

POTENSI *IN-VIVO* SELULOSA BAKTERIAL SEBAGAI NANO-FILLER KARET *ELASTOMER THERMOPLASTICS* (ETPS)

In-Vivo Potency of Bacterial Cellulose As Nano-Filler Elastomer Thermoplastics Rubber (ETPS)

NENDYO ADHI WIBOWO¹ dan ISROI²

¹Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar
Indonesian Research Institute for Industrial and Beverage Crops
Jalan Raya Pakuwon Km 2, Parungkuda, Sukabumi 43357, Indonesia
E-mail: nindya_bios@yahoo.com

²Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri
Indonesian Research Institute of Biotechnology and Bioindustry
Jalan Taman Kencana No.1 Bogor, Indonesia

Diterima:19 Juni 2015; Direvisi: 05 Agustus; Disetujui: 01 November 2015

ABSTRAK

Selulosa bakteri merupakan salah satu biopolimer yang berbentuk pita-pita berukuran nano dengan panjang kurang dari 100 nm dan lebar 2-4 nm. Beberapa bakteri yang diketahui bisa memproduksi selulosa antara lain *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, dan *Sarcina*. Sintesis selulosa bacterial membentuk *bundle* mikrofibril yang sangat kristalin dengan elastisitas modulus sebesar 78 GPa sama seperti elastisitas modulus dari fiber glass 70 GPa. Selulosa bakteri memiliki kapasitas simpan air, derajat polimerisasi, dan struktur jaringan yang lebih baik daripada selulosa dari tanaman. Produksi nanofibril selulosa dari selulosa bakteri tidak memerlukan proses penghilangan hemiselulosa dan lignin seperti pada selulosa dari tanaman sehingga nano selulosa bacterial dapat menjadi salah satu bahan baku nano komposit yang potensial bagi pengembangan karet alam atau *natural rubber* (NR). Nano selulosa bacterial bisa menjadi bahan baku nano komposit yang sangat kuat, lebih kuat daripada nano selulosa yang berasal dari tanaman. Pengembangan karet alam atau *natural rubber* (NR) mengarah pada pengembangan karet untuk tujuan-tujuan khusus, salah satunya adalah *elastomer thermoplastics* (ETPs) yang merupakan kelompok material yang menggabungkan karakteristik karet dengan bahan termoplastik yang mudah diproses. Konsep penguatan bahan polimer, seperti NR, dengan *nano-filler* selulosa melalui mekanisme ikatan karet-bahan pengisi akibat peningkatan interaksi karet-bahan pengisi berukuran nano yang memiliki luas

permukaan yang besar. Selulosa bacterial seperti *Acetobacter xylinum* yang ditumbuhkan dalam medium lateks karet alam, akan mengakibatkan partikel latek yang berukuran 5 nm terperangkap pada matrik selulosa ataupun sebaliknya partikel selulosa bacterial yang terperangkap pada matrik karet alam. Manfaat dari adanya mekanisme ikatan *in vivo* selulosa bacterial dan matrik karet alam adalah dalam rangka mengembangkan industri karet pada sintesis paduan nano-komposit karet dengan selulosa bacterial guna meningkatkan diversifikasi produk pada komoditas karet alam. Produk yang dihasilkan dapat berupa termoplastik elastomer (karet alam termoplastik) yang memiliki prospek untuk digunakan pada komponen otomotif dan produk-produk khusus lainnya.

Kata kunci : Bakteri selulosa, *Acetobacter xylinum*, *elastomer thermoplastics* (ETPs), lateks

ABSTRACT

Microbial cellulose is one of the biopolymer in the form of nano-sized ribbons with a length of less than 100 nm and a width of 2-4 nm. Some bacteria are known to produce cellulose namely *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, and *Sarcina*. Synthesis of bacterial cellulose forming microfibril bundle highly crystalline with elasticity modulus of 78 GPa as of 70 GPa fiber glass. Microbial cellulose has water storage capacity, degree of polymerization, and the network structure is better than cellulose from plants. Nanofibril cellulose production of bacterial cellulose does not require the removal of hemicellulose

and lignin as of plants so that the nano bacterial cellulose is a potential raw materials of nano composites in developing natural rubber (NR). Nano bacterial cellulose is potentially a strong raw material for nano composites, stronger than nano cellulose from plants. Development of natural rubber or natural rubber (NR) led to the development of rubber for specific purposes, one of which is elastomeric thermoplastics (ETPs), a group combining the characteristics of rubber material with thermoplastic material that is easily processed. Strengthening The concept to improve the strength of polymer materials, such as NA, with nano-filler bonding cellulose through the mechanism of rubber-filler-rubber is due to an increased interaction of nano-sized filler that has a large surface area. Bacterial cellulose such as *Acetobacter xylinum* grown in natural rubber latex medium, may result in 5 nm latex particle trapped in the cellulose matrix or vice versa, bacterial cellulose particles trapped in the matrix of natural rubber. Benefits of the bonding mechanism of in vivo bacterial cellulose and natural rubber matrix is develop rubber industry synthesizing nano-composite alloy rubber with bacterial cellulose for natural rubber diversification. The products resulted in the form of thermoplastic elastomer (natural rubber thermoplastic) is potentially to be used in automotive components and other specialty products.

Keywords: Bacterial cellulose, *Acetobacter xylinum*, elastomer thermoplastics (ETPs), latex

PENDAHULUAN

Selulosa adalah salah satu biopolimer yang paling melimpah di dunia bersama dengan lignin dan hemiselulosa. Selulosa banyak ditemukan pada bahan-bahan yang berasal dari tanaman. Selulosa yang berasal dari tanaman memiliki struktur yang kompleks dan berasosiasi dengan hemiselulosa dan lignin. Selain dihasilkan oleh tanaman, selulosa juga disintesis oleh alga, tunikata, dan beberapa bakteri (Klemm *et al.*, 2006; Henriksson dan Berglund 2007; Abe K *et al.* 2007). Beberapa bakteri yang diketahui bisa memproduksi selulosa antara lain adalah *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, dan *Sarcina* (El-Saied *et al.*, 2004). Strain bakteri penghasil selulosa yang dilaporkan paling efisien adalah *Acetobacter xylinum*, yaitu strain gram negatif dari bakteri penghasil asam asetat (Czaja *et al.*, 2004; Klemm

et al., 2006). Selulosa bakterial memiliki struktur kimia yang sama seperti selulosa yang berasal dari tumbuhan, namun selulosa bakterial memiliki keunggulan antara lain kemurnian tinggi, derajat kristalinitas tinggi, kekuatan tarik tinggi, elastis, dan terbiodegradasi.

Selulosa dapat disintesis oleh tumbuhan, beberapa hewan dan sejumlah besar mikroorganisme, seperti yang terjadi pada *Gluconacetobacter* (sebelumnya *Acetobacter*). *Gluconacetobacter* adalah bakteri gram negatif, aerobik, mampu menghasilkan selulosa ekstrasel pada suhu antara 25 dan 30°C dan pH dari 3 sampai 7 (Bielecki *et al.*, 2005; Iguchi *et al.*, 2000), dengan menggunakan glukosa, fruktosa, sukrosa, manitol sebagai sumber karbon (Castro, 2011; Heo dan Son, 2002). Bakteri mensintesis selulosa sebagai *primary metabolit*. Mekanisme sintesis ini membantu bakteri aerobik untuk pindah ke permukaan yang kaya oksigen. Selain itu, pelikel selulosa diproduksi untuk melindungi sel dari sinar ultraviolet dan mempertahankan kelembaban (Klemm *et al.*, 2001).

Potensi in-vivo selulosa bakterial dalam tulisan ini bertujuan dalam rangka mengembangkan sintesis paduan nano-komposit karet dengan selulosa bakterial untuk meningkatkan diversifikasi produk pada komoditas karet alam. Produk yang dihasilkan dari mekanisme ikatan ini dapat berupa termoplastik elastomer karet alam yang memiliki prospek untuk digunakan pada komponen otomotif dan produk-produk khusus lainnya.

STRUKTUR DAN KARAKTERISTIK BAKTERI SELULOSA

Selulosa bakterial memiliki struktur dan karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan selulosa dari tanaman. Selulosa bakteri berbentuk pita-pita berukuran nano dengan panjang kurang dari 100 nm dan lebar 2-4 nm (Iguchi *et al.*, 2000). Sintesis selulosa bakterial membentuk *bundle* mikrofibril yang sangat kristalin (up to 84–89%; Czaja *et al.* 2004) dan elastisitas modulus sebesar 78 GPa (Guhados *et al.*, 2005) sama seperti elastisitas modulus dari fiber glass 70 GPa (Saheb and Jog 1999; Juntaro *et al.*, 2007). Selulosa bakteri memiliki kapasitas simpan air, derajat

polimerisasi, dan struktur jaringan yang lebih baik daripada selulosa dari tanaman (Klemm *et al.*, 2006; Barud *et al.*, 2008). Produksi nanofibril selulosa dari selulosa bakteri tidak memerlukan proses penghilangan hemiselulosa dan lignin seperti pada selulosa dari tanaman (Barud *et al.*, 2008). Nano selulosa bakterial menjadi salah satu bahan baku nano komposit yang menjanjikan (Siro' dan Plackett 2010). Selulosa sangat erat berasosiasi dengan hemiselulosa dan lignin. Selulosa terdiri dari unit monomer D-glukosa yang terikat melalui ikatan β -1-4-glikosidik. Derajat polimerasi (DP) selulosa bervariasi antara 7000–15000 unit glukosa. Nano selulosa bakterial bisa menjadi bahan baku nano komposit yang sangat kuat, lebih kuat daripada nano selulosa yang berasal dari tanaman (Nakagaito *et al.*, 2005).

Sutarminingsih (2004), menyebutkan bahwa bakteri *A. xylinum* dapat diklasifikasikan dalam golongan:

- Divisio : Protophyta
- Kelas : Schizornycetes
- Ordo : Pseudomonales
- Famili : Pseudomonas
- Genus : Acetobacter
- Spesies : *Acetobacter xylinum*

Sifat-sifat bakteri *A. xylinum* dapat diketahui dari sifat morfologi, sifat fisiologi dan pertumbuhan selnya, di antaranya :

1. Sifat morfologi

Bakteri ini berbentuk batang pendek yang mempunyai panjang 2 μ dan lebar 0,2 μ , dengan permukaan dinding yang berlendir. Bakteri ini bisa membentuk rantai pendek dengan satuan 6-8 sel. Pada kultur sel yang masih muda, individu sel berada sendiri-sendiri dan transparan. Koloni yang sudah tua membentuk lapisan yang menyerupai gelatin yang kokoh menutupi sel dan koloninya.

2. Sifat fisiologi

Bakteri ini dapat membentuk asam dari glukosa, etil dan propil alkohol serta tidak membentuk senyawa busuk yang beracun dari hasil peruraian protein (indol) dan mempunyai kemampuan mengoksidasi asam asetat menjadi CO₂ dan H₂O. Sifat yang paling menonjol dari bakteri ini adalah memiliki kemampuan untuk

mempolimerisasi glukosa sehingga menjadi selulosa. Selanjutnya, selulosa tersebut membentuk matrik yang dikenal sebagai nata.

3. Pertumbuhan sel

Umur sel bakteri ini ditentukan segera setelah proses pembelahan sel selesai, sedangkan umur kultur ditentukan dari lamanya inkubasi. Dalam satu waktu generasi, bakteri akan melewati beberapa fase pertumbuhan sebagai berikut :

- a. **Fase adaptasi.** Fase adaptasi bagi *A. xylinum* dicapai antara 0-24 jam atau 1 hari sejak inokulasi. Makin cepat fase ini dilalui, makin efisien proses pembentukan nata yang terjadi.
- b. **Fase pertumbuhan awal.** Pada fase ini, sel mulai membelah dengan kecepatan rendah. Fase ini menandai diawalinya fase pertumbuhan eksponensial dan melalui beberapa jam.
- c. **Fase pertumbuhan eksponensial.** Bakteri *A. xylinum* pada fase ini dicapai dalam waktu antara 1-5 hari tergantung pada kondisi lingkungan. Bakteri *A. xylinum* mengeluarkan enzim ekstraseluler polimerase sebanyak-banyaknya untuk menyusun polimer glukosa menjadi selulosa. Fase ini sangat menentukan tingkat kecepatan suatu strain *A. xylinum* dalam membentuk nata.
- d. **Fase pertumbuhan lambat.** Pada fase ini, terjadi pertumbuhan yang diperlambat karena ketersediaan nutrisi telah berkurang dan terdapatnya metabolik yang bersifat toksik yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri dan umur sel telah tua. Pada fase ini, pertumbuhan tidak lagi stabil tetapi jumlah sel yang tumbuh masih lebih banyak diproduksi pada fase ini.
- e. **Fase pertumbuhan.** Pada fase ini, jumlah sel yang tumbuh relatif sama dengan jumlah sel yang mati. Penyebabnya adalah di dalam media terjadi kekurangan nutrisi, pengaruh metabolit toksik lebih besar dan umur sel semakin tua. Namun, pada fase ini, sel akan lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim jika dibandingkan dengan ketahanannya pada fase yang lain.

Tabel 1 Sifat *bacterial cellulose*

No	Sifat fisik	Penambahan gliserol 1%	Penambahan gliserol 2%	Penambahan gliserol 3%
1	Warna	Putih	Putih	Putih
2	Tebal	± 0,5 cm	± 0,5 cm	± 0,5 cm
3	Tekstur	Kenyal	Kenyal	Kenyal

Sumber : Rohaeti dan Rahayu, 2012

Matrik nata lebih banyak diproduksi pada fase ini.

- f. **Fase menuju kematian.** Pada fase ini, bakteri mulai mengalami kematian karena nutrisi telah habis dan sel kehilangan banyak energi cadangannya.
- g. **Fase kematian.** Pada fase ini, sel dengan cepat mengalami kematian, dan hampir merupakan kebalikan dari fase logaritmik. Sel mengalami lisis dan melepaskan komponen yang terdapat di dalamnya. Kecepatan kematian dipengaruhi oleh nutrisi, lingkungan dan jenis bakteri. Pada fase ini, *A. xylinum* dicapai setelah hari kedelapan hingga kelima belas.

Selulosa bakterial tidak memerlukan perbaikan kemurnian selulosa untuk menghilangkan polimer yang tidak diinginkan misalnya lignin dan hemiselulosa, sehingga tetap menghasilkan derajat polimerisasi, kristalisasi dan kapasitas menahan air yang lebih besar (Klemm *et al.*, 2001). Sifat seperti ini memberikan selulosa bakterial dapat digunakan secara luas dalam industri makanan seperti permen karet, stabilisator, *bulking agents* dan *emulsifier* (Okiyama *et al.*, 1993). Selulosa bakterial juga digunakan dalam kulit buatan, perban obat dan merupakan pengganti yang potensial untuk bahan buatan pembuluh darah dalam biomedis (Shoda dan Sugano, 2005; Klemm, 2006). Mikrofibril selulosa bakterial diproduksi secara ekstraseluler oleh bakteri dari genus *Gluconacetobacter*. Mikrofibril dalam bentuk pita terdiri dari subfibrils. Biosintesis lokus subfibril terbentuk pada permukaan bakteri sebagai susunan linier yang diproduksi dari terminal kompleks (Zaar, 1977). Setiap kompleks terminal menghasilkan subfibrils berukuran nanometer

yang mengkristal menjadi mikrofibril (Yamanaka dan Sugiyama, 2000). Sedangkan menurut hasil penelitian Rohaeti dan Rahayu, (2012), selulosa bakterial dapat juga diproduksi melalui penambahan gliserol. Penambahan gliserol dengan lama fermentasi selama 5 hari sebagai agen pemplastis menunjukkan karakter selulosa bakterial dengan gliserol seperti pada Tabel 1

Berdasarkan data tersebut, Rohaeti dan Rahayu (2012) menjelaskan bahwa sifat fisik *bacterial cellulose* baik dengan penambahan gliserol 1 gram, 2 gram, dan 3 gram memiliki sifat fisik yang sama, yaitu *bacterial cellulose* berwarna putih, kenyal, dengan ketebalan ± 0,5 cm. *Bacterial cellulose* tidak terlalu tebal sehingga memudahkan dalam membuat selulosa karena *bacterial cellulose* mudah dikeringkan. Setelah *bacterial cellulose* dikeringkan dengan cara diangin-anginkan dan tidak terkena cahaya matahari langsung maka diperoleh *bacterial cellulose* dengan sifat-sifat fisik dapat dilihat pada Tabel 2.

Bacterial cellulose A adalah *bacterial cellulose* yang dihasilkan dengan penambahan 1 gram gliserol. *Bacterial cellulose B* adalah *bacterial cellulose* yang dengan penambahan gliserol 2 gram, dan *bacterial cellulose C* adalah *bacterial cellulose* yang dihasilkan dengan penambahan gliserol 3 gram. Berdasarkan data pada Tabel 2, bahwa *bacterial cellulose A*, *bacterial cellulose B*, dan *bacterial cellulose C* secara fisik memiliki sifat yang sama yaitu berupa lembaran tipis berwarna putih transparan dan lentur (Rohaeti dan Rahayu, 2012). Kelenturan *bacterial cellulose* ini terjadi karena penambahan gliserol sebagai agen pembentukan plastis yang berfungsi untuk meningkatkan plastisitas *bacterial cellulose* sehingga *bacterial cellulose* menjadi lebih elastis.

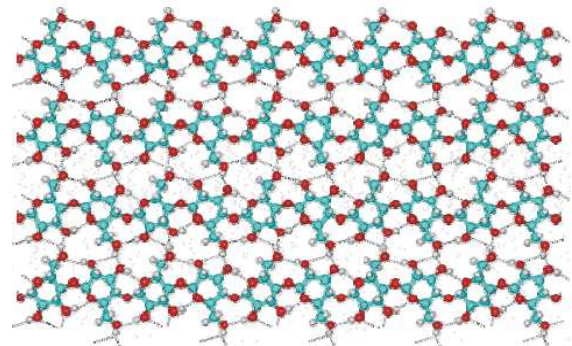
Tabel 2. Sifat fisik *bacterial cellulose* kering

No	Sifat fisik	<i>bacterial cellulose</i> A	<i>bacterial cellulose</i> B	<i>bacterial cellulose</i> C
1	Bentuk	Lembaran tipis	Lembaran tipis	Lembaran tipis
2	Warna	Putih	Putih	Putih
3	Ketransparanan	Transparan	Transparan	Transparan
4	Kelenturan	Lentur	Lentur	Lentur

Gugus fungsional dari rantai selulosa adalah gugus *hydroxyl*. Gugus - OH ini dapat berinteraksi satu sama lain dengan gugus -O, -N, dan -S, membentuk ikatan hidrogen. Ikatan -H juga terjadi antara gugus -OH selulosa dengan air. Gugus -OH selulosa menyebabkan permukaan selulosa menjadi hidrofilik. Rantai selulosa memiliki gugus-H di kedua ujungnya. Ujung -C1 memiliki sifat pereduksi dan struktur rantai selulosa yang distabilkan oleh ikatan hidrogen yang kuat di sepanjang rantai. Di dalam selulosa rantai selulosa diikat bersama-sama membentuk mikrofibril yang sangat terkristal (*highly crystalline*) yaitu setiap rantai selulosa diikat bersama-sama dengan ikatan hydrogen (Gambar 1). Sebuah kristal selulosa mengandung sepuluh rantai glukosa dengan orientasi paralel. Tujuh kristal *polymorphs* selulosa telah diidentifikasi, yang dikodekan dengan I α , I β , II, III $_I$, III $_II$, IV $_I$ dan IV $_II$ (O'Sullivan, 1997). Di alam, kristal selulosa jenis I α dan I β ditemukan melimpah (Attala dan Vanderhart, 1984) dan dalam area yang sangat terkristal, selulosa alami mengandung area *amorphous* yang lebih sedikit.

Berdasarkan penelitian Rohaeti dan Rahayu (2012) terdapat kemiripan gugus fungsi dari *bacterial cellulose* dengan gugus fungsi selulosa dari kayu. Spektrum *bacterial cellulose* menunjukkan adanya serapan OH pada 3450-3000 cm⁻¹, dan pada 1640-1504 cm⁻¹ menunjukkan serapan cincin aromatik piran. Gugus fungsi-gugus fungsi yang terbaca pada spektrum selulosa kayu juga menunjukkan adanya serapan OH pada 3450-3000 cm⁻¹, serapan C=O karbonil pada 1740-1730 cm⁻¹ yang diperkuat dengan serapan C-H selulosa pada 1384-1346 cm⁻¹, serta serapan C=C yang berikatan secara aromatik pada 1640-1504 cm⁻¹. (Hosokawa *et al.*, 1990) dalam (Rohaeti dan Rahayu, 2012). Proses pembuatan selulosa bakteri oleh *A. xylinum* merupakan kegiatan sintesa selulosa yang

dikatalis oleh enzim pensintesis selulosa yang terikat pada membran sel bakteri. Faktor fisikokimia dapat mempengaruhi agregasi proses menjadi mikrofibril dan perakitan pita akan terkait dengan kristalisasi selulosa (Hirai *et al.*, 1998).



Gambar 1. Model molekul selulosa.

PRODUKSI BAKTERI SELULOSA

Bacterial cellulose meliputi genera *Acetobacter*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, dan *Sarcina*. *A. xylinum* merupakan bakteri gram negatif dan telah menjadi subyek dari penyelidikan yang paling intensif dan penjelasan biokimia secara rinci terhadap produksi biogenesis selulosa. Persentase serat kasar yang tinggi dipengaruhi oleh aktivitas dari *A. xylinum* pada proses metabolisme glukosa menjadi selulosa. Hal ini dapat dilakukan apabila nutrisi yang tersedia pada medium cukup. Banyaknya mikroorganisme yang tumbuh pada suatu media dipengaruhi oleh nutrisi yang terkandung pada media dan dipengaruhi oleh aktivitas dari *A. xylinum* selama proses metabolisme glukosa menjadi selulosa. Strain bakteri *A. xylinum* dapat ditumbuhkan pada media air kelapa yang mengandung air sebanyak 91,2%, protein 0,29%, lemak 0,15%, karbohidrat 7,27%, abu 1,06%. Selain itu air kelapa



Gambar 2 (a). Produksi nata selulosa bakteri pada media Schram dan Henstrin (1954)
(b). Lembar nata selulosa bakteri warna putih hingga transparan.

mengandung nutrisi, seperti sukrosa, dekstrosa, fruktosa dan vitamin B kompleks (Onifade *et al.*, 2003). Kandungan nutrisi diatas sangat mendukung pertumbuhan maupun aktivitas *A xylinum* pada saat berlangsungnya fermentasi. Pada kondisi yang sesuai bakteri *A. xylinum*, dapat mensintesis larutan monosakarida, disakarida dalam substrat menjadi suatu polisakarida.

Bakteri *A. xylinum* menghasilkan enzim ekstraseluler yang dapat menyusun (mempolimerisasi) zat gula (glukosa) menjadi ribuan rantai (homopolimer) serat atau selulosa. Dari jutaan bakteri yang tumbuh dalam media, akan dihasilkan jutaan lembar benang-benang selulosa yang akhirnya nampak padat berwarna putih hingga transparan, yang disebut sebagai nata (gambar 2a, 2b). *A. xylinum* mengambil glukosa dari larutan gula, kemudian digabungkan dengan asam lemak membentuk prekursor pada membran sel. Prekursor dari polisakarida yang berupa GDP-glukosa ini keluar bersama dengan enzim yang mempolimerisasikan glukosa menjadi selulosa diluar sel.

Wijayanti *et al.* (2012) menyatakan bahwa medium fermentasi yang terlalu pekat akan menyebabkan semakin lambatnya proses pembentukan selulosa oleh bakteri. Hal ini dikarenakan tekanan osmosis semakin meningkat dan menyebabkan sel bakteri mudah mengalami lisis sehingga pembentukan selulosa tidak optimal. Penambahan substrat yang sesuai akan meningkatkan laju reaksi dan memberikan

ketebalan nata. Apabila hal ini terjadi maka kemungkinan hasil biosintesa akan naik. Semakin tebal nata dan konsentrasi yang baik maka kadar air akan semakin kecil.

Persentase serat kasar yang tinggi dipengaruhi oleh aktivitas dari *A. xylinum* pada proses metabolisme glukosa menjadi selulosa. Hal ini dapat dilakukan apabila nutrisi yang tersedia pada medium cukup. Banyaknya mikroorganisme yang tumbuh pada suatu media dipengaruhi oleh nutrisi yang terkandung pada media. Bakteri *A. xylinum* jika ditumbuhkan di media cair yang mengandung gula maka bakteri ini akan menghasilkan asam asetat dan lapisan putih yang terapung-apung di permukaan media cair tersebut. Lapisan putih itulah yang dikenal sebagai nata (Sumiyati, 2009). Bakteri *Acetobacter* seringkali ditemukan membran menyerupai gel berupa film pada permukaan media kultur ketika proses produksi cuka berlangsung. Setelah diidentifikasi material ini dikenal sebagai *bacterial cellulose* (Philips *et al.*, 2000).

Mikrofibril selulosa bakteri diproduksi secara ekstraseluler oleh bakteri dari genus *Gluconacetobacter*. Mikrofibril dalam bentuk pita terdiri dari subfibrils.

BAHAN KARET DAN BAHAN TERMOPLASTIK UNTUK INDUSTRI

Penelitian pengembangan karet alam atau *natural rubber* (NR) mengarah pada pengembangan karet untuk tujuan-tujuan

husus, salah satunya adalah *elastomer thermoplastics* (ETPs) (Coran dan Patel, 1997). ETPs adalah kelompok material yang menggabungkan karakteristik karet dengan bahan termoplastik yang mudah diproses (Mou'ad *et al.*, 2011). Secara umum ETPs dibuat dengan mencampurkan elastomer dengan bahan termoplastik pada laju geser yang tinggi. Permintaan industri akan ETPs terus meningkat karena sifat fisiknya yang lebih unggul dari *elastomer thermoplastik* lainnya, yaitu: memiliki kekuatan bahan yang lebih baik daripada bahan karet, mudah dibentuk, lebih efisien dalam proses produksi dibanding proses pembuatan produk karet, dan dapat diproses daur ulang (Deswita *et al.*, 2006). ETPs banyak dipergunakan untuk memproduksi suku-cadang otomotif yang sebelumnya dibuat dari logam, plastik, dan karet.

Bahan dasar yang digunakan sebagai matriks yaitu karet alam. Karet alam merupakan salah satu polimer dengan monomer isoprena yang berasal dari air getah dari tumbuhan *Hevea brasiliensis* dari famili Euphorbiaceae. Rantai-rantai karet alam dapat mencapai keteraturan yang baik, terutama ketika karet itu diregangkan. Sehingga karet alam yang mengkristal pada peregangan menghasilkan *tensile strength* yang tinggi. Peningkatan sifat-sifat material komposit antara lain : sifat mekanik, ketahanan kimia, stabilitas terhadap suhu, permeasi gas, konduktivitas elektrik, penampakan optis (transparan dan jernih), *flame retardancy*, *scratch resistance*, anti mikroba dan *smoke emissions*. Kuat tarik rendah dari karet dan ketahanan sobek yang kurang baik merupakan kelemahan utama dari produk karet alam, terutama untuk produk sarung tangan medis dan kondom (Zeng Peng, 2007). Oleh karena itu pengembangan kinerja produk-produk lateks karet alam yang bersifat melindungi perlu ditingkatkan. Dalam pengembangan kinerja pada produk-produk karet alam ini, maka diperlukan bahan pengisi yang dapat memperbaiki kelemahan-kelemahan dari sifat karet tersebut.

Beberapa bahan telah dicoba untuk dipadukan dengan NR membentuk nano-komposit, seperti: karbon nano-tube, silika, *clay* dan selulosa *whiskers* (Kato *et al.*, 1999; Kohjiya *et al.*, 2005; Sui *et al.*, 2008; Bendahou *et al.*, 2010).

Penambahan bahan pengisi (*filler*) berukuran nano pada NR akan memperbaiki sifat NR. Konsep penguatan bahan polimer, seperti NR, dengan *nano-filler* selulosa melalui mekanisme ikatan karet-bahan pengisi akibat peningkatan interaksi karet-bahan pengisi berukuran nano yang memiliki luas permukaan yang besar. Kajian tentang hal ini menunjukkan peningkatan yang cepat dalam beberapa dekade terakhir, karena karakteristiknya yang terbarukan, sifat mekanik yang tinggi, dan keragaman sumber selulosa (Dufresne, 2006). Penambahan selulosa nano-kristal secara nyata bisa meningkatkan kekakuan (*stiffness*) NR (Bendahou, Kaddami *et al.*, 2010). Paduan nano selulosa dengan NR umumnya menggunakan nano selulosa yang diisolasi dari tanaman (Dufresne 2006; Bendahou *et al.*, 2010; Bras *et al.*, 2010). Paduan nano selulosa bacterial dengan NR secara *in-vivo* memang perlu lebih dikaji dan diteliti. *Bacterial cellulose* ditumbuhkan dalam medium lateks NR dengan variasi konsentrasi selulosa bacterial dan lateks sehingga diharapkan dapat bercampur dengan sempurna. Bahan campuran ini (karet alam-selulosa bacterial) merupakan paduan bahan karet dan termoplastik yang berpotensi menghasilkan bahan bersifat baru dan ramah lingkungan sebagai bahan termoplastik elastomer. Tantangan pembuatan nano-komposit *bacterial cellulose* dengan lateks karet alam sebagai bahan termoplastik elastomer adalah perbedaan pH sintesis selulosa dan pH pengumpulan lateks. Keasaman (pH) optimum untuk produksi *bacterial cellulose* adalah 4,5 – 5,5 (Noro *et al.*, 2004), sedangkan partikel lateks akan mulai menggumpal sebagian pada kisaran pH 2 – 4 dan terjadi penggumpalan sempurna pada pH 4,7 (Utami dan Siswanto, 1989). Oleh karena itu, partikel lateks harus distabilkan dengan penambahan surfaktan yang sesuai sehingga tidak menggumpal pada pH rendah. Dalam kondisi ini lateks bisa ditambahkan pada medium pertumbuhan *A. xylinum* ataupun sebaliknya *A. xylinum* ditumbuhkan dalam medium lateks karet alam yang sudah mengandung bahan gula dan urea sebagai asupan makanan dari bakteri tersebut. Jika langkah ini berhasil dilakukan, partikel latek yang berukuran 5 nm akan terperangkap pada

matrik selulosa ataupun sebaliknya partikel *bacterial cellulose* yang terperangkap pada matrik karet alam yang tergantung pada perbedaan konsentrasi dari kedua bahan (*bacterial cellulose* dan karet alam). Kajian in-vivo bakteri selulosa sebagai nano-filler ini memiliki potensi untuk meningkatkan nilai tambah dari karet alam dan memperluas diversifikasi produk karet alam yang sangat dibutuhkan untuk peningkatan konsumsi karet alam dalam negeri.

KESIMPULAN

Bakteri *A. xylinum* menghasilkan enzim ekstraseluler yang dapat menyusun zat gula menjadi ribuan rantai homopolimer serat atau selulosa. Bahan campuran karet alam dan selulosa bakterial merupakan paduan bahan karet dan termoplastik yang berpotensi menghasilkan bahan bersifat baru dan ramah lingkungan. Manfaat dari adanya mekanisme ikatan in vivo *bacterial cellulose* dan matrik karet alam adalah dalam rangka mengembangkan industri karet pada sintesis paduan nanokomposit karet dengan selulosa bakterial guna meningkatkan diversifikasi produk pada komoditas karet alam. Produk yang dihasilkan dapat berupa termoplastik elastomer (karet alam termoplastik) yang memiliki prospek untuk digunakan pada komponen otomotif dan produk-produk khusus lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abe, K., S. Iwamoto and H. Yano. 2007. Obtaining cellulose nanofibers with a uniform width of 15 nm from wood. *Biomacromolecules*, 8(10), 3276-3278.
- Atalla, R. H., and D.I. Vanderhart. 1984. Native cellulose: a composite of two distinct crystalline forms. *Science*, 223(4633), 283-285.
- Barud, H. S., C. Barrios, T. Regiani, R.F. Marques, M. Verelst, J. Dexpert-Ghys, dan S.J. Ribeiro. 2008. Self-supported silver nanoparticles containing bacterial cellulose membranes. *Materials Science and Engineering: C* 28(4), 515-518.
- Bendahou, A., H. Kaddami, and A. Dufresne. 2010. "Investigation on the effect of cellulosic nanoparticles' morphology on the properties of natural rubber based nanocomposites." *European Polymer Journal* 46(4): 609-620.
- Bielecki, S., A. Krystynowicz, M. Turkiewicz, and H. Kalinowska. 2005. Bacterial cellulose. *Biopolymers online*.
- Bras, J., M. L. Hassan, C. Bruzzese, E.A. Hassan, and A. Dufresne. 2010. "Mechanical, barrier, and biodegradability properties of bagasse cellulose whiskers reinforced natural rubber nanocomposites." *Industrial Crops and Products* 32(3): 627-633.
- Castro, C., R. Zuluaga, J.L. Putaux, G. Caro, I. Mondragon, and P. Gañán. 2011. Structural characterization of bacterial cellulose produced by *Gluconacetobacter swingsii* sp. from Colombian agroindustrial wastes. *Carbohydrate Polymers* 84(1), 96-102.
- Czaja, W., D. Romanovicz, and R. Malcolm Brown. 2004. Structural investigations of microbial cellulose produced in stationary and agitated culture. *Cellulose*, 11(3-4), 403-411.
- Coran, A. Y. and R. P. Patel 1997. Thermoplastic elastomers based on elastomer/thermoplastic blends dynamically vulcanized. *Reactive Modifiers for Polymers*. S. Al-Malaika, Springer Netherlands: 349-394.
- Deswita, S., Karo, A. K., Sugiantoro, S., dan A. Handayani. 2006. "Pengembangan Elastomer Termoplastik Berbasis Karet Alam dengan Polietilen dan Polipropilen untuk Bahan Industri." *Indonesian Journal of Materials Science* 8(1): 52-57.
- Dufresne, A. 2006. "Comparing the mechanical properties of high performances polymer nanocomposites from biological sources." *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 6(2): 322-330.
- El-Saied, H., A.H. Basta and R.H. Gobran. 2004. Research progress in friendly environmental technology for the production of cellulose products (bacterial cellulose and its application). *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 43(3), 797-820.
- Guhados, G., W. Wan and J.L. Hutter. 2005. Measurement of the elastic modulus of single bacterial cellulose fibers using atomic force microscopy. *Langmuir* 21(14), 6642-6646.
- Heo, M. S. and H.J. Son. 2002. Development of an optimized, simple chemically defined medium for bacterial cellulose production by *Acetobacter* sp. A9 in shaking cultures. *Biotechnology and applied biochemistry* 36(1): 41-45.
- Henriksson, M., G. Henriksson, L.A. Berglund and T. Lindström. 2007. An environmentally friendly

- method for enzyme-assisted preparation of microfibrillated cellulose (MFC) nanofibers. *European Polymer Journal* 43(8): 3434-3441.
- Hirai, A., M. Tsuji, H. Yamamoto and F. Horii. 1998. In situ crystallization of bacterial cellulose III. Influences of different polymeric additives on the formation of microfibrils as revealed by transmission electron microscopy. *Cellulose* 5(3): 201-213.
- Hosokawa, J., M. Nishiyama, K. Yoshihara, and T. Kubo. 1990. Biodegradable film derived from chitosan and homogenized cellulose. *Industrial and engineering chemistry research* 29(5): 800-805.
- Iguchi, M., S. Yamanaka dan A. Budhiono. 2000. Bacterial cellulose—a masterpiece of nature's arts. *Journal of Materials Science* 35(2):261-270.
- Juntaro, J., M. Pomet, A. Mantalaris, M. Shaffer, dan A. Bismarck. 2007. Nanocellulose enhanced interfaces in truly green unidirectional fibre reinforced composites. *Composite Interfaces* 14(7-9): 753-762.
- Kato, M., A. Tsukigase, A. Usuki, A. Okada, M. Ichikawa, K. Takeuchi, and Y. Miyamoto. 1999. Method of manufacturing composite material of clay mineral and rubber, Google Patents.
- Klemm, D., D. Schumann, F. Kramer, N. Heßler, M. Hornung, H.P. Schmauder, and S. Marsch. 2006. "Nanocelluloses as innovative polymers in research and application." *Polysaccharides II*. Springer Berlin Heidelberg, 2006. 49-96.
- Klemm, D., D. Schumann, U. Udhardt, dan S. Marsch. 2001. Bacterial synthesized cellulose—artificial blood vessels for microsurgery. *Progress in Polymer Science*, 26(9): 1561-1603.
- Kohjiya, S., A. Katoh, J. Shimanuki, T. Hasegawa, dan Y. Ikeda. 2005. "Three-dimensional nano-structure of in situ silica in natural rubber as revealed by 3D-TEM/electron tomography." *Polymer* 46(12): 4440-4446.
- Mou'ad, A. T., S.H. Ahmad, S.Y.E. Noum, and K.Z.K. Ahmad. 2011. Thermoplastic natural rubber composites reinforced with OMMT, MWNTs, and hybrid OMMT-MWNTs. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 0731684411419318.
- Nakagaito, A. N., S. Iwamoto and H. Yano. 2005. "Bacterial cellulose: the ultimate nano-scalar cellulose morphology for the production of high-strength composites." *Applied Physics A* 80(1): 93-97.
- Noro, N., Y. Sugano and M.A.K.O.T.O Shoda. 2004. Utilization of the buffering capacity of corn steep liquor in bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum*. *Applied microbiology and biotechnology* 64(2): 199-205.
- Onifade, A. K. and Y.A.J. Agboola. 2003. Effect of fungal infection on proximate nutrient composition of coconut (*Cocos nucifera* Linn) fruit. *Food, Agric. Environ* 1(2): 141-142.
- O'Sullivan, A. C. 1997. Cellulose: the structure slowly unravels. *Cellulose* 4(3): 173-207.
- Okiyama, A., M. Motoki and S. Yamanaka. 1993. Bacterial cellulose IV. Application to processed foods. *Food hydrocolloids* 6(6): 503-511.
- Phillips, A. J., Y. Uto, P. Wipf, M.J. Reno, and D.R. Williams. 2000. Synthesis of functionalized oxazolines and oxazoles with DAST and Deoxo-Fluor. *Organic letters* 2(8): 1165-1168.
- Rohaeti E 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.
- Saheb, D. N. and J.P. Jog. 1999. Natural fiber polymer composites: a review. *Advances in polymer technology*, 18(4), 351-363.
- Schramm, M. and S. Hestrin 1954. "Factors affecting production of cellulose at the air/liquid interface of a culture of *Acetobacter xylinum*." *Journal of General Microbiology* 11(1): 123-129.
- Shoda, M., and Y. Sugano. 2005. Recent advances in bacterial cellulose production. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 10(1): 1-8.
- Siro', I. n. and D. Plackett 2010. "Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review." *Cellulose* 17: 459-494.
- Sumiyati, S. 2009. Kualitas Nata De Cassava Limbah Cair Tapioka Dengan Penambahan Gula Pasir Dan Lama Fermentasi Yang Berbeda (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta Perpustakaan).
- Sutarminingsih, L. 2004. Peluang Usaha Nata de Coco. Kanisius. Yogyakarta.
- Utami, S. and O. Siswanto 1989. Pedoman Teknik Pengawetan dan Pengolahan Lateks Hevea. Bogor, Balai Penelitian Teknologi Karet
- Wijayanti, F., S. Kumalaningsih and M.U. Effendi. 2012. Influence Of Addition of Sucrose And Acitic Acid To Quality of Nata Whey Tofu And Substrat Coconut Water. *Jurnal Industria* 1(2).

Yamanaka, S., and J. Sugiyama. 2000. Structural modification of bacterial cellulose. *Cellulose* 7(3): 213-225.

Zaar, K. 1977. Biogenesis of cellulose by *Acetobacter xylinum*. *Cytobiologie* 16(1): 1-15.

Zeng Peng, Ling Xue Kong, Si-Dong Li, Yin Chen, and Mao Fang Huang, 2007 "Composites Science and Technology", *Jurnal Composites Science and Technology* 67:3130-3139.