

SIFAT MEKANIK SELULOSA BAKTERI DARI AIR KELAPA DENGAN PENAMBAHAN KITOSAN

MECHANICAL PROPERTIES OF BACTERIAL CELLULOSE BASED COCONUT WATER WITH ADDING CHITOSAN

Tutiek Rahayu* dan Eli Rohaeti**

**Jurusan Pendidikan Biologi, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta*

***Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta*

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi kitosan yang dapat menghasilkan selulosa-kitosan bakteri dengan sifat mekanik optimum dan mengetahui pengaruh penambahan kitosan terhadap sifat mekanik, gugus fungsi, foto penampang lintang, dan kristalinitas selulosa bakteri dari air kelapa. Setelah melalui proses fermentasi selama 5 hari, selulosa bakteri dikeringkan. Selulosa-kitosan bakteri dibuat dengan cara merendam selulosa bakteri kering di dalam larutan kitosan 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; dan 3,0% (m/v) selama 6 jam. Karakterisasi yang dilakukan meliputi uji sifat mekanik menggunakan *tensile tester*, uji kristalinitas menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*), uji gugus fungsi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*), dan uji foto penampang melintang menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Selulosa-kitosan bakteri 0,5% memiliki sifat mekanik optimum. Penambahan kitosan dapat menurunkan perpanjangan saat putus, meningkatkan kuat putus, dan meningkatkan modulus *Young* selulosa bakteri. Kristalinitas menurun dengan penambahan kitosan 0,5% dari 30,43% menjadi 15,38%. Hasil uji gugus fungsi menunjukkan adanya interaksi antara selulosa bakteri dengan molekul kitosan. Selain itu, foto SEM menunjukkan bahwa selulosa bakteri terdiri dari benang-benang fibril yang rapat sehingga dapat membentuk lapisan sedangkan selulosa-kitosan bakteri 0,5% terdiri dari lapisan-lapisan yang terdiri dari lapisan selulosa bakteri dan lapisan kitosan.

Kata Kunci: Kitosan, Selulosa Bakteri, Selulosa-Kitosan Bakteri, dan Sifat Mekanik.

Abstract

The objective of this research were to identify the chitosan concentration that produced bacterial cellulose-chitosan with optimum mechanical properties and to identify the effect of chitosan addition for function group, cross section morphology, and crystallinity of bacterial cellulose based coconut water. After fermentation process during 5 days, bacterial cellulose-chitosan has been succesfully prepared by immersing dry bacterial cellulose in chitosan solution 0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; and 3.0% (m/v) for 6 hours. The films were characterized using tensile tester to identify mechanical properties, XRD (X-Ray Difrraction) to identify crystallinity, FTIR (Fourier Transform Infrared) to identify functional group, and SEM (Scanning Electron Microscope) to identify cross section morphology. The bacterial cellulose-chitosan 0.5% had the most optimum mechanical properties. The addition of chitosan could decrease elongation at break, and also increase strenght at break and modulus Young of bacterial cellulose. The crystalinity decreased with the addition of chitosan 0.5% from 30.43% to 15.38%. On the other hand, the FTIR spectrum showed that there was interaction between bacterial cellulose and chitosan moleculle. SEM images show that bacterial cellulose consisted of tight fibrin thread, so it could form layers. Bacterial cellulose-chitosan 0.5% consisted of multilayered of bacterial cellulose and chitosan layers.

Key word: Chitosan, Bacterial Cellulose, Bacterial Cellulose-Chitosan, and Mechanical Properties

PENDAHULUAN

Selulosa bakteri adalah selulosa yang diproduksi oleh bakteri asam asetat dan memiliki beberapa keunggulan dibandingkan selulosa yang berasal dari tumbuhan. Keunggulan tersebut di antaranya memiliki kemurnian yang tinggi, struktur jaringan yang sangat baik, kemampuan degradasi tinggi, dan kekuatan mekanik yang unik [1]. Selain itu, selulosa bakteri memiliki kandungan air yang tinggi (98-99%), penyerap cairan yang baik, bersifat non-alergenik, dan dapat dengan aman disterilisasi tanpa menyebabkan perubahan karakteristiknya [2].

State of the art dari penelitian untuk mendapatkan selulosa bakteri telah dilakukan oleh Aton Yulianto dkk dengan mensintesis selulosa bakteri melalui metode tradisional menggunakan *acetobacter xylinum* dalam media statis. Selanjutnya dianalisis morfologi dan sifat fisik selulosa bakteri yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gel selulosa bakteri memiliki jaringan tiga dimensi yang terbentuk melalui ikatan hidrogen interfibrilar, morfologi gel bagian atas, dalam, dan bawah berbeda dalam hal ukuran dan kerapatan dari mikrofibril.

Lebar mikrofibril berkisar 20 – 500 nm dengan urutan bagian atas > bawah > dalam, sedangkan urutan kerapatan mikrofibril adalah bagian atas > dalam > bawah. Film selulosa bakteri yang sudah dikeringkan memiliki sifat mekanik cukup tinggi dengan nilai modulus Young 30 GPa. [11]

Selulosa bakteri dapat dipreparasi dari limbah buah-buahan berupa kulit nanas, tomat, dan pisang. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa amonium hidrofosfat paling efektif dibandingkan dengan amonium sulfat dan urea digunakan sebagai sumber senyawa nitrogen dalam pembuatan selulosa bakteri. [12] Selulosa bakteri dapat dikembangkan dengan starter *acetobacter xylinum* yang kering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa starter *acetobacter xylinum* kering dapat dibuat dari dekstrin, pati jagung, atau pati jagung prigelatinisasi sebagai material pengikat yang dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada 40 dan 50 °C. Penggunaan starter kering dapat menghasilkan 57% b/v selulosa bakteri. [14]

Telah dilakukan uji biokompatibilitas selulosa mikrobial (diameter 1 cm) ke kelinci dan secara periodik diamati setelah 1 dan 3 minggu. Implant tersebut tidak menyebabkan peradangan secara makroskopik dan pengamatan jaringan menunjukkan hanya sebagian kecil sel raksasa dan suatu lapisan tipis fibroblas pada antarmuka selulosa dan jaringan. Membran selulosa bakteri lebih unggul dibandingkan bahan penutup luka konvensional dalam hal kesesuaian dengan permukaan luka, dapat menjaga luka tetap dalam kondisi yang basah, dapat menurunkan rasa sakit, mempercepat re-epitelialisasi dan pembentukan jaringan, serta mengurangi pembentukan bekas luka. Selulosa mikrobial yang diberi nama Biofill terbukti berhasil menutupi luka dari kulit yang terbakar dan luka kronis. Bagian antar muka (sisi atas) dari membran selulosa bakteri lebih rapat dan permukaannya lebih halus dibandingkan dengan sisi yang kontak dengan medium cairan (sisi bawah). Sisi antar muka selulosa bakteri dapat berfungsi sebagai lumen dari pembuluh darah yang digantikan oleh selulosa bakteri sebab sel-sel endotelial lebih siap berikatan dengan permukaan yang halus. [13]

Selulosa bakteri banyak diaplikasikan dalam dunia medis, di antaranya untuk memberikan perawatan pada penderita penyakit ginjal dan bisa juga sebagai

substitusi sementara dalam perawatan luka bakar. Selulosa bakteri juga dapat diimplant ke dalam tubuh manusia sebagai benang jahit dalam pembedahan [3]. Namun, selulosa bakteri mudah menyerap cairan (higroskopis) sehingga mudah terkontaminasi oleh mikroba, hal ini tentu menjadi salah satu kelemahan dalam aplikasinya di dunia medis. Menurut Ciechańska [2], sangat mungkin dilakukan modifikasi pada selulosa bakteri melalui penambahan suatu bahan dalam media kultur. Tujuan dari modifikasi ini adalah untuk memperoleh struktur kimia, morfologi, dan struktur molekuler yang diinginkan.

Modifikasi tersebut dapat dilakukan melalui penambahan polisakarida seperti kitosan. Kitosan merupakan salah satu jenis polisakarida yang bersifat bioaktif, biokompatibel, dan tidak beracun [4]. Selain itu, kitosan juga bersifat antibakteri [5].

Terdapat dua metode dalam pembuatan selulosa-kitosan bakteri, pertama adalah dengan cara memasukkan sejumlah tertentu kitosan secara langsung ke dalam media pada saat pemasakan air kelapa [6]. Kedua adalah dengan cara merendam selulosa bakteri ke dalam larutan kitosan [7]. Dalam proses pembuatannya, keberhasilan pembuatan selulosa bakteri dipengaruhi oleh viabilitas (kemampuan hidup) bakteri, kandungan nutrisi media air kelapa, dan lingkungannya [8]. Faktor lain yang berpengaruh terhadap keberhasilan pembuatan selulosa bakteri adalah tingkat keasaman atau pH, di mana pengaturan pH diperlukan untuk menghambat pertumbuhan ragi yang seringkali mengkontaminasi pertumbuhan selulosa bakteri [9]. Selain itu, variasi penambahan kitosan juga berpengaruh jika dalam pembuatannya dilakukan penambahan kitosan.

Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui konsentrasi kitosan yang dapat menghasilkan selulosa-kitosan bakteri dengan sifat mekanik optimum. Selain itu, juga untuk mengetahui pengaruh penambahan kitosan terhadap sifat mekanik, gugus fungsi, foto permukaan dan kristalinitas selulosa bakteri dari air kelapa.

METODE PENELITIAN

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: SEM merk JEOL JSM-T300, XRD seri Multiflex Rigaku, FTIR merk Shimadzu-8300, *tensile tester*, bak fermentasi, timbangan analitik, penyaring, kompor, pH-meter, termometer, pengaduk, aluminium foil, gelas ukur, gelas kimia, pipet ukur, dan spatula. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: air kelapa, air, gula pasir/sukrosa, urea, *Acetobacter xlinum*, asam asetat, dan kitosan.

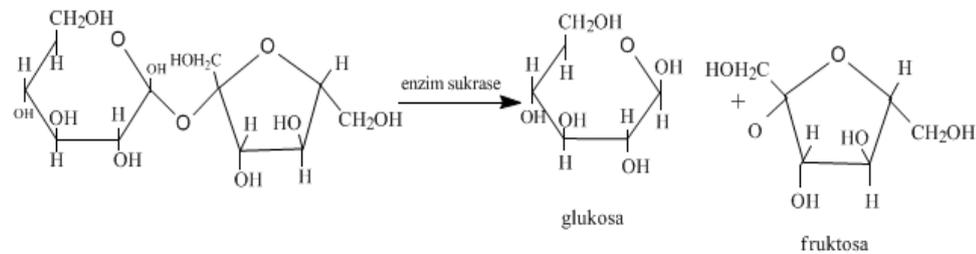
Selulosa-kitosan bakteri dibuat dengan cara merendam selulosa bakteri ke dalam larutan kitosan 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; dan 3,0% (m/v) selama 6 jam. Air kelapa 300 mL yang telah disaring, urea 1,0 gram, dan sukrosa 2,5 gram dipanaskan hingga mendidih. Setelah mendidih, larutan tersebut dimasukkan ke dalam bak fermentasi dan langsung ditutup dengan koran. Setelah dingin, ditambahkan starter bakteri *Acetobacter xylinum*. Fermentasi dilakukan selama 5 hari. Setelah lembaran selulosa bakteri terbentuk, kemudian dicuci dengan air, dipres, dan dikeringkan.

Setelah kering, sampel tersebut kemudian direndam di dalam kitosan yang telah dilarutkan dalam 100 mL asam asetat 1% selama 6 jam. Kemudian dipres, dikeringkan dalam suhu kamar, dan dikarakterisasi. Karakterisasi dilakukan menggunakan *tensile tester* untuk mengetahui sifat mekaniknya. Berdasarkan data sifat mekanik yang diperoleh, selanjutnya dipilih selulosa bakteri dari air kelapa tanpa kitosan dan selulosa bakteri dari air kelapa dengan penambahan kitosan yang memiliki sifat mekanik yang optimum. Kemudian kedua sampel tersebut dikarakterisasi menggunakan FTIR, SEM dan XRD.

HASIL DAN PEMBAHASAN

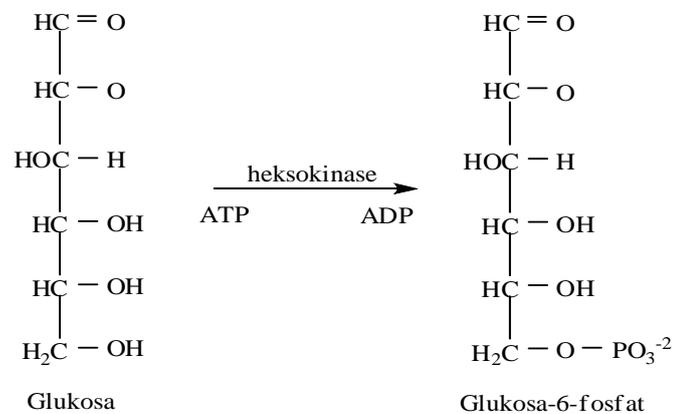
Sukrosa yang ada pada medium air kelapa oleh bakteri *Acetobacter xylinum* dikonversi ke dalam bentuk glukosa dan fruktosa dengan adanya enzim sukrase. Reaksi peruraian sukrosa dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan reaksi pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa sukrosa dikonversi dalam bentuk glukosa dan fruktosa. Glukosa dan fruktosa merupakan senyawa yang mudah

digunakan oleh mikroorganisme (bakteri) karena mempunyai bentuk lebih sederhana dibandingkan dengan sukrosa.



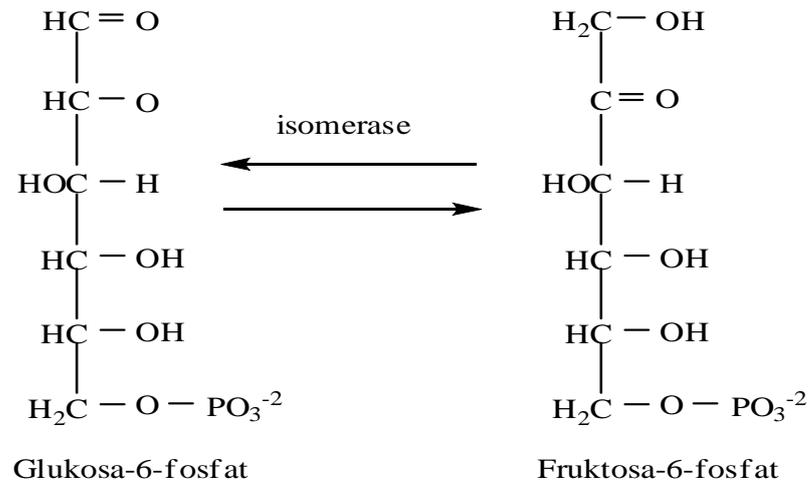
Gambar 1. Reaksi peruraian sukrosa

Sukrosa yang ada pada substrat pertama kali dirombak ke dalam bentuk lebih sederhana biasanya fruktosa atau glukosa dengan bantuan enzim atau proses hidrolisis. Glukosa yang terbentuk dari hasil hidrolisis sukrosa oleh enzim sukrase, dengan proses fosforilasi dimana glukosa dibentuk ke dalam bentuk glukosa-6-fosfat dengan bantuan enzim heksokinase. Terjadinya reaksi fosforilasi glukosa seperti pada Gambar 2.



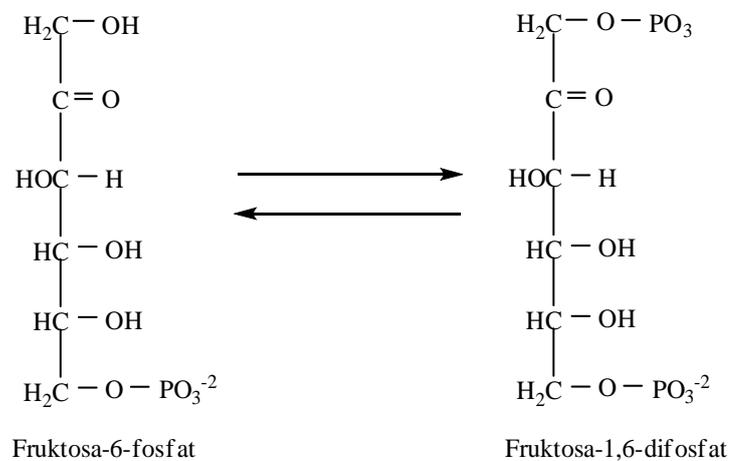
Gambar 2. Fosforilasi glukosa

Berdasarkan reaksi di atas, selanjutnya terjadi reaksi isomerisasi dari glukosa-6-fosfat yang menghasilkan fruktosa-6-fosfat, dengan bantuan enzim isomerase. Reaksi ini berjalan bolak-balik seperti terlihat pada Gambar 3.



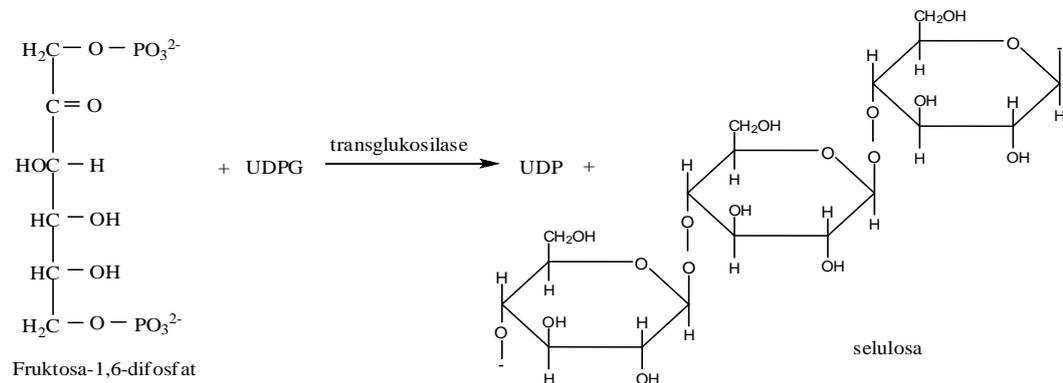
Gambar 3. Reaksi isomerisasi dari Glukosa-6-Fosfat

Pemindahan fosfat baru dari ATP ke fruktosa-6-fosfat pada atom C no 1, dengan bantuan enzim fosfoheksokinase, yang menghasilkan fruktosa 1,6-difosfat. Reaksi pemindahan fosfat baru dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Reaksi pemindahan fosfat baru

Adanya UDPG (Uridin Di Pospat Glukosa) dan bantuan enzim transglukosilase akan membentuk selulosa. Reaksi pembentukan selulosa dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Reaksi pembentukan selulosa

Analisis Sifat Mekanik

Analisis sifat mekanik yang dilakukan adalah berupa kuat putus dan elongasi. Tabel 1 menunjukkan hasil analisis sifat mekanik berupa kuat putus, elongasi, dan modulus *Young* dari selulosa bakteri dan selulosa-kitosan bakteri. Penambahan kitosan 0,5% pada selulosa bakteri memberikan sifat mekanik paling optimum. Hal ini karena selulosa bakteri dengan penambahan kitosan 0,5% memiliki nilai elongasi yang paling besar dibandingkan elongasi selulosa bakteri dengan penambahan kitosan 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, dan 3,0%.

Tabel 1. Hasil Analisis Sifat Mekanik

No	Jenis Selulosa Bakteri	Kuat Putus (MPa)	Elongasi (%)	Modulus <i>Young</i> (MPa)
1	Selulosa Bakteri	16,0139	19,5957	81,7215
2	Selulosa-Kitosan Bakteri 0,5%	17,0954	15,0091	113,9002
3	Selulosa-Kitosan Bakteri 1,0%	4,3472	7,5425	57,6361
4	Selulosa-Kitosan Bakteri 1,5%	9,0311	6,9410	130,1124
5	Selulosa-Kitosan Bakteri 2,0%	6,3014	13,1927	47,7643
6	Selulosa-Kitosan Bakteri 2,5%	13,6393	10,0251	136,0515
7	Selulosa-Kitosan Bakteri 3,0%	5,5437	2,1915	252,9637

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa penambahan kitosan 0,5% dapat meningkatkan kuat putus dan menurunkan perpanjangan saat putus (elongasi) dari selulosa bakteri. Kuat putus yang meningkat dan elongasi yang menurun pada konsentrasi larutan kitosan 0,5% menunjukkan bahwa larutan kitosan merupakan agen pembentuk segmen keras dengan elongasi rendah. Hal ini didukung dengan hasil analisis kristalinitas menggunakan XRD, di mana selulosa

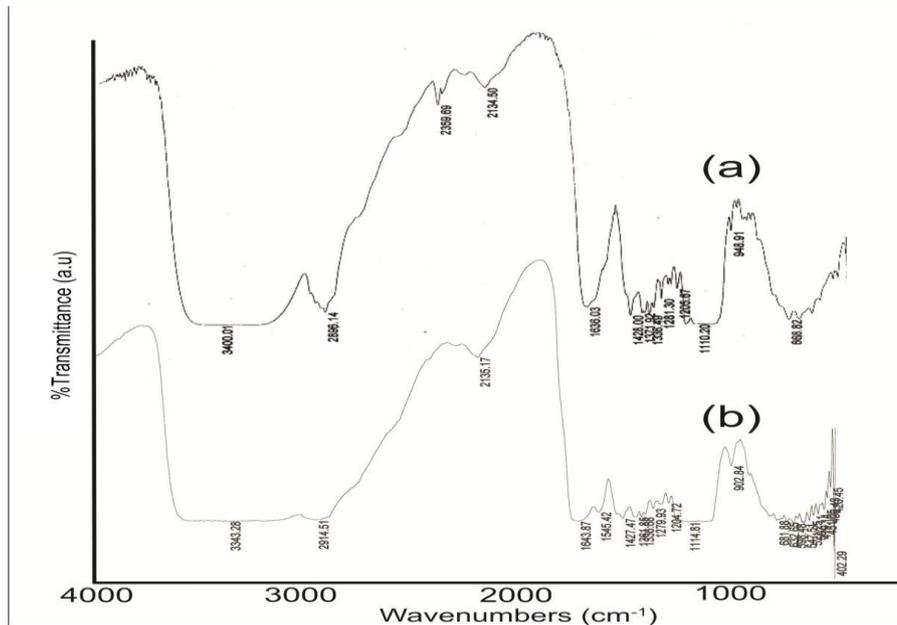
bakteri tanpa penambahan kitosan bersifat lebih kristalin dibanding selulosa bakteri dengan penambahan kitosan 0,5%.

Penambahan kitosan pada selulosa bakteri mengakibatkan terjadinya ikatan hidrogen antara gugus OH selulosa bakteri dan gugus OH kitosan. Adanya ikatan hidrogen pada selulosa-kitosan bakteri mengakibatkan mobilitas molekuler selulosa-kitosan bakteri berkurang. Pengurangan mobilitas molekuler ini menyebabkan menurunnya elongasi dan meningkatkan kuat putus selulosa-kitosan bakteri karena jarak antar molekul semakin rapat.

Tingkat kekakuan selulosa bakteri dapat diketahui melalui penentuan modulus *Young*. Jika nilai modulus *Young* semakin tinggi, maka selulosa bakteri tersebut akan semakin kaku [10]. Modulus *Young* dapat ditentukan melalui perbandingan antara nilai kuat putus terhadap perpanjangan saat putus. Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa nilai modulus *Young* untuk selulosa bakteri adalah sebesar 81,7215 MPa, sedangkan selulosa-kitosan bakteri 0,5% adalah sebesar 113,9002 MPa. Dengan demikian selulosa-kitosan bakteri 0,5% bersifat lebih kaku dibandingkan dengan selulosa-kitosan bakteri 0%. Hal ini menandakan bahwa di dalam selulosa-kitosan bakteri 0,5% terjadi interaksi molekuler yang lebih besar dibanding interaksi molekuler pada selulosa bakteri tanpa penambahan kitosan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa selulosa-kitosan bakteri merupakan bahan yang keras dan kaku dengan elongasi rendah.

Analisis Gugus Fungsi Selulosa-Kitosan Bakteri

Analisis gugus fungsi digunakan untuk mengetahui perbedaan gugus fungsi antara selulosa-kitosan bakteri 0% dengan selulosa-kitosan bakteri 0,5%. Analisis gugus fungsi ini dilakukan menggunakan spektrofotometer FTIR. Hasil spektrum FTIR kemudian dianalisis secara kualitatif untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam masing-masing selulosa-kitosan bakteri. Gambar 6 menunjukkan spektrum FTIR dari (a) selulosa bakteri dan (b) selulosa-kitosan bakteri 0,5%.



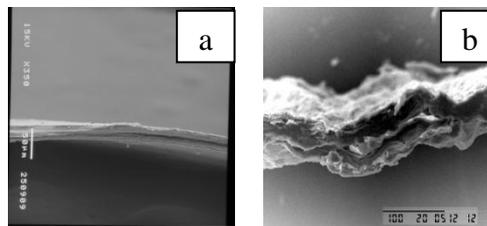
Gambar 6. Spektrum FTIR:
 (a) Selulosa Bakteri dan (b) Selulosa-Kitosan Bakteri 0,5%

Berdasarkan Gambar 1(a) dan (b) dapat diketahui bahwa dalam selulosa bakteri terdapat vibrasi pada bilangan gelombang $3400,01 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya regang O-H alkohol, vibrasi pada bilangan gelombang $1636,01 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya cincin siklis lingkaran enam dari monomer glukosa, vibrasi pada bilangan gelombang $1110,20 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya C-O-C β -1,4-glikosidik, dan vibrasi pada bilangan gelombang $948,91 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya cincin piranosa. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Eli Rohaeti dan Tutiek Rahayu [10], di mana dalam penelitian tersebut selulosa bakteri menunjukkan serapan OH ikatan hidrogen pada $3450\text{-}3400 \text{ cm}^{-1}$, serapan cincin aromatik piran pada $1640\text{-}1504 \text{ cm}^{-1}$, dan serapan C-O (ikatan β -glikosidik) pada sekitar 1000 cm^{-1} . Di sisi lain, yaitu pada selulosa-kitosan bakteri 0,5% terdapat vibrasi pada bilangan gelombang $3343,28 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya kombinasi regang N-H amina dan regang O-H alkohol, vibrasi pada bilangan gelombang $1643,87 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya cincin siklis lingkaran enam dari monomer glukosa, vibrasi pada bilangan gelombang $1545,42 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya ikatan N-H amina, vibrasi pada bilangan gelombang $1114,81 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya

C-O-C β -1,4-glikosidik, dan vibrasi pada bilangan gelombang $902,84\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya cincin piranosa.

Dengan demikian, terdapat interaksi antara kitosan dengan selulosa bakteri pada selulosa-kitosan bakteri 0,5%. Hal ini dibuktikan dengan adanya puncak pada bilangan gelombang $3343,28\text{ cm}^{-1}$ dari selulosa-kitosan bakteri 0,5% yang memiliki luas puncak lebih lebar dibanding luas puncak pada panjang gelombang $3400,01\text{ cm}^{-1}$ dari selulosa bakteri. Perbedaan luas puncak tersebut merupakan akibat dari adanya kombinasi puncak serapan regang N-H amina dan regang O-H alkohol pada bilangan gelombang $3343,28\text{ cm}^{-1}$ sehingga luas puncaknya menjadi lebih lebar dibanding luas puncak pada panjang gelombang $3400,01\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan serapan regang O-H alkohol saja. Selain itu, bukti adanya interaksi antara kitosan dengan selulosa bakteri pada selulosa-kitosan bakteri 0,5% juga diperkuat dengan adanya puncak serapan N-H amina pada panjang gelombang $1545,42\text{ cm}^{-1}$.

Analisis Penampang Melintang Selulosa-Kitosan Bakteri



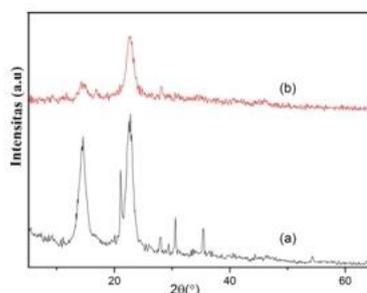
Gambar 7. Foto SEM Penampang Melintang:
(a) Selulosa Bakteri dan (b) Selulosa-Kitosan Bakteri 0,5%

Gambar 7 menunjukkan foto SEM penampang melintang (a) selulosa bakteri dan (b) selulosa-kitosan bakteri 0,5%, dengan perbesaran 350 kali. Berdasarkan Gambar 13(a) diperoleh informasi bahwa selulosa bakteri terdiri dari benang-benang fibril sehingga dapat membentuk lapisan rapat, sedangkan Gambar 13(b), menunjukkan bahwa struktur selulosa-kitosan bakteri 0,5% terdiri dari lapisan-lapisan yang terdiri dari lapisan selulosa bakteri dan lapisan kitosan.

Lapisan selulosa bakteri memiliki ketebalan sebesar $12,5\mu\text{m}$ dan selulosa-kitosan bakteri 0,5% memiliki ketebalan sebesar $76,2\mu\text{m}$, sehingga dapat diketahui bahwa selulosa-kitosan bakteri 0,5% lebih tebal dibandingkan dengan

lapisan selulosa bakteri. Hal ini terjadi karena interaksi antara kitosan dengan selulosa bakteri sehingga kitosan dapat melapisi permukaan atas dan bawah selulosa bakteri. Bahkan selama proses perendaman larutan kitosan dapat berdifusi melalui rongga-rongga yang terdapat dalam selulosa bakteri dan menghasilkan lapisan di bagian tengah selulosa bakteri.

Analisis Kristalinitas Selulosa-Kitosan Bakteri



Gambar 8. Difraktogram XRD:
(a) Selulosa Bakteri dan (b) Selulosa-Kitosan Bakteri 0,5%

Gambar 8 menunjukkan difraktogram (a) selulosa bakteri dan (b) selulosa-kitosan bakteri 0,5%. Selulosa bakteri merupakan suatu material yang berbentuk kristal, dengan puncak-puncak dominan muncul pada daerah sudut 2θ antara $20^{\circ} - 40^{\circ}$ dari data XRD [10]. Keberadaan selulosa diperkuat oleh difraktogram XRD, menunjukkan adanya fase kristalin 1α dan 1β masing-masing pada 15° dan $22,5^{\circ}$. Fase kristalin selulosa 1α dan 1β masing-masing pada bidang 1001α , 1101β , dan 0101β terjadi pada sudut 15° , bidang 1101α dan 2001β pada sudut $22,5^{\circ}$ [15].

Berdasarkan Gambar 8 (a) dan (b), dapat diketahui bahwa puncak di daerah sudut $2\theta = 15^{\circ}$ dan pada daerah antara $20^{\circ} - 40^{\circ}$ pada selulosa bakteri memiliki intensitas lebih tajam dibandingkan dengan intensitas puncak selulosa-kitosan bakteri 0,5%. Kesamaan antara kedua difraktogram tersebut ditemui pada puncak $2\theta = 22^{\circ}$ dengan intensitas tajam pada kedua difraktogram tersebut. Puncak tersebut merupakan karakter khas suatu selulosa. Puncak $2\theta = 14,343^{\circ}$ pada difraktogram selulosa-kitosan menunjukkan intensitas lebih lemah daripada difraktogram selulosa. Puncak tajam dari kitosan muncul di daerah 2θ antara $12 -$

19⁰. Dengan demikian berdasarkan Gambar 8 (b) dapat diketahui adanya struktur khas untuk selulosa dan kitosan.

Perbedaan intensitas pada selulosa bakteri dan selulosa-kitosan bakteri 0,5% menunjukkan bahwa selulosa bakteri bersifat lebih kristalin dibandingkan selulosa-kitosan bakteri 0,5%, sehingga menyebabkan terjadinya perbedaan sifat mekanik dari kedua sampel tersebut. Jika dibandingkan dengan selulosa bakteri, selulosa-kitosan bakteri 0,5% merupakan bahan dengan perpanjangan saat putus rendah. Hal tersebut diperkuat dengan perbandingan tingkat kristalinitas dari selulosa bakteri dan selulosa-kitosan bakteri. Selulosa bakteri dari air kelapa memiliki tingkat kristalinitas lebih tinggi, yaitu sebesar 30,43% dibanding tingkat kristalinitas selulosa-kitosan bakteri 0,5%, yaitu sebesar 15,38%. Berdasarkan Gambar 8 (a) dan (b), dapat diketahui bahwa puncak di daerah sudut 2θ antara $20^0 - 40^0$ pada selulosa bakteri memiliki intensitas lebih besar dibandingkan dengan intensitas puncak selulosa-kitosan bakteri 0,5%.

Perbedaan intensitas pada selulosa bakteri dan selulosa-kitosan bakteri 0,5% menunjukkan bahwa selulosa bakteri bersifat lebih kristalin dibandingkan selulosa-kitosan bakteri 0,5%, sehingga menyebabkan terjadinya perbedaan sifat mekanik dari kedua sampel tersebut. Jika dibandingkan dengan selulosa bakteri, selulosa-kitosan bakteri 0,5% merupakan bahan yang bersifat lebih keras dan kaku dengan elongasi rendah, sehingga pada tekanan tertentu selulosa-kitosan bakteri 0,5% akan lebih mudah retak. Hal tersebut diperkuat dengan perbandingan tingkat kristalinitas dari selulosa bakteri dan selulosa-kitosan bakteri. Selulosa bakteri memiliki tingkat kristalinitas lebih tinggi, yaitu sebesar 30,43% dibanding tingkat kristalinitas selulosa-kitosan bakteri 0,5%, yaitu sebesar 15,38%.

KESIMPULAN

Selulosa-Kitosan Bakteri 0,5% memiliki sifat mekanik optimum. Penambahan kitosan sebanyak 0,5% dapat menurunkan elongasi/perpanjangan, meningkatkan kuat putus, dan meningkatkan modulus *Young* selulosa bakteri dari air kelapa.

Selulosa-kitosan bakteri dengan sifat mekanik optimum memiliki gugus fungsi pada bilangan gelombang $3343,28\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya kombinasi regang N-H amina dan regang O-H alkohol, vibrasi pada bilangan gelombang $1643,87\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya cincin siklis lingkaran enam dari monomer glukosa, vibrasi pada bilangan gelombang $1545,42\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya ikatan N-H amina, vibrasi pada bilangan gelombang $1114,81\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya C-O-C β -1,4-glikosidik, dan vibrasi pada bilangan gelombang $902,84\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya cincin piranosa.

Selulosa-kitosan bakteri dengan sifat mekanik optimum memiliki struktur penampang melintang yang terdiri atas lapisan selulosa bakteri dan lapisan kitosan. Selulosa-kitosan bakteri dengan sifat mekanik optimum memiliki tingkat kristalinitas lebih rendah yaitu sebesar 30,43% dibandingkan dengan tingkat kristalinitas selulosa bakteri yaitu sebesar 15,38%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Tsuchida Takayasu and Yoshinaga Fumihiro. (1997). Production of Bacterial Cellulose by Agitation Culture System. *Pure & Appl. Chem.* Vol 69, No 11, 2453-2458.
- [2]. Ciechańska, Danuta. (2004). Multifunctional Bacterial Cellulose/Chitosan Composite Material for Medical Applications. *Journal of Fibres & Textiles in Eastern Europe.* Vol. 12.No. 4.48
- [3]. Hoenich, N.(2006). Cellulose for medical applications: past, present, and future. *BioRes.* 1 (2).270-280.
- [4]. Dutta Kumar Pradip, Dutta Joydeep, and Tripathi S.V. (2004). Chitin and Chitosan; Chemistry, Properties and Applications. *Journal of Scientific and Industrial Reserch.* Vol 63. 20-31
- [5]. Ramisz Balicka Aleksandra, Pajak Wojtasz Anna, Pilarczyk Bogumila, Ramisz Alojzy, and Laurans Lukasz. (2005). Antibacterial And Antifungal Activity of Chitosan. *Isah* vol.2. 406-408
- [6]. Darmansyah. (2010). Evaluasi Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Material Komposit Serat/Resin Berbahan Dasar Serat *Nata de coco* dengan Penambahan Nanofiller. *Tesis.* Program Magister Teknik Kimia Universitas Indonesia
- [7]. Kim Jaehwan, Cai Zhijiang, Lee Sook Hyun, Choi Seong Gwang, Lee Haeng Don, and Jo Chulhee. (2010). Preparation and characterization of a Bacterial

cellulose/Chitosan composite for potential biomedical application. *J Polym Res* 18:739 – 744

- [8]. Soesarsono Wijandi dan Illah Saillah. (2003). *Memproduksi Nata De Coco*. Jakarta : Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar Dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional
- [9]. Muhammad Lindu, Tita Puspitasari, danErna Ismi. (2010). Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Asetat Dari Nata de Coco Sebagai Bahan Baku Membran Ultrafiltrasi. *Jurnal Sains Materi Indonesia* Vol. 12, No. 1 hal : 17 - 23
- [10]. Eli Rohaeti dan Tutiek Rahayu. (2012). Sifat Mekanik Bacterial Cellulose Dengan Media Air Kelapa Dan Gliserol Sebagai Material Pemplastis. *Prosiding, Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta*.
- [11] Aton Yulianto, M. Kudo, T. Masuko. 2000. The Morphology and Physical Properties of Selulosa bakteri Gel. *Proceeding The Second International Workshop on Green Polymers*. Indonesia:Indonesian Polymer Association.
- [12] Bakri Rosidi, Arief Budhiono, Suryati, Andoyo Sugiharto, and M. Iguchi.. 2000. Production of Selulosa bakteri from Fruit Waste Materials. *Proceeding The Second International Workshop on Green Polymers*. Indonesia:Indonesian Polymer Association.
- [13] Czaja, W.K., D.J. Young, M. Kawecki, and R. M. Brown. 2007. Reviews:The Future Prospects of Microbial Cellulose in Biomedical Applications. *Biomacromolecules*, **Volume 8**, No. 1., 1 – 12.
- [14] Priyo Waspodo, Arief Budhiono, Suryati, dan Nathalia Sujono. 2000. *Proceeding The Second International Workshop on Green Polymers*. Indonesia:Indonesian Polymer Association.
- [15] Barud, H.S., C. A. Ribeiro, Marisa S. Crespi, M. A. U. Martines, J. Dexpert-Ghy, R. F. C. Marques, Y. Messadde1 and S. J. L. Ribeiro. 2007. Thermal Characterization of Selulosa bakteri-Phosphate Composite Membrane. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **Vol 87 (3)**, 815-818.