akan berfungsi sebagai aseptor elektron yang akan mengoksidasi glukosa menjadi asam glukonik sehingga glukosa yang seharusnya akan dikonversikan menjadi selulosa akan berkurang dan menyebabkan produksi selulosa berkurang. Untuk kecepatan rotasi 100 rpm pada penelitian ini merupakan kecepatan rotasi yang optimal untuk produksi selulosa yaitu 5.67 g/l pada medium produksi air kelapa. Oleh sebab itu, kelebihan maupun kekurangan oksigen dalam medium fermentasi tidak akan meningkatkan produksi selulosa.

3. Temperatur

Faktor fisikawi selain agitasi ada juga faktor lain yang berpengaruh terhadap produksi selulosa yaitu temperatur. Menurut Chawla *et al.* (2009), temperatur

merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam mempengaruhi pertumbuhan dan produksi selulosa. Penelitian yang dilakukan oleh Hungund & Gupta (2010_a) dengan menggunakan *Enterobacter amnigenus* GH-1, menunjukkan bahwa temperatur optimum untuk produksi selulosa yaitu 28°C dengan skala temperatur (20-40°C) pada fermentasi statis.

4. Sumber Karbon

Selain faktor fisikawi ada pula faktor kimiawi yang juga berpengaruh terhadap produksi selulosa yaitu sumber karbon, dan pH. Glukosa dan sukrosa merupakan sumber karbon yang umum digunakan untuk produksi selulosa, walaupun ada sumber karbon lain yang digunakan. Penelitian yang dilakukan oleh Keshk dan Sameshima (2005) dengan strain anggota *G. xylinus* ATCC 10245 yang menggunakan sumber karbon dari monosakarida, disakarida, dan alkohol, menunjukkan bahwa produksi selulosa yang paling tinggi yaitu dari glycerol, diikuti dengan glukosa, fruktosa, inositol, dan sukrosa. Adanya hasil produksi selulosa yang berbeda-beda dari sumber karbon tersebut menunjukkan bahwa kemampuan dari bakteri itu sendiri dalam mensintesis glukosa dari berbagai macam sumber karbon dan polimerisasi glukosa menjadi selulosa. Selain itu juga, ada faktor lain yang berpengaruh terhadap produksi selulosa yaitu efek konsentrasi awal glukosa yang berkaitan dengan pembentukan asam glukonik dalam medium yang mampu menurunkan pH medium dan berpengaruh

terhadap produksi selulosa. Oleh sebab itu, sumber karbon dan adanya pembentukan asam glukonik dalam medium fermentasi berkaitan dengan sintesis enzim-enzim dan pembelahan sel sehingga akan berkaitan dengan produksi selulosa (Phunsri *et al.*, 2003; Chawla *et al.*, 2009).

5. Sumber Nitrogen

Nitrogen merupakan komponen utama dari protein yang diperlukan dalam metabolisme sel, hal ini bisa terlihat dari penelitian tentang pengaruh berbagai macam sumber nitrogen terhadap produksi selulosa yaitu casein hydrolysate sebesar 5 g/l dan pepton 4.8 g/l dengan *A. xylinum* (Ramana *et al.*, 2000). Begitupun halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Hungund dan Gupta (2010_a) yaitu casein hydrolysate sebesar 2.8 g/l dan pepton sebesar 2.5 g/l dengan *Enterobacter amnigenus*. Produksi selulosa yang berbeda dari sumber nitrogen yang berbeda juga, mengindikasikan bahwa sumber nitrogen berpengaruh terhadap metabolisme sel yang berkaitan dengan sintesis selulosa (Ramana *et al.*, 2000; Chawla *et al.*, 2009).

6. Keasaman Media (pH)

pH optimum untuk produksi selulosa bakteri yaitu pada skala 4 sampai 6, dan produksi selulosa akan menurun pada pH 4 (Chawla *et al.*, 2009). Tingkat keasaman media (pH) dalam medium fermentasi akan

berpengaruh terhadap pertumbuhan strain bakteri terutama dalam hal sintesis enzim dan pembelahan sel (Phunsri *et al.*, 2003; Tantrian *et al.*, 2005). Oleh sebab itu, penurunan pH yang terjadi dapat mengurangi keaktifan bakteri *G. xylinus* dalam mensintesis selulosa dan akan berpengaruh juga terhadap produksi selulosa karena sintesis enzim-enzim yang berkaitan dengan produksi selulosa terhambat pembentukannya.

BAB III

OPTIMASI PRODUKSI SELULOSA

A. Optimasi Produksi Selulosa

Optimasi produksi selulosa dilakukan dari berbagai macam sumber karbon yaitu sari buah (nanas, jeruk, pepaya, dan mangga) dan gula murni (glukosa, fruktosa, dan sukrosa) dengan menggunakan tiga strain terbaik *G. xylinus* (GDN 32, SLK 1, dan MGA 6) yang akan diuji kemampuan menghasilkan selulosa pada sumber karbon tersebut. Produksi selulosa dari berbagai sumber karbon tersebut akan mengacu pada dua macam medium yaitu medium produksi air kelapa tanpa penambahan gula dan medium standar HS (*Hestrin & Schramm*). Sumber karbon sari buah akan mengacu pada medium

produksi air kelapa dan HS sedangkan sumber karbon gula murni akan mengacu pada medium standar HS.

B. Pengaruh Berbagai Jenis Sumber Karbon

1. Produksi Selulosa dengan Sumber Karbon Sari Buah

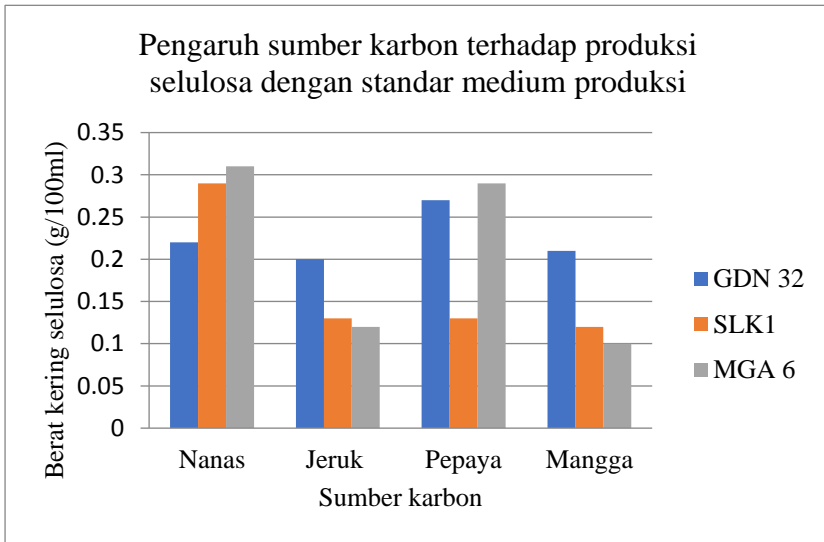
Pemanfaatan berbagai macam sari buah untuk produksi selulosa, dengan konsentrasi sumber karbon awal yaitu bahan berbanding air sebesar 1:1. Tahap awal dari penelitian ini adalah mencari sumber karbon sari buah dan satu strain terbaik yang mampu menghasilkan selulosa dalam jumlah maksimum. Berikut adalah hasil produksi selulosa yang mengacu pada medium produksi air kelapa.

Tabel 1. Pengaruh berbagai macam sumber karbon sari buah untuk produksi selulosa dengan strain GDN 32, SLK 1, dan MGA 6 dalam medium standar produksi air kelapa dengan konsentrasi awal 1:1 (bahan:air).

<i>Sumber karbon</i>	<i>Berat kering selulosa (g/ 100ml)</i>		
	GDN 32	SLK 1	MGA 6
<i>Nanas</i>	0.22	0.29	0.31
<i>Jeruk</i>	0.2	0.13	0.12
<i>Pepaya</i>	0.27	0.12	0.29
<i>Mangga</i>	0.21	0.12	0.1

Tabel 1 menunjukkan hasil untuk produksi selulosa dengan sumber karbon dan strain yang berbeda, yaitu strain MGA 6 mampu menghasilkan selulosa paling optimal sebesar 0.31g/100ml, diikuti strain GDN 32 dan

SLK 1, masing-masing 0.22g/100ml dan 0.29g/100ml dengan sumber karbon nanas seperti pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Pengaruh sumber karbon sari buah terhadap produksi selulosa dengan standar medium produksi air kelapa

Gambar 1 menunjukkan bahwa sumber karbon dari sari sari buah nanas mampu menghasilkan selulosa dalam jumlah paling optimal oleh ketiga strain (GDN 32, SLK 1, dan MGA 6), dan strain tersebut mampu memanfaatkan sari buah nanas, jeruk, pepaya, dan mangga untuk produksi selulosa bakteri dengan medium sari buah yang hanya mengandung sumber nitrogen yaitu

ammonium sulfat. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Kurosumi *et al.* (2009) yang memanfaatkan sumber karbon dari sari buah yaitu jeruk, nanas, apel, pear, dan anggur dengan menggunakan strain *A. xylinum* NBRC 19693 menunjukkan hasil bahwa sumber karbon yang mampu menghasilkan selulosa paling tinggi yaitu sari buah jeruk yang ditambahkan dengan sumber nitrogen dalam medium standar HS sedangkan untuk sari buah yang tidak ditambahkan sumber nitrogen dan hanya diatur pH nya menjadi 6 menghasilkan selulosa sangat sedikit bila dibandingkan dengan sari buah yang ditambahkan sumber nitrogen medium HS.

Selain itu juga penelitian yang dilakukan oleh Kongruan (2008) yang memanfaatkan air kelapa dan sari buah nanas dengan sumber nitrogen dalam medium HS, menunjukkan bahwa strain 893 dan 975 mampu memanfaatkan sumber karbon nanas untuk menghasilkan selulosa dalam jumlah yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan air kelapa karena menurut Kongruan (2008), sari buah kaya akan karbohidrat, protein, dan unsur-unsur penting yang akan digunakan sebagai substrat untuk produksi selulosa bakteri sehingga medium sari buah yang hanya mengandung sumber nitrogen saja mampu menghasilkan selulosa karena adanya faktor-faktor tersebut. Berikut adalah gambar 2 yang menunjukkan selulosa bakteri dengan sumber karbon nanas.



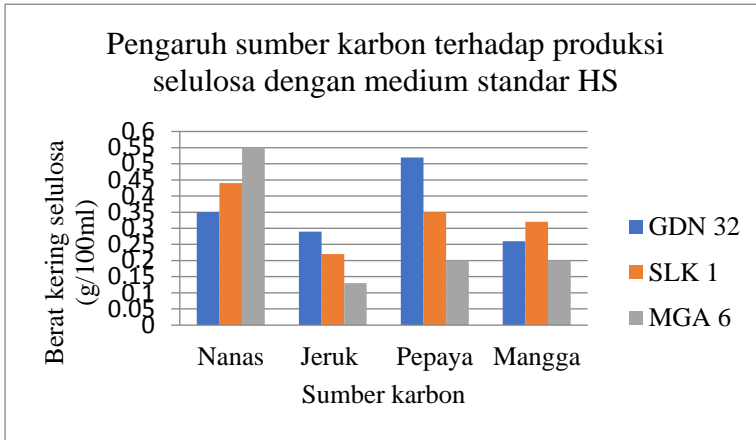
Gambar 2. Selulosa bakteri dengan medium sari buah nanas standar produksi air kelapa, A. strain GDN 32, B. strain SLK 1, dan C. strain MGA 6.

Produksi selulosa bakteri dengan berbagai macam sumber karbon sari buah yang mengacu pada medium standar HS. Medium HS terdiri atas sumber karbon (diganti dengan sari buah) 1:1, *bactopepton* 5% (w/v), *yeast extract* 5% (w/v), NA_2HPO_4 2.7% (w/v) dan asam sitrat 1.15% (w/v), dan $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 5.7% (w/v) (Kristinowicz *et al.*, 2005). Berikut adalah hasil produksi selulosa bakteri yang mengacu pada medium HS dengan sumber karbon sari buah (nanas, jeruk, papaya, dan mangga) dan strain (GDN 32, SLK 1, dan MGA 6).

Tabel 2. Pengaruh berbagai macam sumber karbon sari buah untuk produksi selulosa dengan strain GDN 32, SLK 1, dan MGA 6 dalam medium standar HS (Hestrin & Schramm) dengan konsentrasi awal 1:1 (bahan:air)

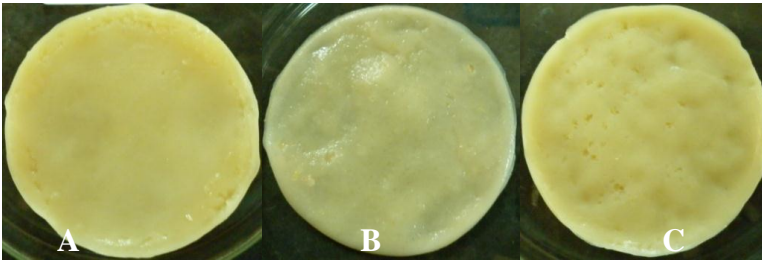
<i>Sumber karbon</i>	<i>Berat kering selulosa (g/ 100ml)</i>		
	GDN 32	SLK 1	MGA 6
<i>Nanas</i>	0.35	0.44	0.55
<i>Jeruk</i>	0.29	0.22	0.13
<i>Pepaya</i>	0.52	0.35	0.19
<i>Mangga</i>	0.4	0.32	0.38

Tabel 2 menunjukkan bahwa strain yang memiliki kemampuan menghasilkan selulosa dalam jumlah paling optimal yaitu MGA 6, diikuti dengan SLK 1, dan GDN 32, masing-masing sebesar 0.55g/100ml, 0.44g/100ml, dan 0.35g/100ml dengan sumber karbon nanas. Produksi selulosa yang dihasilkan oleh tiga strain (GDN 32, SLK 1, MGA 6) dengan berbagai macam sumber karbon (nanas, jeruk, pepaya, dan mangga) menunjukkan produktivitas yang berbeda-beda dalam menghasilkan selulosa antara strain dan sumber karbon seperti pada gambar berikut.



Gambar 3. Pengaruh sumber karbon sari buah terhadap produksi selulosa dengan standar medium produksi air kelapa

Gambar 3 menunjukkan bahwa produktivitas sumber karbon yang paling optimal dalam menghasilkan selulosa yaitu sari buah nanas dengan tiga strain tersebut. Selulosa yang dihasilkan dengan sumber karbon sari buah yang mengacu pada medium standar HS menunjukkan produktivitas selulosa yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan sumber karbon yang mengacu pada medium standar air kelapa.



Gambar 4. Selulosa bakteri dengan medium sari buah nanas standar HS (Hestrin & Schramm), A. strain GDN 32, B. strain SLK 1, dan C. strain MGA 6.

Gambar 4 menunjukkan bahwa selulosa bakteri dengan sumber karbon nanas standar HS. Medium sari buah dengan standar medium HS menunjukkan rata-rata berat kering selulosa yang lebih tinggi dibandingkan dengan medium standar air kelapa. Adanya perbedaan dalam menghasilkan selulosa antara medium standar produksi air kelapa dan HS karena perbedaan komposisi medium fermentasi. Medium sari buah dengan standar produksi air kelapa hanya mengandung sumber nitrogen berupa ammonium sulfat sebesar 0.5% untuk pertumbuhan *G. xylinus* sedangkan medium standar HS memiliki komposisi yang lebih kompleks dalam menunjang pertumbuhan dan produksi selulosa oleh *G. xylinus*. Komposisi dari medium HS yaitu *bactopecton* 5% (w/v) (sebagai sumber nitrogen), *yeast extract* 5% (w/v) (sebagai vitamin), NA_2HPO_4 2.7% (w/v) dan asam sitrat 1.15% (w/v) (sebagai sistem buffer medium), dan

MgSO₄.7H₂O 5.7% (w/v) (sebagai kofaktor enzim dalam produksi selulosa) (Kristinowicz *et al.*, 2005; Brown, 2007). Selain karena faktor medium, ada juga faktor lain seperti kemampuan strain yang berbeda-beda dalam menghasilkan selulosa diakibatkan oleh kemampuan setiap strain dalam mensintesis dan melakukan polimerasi glukosa menjadi selulosa (Keshk & Sameshima, 2005).

2. Produksi Selulosa Dengan Sumber Karbon Gula Murni

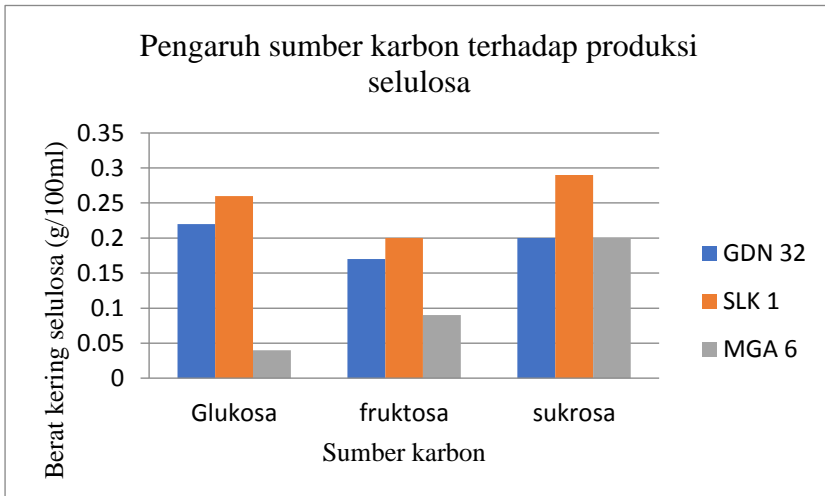
Sumber karbon gula murni yang digunakan dalam penelitian ini adalah glukosa, fruktosa, dan sukrosa. Glukosa dan sukrosa adalah sumber karbon yang umumnya digunakan dalam produksi selulosa (Chawla *et al.*, 2009), selain sumber karbon itu ada juga sumber karbon lain yang pernah digunakan dalam penelitian Hungund dan Gupta (2010) yaitu fruktosa, laktosa, maltosa, mannitol, inositol, dan glycerol. Untuk mengetahui pengaruh sumber karbon gula murni terhadap produksi selulosa bakteri dengan konsentrasi awal sumber karbon sebesar 2% (w/v), berikut adalah hasil produksi selulosa ketiga strain (GDN 32, SLK 1, dan MGA 6) dengan sumber karbon gula murni yaitu glukosa, fruktosa dan sukrosa.

Tabel 3. Pengaruh berbagai macam sumber karbon gula murni untuk produksi selulosa dengan strain GDN 32, SLK 1, dan MGA 6 dalam medium standar HS (Hestrin & Schramm) dengan konsentrasi awal 2%.

Sumber karbon *Berat kering selulosa (g/100ml)*

	GDN 32	SLK 1	MGA 6
<i>Glukosa</i>	0.22	0.26	0.05
<i>Fruktosa</i>	0.17	0.20	0.1
<i>Sukrosa</i>	0.20	0.29	0.20

Tabel 3 menunjukkan hasil produksi selulosa dengan sumber karbon dan strain yang berbeda. Ketiga strain mampu memanfaatkan sumber karbon glukosa, fruktosa, dan sukrosa untuk menghasilkan selulosa. Strain yang memiliki kemampuan menghasilkan selulosa dalam jumlah maksimum yaitu SLK 1 dengan sumber karbon sukrosa sebesar 0.29g/100ml, diikuti dengan GDN 32 dan MGA 6 sebesar 0.20g/100ml. Berikut adalah gambar yang menunjukkan produktivitas selulosa terhadap sumber karbon gula murni.



Gambar 5. Pengaruh sumber karbon gula murni terhadap produksi selulosa dengan medium standar HS.

Berdasarkan gambar 5 diketahui bahwa ketiga strain memiliki kemampuan untuk mensintesis glukosa dari berbagai macam sumber karbon, kemudian dilanjutkan dengan polimerisasi glukosa menjadi selulosa. Hasil yang diperoleh yaitu, sukrosa merupakan sumber karbon yang paling optimal dalam menghasilkan selulosa oleh ketiga strain (GDN 32, SLK 1, dan MGA 6). Gambar 6 dibawah ini menunjukkan gambar selulosa dengan sumber karbon sukrosa dan ketiga strain.



Gambar 6. Selulosa bakteri dengan medium sukrosa standar HS (Hestrin & Schramm), A. strain GDN 32, B. strain SLK 1, dan C. strain MGA 6.

Berbagai penelitian yang memanfaatkan berbagai macam sumber karbon seperti monosakarida, disakarida, oligosakarida, dan alkohol dalam produksi selulosa oleh strain *Acetobacter* (Ishihara *et al.*, 2002; Keshk & Sameshima, 2005). Selain itu juga, pada percobaan yang dilakukan oleh Ramana *et al.* (2000) menghasilkan sumber karbon yang paling optimal dalam produksi selulosa yaitu glukosa, sukrosa, dan mannitol sedangkan hasil penelitian ini (tabel 3) menunjukkan bahwa strain SLK 1 mampu memproduksi selulosa dalam jumlah yang optimal dengan sumber karbon sukrosa dari pada glukosa.

Berdasarkan hasil produktivitas selulosa dengan menggunakan sumber sari buah dan gula murni berdasarkan tabel 1, 2, dan 3, maka diperoleh sumber karbon (sari buah dan gula murni), dan strain terbaik

memiliki kemampuan produktivitas menghasilkan selulosa dalam jumlah optimal. Sumber karbon sari buah terbaik yaitu nanas dengan strain MGA 6, dan sumber karbon gula murni yaitu sukrosa dengan strain SLK 1. Proses optimasi selanjutnya yaitu konsentrasi sumber karbon, volume inokulum, pH, dan temperatur. *Gluconacetobacter* diketahui mampu memproduksi selulosa bakteri tetapi kondisi untuk produksi berbeda untuk setiap strain.

C. Optimasi Kondisi Fermentasi Produksi Selulosa

1. Optimasi produksi selulosa dengan sumber karbon sari buah nanas standar produksi air kelapa.

Tahap selanjutnya yaitu pengaruh konsentrasi sumber karbon sari buah dengan perbandingan bahan: air, volume inokulum, pH, dan temperatur. Tabel 4 menunjukkan bahwa strain MGA 6 mampu menghasilkan selulosa pada rentang konsentrasi sumber karbon (1:1, 1:1 $\frac{1}{2}$, 1:2, 1:2 $\frac{1}{2}$), volume inokulum (5, 10, 15% (v/v)), pH medium (4, 5, 6), dan temperatur (25, 30, dan 37°C), dengan kondisi optimum untuk produksi selulosa yaitu pada konsentrasi sumber karbon 1:1 $\frac{1}{2}$, volume inokulum 10%, pH 6, dan temperatur 30°C sebesar 0.35g/100ml. Berikut adalah hasil produksi selulosa dengan perlakuan konsentrasi sumber karbon, volume inokulum, pH, dan temperatur ditunjukkan dalam tabel 4. di bawah ini.

Tabel 4. Pengaruh berbagai perlakuan untuk produksi selulosa dengan sumber karbon nanas dan strain MGA 6 dalam medium standar produksi air kelapa.

pH	Konsentrasi	Volume inokulum	Temperatur	Rata-rata berat kering selulosa (g/100ml)	
6	1:1	10	30°C	0.31	
	1:1 ½			0.35	
	1:2			0.027	
	1:2 ½			0.023	
	1:1 ½	5	30°C	0.28	
		15		0.22	
	5	1:1 ½	10		0.33
	4	1:1 ½	10		0.12
6	1:1 ½	10	25°C	0.1	
6	1:1 ½	10	37°C	0.05	

2. Optimasi produksi selulosa dengan sumber karbon sari buah nanas standar HS.

Pengaruh konsentrasi sumber karbon sari buah dengan perbandingan bahan:air (1:1, 1:1 $\frac{1}{2}$, 1:2, 1:2 $\frac{1}{2}$), volume inokulum (5, 10, 15% (v/v)), pH medium (4, 5, 6), dan temperatur (25, 30, dan 37°C) terhadap produksi selulosa menggunakan strain MGA 6 menghasilkan kondisi optimum untuk menghasilkan selulosa dalam

jumlah optimum yaitu pada konsentrasi sumber karbon 1:1 ½, volume inokulum 10% (v/v), pH 6, dan temperatur 30°C sebesar 0.73 g/100ml. Berikut adalah hasil produksi selulosa dengan perlakuan konsentrasi sumber karbon, volume inokulum, pH, dan temperatur ditunjukkan dalam tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5. Pengaruh berbagai perlakuan untuk produksi selulosa dengan sumber karbon nanas dan strain MGA 6 dalam medium standar HS.

pH	Konsentrasi	Volume inokulum	Temperatur	Rata-rata berat kering selulosa (g/100ml)
6	1:1	10	30°C	0.55
	1:1 ½			0.73
	1:2			0.27
	1:2 ½			0.25
	1:1 ½	5	30°C	0.35
		15		0.29
				0.42
	5	1:1 ½	10	
4	1:1 ½	10		
6	1:1 ½	10	25°C	0.29
6	1:1 ½	10	37°C	0.50

Pengaruh medium sari buah yang berbeda antara standar produksi air kelapa dan HS (tabel 4 dan 5) menunjukkan rata-rata berat kering selulosa yang dihasilkan berbeda, akan tetapi berbagai perlakuan dalam penelitian menunjukkan hasil yang sama. Pengaruh

perlakuan pH awal (4-6) untuk strain MGA 6 yaitu strain ini mampu menghasilkan selulosa pada rentang pH tersebut dengan pH optimum 6. Pada umumnya, rentang pH untuk produksi selulosa oleh *G. xylinus* yaitu dari 4-7 (Ross *et al.*, 1991) sedangkan pengaruh temperatur yang berbeda (25°C, 30°C, dan 37°C), mampu menghasilkan selulosa dalam jumlah maksimum yaitu pada temperatur 30°C. Hal ini sesuai dengan temperatur optimum untuk pertumbuhan *G. xylinus* yaitu berkisar 25-30°C (Aydin dan aksoy, 2004).

3. Optimasi produksi selulosa dengan sumber karbon sukrosa standar HS.

Pengaruh berbagai perlakuan seperti konsentrasi sumber karbon (2-5% (w/v), dengan unit peningkatan 1%), volume inokulum (5-15% (v/v), unit peningkatan 5%), pH (4-6, dengan unit peningkatan 1), dan temperatur medium (25, 30, dan 37°C) terhadap produksi selulosa dengan strain SLK 1 dan sumber karbon sukrosa yang mengacu pada medium standar HS ditunjukkan dengan tabel 6 berikut.

Tabel 6. Pengaruh berbagai perlakuan untuk produksi selulosa dengan sumber karbon sukrosa dan strain SLK 1 dalam medium standar HS.

pH	Konsentrasi	Volume inokulum	Temperatur	Rata-rata berat kering selulosa (g/100ml)
6	2	10	30°C	0.29
	3			0.32
	4			0.3
	5			0.28
	3	5	30°C	0.14
		15		0.22
5	3	10		0.35
4	3	10		0.16
5	3	10	25°C	0.14
5	3	10	37°C	0.27

Tabel 6 menunjukkan bahwa hasil produksi selulosa oleh SLK 1 dengan berbagai macam perlakuan yaitu SLK 1 mampu menghasilkan selulosa dalam jumlah maksimum dengan kondisi optimum pada pH 5, konsentrasi sumber karbon 3%, volume inokulum 10% (v/v), dan temperatur 30°C sebesar 0.35 g/100ml.

Produktivitas selulosa berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa setiap strain memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam setiap sumber

karbon yang berbeda juga untuk menghasilkan selulosa dalam jumlah yang optimal. Selain itu juga, faktor lingkungan sangat mendukung strain untuk menghasilkan selulosa, sebagaimana penelitian di atas bahwa strain MGA 6 dan SLK 1 mampu menghasilkan selulosa pada temperatur 30°C dan pH 5-6, hal ini sesuai dengan temperatur optimum untuk pertumbuhan *G. xylinus* yaitu berkisar 25-30°C (Aydin dan aksoy, 2004) sedangkan pH optimumnya yaitu berkisar dari 4-7 (Ross *et al.*, 1991).

Perbedaan antar setiap perlakuan (konsentrasi sumber karbon, volume inokulum, pH medium, dan temperatur) memberikan hasil yang berbeda, maka selanjutnya adalah dilakukan analisa statistik untuk mengetahui perbedaan antar setiap perlakuan dan disajikan bentuk gambar grafik dan tabel analisis.

Berikut adalah hasil analisis statistik data rerata ketebalan produk nata dengan perlakuan konsentrasi sumber karbon.

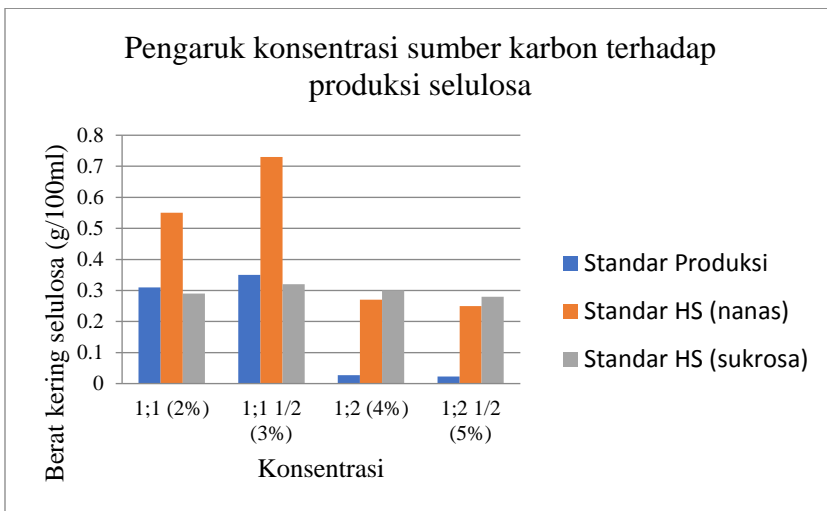
Tabel 7. Data rerata ketebalan produk nata dari 100 ml medium sari buah dan gula murni

Perlakuan (konsentrasi: sari buah/gula murni)	Rata-rata berat kering (g/100ml) ± standar deviasi		
	Sari buah nanas		Sukrosa
	MGA 6		SLK 1
	HS	Produksi	HS
1:1 / 2%	0.55 ± 0.04 ^b	0.31 ± 0.05 ^b	0.29 ± 0.05 ^a
1:1 $\frac{1}{2}$ / 3%	0.73 ± 0.06 ^c	0.35 ± 0.03 ^b	0.32 ± 0.02 ^a
1:2 / 4%	0.27 ± 0.02 ^a	0.03 ± 0.02 ^a	0.3 ± 0.044 ^a
1:2 $\frac{1}{2}$ / 5%	0.25 ± 0.01 ^a	0.02 ± 0.01 ^a	0.28 ± 0.04 ^a

Ket: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata ($P < 0,5$, $n = 3$)

Tabel 7 merupakan hasil analisis statistik rata-rata berat kering selulosa dengan sumber karbon sari buah nanas dan gula murni sukrosa dengan perlakuan konsentrasi sumber karbon. Dari hasil analisis diketahui bahwa perlakuan konsentrasi antara sari buah yang mengacu pada medium produksi air kelapa menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata antara konsentrasi 1:1 dengan 1:1 $\frac{1}{2}$, begitupun halnya untuk konsentrasi 1:2 dan 1:2 $\frac{1}{2}$ menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata. Hasil yang berbeda nyata terlihat antara konsentrasi (1:1 dan 1:1 $\frac{1}{2}$) dengan (1:2 dan 1:2 $\frac{1}{2}$) sebagaimana terlihat dalam gambar 7 terjadi penurunan produksi selulosa yang sangat drastis dari konsentrasi 1:1 $\frac{1}{2}$ ke (1:2 dan 1:2 $\frac{1}{2}$).

Lain halnya dengan medium sari buah yang mengacu pada medium standar HS menunjukkan bahwa pada konsentrasi 1:1 dan $1:1\frac{1}{2}$, menunjukkan hasil yang berbeda nyata antar konsentrasi tersebut sedangkan konsentrasi 1:2 dan $1:2\frac{1}{2}$ memberikan hasil yang tidak berbeda nyata antar perlakuan. Hasil yang berbeda nyata juga ditunjukkan antara konsentrasi 1:1, $1:1\frac{1}{2}$ dengan (1:2 dan $1:2\frac{1}{2}$). Hasil analisis statistik sumber karbon gula murni sukrosa menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata untuk semua konsentrasi sumber karbon hal ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 7. Pengaruh perlakuan konsentrasi sumber karbon terhadap produksi selulosa

Gambar 7 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan produksi selulosa sampai konsentrasi $1:1\frac{1}{2}$ yang menggunakan medium sari buah dengan standar HS dan produksi, tetapi produksi menurun saat konsentrasi menjadi 1:2 dan $1:2\frac{1}{2}$. Begitupun halnya dengan produksi selulosa menggunakan sumber karbon sukrosa dengan standar HS, produksi akan meningkat sampai konsentrasi 3% (w/v) dan menurun pada saat konsentrasi 4%. Penelitian yang dilakukan oleh Pourramezan *et al.* (2009) yang melakukan optimasi terhadap sumber karbon sukrosa dengan strain *Acetobacter* sp. 4B-2 menghasilkan konsentrasi yang paling optimum dalam menghasilkan selulosa yaitu 1.5% dan produksi menurun saat konsentrasi 2%. Dengan adanya perbedaan dalam menghasilkan kondisi yang paling optimum dalam menghasilkan selulosa dengan sumber karbon yang sama dan strain yang berbeda, hal ini disebabkan oleh kemampuan setiap strain dalam mensintesis dan melakukan polimerisasi glukosa menjadi selulosa (Keshk & Sameshima, 2005). Berikut adalah tabel hasil analisis statistik untuk perlakuan volume inokulum.

Tabel 8. Data rerata ketebalan produk nata dari 100 ml medium sari buah dan gula murni

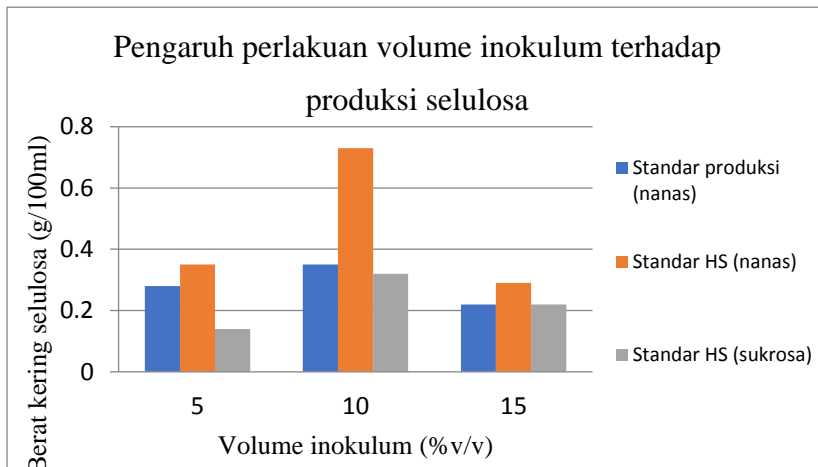
Perlakuan (volume inokulum)	Rata-rata berat kering (g/100ml) ± standar deviasi		
	Sari buah nanas		Sukrosa
	MGA 6		SLK 1
	HS	Produksi	HS
5	0.42±0.04 ^a	0.28 ± 0.01 ^b	0.23 ± 0.01 ^b
10	0.73± 0.06 ^b	0.35 ± 0.03 ^c	0.32 ± 0.02 ^c
15	0.66±0.15 ^b	0.22 ± 0.02 ^a	0.14 ± 0.01 ^a

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata ($P < 0,5$, $n = 3$)

Tabel 8 menunjukkan bahwa perlakuan berupa volume inokulum dengan perbandingan 5, 10, dan 15% (v/v) antara ketiga medium menunjukkan menunjukkan hasil yang berbeda nyata, untuk medium HS dengan perlakuan antara volume 10% (v/v) dan 15% (v/v) memberikan hasil yang tidak berbeda nyata, akan tetapi lain halnya dengan sari buah standar produksi air kelapa dan gula murni menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Perlakuan volume inokulum 5% (v/v) dengan (10% dan 15% (v/v)) untuk ketiga medium menunjukkan hasil yang berbeda nyata.

Penelitian yang dilakukan oleh Rani dan Appaiah (2011) dengan menggunakan strain *Gluconacetobacter hansenii* UAC09 untuk mengetahui pengaruh inokulum terhadap produksi selulosa yaitu dengan rentang (2-10%,

v/v), menunjukkan bahwa pengaruh volume inokulum terhadap produksi selulosa tidak memberikan pengaruh yang signifikan sehingga menggunakan 5% v/v untuk optimasi selanjutnya. Begitupun halnya dengan penelitian ini, perlakuan antara volume inokulum (10% dan 15% (v/v)) tidak memberikan hasil yang berbeda nyata tetapi volume inokulum 10% memberikan hasil produksi selulosa yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan 15% (v/v) sehingga untuk optimasi selanjutnya menggunakan volume tersebut. Berikut adalah gambar tentang pengaruh perlakuan volume inokulum terhadap produksi selulosa.



Gambar 8. Pengaruh perlakuan volume inokulum terhadap produksi selulosa

Berdasarkan gambar 8 diketahui bahwa adanya perbedaan volume inokulum dalam medium fermentasi baik dengan sumber karbon sari buah maupun gula

murni menunjukkan produktivitas yang berbeda dalam menghasilkan selulosa. Volume inokulum yang paling optimal dalam menghasilkan selulosa yaitu pada volume 10% (v/v) sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Tantrian *et al.* (2005) yang menggunakan volume 10% dalam produksi selulosa yang menggunakan medium air kelapa. Berikut adalah hasil analisis statistik untuk perlakuan pH medium.

Tabel 9. Data rerata ketebalan produk nata dari 100 ml medium sari buah dan gula murni

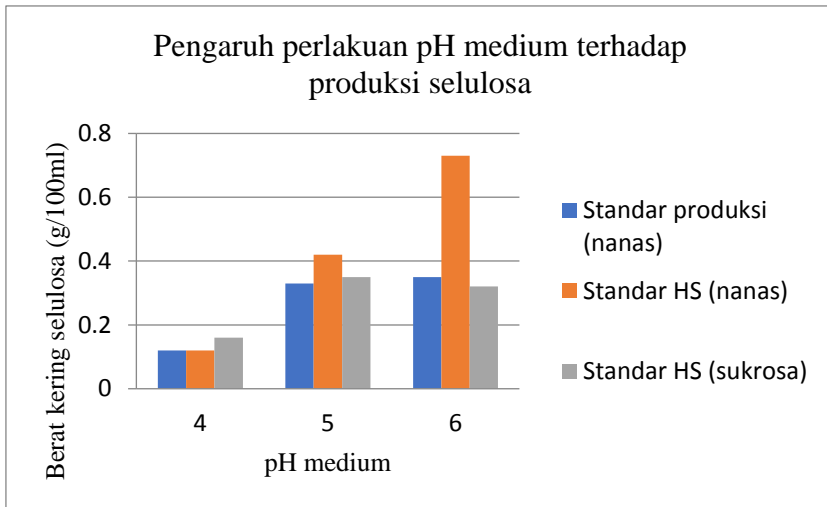
Perlakuan (pH)	Rata-rata berat kering (g/100ml) ± standar deviasi		
	Sari buah nanas		Sukrosa
	MGA 6		SLK 1
	HS	Produksi	HS
4	0.42±0.04 ^b	0.12 ± 0.02 ^a	0.16 ± 0.02 ^a
5	0.29±0.08 ^a	0.33 ± 0.02 ^b	0.35 ± 0.03 ^b
6	0.73±0.06 ^c	0.35 ± 0.03 ^b	0.29 ± 0.02 ^b

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata ($P < 0,5$, $n = 3$)

Perlakuan pH untuk medium standar HS antara pH 4, 5, dan 6 menunjukkan hasil yang berbeda nyata, hal ini dapat terlihat dari rata-rata berat kering selulosa yang dihasilkan memiliki selisih yang tinggi antar setiap perlakuan yaitu masing-masing 0.42g/100ml, 0.29g/100ml, dan 0.73g/100ml. Lain halnya dengan sari buah standar produksi air kelapa dan sukrosa menunjukkan hasil antar perlakuan yang sama yaitu perlakuan pH 5 dan 6 tidak menunjukkan hasil yang

berbeda nyata karena selisih berat kering selulosa antara pH tersebut tidak terlalu tinggi yaitu masing-masing 0.33g/100ml dan 0.35g/100ml untuk sari buah nanas standar produksi air kelapa, 0.35g/100ml dan 0.29g/100ml untuk sumber karbon gula murni sukrosa. Hasil yang berbeda nyata yaitu perlakuan antara pH 4 dengan (pH 5 dan 6).

Gambar 9 di bawah ini menunjukkan bahwa pH medium yang paling optimum dan terendah dalam menghasilkan selulosa dengan medium dan strain yang berbeda. strain MGA 6 dengan sumber karbon sari buah menghasilkan selulosa yang optimal yaitu pH 6 dan terendah pada pH 4. Lain halnya dengan strain SLK 1 dengan sumber karbon sukrosa menghasilkan selulosa yang optimal yaitu pH 5 dan terendah pada pH 4. Penelitian yang dilakukan oleh Phunsri *et al.* (2003), pH dalam medium fermentasi akan berpengaruh terhadap pertumbuhan *Acetobacter* sp., terutama dalam hal sintesis enzim dan pembelahan sel. Oleh sebab itu adanya perbedaan pH medium untuk menghasilkan selulosa dalam jumlah optimal dalam sumber karbon yang berbeda karena perbedaan strain antara kedua sumber karbon tersebut.



Gambar 9. Pengaruh perlakuan pH medium terhadap produksi selulosa

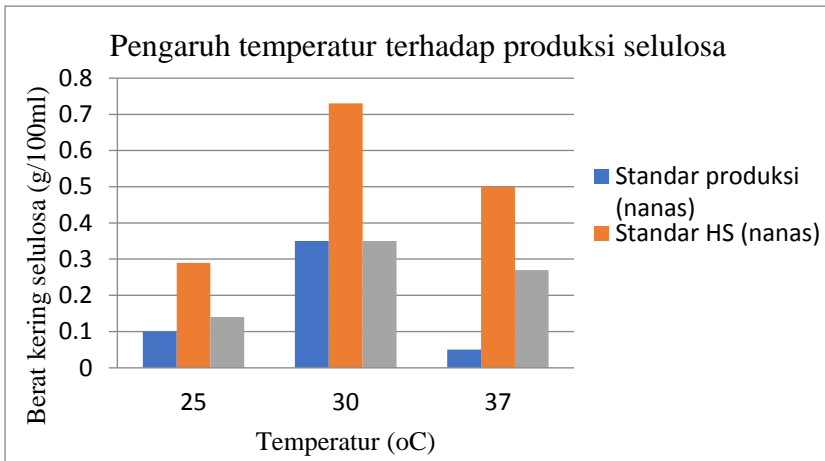
Perbedaan temperatur dalam menghasilkan selulosa diuji secara statistik untuk mengetahui perbedaannya yang disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 10. Data rerata ketebalan produk nata dari 100 ml medium sari buah dan gula murni

Perlakuan (temperatur)	Rata-rata berat kering (g/100ml) ± standar deviasi		
	Sari buah nanas		Sukrosa
	MGA 6		SLK 1
	HS	Produksi	HS
25°C	0.29±0.02 ^a	0.10 ± 0.02 ^b	0.14 ± 0.02 ^a
30°C	0.73±0.06 ^c	0.35 ± 0.03 ^c	0.35 ± 0.03 ^c
37°C	0.50±0.09 ^b	0.05 ± 0.01 ^a	0.27 ± 0.04 ^b

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata ($P < 0,5$, $n = 3$)

Berdasarkan tabel 10 diketahui bahwa perlakuan temperatur memberikan pengaruh yang berbeda nyata antar setiap perlakuan. Medium sari buah nanas yang mengacu dengan HS dan medium produksi air kelapa, serta sumber karbon gula murni memberikan hasil yang berbeda nyata antar perlakuan temperatur. Berikut adalah pengaruh temperatur terhadap produksi selulosa ditunjukkan dalam bentuk gambar.



Gambar 10. Pengaruh perlakuan temperatur terhadap produksi selulosa

Gambar 10 menunjukkan bahwa temperatur optimum untuk menghasilkan selulosa dalam jumlah optimum yaitu pada 30°C dan terendah yaitu 25°C baik untuk sumber karbon nanas dan sukrosa dengan standar HS dan produksi. Beberapa penelitian tentang pengaruh temperatur yang optimal terhadap produksi selulosa yaitu

28°C (Hungund & Gupta, 2010^a), 30°C (Hungund & Gupta, 2010^b) dengan rentang 20-40°C. Penelitian yang dilakukan oleh Pourramezan *et al.* (2009), temperatur optimum untuk produksi selulosa yaitu 30°C dan terendah pada 45°C. Begitupun halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh (Coban & Biyik, 2011), temperatur yang optimum terhadap produksi selulosa yaitu 30°C dan terendah yaitu 37°C. Adanya rentang temperatur dalam berbagai penelitian untuk memperoleh produksi selulosa dalam jumlah optimal menunjukkan bahwa temperatur merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam produksi selulosa karena berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi selulosa (Chawla *et al.*, 2009).

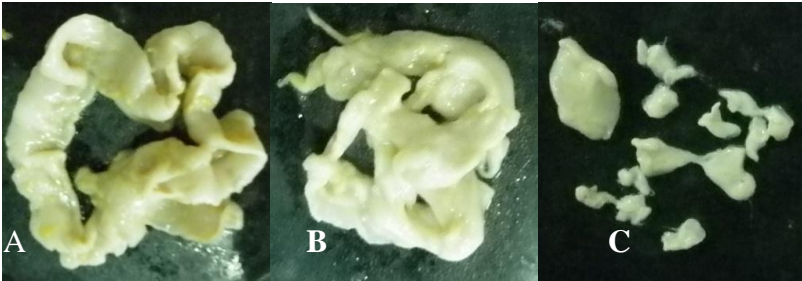
D. Produksi selulosa dalam keadaan optimum

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap produksi selulosa yaitu faktor fisikawi dan kimiawi, salah satu faktor fisikawi yaitu metode produksi berupa agitasi. Metode produksi secara agitasi mampu mempengaruhi produksi selulosa karena berpengaruh terhadap kelarutan oksigen dalam medium fermentasi. Berikut adalah hasil produksi selulosa dengan kecepatan agitasi 100 rpm.

Tabel 11. Data rerata ketebalan produk nata dari 100 ml medium sari buah dan gula murni dengan metode fermentasi agitasi.

Sumber karbon	Medium standar	Rata-rata berat kering (g/100ml)	
		MGA 6	SLK 1
Nanas	Produksi air kelapa	0.153	-
	HS	0.41	-
Sukrosa	HS	-	0.053

Tabel 11 menunjukkan hasil bahwa rata-rata produksi selulosa dengan metode fermentasi agitasi yaitu untuk sari buah nanas dengan standar air kelapa sebesar 0.153 g/100ml dan standar HS sebesar 0.41 g/100ml sedangkan gula murni sebesar 0.053 g/100ml. Hasil produksi selulosa dengan sumber karbon sari buah lebih tinggi bila dibandingkan dengan sukrosa. Hal ini disebabkan karena buah kaya akan karbohidrat, protein, dan unsur-unsur penting yang akan digunakan sebagai substrat untuk produksi selulosa (Kongruang, 2008). Berikut adalah gambar hasil selulosa bakteri dengan metode fermentasi secara agitasi.



Gambar 11. Selulosa bakteri dengan medium sari buah nanas (MAG 6) dan sukrosa (SLK 1). A. Strain MGA 6 standar HS, B. Strain MGA 6 standar produksi air kelapa, C. Strain SLK 1 standar HS.

Perbedaan metode fermentasi akan menyebabkan bentuk morfologi selulosa yang dihasilkan berbeda. Pada fermentasi secara statis, selulosa akan terbentuk pada permukaan medium dan selulosa yang terbentuk semakin lama akan semakin tebal yang akan menyebabkan produksi sel dan sumber nutrisi akan sulit ditransportasi ke selulosa yang berada pada permukaan medium sehingga akan menyebabkan pembentukan selulosa mengalami penurunan (Suwannapinunt *et al.*, 2007) sedangkan pada kondisi fermentasi agitasi, selulosa tidak akan berbentuk lembaran tetapi akan berbentuk butiran yang tidak teratur (Watanabe *et al.*, 1998).

BAB IV

IDENTIFIKASI DAN KARAKTERISASI SELULOSA

Mengingat manfaat yang begitu besar dari selulosa bakteri maka perlu memperhatikan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap produksi selulosa yaitu faktor strain dan faktor lingkungan. Faktor lingkungan berupa faktor fisikawi dan kimiawi berupa sumber karbon, sumber nitrogen, pH, temperatur, dan metode produksi yang meliputi metode produksi agitasi dan statis (Chawla *et al.*, 2009).

Faktor strain berpengaruh terhadap produksi selulosa karena adanya perbedaan produktivitas selulosa yang dihasilkan oleh strain berbeda sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Hungund dan Gupta (2010_a) yang menggunakan strain *Enterobacter amnigenus*

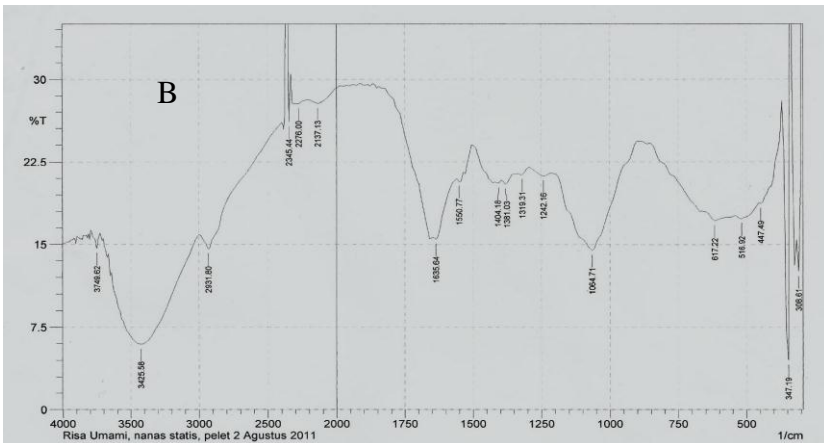
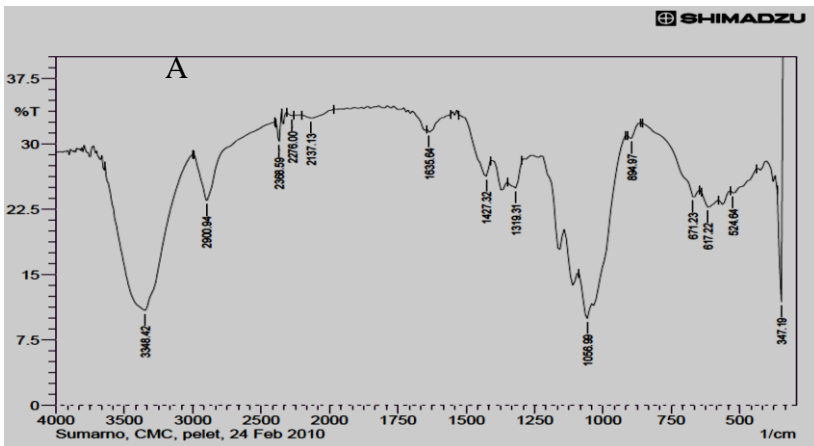
GH-1 dengan produktivitas selulosa yang paling tinggi dihasilkan dari sumber karbon fruktosa. Begitupun halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Keskh dan sameshima (2005) dengan strain anggota *G. xylinus* ATCC 10245, produktivitas selulosa yang paling tinggi yaitu glicerol. Penelitian yang dilakukan oleh Kurosumi *et al.* (2009) memanfaatkan sari buah sebagai sumber karbon yaitu jeruk, nanas, apel, pear, dan anggur dengan menggunakan strain *Acetobacter xylinum* NBRC 13693 menunjukkan produktivitas selulosa yang berbeda-beda. Adanya perbedaan produktivitas dari strain yang berbeda disebabkan karena kemampuan strain bakteri dalam mensintesis dan melakukan polimerisasi glukosa menjadi selulosa.

Faktor lingkungan yang berupa sumber karbon, nitrogen, pH, temperatur, dan metode produksi juga berpengaruh terhadap produksi selulosa. Sumber karbon digunakan dalam proses polimerisasi glukosa menjadi selulosa, sumber nitrogen digunakan untuk metabolisme sel, pH (tingkat keasamaan media) dan temperatur akan berpengaruh terhadap pertumbuhan strain bakteri terutama dalam hal sintesis enzim dan pembelahan sel (Phunsri *et al.*, 2003; Tantrian *et al.*, 2005). Sedangkan metode produksi produksi yang berbeda antara statis dan agitasi akan menghasilkan selulosa dengan bentuk dan karakter yang berbeda. Oleh karena itu, untuk memperoleh produksi selulosa dalam jumlah maksimum harus memperhatikan faktor-faktor tersebut.

Selulosa yang dihasilkan berdasarkan kondisi yang paling optimum berdasarkan metode fermentasi statis dan agitasi akan diidentifikasi dan dikarakterisasi.

A. Identifikasi Selulosa Dengan FT-IR spektroskopi

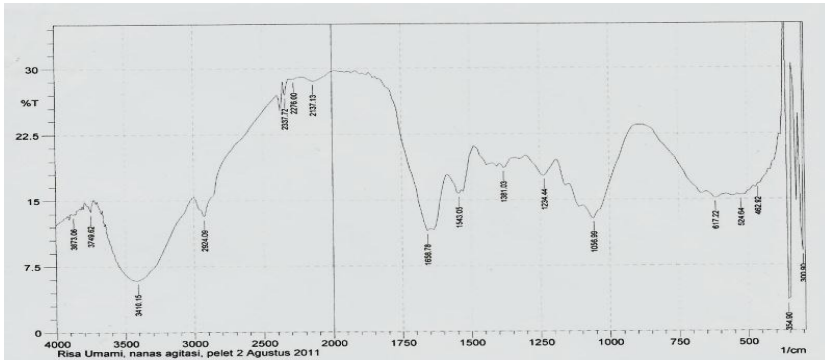
1. Selulosa bakteri dari sumber karbon nanas dengan metode fermentasi statis.



Gambar 12. Spektrum inframerah selulosa, A. Standar, CMC, dan B. Selulosa bakteri dari strain MGA 6 dengan sumber karbon nanas standar HS.

Berdasarkan gambar 12, spektrum inframerah dari CMC (A) dan selulosa bakteri (B) yaitu spektrum pada 1664 dan 1431 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus asam karboksilat dan gugus karboksil. Spektrum 2999 cm^{-1} menunjukkan CH_2 , spektra 1058 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-O eter dan alkohol, spektra 3415 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus hidroksil (OH) (Nasab & Yousefi, 2010). Perbandingan spektrum gambar A dan B memberikan hasil yang mirip yaitu 3425.58, 2931.80, 1404.18, 1381.03, 1064.71 cm^{-1} yang menunjukkan adanya keberadaan gugus hidroksil, CH_2 , gugus asam karboksilat dan gugus karboksil, dan ikatan C-O eter. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa selulosa bakteri dengan sumber karbon nanas yang dihasilkan melalui fermentasi statis adalah selulosa bakteri karena memiliki spektrum yang sama dengan standar yaitu CMC.

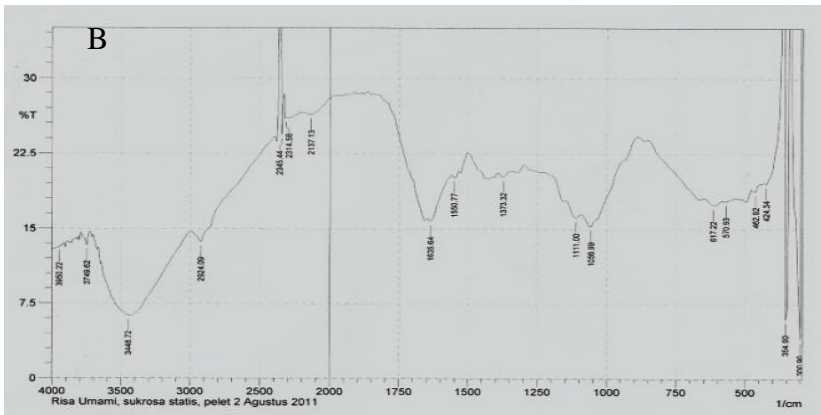
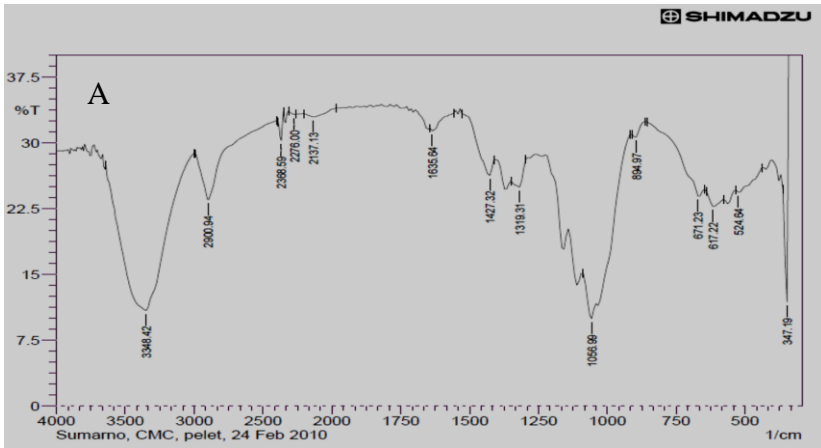
2. Selulosa bakteri dari sumber karbon nanas dengan metode fermentasi agitasi.



Gambar 13. Spektrum inframerah selulosa bakteri dengan strain MGA 6 dari sumber karbon nanas standar HS melalui fermentasi agitasi.

Gambar 13 menunjukkan bahwa spektrum inframerah yang terbentuk dari nanas melalui fermentasi agitasi yaitu 3410.15, 2924.09, 1543.05, 1381.03, 1056.99 cm^{-1} yang menunjukkan adanya keberadaan gugus hidroksil, CH_2 , gugus asam karboksilat dan gugus karboksil, dan ikatan C-O eter. Dengan adanya spektrum yang memiliki kemiripan dengan selulosa standar yaitu CMC, maka dapat disimpulkan bahwa selulosa bakteri dengan sumber karbon nanas melalui fermentasi agitasi merupakan selulosa bakteri.

3. Selulosa bakteri dari sumber karbon sukrosa dengan metode fermentasi statis

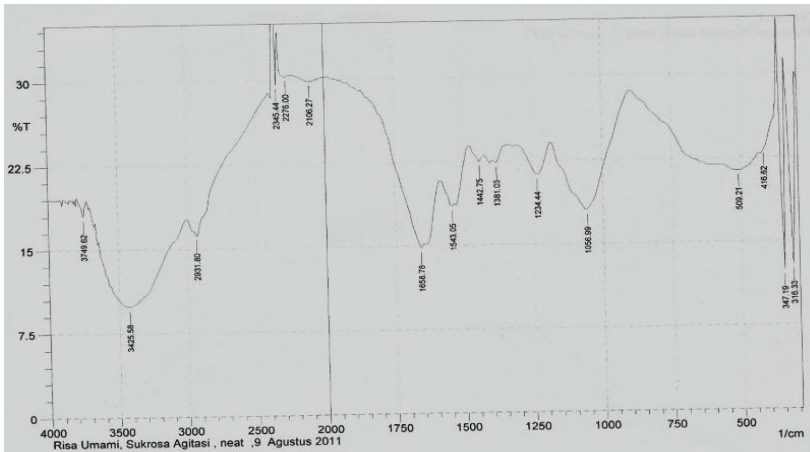


Gambar 14. Spektrum inframerah selulosa, A. Standar, CMC, dan B. Selulosa bakteri dari strain SLK 1 dengan sumber karbon sukrosa standar HS melalui fermentasi statis.

Gambar 14 menunjukkan spektrum inframerah dari CMC (A) dan selulosa bakteri dengan sumber karbon gula murni sukrosa (B). Spektrum pada 1664 dan 1431 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus asam karboksilat dan gugus karboksil. Spektra 2999 cm^{-1} menunjukkan CH_2 , spektra 1058 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-O eter dan alkohol, spektra 3415 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus hidroksil (OH) (Nasab & Yousefi, 2010). Perbandingan spektrum antara CMC dengan selulosa bakteri sumber karbon sukrosa yaitu 3448.72, 2924.09, 1550.77, 1373.32, 1056.99 cm^{-1} menunjukkan adanya keberadaan gugus hidroksil, CH_2 , gugus asam karboksilat dan gugus karboksil, dan ikatan C-O eter. Spektrum antara CMC dan selulosa bakteri sumber karbon sukrosa menunjukkan spektrum yang mirip sehingga dapat dikatakan bahwa CMC dan selulosa bakteri sumber karbon sukrosa merupakan selulosa bakteri.

4. Selulosa bakteri dari sumber karbon sukrosa dengan metode fermentasi agitasi

Berikut adalah spektrum infra merah yang terbentuk dari sukrosa melalui fermentasi agitasi.



Gambar 15. Spektrum inframerah selulosa bakteri dengan strain MGA 6 dari sumber karbon nanas standar HS melalui fermentasi agitasi.

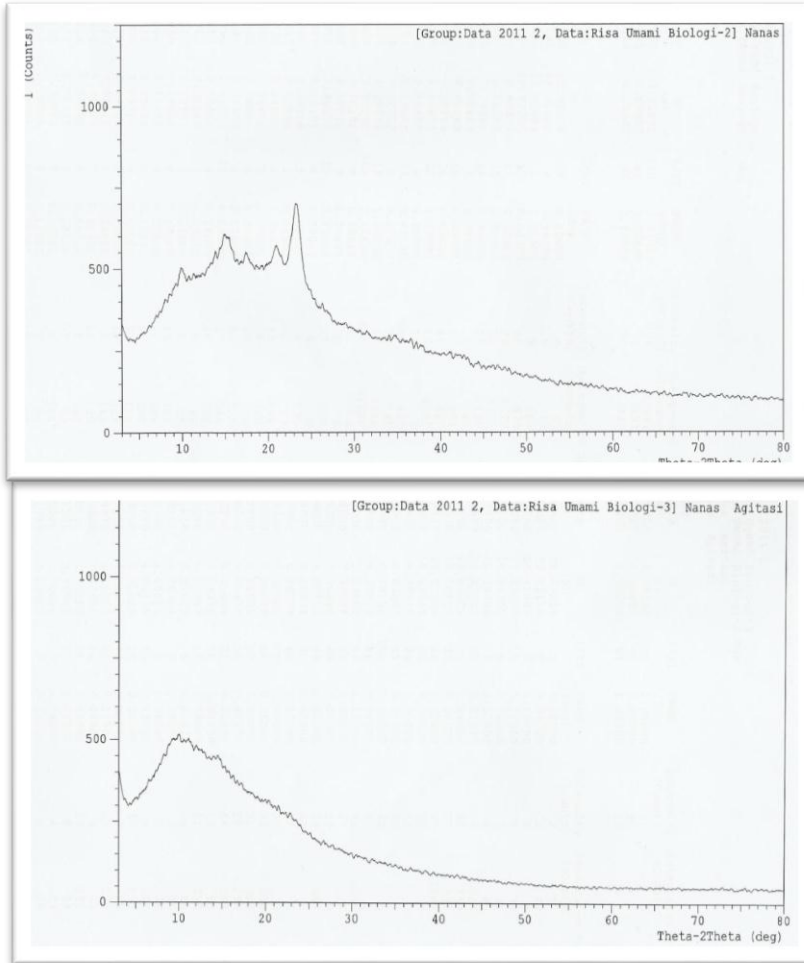
Gambar 15 menunjukkan hasil spektrum inframerah yang terbentuk dari sukrosa melalui fermentasi agitasi yaitu 3425.58, 2931.80, 1442.75, 1381.03, 1056.99 cm^{-1} yang menunjukkan adanya keberadaan gugus hidroksil, CH_2 , gugus asam karboksilat dan gugus karboksil, dan ikatan C-O eter. Dengan adanya spektrum yang memiliki kemiripan dengan selulosa standar yaitu CMC, maka dapat disimpulkan bahwa selulosa bakteri dengan sumber karbon sukrosa melalui fermentasi agitasi merupakan selulosa bakteri.

Menurut Castro *et al.* (2011) yaitu spektrum inframerah yang dihasilkan dari selulosa bakteri dengan

berbagai kondisi seperti medium dan metode fermentasi, serta strain yang berbeda dalam menghasilkan spektrum yang mirip dengan kondisi tersebut, maka hal ini mengindikasikan bahwa selulosa memiliki struktur kimia yang sama. Dalam hal ini, sumber karbon sari buah dan gula murni dalam menghasilkan selulosa menggunakan medium dan metode fermentasi, serta strain yang berbeda memiliki spektrum yang mirip dengan selulosa standar dan gugus hidroksil dan ikatan C-H yang dihasilkan juga berada pada rentang spektrum selulosa tipe 1 sehingga selulosa yang dihasilkan merupakan selulosa bakteri. Selain itu juga, keberadaan gugus hidroksil dan ikatan C-H pada spektrum dengan area $3.700-3.000\text{ cm}^{-1}$ dan $3000-2.850\text{ cm}^{-1}$ merupakan ciri dari selulosa tipe 1 (Kato *et al.*, 2007). Selulosa tipe 1 ini terdiri atas rantai β -1,4-glikosidik yang tersusun secara parallel dan diproduksi dalam bentuk pelikel oleh *G. xylinus* (Nasab & Yousefi, 2010).

B. Karakterisasi selulosa dengan X-ray difraktometri

1. Selulosa bakteri dari sumber karbon nanas dengan strain MGA 6.



Gambar 16. Pola X-ray dari selulosa bakteri dengan strain MGA 6 dan sumber karbon nanas, A. Fermentasi statis, B. Fermentasi agitasi.

Indeks kristalinitas dihitung berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Segal *et al.* (1959), dengan indeks kristalinitas ($Cr.I.$) = $(I_{002}-I_{am})/ I_{002}$. Gambar 16 A menunjukkan pola difraksi sinar-X dari selulosa bakteri dengan metode fermentasi statis dan memperlihatkan tiga puncak terkuat yaitu, 15.008° , 21.1550° , dan 23.263° dengan indeks kristalinitas yaitu 83.04% sedangkan gambar 16 B menunjukkan pola difraksi sinar-X dari selulosa bakteri dengan metode fermentasi agitasi memperlihatkan tiga puncak terkuat juga yaitu 8.8400° , 9.2000° , dan 9.8400° dengan indeks kristalinitas sebesar 93.65%. Nilai puncak dalam difraksi sinar-X dan nilai indeks kristalinitas selulosa antara selulosa bakteri dengan metode fermentasi statis dan agitasi ditunjukkan dalam tabel berikut:

Tabel 14. Difraksi sinar-X dan derajat kristalinitas selulosa bakteri strain MGA 6 dengan sumber karbon nanas.

Selulosa	Puncak			Intensitas			Indeks kristalinitas
	1	2	3	1	2	3	
Nanas statis	21.1550	15.0075	23.2630	57	72	17	83.04%
Nanas agitasi	8.8400	9.2000	9.8400	53	60	63	93.65%

Tabel 14 menunjukkan bahwa indeks kristalinitas pada selulosa yang dihasilkan dengan metode fermentasi statis lebih rendah bila dibandingkan dengan agitasi.

Berdasarkan berbagai penelitian bahwa indeks kristalinitas dengan metode fermentasi statis akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan fermentasi agitasi hal ini disebabkan oleh ikatan hidrogen pada fermentasi agitasi akan berkurang akibat goyangan yang terjadi akibatnya pada saat perakitan selulosa oleh bakteri akan menghasilkan fibril-fibril yang pendek.

2. Selulosa bakteri dari sumber karbon sukrosa dengan strain SLK 1.

Besar nilai puncak difraksi sinar-X dan nilai intensitas selulosa bakteri serta perbedaan indeks kristalinitas antara selulosa bakteri strain SLK 1 yang menggunakan sumber karbon sukrosa dan dengan metode fermentasi statis dan agitasi ditunjukkan dalam tabel berikut.

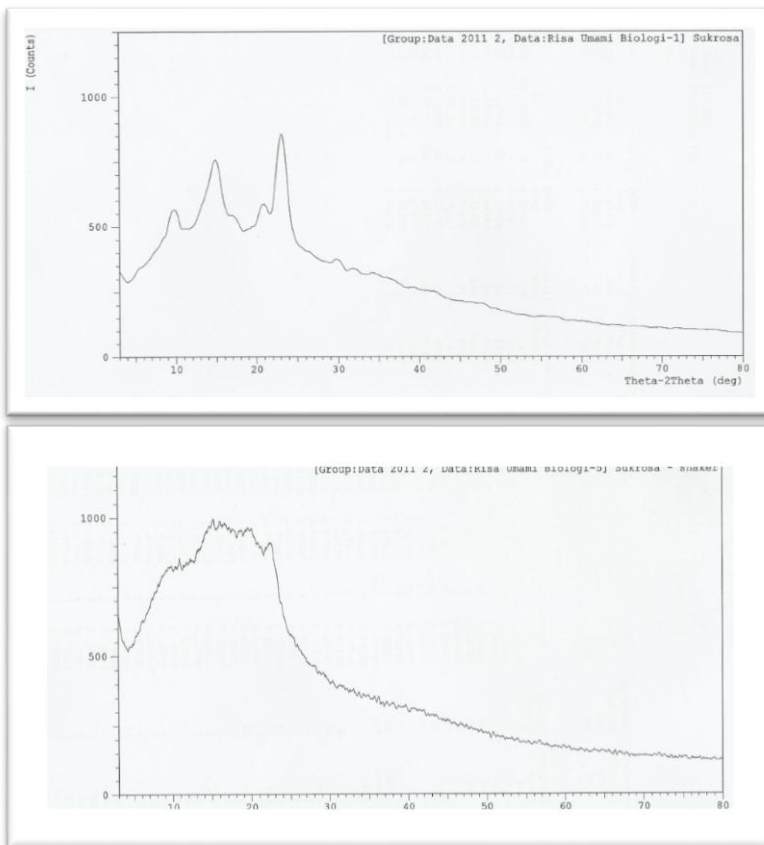
Tabel 15. Difraksi sinar-X dan derajat kristalinitas selulosa bakteri strain MGA 6 dengan sumber gula murni.

Selulosa	Puncak			Intensitas			Indeks kristalinitas
	1	2	3	1	2	3	
Sukrosa statis	13.7600	14.7450	23.0516	82	162	260	91.92%
Sukrosa agitasi	15.2400	20.0400	22.4880	76	88	127	65.35%

Tabel 15 menunjukkan indeks kristalinitas SLK 1 dengan sumber karbon sukrosa menunjukkan indeks kristalinitas pada fermentasi statis lebih tinggi bila dibandingkan dengan fermentasi agitasi. Hal ini sesuai

dengan penelitian yang dilakukan oleh Moon *et al.* (2006) yaitu pada fermentasi statis menghasilkan indeks kristalinitas lebih tinggi bila dibandingkan dengan agitasi.

Berikut adalah pola difraksi sinar-X selulosa bakteri strain SLK 1 dengan sumber karbon sukrosa sebagai berikut.



Gambar 17. Pola X-ray dari selulosa bakteri dengan strain SLK 1 dan sumber karbon sukrosa, A. Fermentasi statis, B. Fermentasi agitasi.

Pola difraksi sinar-X (gambar 17) dan indeks kristalinitas ditunjukkan dengan tabel 15. Difraksi sinar-X pada selulosa bakteri dengan strain SLK 1 pada gambar 17 A. memperlihatkan tiga puncak terkuat yaitu 13.7600° , 14.7450° , dan 23.0516° dengan indeks kristalinitas yaitu 91.92% sedangkan selulosa bakteri (gambar 17 B) memperlihatkan tiga puncak terkuat juga yaitu 15.2400° , 20.0400° , dan 22.4880° dengan indeks kristalinitas yaitu 65.35%. Indeks kristalinitas selulosa bakteri strain SLK 1 dengan metode fermentasi statis menunjukkan indeks kristalinitas yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan agitasi.

Proses fermentasi agitasi, ikatan hidrogen antara mikrofibril akan berkurang dan akan berakibat terhadap panjang mikrofibril yang terbentuk. Berkurangnya ikatan hidrogen antara mikrofibril ini akan berakibat terhadap rendahnya indeks kristalinitas juga (Moon *et al.*, 2006). Peningkatan jumlah daerah kristalin akan berkaitan dengan kekakuan selulosa. Semakin tinggi indeks kristalinitas maka akan semakin tinggi kekuatan tarik serat (Lie *et al.*, 2006; Jonjankiat *et al.*, 2011). Daya tarik serat selulosa merupakan salah satu dari karakteristik sifat fisikawi selulosa.

Struktur selulosa terdiri atas dua daerah yaitu: 1) daerah kristalin, selulosa yang terdiri atas rantai panjang, dan 2) daerah non-kristalin (amorf), yaitu selulosa dengan rantai yang lebih pendek (Park *et al.*, 2010; Jonjankiat *et al.*, 2011; Terinte *et al.*, 2011). Kristalinitas berkaitan dengan

kekuatan struktur polimer dari selulosa, dan kristalinitas yang rendah menunjukkan tingginya daerah amorf yang merupakan daerah yang rentan terhadap masuknya air dan bahan kimia lain sehingga akan menurunkan jumlah daerah kristalin. Peningkatan jumlah daerah kristalin akan berkaitan dengan kekakuan selulosa. Semakin tinggi indeks kristalinitas maka akan semakin tinggi kekuatan tarik serat (Lie *et al.*, 2006; Jonjankiat *et al.*, 2011).

Dengan demikian pada Bab IV ini Penulis menggaris bawahi intisari seluruh pembahasan dalam buku ini adalah sebagai berikut:

1. Sumber karbon sari buah busuk yang paling baik untuk menghasilkan selulosa dengan metode fermentasi statis yaitu sari buah nanas busuk untuk strain *A. lovaniensis* (MGA 6) sedangkan gula murni yaitu sukrosa untuk strain *A. lovaniensis* (SLK 1).
2. Kondisi optimum untuk menghasilkan selulosa dalam jumlah maksimum untuk sumber karbon sari buah nanas busuk dengan standar produksi air kelapa dan medium modifikasi HS (Hestrin & Schramm) untuk strain *A. lovaniensis* (MGA 6) yaitu konsentrasi sumber karbon dengan perbandingan bahan : air adalah $1:1\frac{1}{2}$, volume inokulum 10% (v/v), pH medium 6, dan temperatur 30°C sedangkan sumber karbon sukrosa untuk strain *A. lovaniensis* (SLK 1) yaitu konsentrasi sumber karbon 3% (w/v), volume inokulum 10% (v/v), pH medium 5, dan temperatur 30°C.

3. Efisiensi penggunaan sumber karbon dalam menghasilkan selulosa oleh strain *A. lovaniensis* (MGA 6) menggunakan sumber karbon sari buah busuk yaitu 4.53 % dan *A. lovaniensis* (SLK 1) dengan sumber karbon sukrosa yaitu 23.88%.

Kualitas selulosa yang dihasilkan oleh strain *A. lovaniensis* (MGA 6) menggunakan sumber karbon sari buah nanas busuk yaitu 93.65% melalui fermentasi agitasi, sedangkan strain *A. lovaniensis* (SLK 1) dengan sumber karbon sukrosa sebesar 91.92% melalui fermentasi statis.

DAFTAR PUSTAKA

- Aydin, Y. Y. & Aksoy, N. D. 2009. Isolation of Cellulose Producing Bacteria from Waste of Vinegar fermentation. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer science*. **1**. October 20-22. Sun Fransisco.
- Bielecki, S., Krystynowicz A., Turkiewicz, M. & Kalinowska, H. 2005. Bacterial cellulose, In *Biotechnology of Biopolymers* (A. Steinbuchel & D. Doi Eds. *Willey-VCH, Weinheim*. Volume **1**. pp: 381–434.
- Brown Jr, M. R., Saxena, M. I. & Kudlicka, K. 1996. Cellulose biosynthesis in higher plants. *Elsevier Science*. **5** (1): 149-156.
- Brown Jr, M. R. 1998. Microbial cellulose: a new resource for wood, paper, textiles, food and specialty products

(<http://www.botany.utexas.edu/facstaff/facpages/mbrown>), Position paper.

- Castro, C., Zuluaga, R., Putaux, JL., Caro, G., Mondragon, I. & Ganan, P. 2011. Structural Characterization of Bacterial Cellulose Produced by *Gluconacetobacter swingsii* sp. From Colombian Agroindustrial Wastes. *Carbohydrate Polymers*. **84**: 96-102.
- Chawla, P. R., Bajaj, I. B., Survase, S. A. & Singhall, R. S. 2009. Microbial Cellulose: Fermentative Production and Application (review). *Biotechnology*. **47** (2): 107-124.
- Chen, P., Cho, Y. S. & Jin, H. 2010. Review: Modification and application of bacterial cellulose in polymer science. *Macromolecular research*. **18** (4): 309-320.
- Cheng, K. & Cathmark, M. J. 2009. Effect of Different Additives on Bacterial Cellulose Production by *Acetobacter xylinum* and Analysis of Material Property. *Cellulose* 16:1033-1045.
- Czaja, W., Romanovicz, D. & Brown, Jr. M. R. 2004. Structural investigations of microbial cellulose produced in stationary and agitated culture. *Cellulose*. 11: 403-411.

- Habe, H., Fukuoka, T., Kitamoto, D. & Sakaki, K. 2009. Biotransformation of glycerol to D-glyceric acid by *Acetobacter tropicalis*. *Applied of Microbiology and Biotechnoogyl*. **81**:1033-1039.
- Haigler, C.H., White, A. R., & Brown, Jr. R. M. 1982. Alteration of *in vivo* cellulose ribbon assembly by carboxymethylcellulose and other cellulose derivatives. *The Journal of Cell Biology*. **94**: 64-69.
- Hesse, S. & Kondo, T. 2005. Behavior of cellulose production of *Acetobacter xylinum* in ¹³C- enriched cultivation media including movements On nematic ordered cellulose templates. *Carbohydrate polymers*. **60**: 457-465.
- Hungund, B. S. & Gupta, S. G. 2010^a. Production of Bacterial Cellulose from *Enterobacter amnigenus* GH-1 isolated from rotten apple. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. **26**: 1823-1828.
- Hungund, B. S. & Gupta, S. G. 2010^b. Improved Production of Bacterial Cellulose from *Gluconacetobacter persimmonis* GH-2. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*. **2**: 127-133.
- Ishihara, M., Matsunaga, M., Hayashi, N. & Tisler, V. 2002. Utilisaton of D-xylose as carbon source for

production of bacterial cellulose. *Enzyme and Microbial Technology*. **31**: 986-991.

Jagannath, A., Kalaiselvan, A. & Manjunatha, S. S. 2008. The effect of pH, sucrose and ammonium sulphate concentrations on the production of bacterial cellulose (*Nata-de-coco*) by *Acetobacter xylinum*. *Word Journal of Microbiology and Biotechnology*. **24**: 2593-2599.

Jonjankiat, S., Wittaya, T. & Sridach, W. 2011. Improvement of Poly(Vinyl Alcohol) Adhesives With Cellulose Microfibre from Sugarcane Bagasse. *Iranian Polymer Journal*. **20** (4): 305-317.

Kai, A. & Keshk, S. 1999. Influence of positions group of sulfonate group in fluorescent brightener on crystal structure of microbial cellulose VI. *Polymer Journal*. **31**: 61-65.

Kato, N., Sato, T., Kato, C., Yajima, M., Sugiyama, J., Kanda, T., Mizuno, M., Nozaki, K., Yamanaka, S. & Amano, Y. 2007. Viability and Cellulose Synthesizing Ability of *Gluconacetobacter xylinus* Cells Under High-hydrostatic Pressure. *Extremophiles*. **11**: 693-698.

Keshk, S. A. M. S. & Sameshima, K. 2005. Evaluation of Different Carbon Source for Bacterial Cellulose

-
- Production. *African Journal of Biotechnology*. **4** (6): 478-482.
- Keshk, S.A. M. S., Razek, A. M. & Sameshima, K. 2006. Bacterial cellulose production from beet molasses. *African Journal of Biotechnology*. **5** (17): 1519-1523.
- Krystynowicz, A., Koziolkiewicz, M., Wiktorowska-Jezierska, A., Bielecki, S., Klemenska, E., Masny, A. & Plucienniczak, A. 2005. Molecular Basis of Cellulose Biosynthesis Disappearance in Submerged Culture of *Acetobacter xylinum*, *Acta Biochimica Poloni*. **52** (3): 691-698.
- Krystynowicz, A., Czaja, A., Jezierska-Wiktorowska, A., Miskiewicz-Goncalves, M., Turkiewicz, M. & Bielecki, S. 2002. Factor affecting the yield and properties of bacterial cellulose. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. **29**: 189-195.
- Kurosumi, A., Sasaki, C., Yamashita, Y. & Nakamura, Y. 2009. Utilization of various fruit juices for production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter xylinus* NBRC 13693. *Carbohydrate Polymers*. **76**: 333-335.
- Lee, C. H. 1999. Reduced Production by Microbial Cellulose caused by Aggregation of *Acetobacter*

- xylinum* under Shaking Culture Conditions. *Applied & chemistry*. **3**(2):92-95.
- Lee, C. H. & Zhao, X. 1999. Effects of Mixing Conditions on The Production of Microbial Cellulose by *Acetobacter xylinum*. *Biotechnology Bioprocess Engineering*. **4**: 41-45.
- Liu, CF., Ren, JL., Xu, F., Liu, JJ., Sun, JJ. & Sun, RC. 2006. Isolation and Characterization of Cellulose Obtained From Ultrasonic Irradiated Sugarcane Bagasse. *Journal Agriculture and food Chemistry*. **54** (16): 5742-5749.
- McKenna, A. B., Mikkelsen, D., Wehr, J. B., Gidley, J. M. & Menzies, W. N. 2009. Mechanical and Structural Properties of Native and Alkalitreated Bacterial Cellulose Produced by *Gluconacetobacter xylinus* strain ATCC 53524. *Cellulose*. **16**:1047-1055.
- Moon, SH., Park, JM., Chun, HY. & Kim, SJ. 2006. Comparisons of Physical Properties of Bacterial Celluloses Produced in Different Culture Conditions Using Saccharified Food wastes. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. **11**: 26-31.
- Nasab, M. M. & Yousefi, A. 2010. Investigation Of Physicochemical Properties of the Bacterial Cellulose

Produced by *Gluconacetobacter xylinus* from Date Syrup. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. **68**: 1248-1253.

- Nasab, M. M. & Yousefi, A. 2011. Biotechnology Production of Cellulose by *Gluconacetobacter xylinus* From Agriculture Waste. *Iranian Journal of Biotechnology*. **9** (2): 94-101.
- Nobles, D. R., Romanovicz, D. K. & Brown, R. M., Jr. 2001. Cellulose in cyanobacteria. Origin of Vascular Plant Cellulose Synthase?. *Plant Physiology*. **127** (2): 529-542.
- Panesar, P. S., Chavan, Y.V., Bera, M. B., Chand, O. & Kumar, H. 2009. Evaluation of Acetobacter Strain for the Production of Microbial Cellulose. *Asian Journal of Chemistry*. **21** (10): S099-102.
- Park, S., Baker, J. O., Himmel, M. E., Parilla, P. A. & Johnson, D. K. 2010. Cellulose Crystallinity index: Measurement Techniques and Their Impact on Interpreting Cellulase Performance. *Biotechnology for Biofuels*. **3**: 1-10.
- Phunsri, A., Tammarate, P., Krusong, W. & Tantratian, S. 2003. The Liquid/Air Interface Area and Depth of Liquid Medium Suitable for Cellulose Production

- from *Acetobacter* TISTR 975. *Journal of Science and Research Chulalongkorn University*. **28** (1): 35-43.
- Pourramezan, G. Z. Roayaei, A. M. & Qezelbash, Q. R. Optimization of Culture Conditions for Bacterial Cellulose Production by *Acetobacter* sp. 4B-2. *Biotechnology*. **8** (1): 150-154.
- Ramana, K. V., Tomar, A. & Singh, L. 2000. Effect of Various Carbon and Nitrogen Sources on Cellulose Synthesis by *Acetobacter xylinum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. **16**: 245-248.
- Rani, M. U. & Appaiah, A. 2011. Optimization of Culture Conditions for Bacterial cellulose Production from *Gluconacetobacter hansenii* UAC09. *Ann Microbiol DOI*. doi:10.1007/s13213-011-0196-7.
- Ratnayani, K., Dwi Adhi, N. M. A. & Gutadewi, I G. A. M. A. S. 2008. Penentuan kadar glukosa dan fruktosa pada madu randu dan madu kelengkeng dengan metode kromatografi cair kinerja tinggi. *Jurnal Kimia*. **2** (2): 77-86.
- Rezaee, A., Solimani, S. & Forozandemogadam, M. 2005. Role of plasmid in production of *Acetobacter xylinum* biofilms. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. **1** (3): 121-124.

- Ross, P., Mayer, R. & Benziman, M. 1991. Cellulose Biosynthesis and Function in Bacteria. *Microbiology Review*. **55**: 35–58.
- Schramm, M. & Hestrin, S. 1954. Factors Affecting Producing of Cellulose at the Air/ Liquid Interface of a Culture of *Acetobacter xylinum*. *Journal of Genetica Microbioligy*. **11**: 123-129.
- Segal, L., Creely, J., Martin, A. & Conrad, C. 1959. An empirical method for estimating he degree of crystallinity of native cellulose using diffractometer. *Text Research of Journal*. **29**: 786-794.
- Shoda, M. & Sugano, Y. 2005. Recent advances in bacterial cellulose production. *Biotechnology and Bioprocess Engeenering*. **10**: 1-8.
- Suwannapinunt, N., Burakorn, J. & Thaenthanee, S. 2007. Effect of culture conditions on bacterial cellulose (BC) production from *Acetobacter xylinum* TISTR976 and physical properties of BC parchment paper. *Suranaree Journal of Science and Technology*. **14** (4): 357-365.
- Tantrian, S., Tammarate, P., Krusong, W., Bhattarakosol, P. & Phunsri, A. 2005. Effect of Dissolved Oxygen on Cellulose Production by *Acetobacter* TISTR 975. *Journal of Science and Research Chulalongkorn University*. 30 (2): 179-186.

- Tahir, I., Sumarsih, S. & Astuti, S. D. 2008. Kajian Penggunaan Limbah Buah Nenas local (*Annanas comosus*, L) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Nata. Makalah Seminar Nasional Kimia XVIII, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Yogyakarta.
- Terinte, N. Ibbett, R. & Schuster, K. C. 2011. Overview on Native Cellulose and Microcrystalline Cellulose I Structure Studied by X-Ray Diffraction (WAXD): Comparison Between Measurement Techniques. *Lenzinger Berichte*. 89: 118-131.
- Tsuchida, T. & Yoshinaga, F. 1997. Production of Bacterial Cellulose by Agitation Culture Systems. *Pure and Applied Chemistry*. **69** (11): 2543-2458.
- Watanabe, K., Tabuchi, M., Morinaga, Y. & Yoshinaga, F. 1998. Structural features and properties of bacterial cellulose produced in agitated culture. *Cellulose*. **5**: 187-200.
- Wiegand, C. & Klemm, D. 2006. Influence of Production Agent for Preservation of *Gluconacetobacter xylinus* on its Cellulose Production. *Cellulose*. **13**: 485-492.
- Yamada, Y., Hoshino, K. & Ishikawa, T. 1997. The phylogeny of acetic acid bacteria based on the partial sequences of 16S ribosomal RNA: The elevation of subgenus *Gluconoacetobacter* to the

generic level. *Bioscience and Biotechnology of Biochemistry*. **61**:1244-1251.



Risa Umami, M.Sc. Lahir di Peresak, 27 Maret 1987, Alamat Rumah di Peresak Desa Sepakek Kecamatan Pringgarata Kabupaten Lombok. Pendidikan Terakhir S2 Biologi di Universitas Gadjah Mada. Jabatan Fungsional yaitu Lektor, Fakultas Tempat Tugas di FITK UIN Mataram, Jurusan Tempat Tugas di Pendidikan IPA Biologi, Bidang Ilmu Dalam BKD yaitu Biologi. Data Penelitian : 1) Pengaruh Defisit Air Terhadap Pembentukan Bintil Akar Terhadap Pertumbuhan Bintil Akar Tanaman Legum Liar, Tahun 2008; 2) Optimasi Sumber

Karbon dan Fermentasi Produksi Selulosa oleh Strain Bakteri *Acetobacter lovaniensis*, Tahun 2011; 3) Pengaruh konsentrasi ekstrak daun pepaya dan madu trigona terhadap pertumbuhan bakteri penyebab jerawat *Staphylococcus aureus*, Tahun 2017; 4) Uji Efektivitas Antibakteri Krim Antijerawat dari Ekstrak daun Ashitaba (*Angelica keiskei*) terhadap Bakteri Penyebab Jerawat *Staphylococcus aureus*, Tahun 2018; 5) Uji antibakteri salep ekstrak daun binahong (*Anredera cordifolia*) terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dari luka diabetes, Tahun 2019; Data Pengabdian Masyarakat : 1) Pelatihan Pembuatan Nata De Coco di MTs Syamsul Huda Peresak, Lombok Tengah, Tahun 2014; 2) Pelatihan Budidaya Tanaman Hidroponik pada Siswa MTs Syamsul Huda Peresak, Desa Sepakek, Kecamatan Pringgarata, Kabupaten Lombok Tengah, Tahun 2018; Karya Buku dan Jurnal : 1) Optimasi Sumber Karbon dan Kondisi Fermentasi Produksi Selulosa Oleh Strain Bakteri *Acetobacter lovaniensis* (MGA 6, SLK 1), Jurnal Penerbit : Biota Jurnal Tadris IPA Biologi, Tahun 2016; 2) Pengaruh konsentrasi ekstrak daun pepaya dan madu trigona terhadap pertumbuhan bakteri penyebab jerawat *Staphylococcus aureus*, Jurnal Penerbit : jurnal BioWallacea Vol. 3, No. 3, September 2017; 3) Variasi konsentrasi ekstrak daun ashitaba (*Angelica keiskei*) terhadap pertumbuhan *Staphylococcus aureus*, Jurnal Penerbit : jurnal Bioscientist Vol. 5, No. 2, Desember 2017; 4) Antibacterial Test of Binahong Leaf Extract Ointment (*Anredera cordifolia*) Against *Staphylococcus aureus* Bacteria from Diabetic Wounds, Jurnal Penerbit : Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains (PENBIOS) Vol. 5, No. 1, Mei 2020



Penerbit :
Pustaka Bangsa (Anggota IKAPI)
Jln. Swakarsa VII Nomor 28 Mataram NTB
Telp. (0370) 629946 - Mobile Phone +628111444499
e-mail : pustakabangsa05@gmail.com
<http://pustakabangsa.com>

ISBN 978-623-6592-35-9



9 786236 592359