

Characterization of bacterial cellulose from the fermentation of coconut water waste and the utilization as support for the formation of silver nanoparticles

Karakterisasi Selulosa Bakteri Hasil Fermentasi Limbah Air Kelapa dan Pemanfaatannya Sebagai Penyangga Pembentukan Perak Nanopartikel

Tintin Mutiara^{a,*}, Isnaeni Wardatur Rohmah^a, Aulia Okta Berinda^a

^a*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang KM.14,5, Yogyakarta 55584, Indonesia*

*Corresponding author: tintin.mutiara@uii.ac.id

Diterima: 29 November 2024, Direvisi: 20 Desember 2024, Diterbitkan: 22 Desember 2024

ABSTRACT

*Bacterial cellulose (BC) is a biopolymer resulting from sugar fermentation by exopolysaccharide-producing bacteria. BC production can be done using various agricultural and industrial wastes as raw materials. In this study, BC was produced from the fermentation of coconut water waste by *Acetobacter xylinum* bacteria. The characteristics of the resulting BC were studied, including thickness, Water Retention Capacity (WRC), cellulose content, yield, and swelling properties. In addition, the resulting BC was utilized as a support and stabilizer for forming silver nanoparticles. The presence of silver nanoparticles in the BC structure was analyzed using a Scanning Electron Microscope (SEM) and Energy-Dispersive X-ray (EDX). The analysis results showed that the highest silver content in BC structure was 22.20%.*

Keywords: Bacterial Cellulose, Characterization, Coconut Water, Nano Particles, Silver

ABSTRAK

Selulosa bakterial (BC) merupakan biopolimer hasil fermentasi gula oleh bakteri penghasil eksopolisakarida. Produksi BC dapat dilakukan dengan memanfaatkan berbagai sampah industri pertanian sebagai bahan baku. Pada penelitian ini BC diproduksi dari fermentasi limbah air kelapa oleh bakteri *Acetobacter xylinum*. BC yang dihasilkan diteliti karakteristiknya antara lain tebal, kapasitas penyimpanan air (*Water Retention Capacity*, WRC), kandungan selulosa, rendemen, dan sifat *swelling*. Selain itu, BC yang dihasilkan diuji sebagai bahan penyangga dan penstabil pembentukan perak nanopartikel. Keberadaan perak nano partikel di dalam struktur BC dianalisa dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray* (EDX). Hasil analisa menunjukkan bahwa kandungan perak tertinggi dalam struktur BC adalah 22,20%.

Kata kunci: Air Kelapa, Karakterisasi, Nano Partikel, Perak, Selulosa Bakterial

PENDAHULUAN

Selulosa bakterial (BC) adalah biopolimer hasil dari metabolisme bakteri penghasil eksopolisakarida melalui proses fermentasi substrat yang mengandung gula (Thakur dkk., 2020). BC memiliki

kemurnian yang tinggi (Wang dkk., 2019) karena tidak mengandung lignin, hemiselulosa, dan pengotor lainnya seperti yang ada pada selulosa tanaman.

Selulosa bakterial dari fermentasi air kelapa oleh bakteri *Acetobacter xylinum*

umum dikenal dengan nama *nata de coco*. BC ini memiliki sifat unggul antara lain kapasitas menyimpan air yang tinggi, kristalinitas yang tinggi, memiliki kekuatan tarik yang besar, dan lebih murni (Rahmadiawan dkk., 2024). Ketersediaan air kelapa sebagai bahan baku pembuatan *nata de coco* sangat melimpah di Indonesia, bahkan air kelapa yang tidak dimanfaatkan dan hanya dibuang di parit-parit menjadikan masalah lingkungan di wilayah industri kopra.

Pada penelitian ini limbah air kelapa dimanfaatkan sebagai bahan baku pembentukan BC dengan bantuan bakteri *Acetobacter xylinum*. BC yang dihasilkan diteliti karakteristiknya antara lain tebal, WRC, kandungan selulosa, *rendemen*, dan sifat *swelling*. Selain itu, BC yang dihasilkan diuji sebagai bahan penyangga dan penstabil pembentukan perak nanopartikel. Diharapkan BC dari limbah air kelapa ini menjadi biomaterial dengan sifat unggul dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Media fermentasi untuk pertumbuhan bakteri terdiri atas air kelapa tua yang didapatkan dari pasar tradisional daerah Sleman Yogyakarta, gula kristal putih (merk Gulaku, PT. Sweet Indolampung, kemurnian 96%), ZA (NH₄)₂SO₄ dari PT. Petrokimia Gresik, dan cuka makan merek

Dixi kemurnian 25%. Sedangkan bakteri penghasil selulosa yang digunakan adalah *Acetobacter xylinum*.

Pada proses pembentukan perak nanopartikel digunakan bahan berupa air distilasi dan perak nitrat AgNO₃ dari Merck dengan kemurnian 99,98%.

Pada penelitian ini alat-alat yang digunakan untuk mengukur karakteristik BC antara lain neraca digital, jangka sorong, kaca arloji, dan gunting. Analisa kandungan perak di dalam struktur BC dilakukan dengan instrumen SEM-EDX Phenom Desktop ProXL.

Proses Penelitian

Pada setiap satu liter air kelapa bersih ditambahkan 10 gram gula kristal putih dan 5 gram ZA. Campuran tersebut dididihkan selama 5 menit kemudian ditambahkan 10 ml cuka makan. Setelah campuran dingin, kemudian dituang ke dalam wadah steril dan ditambahkan bibit *Acetobacter xylinum*. Campuran tersebut didiamkan hingga terbentuk lapisan selulosa bakterial *nata de coco*. Lembaran basah BC *nata de coco* tersebut kemudian diteliti karakteristiknya berupa tebal, WRC, kandungan selulosa, *rendemen*, dan sifat *swelling*. *Swelling* diukur dengan perendaman ulang lembaran BC kering selama 24 jam, 48 jam, dan 72 jam.

Pada penelitian ini fermentasi untuk menghasilkan BC dilakukan dengan

variabel waktu 3 dan 5 hari. Pemilihan variabel waktu fermentasi dengan mempertimbangkan hasil penelitian sebelumnya (Mutiara dkk., 2022). Data karakterisasi BC yang dihasilkan merupakan data pengulangan dengan nilai $n=3$, dan nilai disajikan sebagai rata-rata \pm standar deviasi.

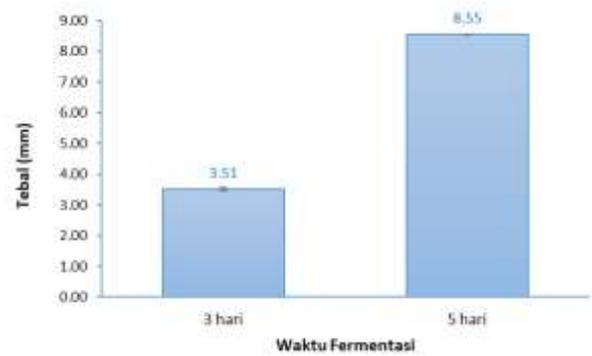
Pembentukan perak nano partikel di dalam struktur BC dilakukan dengan metode hidrotermal. BC yang sebelumnya telah direndam dalam larutan AgNO_3 5mM hingga terendam sempurna selama 24 jam, dimasukkan di dalam botol kaca gelap dan direndam dalam *waterbath* pada suhu 75°C selama 1 jam. Setelah 1 jam, BC dikeringkan dalam oven dengan suhu 65°C hingga kering. Sampel ini kemudian ditandai dengan nama HBC 3 dan HBC 5.

PEMBAHASAN

1. Karakterisasi BC nata de coco

a. Tebal

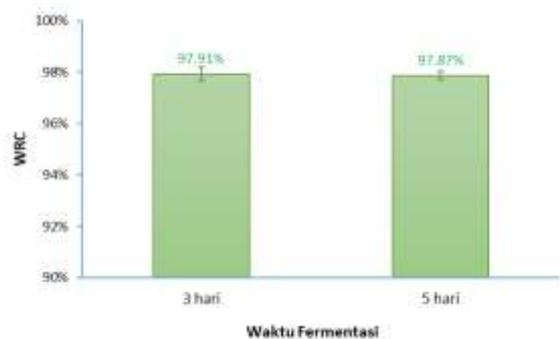
Ketebalan BC *nata de coco* yang dihasilkan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu fermentasi (Lahiri dkk., 2021). Data tebal BC tersaji pada Gambar 1. BC dengan waktu fermentasi 3 hari memiliki tebal rata-rata 3,54 mm dan 8,55 mm untuk BC dengan waktu fermentasi 5 hari.



Gambar 1. Pengaruh waktu fermentasi terhadap tebal BC

b. Kapasitas penyimpanan Air (WRC)

WRC merupakan kemampuan BC dalam menyimpan air. Data WRC didapatkan dengan membandingkan rasio selisih berat BC basah dengan kering, terhadap berat BC basah. Pada penelitian ini dihasilkan BC dengan WRC yang hampir sama yaitu 98%, seperti tersaji pada Gambar 2. Hal ini dimungkinkan karena karena struktur kristal dan permukaan BC yang tidak banyak perubahan selama durasi fermentasi (Luo dkk., 2014).



Gambar 2. Pengaruh waktu fermentasi terhadap WRC

c. Kandungan selulosa dan rendemen

Kandungan selulosa adalah rasio massa BC kering dan BC basah. Penelitian ini menghasilkan BC dengan kandungan selulosa yang hampir sama untuk waktu fermentasi 3 hari dan 5 hari yaitu 2%. Sedangkan rendemen diperoleh sebesar 5,62% untuk waktu fermentasi 3 hari dan 8,07% untuk waktu fermentasi 5 hari. Rendemen merupakan perbandingan antara massa BC yang dihasilkan dengan massa total larutan media fermentasi. Data kandungan selulosa dan rendemen tersaji pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh waktu fermentasi terhadap kandungan selulosa dan rendemen BC

d. Swelling

Swelling adalah kemampuan BC kering untuk mengembang kembali ketika direndam ulang di dalam air. Atau kemampuan air untuk meresap ke dalam suatu struktur BC. *Swelling* dapat menjadi indikasi suatu bahan bersifat hidrofilik atau hidrofobik (Yamanaka dkk., 1989). Nilai *swelling* sampel BC tersaji pada Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 4, BC hasil fermentasi 3 hari dan 5 hari memiliki kecenderungan nilai *swelling* yang serupa. Selain itu dapat dilihat pula bahwa nilai *swelling* meningkat dengan bertambahnya waktu perendaman.



Gambar 4. Nilai *swelling* terhadap lama fermentasi BC dan waktu perendaman ulang

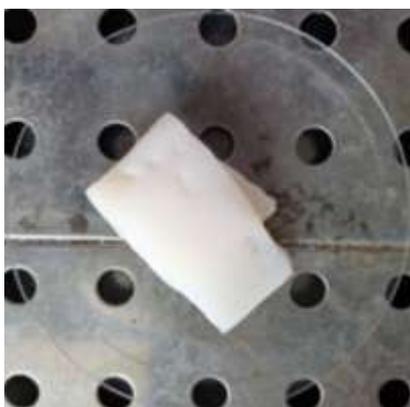
2. BC sebagai peyangga pembentukan perak nano partikel

BC yang dihasilkan pada penelitian ini dimanfaatkan sebagai penyangga pembentukan perak nanopartikel. Ketika BC direndam di dalam larutan AgNO_3 , ion Ag^+ terikat kuat dan terstabilkan di dalam struktur BC melalui interaksi elektrostatis dengan gugus $-\text{OH}$. Selanjutnya ketika dipanaskan, ion Ag direduksi oleh gugus aldehida dan alkohol ujung BC membentuk AgNPs yang stabil dalam BC (Wang dkk., 2014).

Pada metode hidrotermal, reduksi ion Ag^+ dari larutan AgNO_3 menjadi perak nanopartikel Ag^0 dilaksanakan dengan memanfaatkan panas yang difasilitasi oleh

air pada suhu 75°C. Dengan menaikkan suhu, reaksi yang lambat mulai terjadi, hal ini ditandai dengan perubahan warna (Yang dkk., 2012).

Gambar 5 menunjukkan BC murni yang memiliki warna putih susu bersih, sedangkan Gambar 6 menunjukkan kondisi BC setelah proses hidrotermal yang mana warna BC berubah menjadi agak kemerahan. Hal ini menjadi tanda awal terbentuknya perak nanopartikel di dalam struktur BC.



Gambar 5. BC *nata de coco* murni



Gambar 6. BC *nata de coco* setelah proses reduksi hidrotermal (HBC)

BC setelah proses hidrotermal (HBC) kemudian dikeringkan pada suhu 65°C

untuk mendapatkan membran HBC yang lebih tahan lama, seperti tersaji pada Gambar 7.

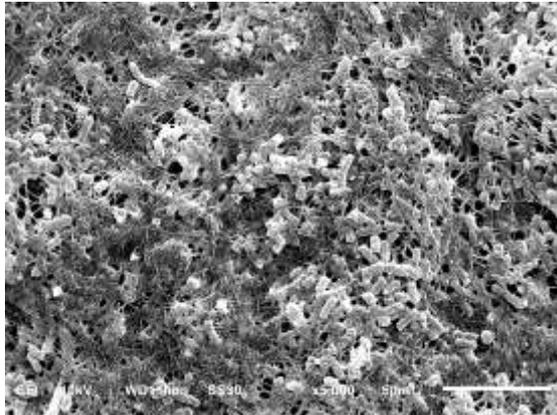


Gambar 7. Sampel kering HBC

Analisa kandungan perak nanopartikel di dalam sampel HBC dilakukan dengan instrumen SEM-EDX. Gambar 8 menunjukkan hasil SEM-EDX sampel HBC dengan waktu fermentasi 3 hari, sedangkan HBC dengan waktu fermentasi 5 hari disajikan pada Gambar 9. Struktur jaringan BC bergantung pada porositas, pemampatan, dan *water tightness* (Galdino dkk., 2019). Dengan bertambahnya waktu fermentasi maka jaringan selulosa yang terbentuk akan semakin banyak. Sehingga pada foto SEM HBC 5 nampak jaringan yang lebih rumit dan kompak.

Morfologi BC terdiri dari jaringan mikrofibril selulosa yang homogen (Corzo Salinas dkk., 2021). Pada Gambar 8 terlihat jelas sisa-sisa *Acetobacter xylinum* yang berbentuk batang yang tersebar diantara jaringan nanofiber.

Baik Gambar 8 maupun Gambar 9 terlihat titik-titik putih yang mengindikasikan secara visual keberadaan perak nanopartikel yang terbentuk di dalam struktur BC.



Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%
C K	0.277	15.73	0.05	24.87
O K	0.525	58.31	0.36	69.21
Cl K	2.621	3.76	0.20	2.02
Ag L	2.983	22.20	0.70	3.91
Total		100.00		100.00

Gambar 8. Foto SEM HBC 3 dengan hasil pengukuran EDX.



Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%
C K	0.277	14.46	0.05	21.03
O K	0.525	70.02	0.34	76.46
Ag L	2.983	15.52	0.62	2.51
Total		100.00		100.00

Gambar 9. Foto SEM HBC 5 dengan hasil pengukuran EDX.

Selain itu, keberadaan perak nanopartikel di dalam struktur BC juga dikuatkan dengan pengukuran kuantitatif EDX, didapatkan hasil kandungan elemen Ag pada HBC 3 adalah 22,20% dan pada HBC 5 adalah 15,52%. Perbedaan hasil ini dimungkinkan karena pada HBC 5 struktur BC yang terbentuk lebih kompak dan rapat sehingga menyulitkan ion perak untuk masuk ke dalamnya, sehingga kandungan elemen perak yang ditemukan lebih kecil dibandingkan pada HBC 3.

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Elayaraja dkk., 2017; Muthulakshmi dkk., 2017), BC yang dihasilkan pada penelitian ini menunjukkan potensi yang menjanjikan sebagai biomaterial komposit nanopartikel yang berkelanjutan. Keberadaan gugus hidroksil yang melimpah dalam BC, memungkinkan bahan ini untuk berinteraksi dengan nanopartikel logam. Gugus hidroksil tersebut berfungsi menyediakan situs aktif yang mendukung interaksi dengan kation logam (Muthulakshmi dkk., 2017).

KESIMPULAN

Selulosa bakterial hasil fermentasi air kelapa dengan bantuan bakteri penghasil selulosa *Acetobacter xylinum* telah berhasil dibuat. Proses fermentasi dilakukan dalam waktu 3 hari dan 5 hari. Ketebalan, kandungan selulosa, dan rendemen BC yang dihasilkan menunjukkan korelasi

positif dengan lamanya waktu fermentasi. Sedangkan nilai WRC hampir serupa di angka 98%. Sifat *swelling* dari BC menunjukkan bahwa nilai *swelling* cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya waktu perendaman ulang. Nilai *swelling* tertinggi adalah 67%. BC pada penelitian ini berhasil digunakan sebagai penyangga pembentukan perak nanopartikel. Keberadaan perak nano partikel di dalam struktur BC dibuktikan dengan analisa SEM-EDX yang menunjukkan bahwa kandungan perak tertinggi adalah sebesar 22,20%. Secara umum, hasil penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih mengenai karakteristik BC dan membuka peluang pemanfaatan BC dalam berbagai aplikasi. Data yang diperoleh dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan material berkelanjutan dan ramah lingkungan di masa mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah membiayai penelitian ini dengan skema penelitian dosen dan mahasiswa dengan nomor kontrak 38/Kajur.TK/70/Jur.TK/VI/2024.

DAFTAR PUSTAKA

Corzo Salinas, D.R., Sordelli, A., Martínez, L.A., Villoldo, G., Bernal, C., Pérez,

M.S. (2021). Production of bacterial cellulose tubes for biomedical applications: Analysis of the effect of fermentation time on selected properties. *International Journal of Biol Macromol*,189:1–10.

Elayaraja, S., Zagorsek, K., Li, F., Xiang, J. (2017). In situ synthesis of silver nanoparticles into TEMPO-mediated oxidized bacterial cellulose and their antivibriocidal activity against shrimp pathogens. *Carbohydrate Polymers*,166:329–37.

Galdino, C.J.S., Maia, A.D., Meira, H.M., Souza, T.C., Amorim, J.D.P., Almeida, F.C.G., Costa, A.F.S., Sarubbo, L.A. (2019). Use of a bacterial cellulose filter for the removal of oil from wastewater. *Process Biochemistry*, 91: 288-296.

Lahiri, D., Nag, M., Dutta, B., Dey, A., Sarkar, T., Pati, S., Edinur, H.A., Abdul Kari, Z., Mohd Noor, N.H., Ray, R.R. (2021). Bacterial Cellulose: Production, Characterization, and Application as Antimicrobial Agent. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23):12984.

Luo H, Zhang J, Xiong G, Wan Y. (2014). Evolution of morphology of bacterial cellulose scaffolds during early culture. *Carbohydrate Polymer* 2014;111:722-728.

Muthulakshmi, L., Rajini, N., Rajalu, A.V., Siengchin, S., Kathiresan, T. (2017). Synthesis and Characterization of Cellulose/Silver Nanocomposites from Bioflocculant Reducing Agent. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103: 1113-1120.

Mutiara, T., Sulistyono, H., Fahrurrozi, M., Hidayat, M. (2022). Facile route of synthesis of silver nanoparticles templated bacterial cellulose, characterization, and its antibacterial application. *Green Processing and*

Synthesis, 11: 361–372.

Rahmadiawan, D., Abral, H., Azka, M.A., Sapuan, S.M., Admi, R.I., Shi, S.C., Zainul, R., Azril, Zikri, A., Mahardika, M. (2024). Enhanced properties of TEMPO-oxidized bacterial cellulose films via eco-friendly non-pressurized hot water vapor treatment for sustainable and smart food packaging. *RSC Advance*, 14, 29624-29635

Thakur K, Kumar V, Kumar V, Kumar S. (2020). Genomic characterization provides genetic evidence for bacterial cellulose synthesis by *Acetobacter pasteurianus* RSV-4 strain. *Int J Biol Macromol.* 2020;156:598–607.

Wang, Q., Cai, J., Zhang, L. (2014). In situ synthesis of Ag₃PO₄/cellulose nanocomposites with photocatalytic activities under sunlight. *Cellulose*, 21: 3371–3382.

Wang, J., Tavakoli, J., Tang, Y. (2019). Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods – A review. *Carbohydrate Polymers*, 219: 63–76.

Yamanaka S, Watanabe K, Kitamura N, et al. (1989). The structure and mechanical properties of sheets prepared from bacterial cellulose. *J Mater Sci.* 1989;24(9):3141-3145. doi: 10.1007/BF01139032.

Yang, G., Xie, J., Deng, Y., Bian, Y., Hong, F. (2012). Hydrothermal synthesis of bacterial cellulose/AgNPs composite: A ‘green’ route for antibacterial application. *Carbohydrate Polymers*, 87(4):2482–7.