

SIFAT FISIKOKIMIWI SELULOSA PRODUKSI ISOLAT BAKTERI *Gluconacetobacter xylinus* KRE-65 PADA METODE FERMENTASI BERBEDA

Physicochemical Properties of Cellulose Produced by Bacterial Isolate *Gluconacetobacter xylinus* KRE-65 in Different Fermentation Methods

Sarkono^{1,3}, Sukarti Moeljepawiro¹, Bambang Setiaji², Langkah Sembiring¹

¹Program Pascasarjana, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Jl. Teknika Selatan, Sekip Utara, Yogyakarta 55281

²Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281

³Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram,
Jl. Majapahit 62 Mataram, Nusa Tenggara Barat 83125

Email: sarkonobiologi@gmail.com

ABSTRAK

Sifat fisikokimiawi selulosa yang dihasilkan oleh strain lokal bakteri *Gluconacetobacter xylinus* KRE-65 dengan metode fermentasi statis dan agitatif telah diteliti. Produksi selulosa oleh *G. xylinus* KRE-65 dilakukan dalam media dasar air kelapa dengan metode fermentasi statis dan agitatif. Selulosa yang dihasilkan selanjutnya dibandingkan berat kering, bentuk morfologi dan sifat fisikokimiawinya menggunakan metode SEM, XRD dan FTIR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *G. xylinus* KRE 65 menghasilkan selulosa lebih tinggi pada metode fermentasi statis dibandingkan fermentasi agitatif. Metode fermentasi statis menghasilkan selulosa bakteri yang berbentuk lembaran sedangkan fermentasi agitatif menghasilkan selulosa yang terpecah-pecah dengan bentuk dominan bulat. Pengamatan struktur permukaan selulosa bakteri dengan SEM memperlihatkan bahwa metode fermentasi statis menghasilkan selulosa dengan anyaman mikrofibril yang padat, sedangkan fermentasi agitatif menyebabkan terjadinya perubahan struktur permukaan yaitu melonggarnya anyaman mikrofibril dan terbentuknya pori-pori yang lebih besar dan lebih banyak. Derajat kristalinitas selulosa bakteri dengan analisis XRD pada metode fermentasi statis sebesar 91%, fermentasi agitatif 100 rpm sebesar 73% dan fermentasi 150 rpm sebesar 72%. Spektra FTIR mengindikasikan bahwa pelikel yang dihasilkan oleh *G. xylinus* KRE 65 pada kedua metode fermentasi tersebut merupakan selulosa. Selulosa yang dihasilkan dari fermentasi statis dan agitatif mempunyai sifat fisikokimiawi yang berbeda sehingga dapat diterapkan dalam aplikasi yang berbeda sesuai dengan sifat fisikokimiawi yang dibutuhkan.

Kata kunci: *Gluconacetobacter xylinus*, selulosa bakteri, fermentasi statis, fermentasi agitatif

ABSTRACT

Physicochemical properties of cellulose produced by local bacterial strain *Gluconacetobacter xylinus* KRE-65 by static and agitated fermentation methods was studied. Cellulose production by *G. xylinus* KRE-65 was carried out in coconut base medium with static and agitated fermentation methods. The dry weight, morphological and physicochemical properties of bacterial cellulose were compared based on SEM, XRD and FTIR analyses. The results showed that the *G. xylinus* KRE 65 in the static fermentation produced cellulose higher than agitated fermentation. Static fermentation method produced bacterial cellulose in the sheets form, while agitated fermentation produced fragmented cellulose with predominantly spherical shape. The observation of the surface structure of bacterial cellulose by SEM showed that the static fermentation method generated woven densely cellulose microfibrils, while agitated fermentation significantly changed the surface structure, namely woven microfibrils become more loose with formed larger and higher number of pores. The degree of crystallinity of bacterial cellulose by XRD analysis in static fermentation was 91%, agitated fermentation at 100 rpm was 73% and agitated fermentation at 150 rpm was 72%. FTIR spectra indicated that the pellicles produced by *G. xylinus* KRE 65 with static and agitated fermentation were found as cellulose. Cellulose produced from both fermentation methods showed different physicochemical properties, therefore they can be applied for different purposes in accordingly.

Keywords: *Gluconacetobacter xylinus*, bacterial cellulose, static fermentation, agitated fermentation

PENDAHULUAN

Selulosa yang dihasilkan oleh bakteri *Gluconacetobacter xylinus* berbeda dan memiliki keunggulan dibandingkan selulosa tumbuhan (Santa Maria dkk., 2009) terutama karena kemurnian struktur kimianya yang bebas dari lignin dan hemiselulosa (Brown Jr. dkk., 1976; Bielecki dkk., 2005). Molekul selulosa bakteri berukuran nano dengan ketebalan pita 3 nm sampai 4 nm dan panjang 70 nm sampai 80 nm (Zaar, 1977) dengan derajat polimerisasi berkisar antara 2.000 sampai 6.000 (Jonas dan Farah, 1998) bahkan dapat mencapai 16.000 (Watanabe dkk., 1998). Selain kemurniannya, selulosa bakteri mempunyai kelebihan lain yakni indeks kristanilitas, derajat polimerisasi, daya regang dan daya serap air yang tinggi (Shoda dan Sugana, 2005; Chawla dkk., 2009) sehingga lebih berpotensi sebagai bahan baku biomaterial dalam berbagai industri. Keunggulan yang dimiliki selulosa bakteri telah menarik minat banyak peneliti untuk menerapkannya pada berbagai aplikasi seperti pembuatan kertas (Nishi dkk., 1990), membran (Shibashaki dkk., 1993; Iguchi dkk., 2000), industri makanan (Miranda dkk., 1965) dan sebagai biomaterial untuk aplikasi pengobatan khususnya sebagai penutup luka (Cienchanska, 2004).

Produksi selulosa pada bakteri dipengaruhi oleh beberapa faktor yakni strain bakteri, metode fermentasi (Sarkono dkk., 2012), medium pertumbuhan, kondisi lingkungan, dan pembentukan produk sampingan (Chawla dkk., 2009). Metode produksi selulosa yang biasa digunakan dalam skala industri yaitu metode produksi statis (Lee, 1999) dan agitatif (Tsuchida dan Yoshinaga, 1997; Lee, 1999). Menurut Lee (1999) dan (Tsuchida dan Yoshinaga, 1997) metode fermentasi statis dengan sumber karbon glukosa dapat menurun produksinya disebabkan terbentuknya asam glukonik. Sementara itu, fermentasi agitatif dapat menurunkan produksi selulosa karena berkaitan erat dengan munculnya mutan negatif (Lee, 1999; Tantratian dkk., 2005; Cheng dan Catchmark, 2009) yang tidak mempunyai kemampuan menghasilkan selulosa. Metode fermentasi atau kondisi kultur juga sangat berpengaruh terhadap morfologi makroskopik selulosa bakteri yang dihasilkan (Watanabe dkk., 1998; Yamanaka dkk., 2000). Perbedaan morfologi selulosa statis dan agitatif berpengaruh terhadap variasi derajat kristalinitas dan perbedaan ukuran kristal (Watanabe dkk., 1998). Dengan demikian, dalam upaya peningkatan produktivitas selulosa bakteri, salah satu hal yang mendasar adalah dilakukannya eksplorasi secara terus-menerus untuk mendapatkan keanekaragaman strain bakteri penghasil selulosa potensial dari berbagai habitat alami.

Penelitian sebelumnya mendapatkan beberapa strain bakteri penghasil selulosa potensial di antaranya adalah strain *G. xylinus* KRE 65. Isolat baru perlu diuji kemampuannya

dalam menghasilkan selulosa baik pada aspek kuantitatif maupun kualitatifnya. Aspek kualitatif yang perlu diperhatikan di antaranya adalah karakter fisikokimiawi selulosa yang dihasilkan karena berhubungan langsung dengan potensinya sebagai bahan baku biomaterial dalam industri.

Pada penelitian ini dikaji perbandingan kemampuan produksi, bentuk morfologi dan sifat fisikokimia selulosa yang dihasilkan pada metode fermentasi yang berbeda oleh isolat bakteri *G. xylinus* KRE-65 yang merupakan strain baru hasil isolasi dari inokulum nata di daerah Kretek Bantul Yogyakarta. Perlakuan yang diuji adalah perbedaan metode fermentasi statis dan fermentasi agitatif dalam medium berbahan dasar air kelapa.

METODE PENELITIAN

Mikrobia

Mikrobia yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolat bakteri asam asetat *G. xylinus* KRE-65 yang merupakan strain baru penghasil selulosa potensial, diisolasi dari inokulum pada sentra industri nata di Kretek Bantul Yogyakarta, Indonesia. Kemampuan produksi selulosa tertinggi yang pernah dicapai isolat ini adalah sebesar $1,32 \pm 0,06$ g/100 ml pada medium produksi berbasis air kelapa dan $0,22 \pm 0,02$ g/100 ml pada medium standar *Hestrin Schramm* (HS).

Media dan Kondisi Kultur

Medium pertumbuhan yang digunakan untuk menumbuhkan isolat *G. xylinus* KRE-65 adalah medium standar HS cair yang tersusun dari D-glukosa 2,0% (b/v), Pepton 0,5% (b/v), *Yeast extract* 0,5% (b/v), Na_2HPO_4 0,27% (b/v) dan asam sitrat 0,115% (b/v). Medium produksi yang digunakan adalah media dasar air kelapa dengan suplementasi sumber karbon 5% (b/v), sumber nitrogen 0,5% (b/v) dan asam asetat glasial untuk mengkondisikan keasaman medium.

Produksi dan Pemanenan Selulosa Bakteri

Dalam penelitian ini digunakan medium produksi berbahan dasar air kelapa dengan penambahan sumber karbon gula pasir 5% (b/v), sumber nitrogen ammonium sulfat 0,5% (b/v) dan pH 5 dalam skala produksi 100 ml. Untuk mengkondisikan pH digunakan asam asetat glasial. Sterilisasi medium dilakukan dengan autoklaf pada suhu 121°C pada tekanan 2 atm selama 15 menit. Selanjutnya medium produksi diinokulasi dengan starter sebanyak 10% (v/v) kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama 7 hari dengan metode fermentasi statis, agitatif 50 rpm, agitatif 100 rpm dan agitatif 150 rpm.

Pemanenan selulosa bakteri dilakukan berdasarkan modifikasi metode yang dikembangkan oleh Ishihara dkk.

(2002), yaitu gel selulosa bakteri dipanen dan dibersihkan dengan air dingin untuk membersihkan sisa medium, selanjutnya direbus dalam air mendidih selama kurang lebih 15 menit. Setelah itu dicuci dengan air mengalir, dikeringanginkan dan kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C hingga beratnya konstan. Selanjutnya ditimbang sebagai berat kering selulosa.

Penentuan Struktur Permukaan Selulosa Bakteri dengan SEM

Pengamatan struktur permukaan selulosa bakteri pada masing-masing perlakuan digunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Sampel film selulosa bakteri dikeringkan hingga beratnya konstan. Selanjutnya diiris kecil sekitar 0,5 cm² dan ditempatkan dalam *specimen holder* dan dilapisi dengan logam emas setebal 200 Å, kemudian diamati dengan instrumen SEM JEOL tipe JSM-6360LA. Gambar diambil dengan kekuatan tegangan 30 kv dan perbesaran 10.000 kali.

Pengukuran Kristalinitas dengan X-ray Difraktometri (XRD)

Sampel film tipis selulosa bakteri dipreparasi berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Kai dan Keshk (1999). Difraktogram dari sampel direkam pada temperatur ruang dengan SHIMADZU seri XRD-7000 Maxima-X menggunakan radiasi Ni-filtered CuKα ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$). Tegangan dan arus yang dipakai masing-masing 40 Kv dan 30 mA. Data difraksi diambil pada *scan range* sudut $2\theta = 5$ sampai 30 derajat, *scan mode* kontinyu, *scan speed* 4 derajat per menit dan *sampling pitch* 0,02 derajat. Kristalinitas dihitung dari data intensitas difraksi menggunakan metode Segal dkk. (1959), dengan rumus indeks kristalinitas (Cr.I.) = $(I_{002} - I_{am}) / I_{002}$; I_{002} adalah intensitas maksimum dari difraksi kisi-kisi, sedangkan I_{am} adalah intensitas pada sudut $2\theta = 18^\circ$.

Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR

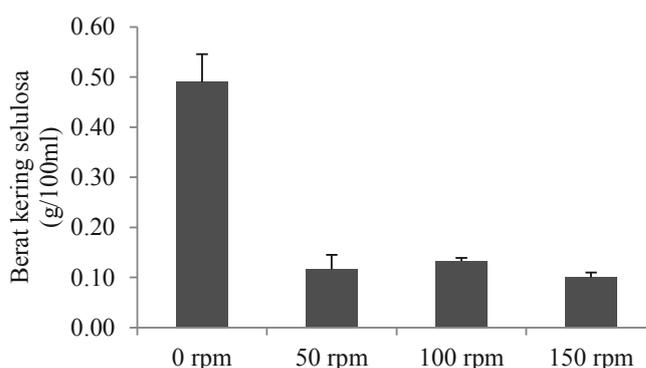
Analisis gugus fungsi dilakukan terhadap selulosa standar *Carboxy Methyl Cellulose (CMC)* dan sampel selulosa yang diproduksi oleh isolat *G. xylinus* KRE 65 dengan menggunakan alat *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* SHIMADZU 8201 PC pada bilangan gelombang 400 cm⁻¹ sampai 4000 cm⁻¹.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Selulosa oleh Isolat Bakteri Asam Asetat KRE-65

Produksi selulosa oleh isolat *G. xylinus* KRE-65 dipengaruhi oleh metode fermentasi yang digunakan (Gambar 1). Produksi selulosa dengan metode fermentasi statis, fermentasi agitatif dengan kecepatan 50 rpm, agitatif

100 rpm dan agitatif 150 rpm berturut-turut adalah sebesar 0,49±0,06 g/100 ml; 0,12±0,03 g/100 ml; 0,13±0,01 g/100 ml dan 0,10±0,01 g/100 ml. Pada ketiga perlakuan agitasi, isolat *G. xylinus* KRE-65 menunjukkan penurunan produksi selulosa yang tajam dibandingkan fermentasi statis. Hal ini menjelaskan bahwa produksi selulosa pada isolat ini lebih optimum dilakukan pada kondisi fermentasi statis.



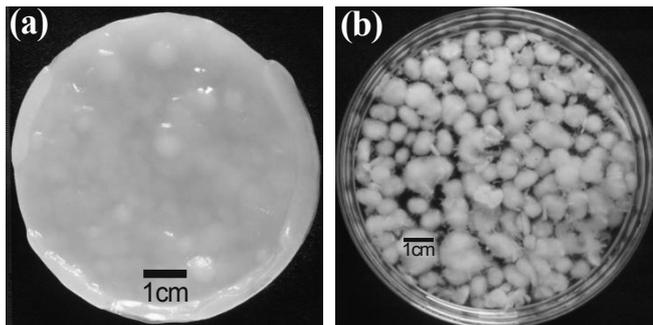
Gambar 1. Berat kering selulosa yang diproduksi oleh isolat bakteri *G. xylinus* KRE-65 dengan metode fermentasi statis dan agitatif

Produksi selulosa pada bakteri tidak hanya bergantung kepada jenis bakteri yang digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh metode produksi yang dipakai. Selama ini dikenal ada dua metode produksi selulosa bakteri, yaitu metode fermentasi statis dan agitatif. Meskipun metode fermentasi agitatif meningkatkan difusi oksigen ke dalam media fermentasi, proses agitasi dapat menyebabkan munculnya sel mutan yang kehilangan kemampuan untuk memproduksi selulosa (Cel⁻) sehingga menyebabkan penurunan produksi selulosa secara keseluruhan (Yeo dkk., 2004). Pada kultur agitatif dengan aerasi yang cukup dan seragam pada seluruh bagian media cair menyebabkan pemunculan secara spontan sel Cel⁻ yang tidak menghasilkan selulosa, yang kemudian mendominasi populasi (Krystynowicz dkk., 2005). Dengan demikian, proses aerasi pada media kultur dengan perlakuan agitasi diduga menjadi faktor penyeleksi yang menekan pertumbuhan sel penghasil selulosa (Cel⁺).

Morfologi Selulosa Bakteri

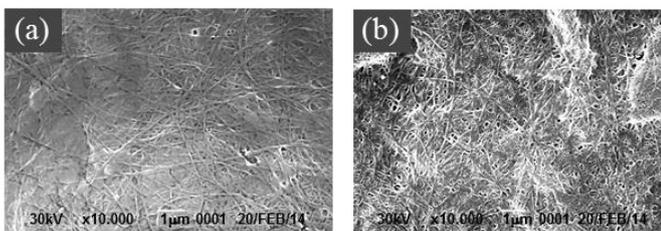
Produksi selulosa bakteri oleh isolat *G. xylinus* KRE-65 dengan metode fermentasi statis dan agitatif menghasilkan selulosa bakteri dengan bentuk morfologi yang berbeda (Gambar 2). Selulosa yang dihasilkan dengan metode fermentasi statis dalam penelitian ini berupa lembaran selulosa yang tebal, sedangkan fermentasi agitatif menghasilkan selulosa bakteri yang berupa pecahan-pecahan selulosa dengan bentuk dominan bulat. Hal ini sesuai dengan hasil para peneliti sebelumnya yaitu bahwa perlakuan agitatif

menghasilkan selulosa berbentuk bulat (Czaja dkk., 2004; Suwannapinunt dkk., 2007). Menurut Krystynowicz dkk. (2005), pada kultur statis akan terbentuk lembaran selulosa berbentuk seperti tikar dan bertekstur seperti gelatin di permukaan media biakan cair yang di dalamnya terdapat sel-sel bakteri yang terperangkap dalam jaringan serat selulosa. Pada kondisi kultur agitatif, pelikel lembaran tidak terbentuk dan selulosa berbentuk butiran yang tidak teratur dan untaian serat.



Gambar 2. Morfologi selulosa yang dihasilkan oleh isolat *G. xylinus* KRE-65. (a) lembaran selulosa dari fermentasi statis; (b) butiran selulosa berbentuk bulat dari fermentasi agitatif

Hasil pengamatan struktur permukaan selulosa bakteri dengan metode SEM memperlihatkan bahwa selulosa yang dihasilkan oleh isolat *G. xylinus* KRE-65 merupakan anyaman pita mikrofibril. Selulosa yang dihasilkan dengan metode fermentasi statis memperlihatkan anyaman mikrofibril yang padat. Perubahan metode fermentasi dari statis menjadi agitatif menyebabkan struktur permukaan selulosa mengalami perubahan, yaitu terjadinya perenggangan anyaman mikrofibril selulosa dan terbentuknya pori yang lebih besar dan lebih banyak di antara anyaman mikrofibril selulosa (Gambar 3).



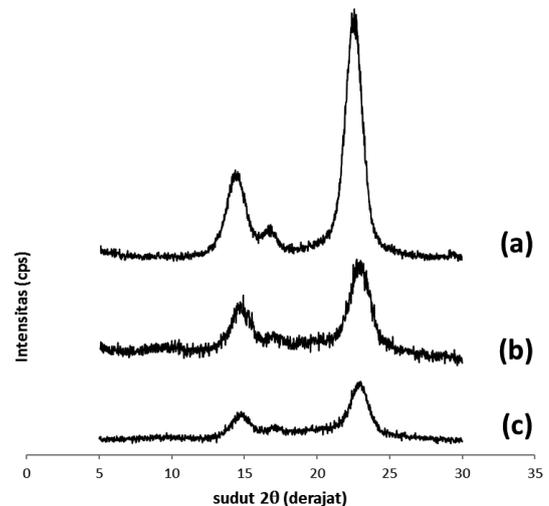
Gambar 3. Struktur permukaan selulosa bakteri hasil fermentasi statis dan agitatif oleh isolat *G. xylinus* KRE-65. (A) fermentasi statis; dan (B) fermentasi agitatif

Merenggangnya anyaman mikrofibril selulosa pada metode fermentasi agitatif dapat difahami karena agitasi yang diberikan selama proses fermentasi sangat mengganggu

terbentuknya anyaman mikrofibril menjadi anyaman yang teratur. Agitasi secara terus menerus pada media fermentasi menyebabkan pita selulosa merenggang sehingga terbentuk pori-pori yang lebih besar.

Indeks Kristalinitas Selulosa Bakteri

Difraktogram XRD selulosa bakteri yang diproduksi dengan metode fermentasi statis dan agitatif disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Pola difraksi sinar X selulosa bakteri yang disintesis oleh isolat *G. xylinus* KRE-65 dengan metode fermentasi berbeda. (a) fermentasi statis; (b) fermentasi agitatif 100 rpm; dan (c) fermentasi agitatif 150 rpm

Pola difraksi sinar-X selulosa bakteri yang diproduksi oleh isolat *G. xylinus* KRE-65 dengan metode fermentasi statis memperlihatkan tiga puncak terkuat pada sudut 2θ : $22,56^\circ$; $14,32^\circ$; dan $16,62^\circ$ dengan indeks kristalinitas 91%. Pada selulosa yang diproduksi dengan metode fermentasi agitatif 100 rpm memperlihatkan tiga puncak terkuat pada sudut 2θ : $22,68^\circ$; $23,12^\circ$; dan $23,36^\circ$ dengan indeks kristalinitas sebesar 73%. Pada perlakuan metode fermentasi agitatif 150 rpm tiga puncak terkuat diperlihatkan pada sudut 2θ : $22,98^\circ$; $22,90^\circ$; dan $22,94^\circ$ dengan indeks kristalinitas 72%. Hal ini menunjukkan bahwa adanya agitasi mempengaruhi besarnya daerah kristalin dan amorf pada selulosa yang terbentuk. Proses agitasi selama fermentasi menurunkan jumlah daerah kristalin dan meningkatkan jumlah daerah amorf pada selulosa yang terbentuk sehingga menurunkan derajat kristalinitas selulosa.

Metode fermentasi statis menghasilkan selulosa bakteri dengan indeks kristalinitas lebih tinggi dibandingkan dengan fermentasi agitatif. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Watanabe dkk. (1998) serta Moon dkk. (2006) bahwa selulosa bakteri yang diproduksi

dengan metode fermentasi statis memiliki indeks kristalinitas lebih tinggi bila dibandingkan dengan selulosa dari fermentasi agitatif. Proses agitasi dengan penggojogan selama fermentasi menyebabkan ikatan hidrogen antara mikrofibril berkurang dan berakibat terhadap panjang mikrofibril yang terbentuk. Berkurangnya ikatan hidrogen antara mikrofibril ini berakibat terhadap rendahnya indeks kristalinitas (Moon dkk., 2006). Semakin tinggi indeks kristalinitas maka semakin tinggi kekuatan tarik serat (Liu dkk., 2006; Jonjankiat dkk., 2011).

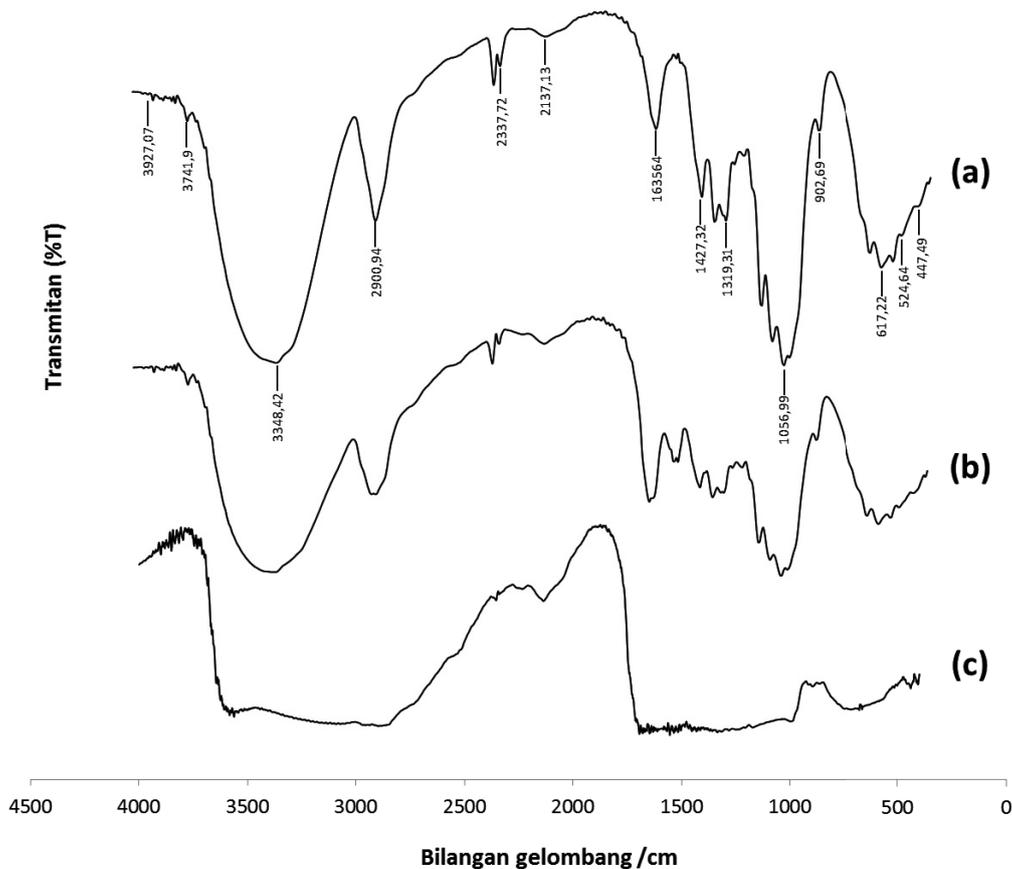
Profil Gugus Fungsi

Spektrum FTIR pada produk selulosa bakteri yang dihasilkan oleh isolat *G. xylinus* KRE-65 dengan metode fermentasi statis dan agitatif dibaca pada rentang panjang gelombang (4000-400 cm⁻¹ (Gambar 5).

Pada Gambar 5 terlihat bahwa spektrum FTIR material selulosa bakteri yang dihasilkan oleh isolat *G. xylinus* KRE-65 dengan metode fermentasi statis memiliki kesamaan spektrum dengan selulosa standar *Carboxy Methyl Cellulose*

(CMC) yang dianalisis bersama sampel. Hal tersebut menjelaskan bahwa gugus fungsi yang terdapat pada material selulosa bakteri dalam penelitian ini mempunyai kemiripan dengan gugus fungsi yang terdapat pada spektrum CMC. Sehingga dapat dinyatakan bahwa material pelikel yang dihasilkan oleh isolat *G. xylinus* KRE-65 adalah merupakan selulosa.

Material selulosa dari isolat *G. xylinus* KRE-65 dengan metode fermentasi statis memperlihatkan puncak-puncak yang khas. Yakni pada daerah bilangan gelombang 3356,14 cm⁻¹ terdeteksi vibrasi ulur gugus fungsi -OH dan diperkuat dengan adanya vibrasi lentur dari ikatan tunggal C-O dari eter untuk pita serapan cukup kuat pada bilangan gelombang 1033,85 cm⁻¹; bilangan gelombang 2900,94 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi tekuk C-H alifatik yang diperkuat dengan vibrasi pada bilangan gelombang sekitar 1427,32 -1373,32 cm⁻¹; vibrasi pada bilangan gelombang 1658,78 cm⁻¹ menunjukkan adanya cincin siklis lingkaran dari monomer glukosa yaitu piran; vibrasi pada bilangan gelombang 902,69 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya C-O-C untuk β-1,4-glikosidik. Gugus fungsi-gugus fungsi yang



Gambar 5. Spektra infra merah *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC) dan selulosa bakteri. (a) CMC; (b) selulosa dari fermentasi statis; dan (c) selulosa dari fermentasi agitatif

terbaca pada spektrum CMC juga menunjukkan adanya gugus fungsi -OH pada bilangan gelombang 3348,42 cm^{-1} ; gugus C=O karbonil pada bilangan gelombang 1635,64 cm^{-1} yang diperkuat dengan adanya vibrasi tekuk untuk C-H alifatik pada bilangan gelombang 2900,94 cm^{-1} dan sekitar 1319,31-1427,32 cm^{-1} , serta C-O-C untuk β -1,4-glikosidik pada bilangan gelombang sekitar 902,69-1056,99 cm^{-1} .

Perbedaan spektrum pada material selulosa yang diperoleh dari fermentasi agitatif yang mencolok adalah tampak adanya pergeseran panjang gelombang untuk tiap puncak dan berubahnya bentuk serta tinggi dari puncak untuk setiap spektrum khas selulosa. Hal ini kemungkinan disebabkan selama fermentasi dengan metode agitatif selulosa gagal membentuk serat dan pelikel di permukaan medium yang disebabkan kecilnya kristalin yang terbentuk akibat terpecah oleh proses agitasi selama fermentasi. Fenomena ini sejalan dengan pendapat Czaja dkk. (2004) bahwa kristalin-kristalin yang seharusnya berkumpul menjadi serat atau jaringan terpecah karena proses agitasi dan kemudian kristalin-kristalin tersebut terisolasi akibat sel-sel bakteri mengelilingi kristalin-kristalin tersebut, sehingga ikatan antar selulosa tidak terlalu kuat.

Berdasarkan analisis data karakter fisikokimiawi di atas dapat diketahui bahwa produk selulosa bakteri yang dihasilkan oleh isolat *G. xylinus* KRE-65 dengan metode fermentasi statis dan agitatif memiliki karakter yang berbeda. Perbedaan ini dapat menjadi pertimbangan terhadap kemungkinan aplikasi biomaterial ini dalam industri. Selulosa yang diperoleh dari fermentasi statis lebih cocok diaplikasikan sebagai biomembran, bahan dasar biomaterial penutup luka, bahan dasar baju anti peluru dan sebagainya. Sedangkan selulosa dari fermentasi agitasi lebih cocok untuk aplikasi yang lain misalnya sebagai material campuran dalam pembuatan kertas.

KESIMPULAN

Produktivitas dan karakteristik selulosa yang dihasilkan oleh isolat bakteri *Gluconacetobacter xylinus* KRE-65 dipengaruhi oleh metode fermentasi yang digunakan. Metode fermentasi agitatif menyebabkan penurunan jumlah produksi dan indeks kristalinitas selulosa yang dihasilkan. Metode fermentasi statis menghasilkan selulosa bakteri yang berbentuk lembaran, sedangkan fermentasi agitatif menghasilkan selulosa yang terpecah-pecah dengan bentuk dominan bulat. Fermentasi statis menghasilkan selulosa dengan anyaman mikrofibril yang padat, sedangkan fermentasi agitatif menyebabkan anyaman mikrofibril selulosa menjadi lebih longgar dan membentuk pori-pori yang lebih besar. Spektra FTIR mengindikasikan bahwa

pelikel yang dihasilkan oleh strain *G. xylinus* KRE 65 dengan metode fermentasi statis merupakan selulosa sempurna, sedangkan yang dihasilkan dengan fermentasi agitatif merupakan selulosa tidak sempurna. Selulosa yang dihasilkan dari kedua metode fermentasi mempunyai sifat fisikokimiawi yang berbeda sehingga dapat diterapkan dalam aplikasi yang berbeda sesuai dengan sifat fisikokimia selulosa yang dibutuhkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dirjen DIKTI Kementerian Ristek dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui pemberian Beasiswa Pendidikan Pascasarjana (BPPS).

DAFTAR PUSTAKA

- Bielecki, S., Krystynowicz, A., Turkiewicz, M. dan Kalinowska, H. (2005). Bacterial cellulose. *Dalam: Steinbuchel A. dan Doi Y. (ed.). Biotechnology of Biopolymers*, hal. 381-434. Willey-VCH, Weinheim.
- Brown Jr., R.M., Willison, J.H. dan Richardson, C.L. (1976). Cellulose biosynthesis in *Acetobacter xylinum*: visualization of the site of synthesis and direct measurement of the in vivo process. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **73**: 4565-4569.
- Chawla, P.R., Bajaj, I.B., Survase, S.A. dan Singhal, R.S. (2009). Microbial Cellulose: Fermentative production and applications. *Food Technology and Biotechnology* **47**(2): 107-124.
- Cheng, K. dan Cathmark, M.J. (2009). Effect of different additives on bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* and analysis of material property. *Cellulose* **16**:1033-1045.
- Cienchanska, D. (2004). Multifunctional bacterial cellulose/chitosan composite materials for medical applications. *Fibres and Textiles in Eastern Europe* **12**: 69-72.
- Czaja, D., Romanovicz, D. dan Brown Jr. R.M. (2004). Structural investigation of microbial cellulose produced in stationary and agitated culture. *Cellulose* **11**:403-411.
- Iguchi, M. (2000). Review bacterial cellulose-A masterpiece of nature's arts. *Journal of Material Science* **35**: 261-270.
- Ishihara, M, Matsunaga, M., Hayashi, N. dan Tisler, V. (2002). Utilisaton of D-xylose as carbon source for production of bacterial cellulose. *Enzyme and Microbial*

- Technology* **31**: 986-991.
- Jonas, R. dan Farah, L.F. (1998). Production and application of microbial cellulose. *Polymer Degradation and Stability* **59**: 101-106.
- Jonjankiat, S., Thawin, W. dan Waranyou, S. (2011). Improvement of poly(vinyl alcohol) adhesives with cellulose microfibre from sugarcane bagasse. *Iranian Polymer Journal* **20**(4): 305-317.
- Krystynowicz, A., Koziolkiewicz, M., Wiktorowska-Jeziarska, A., Bielecki, S., Klemenska, E., Masny, A. dan Plucienniczak, A. (2005). Molecular basis of cellulose biosynthesis disappearance in submerged culture of *Acetobacter xylinum*. *Acta Biochimica Polonica* **52**(3): 691-698.
- 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.
- Liu, C.F., Ren, J.L., Xu, F., Liu, J.J., Sun, J.J. dan Sun, R.C. (2006). Isolation and characterization of cellulose obtained from ultrasonic irradiated sugarcane bagasse. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **54**(16): 5742-5749.
- Miranda, B.T., Miranda, S.R., Chan, L.P. dan Saqueton, E.R. (1965). Some studies on nata. *National Applied Science Bulletin* **19**: 67-79.
- Moon, S.H., Park, J.M., Chun, H.Y. dan Kim, S.J. (2006). Comparisons of physical properties of bacterial celluloses produced in different culture conditions using saccharified food wastes. *Biotechnology and Bioprocess Engineering* **11**: 26-31.
- Nishi, Y., Uryu, M., Yamanaka, S., Watanabe, K., Kitamura, N. dan Iguchi, M. (1990). The structure and mechanical properties of sheet prepared from bacterial cellulose. *Journal of Material Science* **24**: 3141-3145.
- Santa-Maria, L.C., Santos, A.L.C., Oliveira, P.C., Barud, H.S., Messadeq, Y. dan Ribeiro, S.B.L. (2009). Synthesis and characterization of silver nanoparticle impregnated in bacterial cellulose. *Materials Letters* **63**: 797-799.
- Sarkono, Moeljopawiro, S., Setiaji, B. dan Sembiring, L. (2012). Optimasi kondisi fermentasi untuk produksi selulosa bakteri pada strain SLK-1 dalam medium dasar air kelapa. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi IX, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta 7 Juni 2012*.
- Segal, L., Creely, J., Martin, A. dan Conrad, C. (1959). An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using diffractometer. *Textile Research Journal* **29**: 786-794.
- Shibazaki, H., Kuga, S., Onabe, F. dan Usuda, M. (1993). Bacterial cellulose membrane as separation medium. *Journal of Applied Polymer Science* **50**: 965-969.
- Shoda, M. dan Sugano, Y. (2005). Recent advances in bacterial cellulose production. *Biotechnology and Bioprocess Engineering* **10**: 1-8.
- Suwannapinunt, N., Burakorn, J. dan Thaenthanee, S. (2007). Effect of culture conditions on bacterial cellulose (BC) production from *A. xylinum* TISTR976 and physical properties of BC parchment paper. *Suranaree Journal of Science and Technology* **14**(4): 357-365.
- Tantratian, S., Tammarate, P., Krusong, W., Bhattarakosol, P. dan 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.
- Tsuchida, T. dan Yoshinaga, F. (1997). Production of bacterial cellulose by agitation culture systems. *Pure and Applied Chemistry* **69**(11): 2453-2458.
- Watanabe, K., Tabuchi, M., Morinaga, Y. dan Yoshinaga, F. (1998). Structural features and properties of bacterial cellulose produced in agitated culture. *Cellulose* **5**: 187-200.
- Yamanaka, S., Ishihara, M. dan Sugiyama, J. (2000). Structural modification of bacterial cellulose. *Cellulose* **7**: 213-225.
- Yeo, H.S., Lee, O.S., Lee, I.S., Kim, H.S., Yu, T.S. dan Jeong, Y.J. (2004). *Gluconacetobacter persimmonis* sp. nov., isolated from Korean traditional persimmon vinegar. *Journal of Microbiology and Biotechnology* **14**(2): 276-283.
- Zaar, K. (1977). The biogenesis of cellulose by *Acetobacter Xylinum*. *Cytobiologie European Journal of Cell Biology* **16**: 1-15.