

**Pengaruh Media Fermentasi Terhadap Produksi dan Karakterisasi Selulosa Bakteri Sari Pelepah Kelapa Sawit**

***Effect of Medium Fermentation on Production and Characterization of Bacterial Cellulose from Oil Palm Frond Juice***

**Arief Fazlul Rahman<sup>1</sup>, Iffadhya Fathin Adiba<sup>2</sup>, Fachri Ibrahim Nasution<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Prodi Teknologi Pasca Panen Institut Teknologi Perkebunan Pelalawan Indonesia<sup>1</sup>  
arieffazlulrahman@itp2i-yap.ac.id

**Abstract**

Fresh oil palm frond juice with mechanical pressing contains a concentration of easily fermented sugars such as glucose, sucrose, and fructose, suitable for use as a fermentation raw material because it does not inhibit microbial growth does not pose a risk to health and safety. The purpose of this study was to determine the effect of fermentation medium pH on bacterial cellulose from oil palm frond juice. Bacterial cellulose was produced using *Acetobacter xylinum*. Oil palm frond juice was prepared at 100 ml/g with the addition of protein with different pH media fermented for 8 days at room temperature in statistical conditions. The results of the thickness and weight of the best cellulose bacteria of pH 5 medium were 0.78 cm and 393,015 g/L. FE-SEM micrograph analysis for bacterial cellulose showed typical peaks found in cellulose with typical fibril threads. pH 3 had the lowest crystallinity value and the best crystallinity was at pH 5 based on FWHM. 1106 and 1423  $\text{cm}^{-1}$  wave number is the C-O-C or C-O bond areas which are one of the bonds of the main chain of bacterial cellulose and the best tensile strength is the pH 5 treatment with a strength of 261.645 Mpa.

**Keyword:** *Oil Palm Frond Juice, Bacterial Cellulose, Acetobacter Xylinum, pH, Characteristics*

**Abstrak**

Sari pelepah kelapa sawit yang baru dengan pengepresan mekanis mengandung konsentrasi gula yang mudah difermentasi seperti glukosa, sukrosa, dan fruktosa, cocok digunakan sebagai bahan baku fermentasi karena tidak menghambat pertumbuhan mikroba tidak menimbulkan risiko terhadap kesehatan dan keselamatan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pH medium fermentasi terhadap selulosa bakteri sari pelepah kelapa sawit. Selulosa bakteri dihasilkan menggunakan *Acetobacter xylinum*. Sari pelepah kelapa sawit disiapkan 100 ml/g dengan penambahan protein dengan pH media yang berbeda difermentasi selama 8 hari suhu ruang dalam keadaan statis. Hasil ketebalan dan berat Bakteri selulosa terbaik pada medium pH 5 0,78 cm dan 393,015 g/L. Analisis mikrograf FE-SEM untuk selulosa bakteri menunjukkan puncak-puncak khas yang terdapat pada selulosa dengan benang fibril yang khas. pH 3 mempunyai nilai kristalinitas terendah dan kristalinitas terbaik adalah di pH 5 berdasarkan FWHM. 1106 dan 1423  $\text{cm}^{-1}$  merupakan area ikatan C-O-C atau C-O yang merupakan salah satu dari ikatan dari rantai utama selulosa bakteri dan kekuatantari terbaik adalah perlakuan pH 5 dengan kekuatan 261,645 Mpa.

**Kata kunci:** *Sari Pelepah Kelapa Sawit, Bakteri Selulosa, Acetobacter Xylinum, pH, karakteristik*

**PENDAHULUAN**

Selulosa bakteri merupakan biopolimer alami terbarukan yang sebagian besar disintesis oleh spesies bakteri Gram-negatif seperti *Acetobacter*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Alcaligenes* (Baghaei & Skrifvars, 2020; Said Azmi et al., 2019). Di antara bakteri tersebut, *Acetobacter xylinum* (yang dikenal sebagai *Gluconacetobacter xylinus*) menghasilkan Selulosa Bakteri dalam jumlah besar dalam produksi skala besar (Cheng et al., 2009). Selulosa bakteri menunjukkan sifat-sifat yang luar biasa termasuk struktur jaringan serat yang sangat murni, tingkat

polimerisasi dan indeks kristalinitas yang tinggi, tingkat kemurnian yang tinggi (tanpa hemiselulosa dan lignin), kapasitas menahan air yang tinggi, ketahanan yang tinggi, porositas yang tinggi, kemampuan penyerapan dan retensi yang tinggi. Sifat-sifat unik ini telah menjadikan polimer Selulosa Bakteri sebagai biomaterial yang luar biasa di berbagai bidang (Said Azmi et al., 2019). Aplikasi umum Selulosa Bakteri di pasar saat ini meliputi pengemasan makanan, pelapis atau film transparan, pemisah baterai, penyerap, industri farmasi, pengolahan air, kosmetik, biomaterial, produksi etanol, konduktor listrik atau bahan magnetik,

pembuluh darah buatan, dan rekayasa jaringan perancah (Daicho et al., 2018; Wang et al., 2019) Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi selulosa bakteri dalam kultur statis adalah komposisi media pertumbuhan (sumber karbon, sumber nitrogen, dan unsur mikro), kondisi lingkungan (rasio permukaan terhadap volume, suhu, pH, rasio inokulum, dan oksigen terlarut), serta pembentukan produk sampingan (asam glukonat, asetat, atau laktat) (Cheng et al., 2009; Said Azmi et al., 2019; Wang et al., 2019). Media yang mengandung rasio karbon terhadap nitrogen yang tinggi menguntungkan untuk produksi polisakarida dengan konversi 60–80% dari sumber karbon yang digunakan menjadi polimer kasar. Glukosa dan sukrosa terutama digunakan sebagai sumber karbon untuk produksi selulosa, bukan fruktosa, maltosa, xilosa, pati, dan gliserol (Hossain et al., 2020; Supian et al., 2021). Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sari pelepah kelapa sawit cocok digunakan sebagai bahan baku fermentasi karena tidak menghambat pertumbuhan mikroba maupun pembentukan produk, tidak mengandung pengotor, mudah dioperasikan, dan tidak menimbulkan risiko terhadap kesehatan dan keselamatan. Beberapa penelitian pendahuluan telah dilakukan untuk mengamati kemampuan sari pelepah kelapa sawit untuk dimanfaatkan dalam produksi selulosa bakteri. Misalnya, media kompleks yang di dalamnya sari pelepah kelapa sawit ditambahkan dengan ekstrak ragi, pepton, NaHPO<sub>4</sub> dan asam sitrat untuk produksi Selulosa Bakteri dapat mencapai rendemen Selulosa Bakteri hingga 2,88 g/L (Sou Min, 2023). Sementara itu, penelitian lain menghasilkan bahwa rendemen Selulosa Bakteri sebesar 4,5 g/L dihasilkan dengan menggabungkan sari pelepah kelapa sawit dan air kelapa sebagai media fermentasi (Sharifah Fathiyah et al., 2021). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan pH media fermentasi terhadap selulosa bakteri yang dihasilkan

## METODE

### Preparasi Sampel Inokulum

*Acetobacter Xylinum* dibeli dari penyedia bakteri di Indonesia. Media Hestrin–Schramm (HS) disiapkan menurut (Faisul Aris et al., 2019) dengan komposisi (b/v) sebagai berikut: 0,77 Peptone, 0,91% ekstrak ragi 0,27% Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0,115%, dan dalam 100 mL air suling (Ramli et al., 2020; Said Azmi et al., 2019)

### Preparasi Sampel Sari Pelepah Kelapa Sawit

Pelepah kelapa sawit diperoleh dari Kebun Sawit Perkebunan Rakyat Kabupaten Pelalawan. Sari pelepah kelapa sawit yang diekstraksi dengan menekan tangkai daun menggunakan mesin pengepres tebu konvensional lalu disentrifugasi pada

3.214 × g selama 30 menit pada suhu 4° C (Eppendorf Centrifuge 5810 R, Jerman) untuk menghilangkan bahan padat. Sari Pelepah Sawit yang dihasilkan disimpan dalam freezer pada suhu -20°C hingga digunakan lebih lanjut (Asthary et al., 2021; Said Azmi et al., 2019)

### Penambahan Nitrogen Dalam Media

Sari pelepah sebanyak 100 ml ditambahkan sari ekstrak ragi, 0,91 % dan pepton, 0,77 % (Said Azmi et al., 2019) kemudian dimasukkan dalam erlenmeyer 250 ml. Keasaman (pH) media diatur menggunakan HCl 0,1 M menjadi pH 3, pH 4, pH 5, dan pH 6 (Hossain et al., 2020). Medium diautoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit sebelum inokulasi. *Acetobacter xylinum* dipindahkan secara aseptik sebanyak 10 ml (10 %, v/v) kultur ke dalam media, diinkubasi pada suhu 30°C (Mohamad et al., 2022) dengan lama inkubasi 8 hari. Selulosa bakteri yang telah dipanen diukur ketebalannya dengan menggunakan jangka sorong.

### Pemurnian selulosa.

Selulosa bakteri dicuci dengan akuades kemudian direndam dalam larutan Natrium Hidroksida (NaOH) 0,1 M pada suhu 80°C selama 1 jam untuk menghilangkan kontaminan sel bakteri dan media yang terperangkap. Selanjutnya, selulosa bakteri dibilas lagi dengan akuades sampai pH air 7 pada suhu ruang untuk menghilangkan sisa alkali. Selulosa bakteri diletakkan di atas loyang aluminium yang telah dilapisi kertas teflon dan dikeringkan pada suhu 40°C selama 8–12 jam (Mohamad et al., 2022; Supian et al., 2021). Berat selulosa bakteri ditimbang untuk dihitung rendemennya (Said Azmi et al., 2019). Rendemen (yield) selulosa bakteri dihitung dengan persamaan 1.

$$\text{Yield (g/L)} = \frac{\text{Berat Kering Selulosa Bakteri (g)}}{\text{Volume media kultur (L)}} \quad [1]$$

Selulosa bakteri yang menghasilkan ketebalan dan yield optimum diuji lanjut menggunakan DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) dengan taraf kepercayaan 95%. Analisis data menggunakan Software SPSS V.30, Origin Software 9.1

Selulosa bakteri yang dihasilkan dari perlakuan pH media fermentasi, akan dilakukan uji karakterisasi sebagai berikut:

1. Gugus fungsional selulosa bakteri dianalisis menggunakan spektrometri Fourier-Transform Infrared di Laboratorium Universitas Diponegoro berdasarkan data *Attenuated Total Reflection* (ATR). Bilangan gelombang berkisar dari 4000 cm hingga 400 cm<sup>-1</sup> (Athirah et al., 2021)
2. Struktur morfologi fibril diamati menggunakan *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FE-SEM) JEOL JSM 7800 F dengan tegangan

percepatan 5–15 kV. Lebar fibril kering ditentukan menggunakan perangkat lunak Image J (Said Azmi et al., 2019)

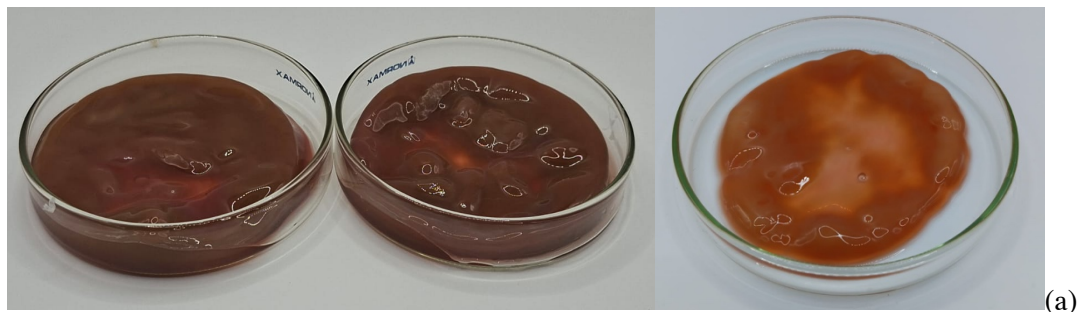
- Kristalinitas diamati menggunakan XRD (X-ray Diffractometer) dari film selulosa bakteri yang kering beku ditentukan menggunakan *fraktometer Bruker D8 Advance* yang dihasilkan pada tegangan 40 k pada panjang gelombang radiasi Cu K $\alpha$  ( $\lambda=1,5406$  Å). Sampel dipindai antara 5 dan 90 pada rentang 2 jam dengan kecepatan pindai 0,5 menit 1 dan ukuran langkah 0,02. Indeks kristalinitas (CrI) sampel diidentifikasi menggunakan metode dekonvolusi spektrum XRD (Tyagi & Suresh, 2016)
- Kuat tarik diukur dan pemanjangan saat putus (elongasi) diukur menggunakan Lloyd's Universal

Teing Instrument 50 Hz. model 1000s dengan metode standar ASTM D638 . Mesin diatur dengan jarak awal antar penjepit 50 mm dan kecepatan 50 mm/menit (Said Azmi et al., 2019; Zahari et al., 2012)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Produksi Bakteri Selulosa Sari Pelepeh Kelapa Sawit

Sumber nitrogen yang ideal sangat penting untuk metabolisme, pertumbuhan, dan pembentukan sel. Percobaan ini dilakukan untuk menentukan efikasi masing-masing sumber nitrogen dalam meningkatkan hasil bakteri Selulosa. Gambar 1 menggambarkan hasil dan ketebalan selulosa bakteri yang dihasilkan dari sari pelepeh sawit yang disuplemen dengan berbagai sumber nitrogen.

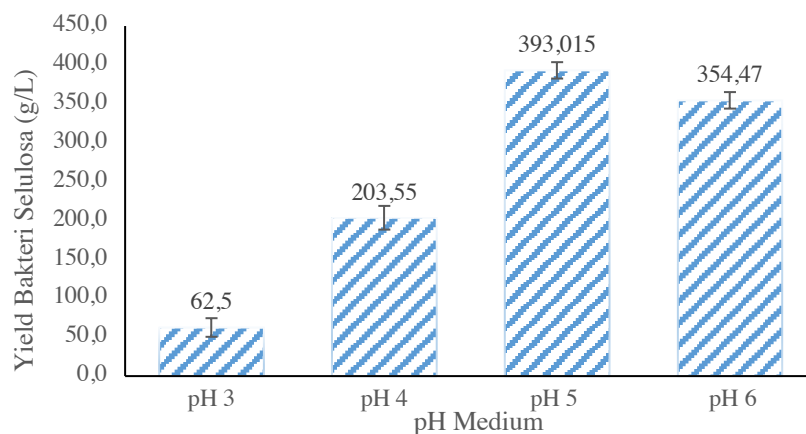


(b)

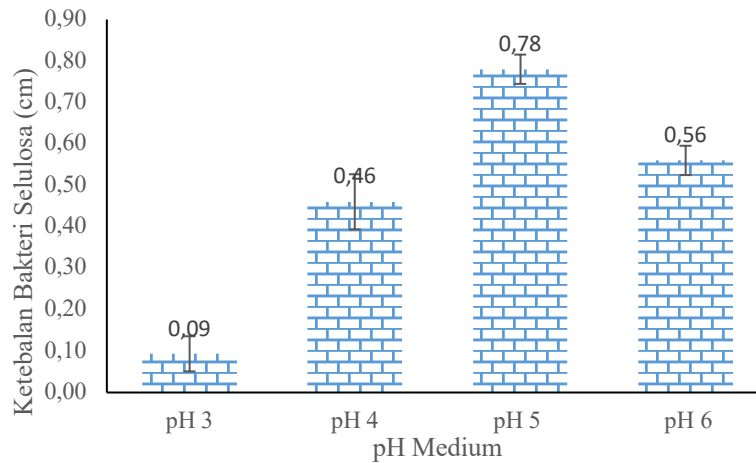
Gambar 1. Produksi Bakteri Selulosa Sari Pelepeh Kelapa Sawit Pada pH medium yang berbeda

Dalam kasus ini, karena gula dikonsumsi oleh bakteri untuk menghasilkan lebih banyak asam glukonat, pH medium menjadi lebih rendah dalam metabolisme primer dan penyerapan sekunder untuk mensintesis BC tidak didukung oleh bakteri. Lebih lanjut, efek inhibitor terhadap pembentukan selulosa bakteri berkurang dengan pengenceran sari pelepeh kelapa

sawit sehingga meningkatkan produksi selulosa bakteri secara signifikan, tetapi pengenceran lebih lanjut mengurangi produksi selulosa bakteri karena kadar gula dan nutrisi dalam medium lebih rendah (Ramli et al., 2020; Supian et al., 2021). Berat Bakteri Selulosa dan Ketebalan Selulosa dapat dilihat pada Gambar 2.



(a)



(b)

Gambar 2. Berat dan Ketebalan Bakteri Selulosa dengan pH medium yang berbeda

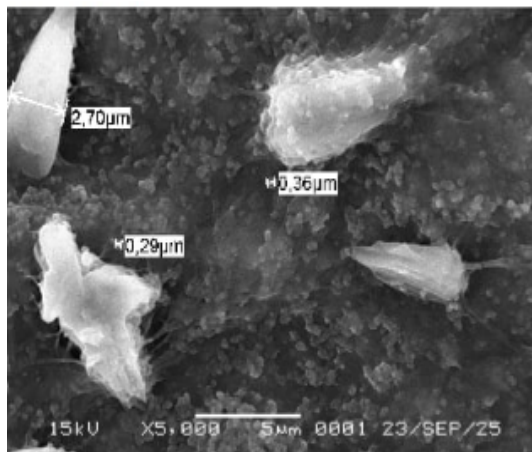
Hasil yang diperoleh menegaskan peran sumber nitrogen dalam produktivitas *Acetobacter xylinum* dengan mendorong pertumbuhan sel dan metabolisme sel, sehingga meningkatkan produksi BC (Said Azmi et al., 2019; Ye et al., 2019). Tanpa penambahan sumber nitrogen ke dalam sari pelepah sawit, BC diproduksi dengan rendemen terendah. Pilihan sumber karbon, sumber nitrogen, dan mikronutrien yang tepat dan jumlah yang cukup akan menyediakan media fermentasi yang lengkap untuk produksi BC (Said Azmi et al., 2019). Hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa perbedaan pH media dapat memberikan produksi dan ketebalan Bakteri Selulosa yang berbeda. pH 5 memberikan hasil terbaik dengan berat 393,015 g/L dan ketebalan 0,78 cm, sedangkan

pH 3 memberikan hasil terendah dengan berat 62,5 g/L dan ketebalan 0,41 cm. menyatakan bahwa perbedaan pH medium Sari Pelepah Sawit akan memberikan hasil Bakteri Selulosa yang berbeda dimana media dengan pH asam lebih rendah dibandingkan dengan pH yang lebih besar.

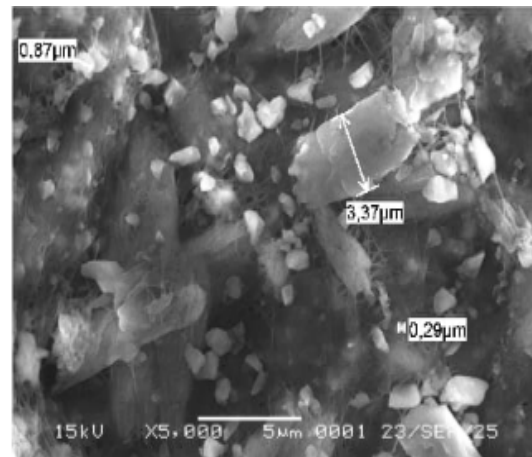
## 2. Karakteristik Bakteri Selulosa Sari Pelepah Kelapa Sawit

### a. Uji Scanning electron microscopy

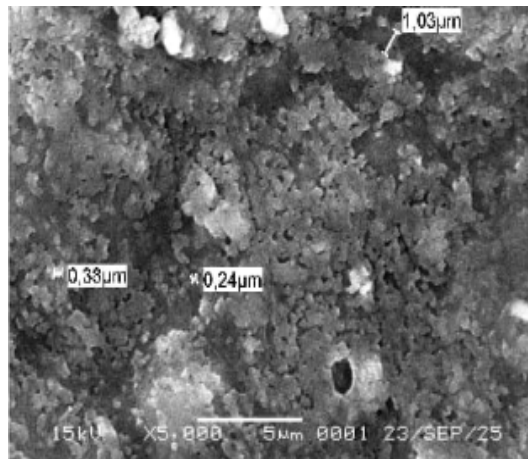
Hasil uji Scanning electron microscopy (SEM) selulosa bakteri dari sari pelepah kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)

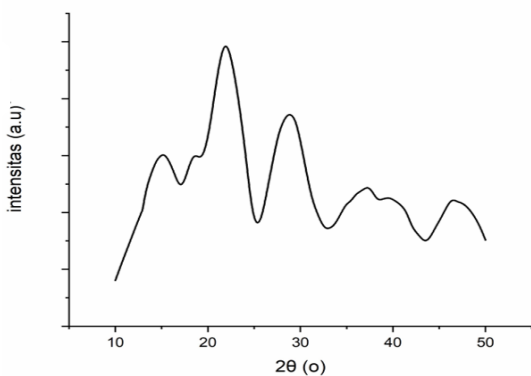


(b)



(c)

**Gambar 3.** Scanning electron microscopy (SEM) Bakteri Selulosa dengan pH media berbeda



**Gambar 4.** Hasil X-Ray Diffractometer Pada Selulosa Bakteri Sari Pelepeh Sawit dengan perlakuan pH Media

Mikrograf menunjukkan permukaan BC untuk kedua medium menampilkan mikrofibril seperti benang seragam, yang terjat secara acak dengan mikrofibril lain yang membentuk jaringan selulosa. Perlu dicatat bahwa mikrofibril Bakteri Selulosa dari sari pelepeh sawit menunjukkan jaringan kompleks berbentuk silinder datar (Mohamad et al., 2022; Supian et al., 2021). Sejalan dengan Bakteri Selulosa yang dihasilkan selama fermentasi dengan media kaldu teh hitam (Kombucha) (Gündüz & Aşık, 2018) dan stillage serta whey juga menunjukkan struktur jaringan ultrahalus yang terdiri dari struktur jaringan selulosa padat (Kasim & Rahman, 2016). Oleh karena itu, dapat dihipotesiskan bahwa BC hasil fermentasi sari pelepeh.

#### Hasil Uji X-ray Diffractometer (XrD)

X-Ray Diffraction menunjukkan sifat kristalinitas dari selulosa bakteri yang dihasilkan (Daicho et al., 2018). Hasil uji XrD dengan derajat dua theta selulosa bakteri dari sari pelepeh sawit dapat dilihat pada Gambar 4.

Kristalinitas merupakan faktor utama yang memengaruhi sifat mekanik material, yang umumnya

diukur menggunakan XrD (Mohamad et al., 2022; Revin et al., 2018). Kristalinitas dapat diukur dengan menggunakan nilai FWHM (*Full Width at Half Maximum*) pada hasil dari XrD (Said Azmi et al., 2019; Zahari et al., 2012). Dari hasil gelombang uji XrD yang dilakukan, didapati nilai FWHD perlakuan pH 3, 4, 5, dan 6 berturut adalah 5,242; 4,955; 4,901; 4,942. Semakin besar nilai FWHM maka nilai kristalinitas semakin kecil (Irzaman et al., 2000; Revin et al., 2018), dimana pH 3 mempunyai nilai kristalinitas terendah dan kristalinitas terbaik adalah di pH 5. Nilai kristalinitas juga dipengaruhi oleh media fermentasi dari selulosa bakteri (Harrison et al., 2023; Kasim & Rahman, 2016; Tyagi & Suresh, 2016). Hasil dari XrD ini sesuai dengan pengamatan morfologi dari selulosa bakteri dimana morfologi terbaik pada pH 5. Hasil ini sejalan dengan penelitian dari (Supian et al., 2021) dimana morfologi terbaik, menghasilkan nilai kristalinitas yang baik juga

#### Uji Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) spectroscopy

Hasil spektra FTIR pada sampel selulosa bakteri dari sari pelepeh sawit mempunya panjang gelombang 4000 – 400  $\text{cm}^{-1}$ , dengan hasil spektra yang dapat dilihat pada Gambar 5.

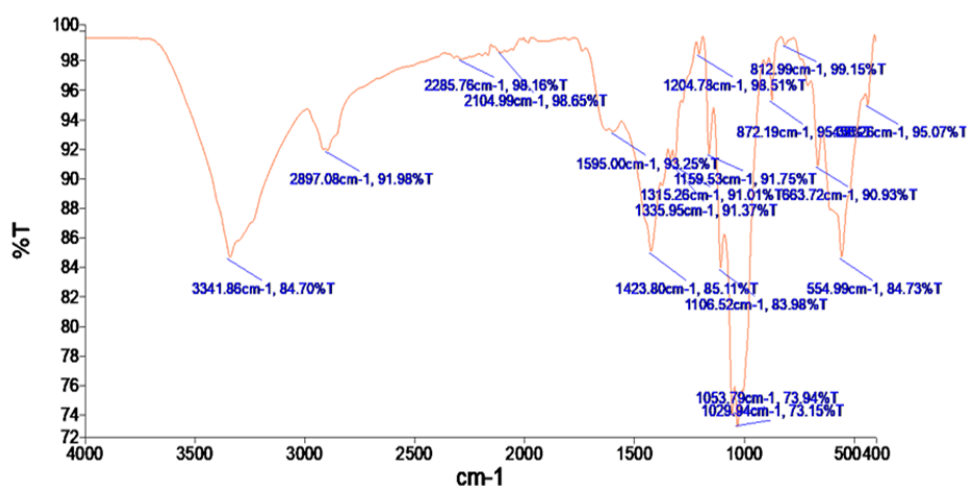
Dari Gambar 5, dapat diamati bahwa gugus fungsional selulosa bakteri yang diperoleh dari gugus fungsional dari struktur selulosa bakteri yang dihasilkan. Struktur kristal selulosa bakteri dari sari pelepeh sawit dapat diamati pada *wavenumber* 3000-3500  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan peregangan ikatan O–H selulosa (Fijałkowski et al., 2016). Peregangan ikatan C–H dapat diamati pada 2897  $\text{cm}^{-1}$  di mana daerah tersebut menunjukkan komposisi kimia rantai utama selulosa bakteri (Fuller et al., 2017), 1106 dan 1423  $\text{cm}^{-1}$  merupakan area ikatan C-O-C atau C-O yang merupakan salah satu dari ikatan dari rantai utama selulosa bakteri yang merupakan rantai

polisakarida (Kuo et al., 2016; Nimitkeatkai et al., 2020)

### Uji Kuat Tarik

Secara umum, nilai parameter sifat mekanik dari selulosa bakteri bervariasi tergantung pada metodologi yang diterapkan (Said Azmi et al., 2019). Studi serupa yang dilakukan (Ye et al., 2019) sebelumnya telah melaporkan nilai kekuatan tarik sebesar 120 MPa untuk selulosa bakteri yang diproduksi dari medium HS dengan *Actobacter xylinum*. Hasil dari uji kuat tarik selulosa bakteri dari sari pelepah sawit dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa selulosa bakteri dengan kekuatan terbaik adalah perlakuan pH 5, dengan kekuatan 261,645 Mpa. Perbedaan nilai kekuatan tarik antara sampel BC dapat diamati melalui morfologi SEM pada Gambar 3 dan uji XrD pada Gambar 4 yang memiliki orientasi fibrilar dan lebar fibril yang berbeda, serta nilai kristalisasi yang lebih tinggi, merupakan selulosa bakteri terbaik. Hal ini sejalan dengan pernyataan (Kuo et al., 2016; Said Azmi et al., 2019; Ye et al., 2019) bahwa perbedaan media fermentasi dapat membuat nilai uji kuat tarik berbeda, dan nilai kristalinitas sangat berpengaruh terhadap uji kuat tarik yang dihasilkan



**Gambar 5.** Hasil Uji Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) spectroscopy selulosa bakteri

**Tabel 1.** Hasil Uji Kuat Tarik Selulosa Bateria Sari Pelepah Kelapa Sawit

Perlakuan	Tarikan MPa	Load N	Kekuatan MPa
pH3	7,0474a	2,1142	20,873a
pH4	10,8055b	8,6444	80,859ab
pH5	31,0901c	9,7081	261,645c
pH6	18,0750bc	37,29	187,945b

### KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah pH sangat berpengaruh terhadap produksi dan karakteristik dari selulosa bakteri. pH 5 merupakan pH media sari pelepah kelapa sawit terbaik untuk memproduksi selulosa bakteri. pH 5 mempunyai ketebalan 0,78 cm, hasil uji kuat tarik tertinggi 261,645, morfologi SEM dengan kerapatan benang fibril selulosa yang rapat dan nilai FWHH terendah, ikatan C–H dapat diamati pada 2897 cm<sup>-1</sup> di mana daerah tersebut menunjukkan komposisi kimia rantai utama selulosa bakteri

### DAFTAR PUSTAKA

Asthary, P. B., Saepulloh, S., Sanningtyas, A.,

Pertiwi, G. A., Purwita, C. A., & Septiningrum, K. (2021). Optimasi Produksi Bacterial Nanocellulose dengan Metode Kultur Agitasi. *Jurnal Selulosa*, 10(02), 89. <https://doi.org/10.25269/jsel.v10i02.295>

Athirah Raihana Nor Aziz Hashim, N., Zakaria, J., Mohamad, S., Fathiyah Sy Mohamad, S., & Ab. Rahim, M. H. (2021). Effect of Different Treatment Methods on the Purification of Bacterial Cellulose Produced from OPF Juice by *Acetobacter Xylinum*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1092(1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1092/1/012058>

Baghaei, B., & Skrifvars, M. (2020). All-Cellulose

- Composites: A Review of Recent Studies on Structure, Properties and Applications. *Molecules*, 25(12). <https://doi.org/10.3390/molecules25122836>
- Cheng, K., Catchmark, J. M., & Demirci, A. (2009). Enhanced production of bacterial cellulose by using a biofilm reactor and its material property analysis. *Journal of Biological Engineering*, 10, 1–10. <https://doi.org/10.1186/1754-1611-3-12>
- Daicho, K., Saito, T., Fujisawa, S., & Isogai, A. (2018). The Crystallinity of Nanocellulose: Dispersion-Induced Disordering of the Grain Boundary in Biologically Structured Cellulose. *ACS Applied Nano Materials*, 1(1), 5744–5785. <https://doi.org/10.1021/acsnm.8b01438>
- Faisul Aris, F. A., Mohd Fauzi, F. N. A., Tong, W. Y., & Syed Abdullah, S. S. (2019). Interaction of silver sulfadiazine with bacterial cellulose via ex-situ modification method as an alternative diabetic wound healing. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21(September), 101332. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101332>
- Fijałkowski, K., Rakoczy, R., Zywicka, A., Drozd, R., Zielińska, B., Wenelska, K., Cendrowski, K., Peitler, D., Kordas, M., Konopacki, M., & Mijowska, E. (2016). Time dependent influence of rotating magnetic field on bacterial cellulose. *International Journal of Polymer Science*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/7536397>
- Fuller, M. E., Andaya, C., McClay, K., Services, F., Fuller, M. E., & Services, A. F. (2017). Evaluation of ATR-FTIR for analysis of bacterial cellulose impurities. *Jurnal Biocellulose Impurity Analysis*, 1–19.
- Gündüz, G., & Aşık, N. (2018). Production and characterization of bacterial cellulose with different nutrient source and surface–Volume ratios. *Drvna Industrija*, 69(2), 141–147. <https://doi.org/10.5552/drind.2018.1744>
- Harrison, T. R., Kumar, V., Alam, P., Willis, A., Scarpa, F., & Kumar, V. (2023). From trash to treasure: Sourcing high-value, sustainable cellulosic materials from living bioreactor waste streams. *International Journal of Biological Macromolecules*, 233(February), 123511. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123511>
- Hossain, M. A., Hoque, M. M., Hossain, M. M., Kabir, M. H., Yasin, M., & Islam, M. A. (2020). *Biochemical, Microbiological and Organoleptic Properties of Probiotic Pineapple Juice Developed by Lactic Acid Bacteria*.
- Irzaman, Y. S., M. H., W. L., & Barmawi M. (2000). Analisis Struktur Kristal Dan Full Width Half Maximum (Fwhm) Dengan Metode Rietveld (Studi Kasus: Kalsit (Caco3)). *Jurnal Kontribusi Fisika Indonesia*, 11(2), 41–48.
- Kasim, N., & Rahman, N. A. (2016). Design and production control of biocellulose from *Acetobacter xylinum*. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(21). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i21/95241>
- Kuo, C. H., Chen, J. H., Liou, B. K., & Lee, C. K. (2016). Utilization of acetate buffer to improve bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus*. *Food Hydrocolloids*, 53, 98–103. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2014.12.034>
- Mohamad, S., Abdullah, L. C., Jamari, S. S., Osman Al Edrus, S. S., Aung, M. M., & Sy Mohamad, S. F. (2022). Production and Characterization of Bacterial Cellulose Nanofiber by *Acetobacter Xylinum* 0416 Using Only Oil Palm Frond Juice as Fermentation Medium. *Journal of Natural Fibers*, 19(17), 16005–16016. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2140243>
- Nimitkeatkai, H., Fong-In, S., & Potaros, T. (2020). Characterization of Bacterial Cellulose (Nata de coco) from Lychee. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 515(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/515/1/012063>
- Ramli, U. S., Tahir, N. I., Rozali, N. L., Othman, A., Muhammad, N. H., Muhammad, S. A., Ahmad Tarmizi, A. H., Hashim, N., Sambanthamurthi, R., Singh, R., Abd Manaf, M. A., & Ahmad Parveez, G. K. (2020). Sustainable palm oil—The role of screening and advanced analytical techniques for geographical traceability and authenticity verification. *Molecules*, 25(12), 1–26. <https://doi.org/10.3390/molecules25122927>
- Revin, V., Liyaskina, E., Nazarkina, M., Bogatyreva, A., & Shchankin, M. (2018). Cost-effective production of bacterial cellulose using acidic food industry by-products. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49, 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.12.012>
- Said Azmi, S. N. N., Mohd Fabli, S. N. N. F., Faisul Aris, F. A., Samsu, Z. A., Mohd Asnawi, A. S. F., Mohamed Yusof, Y., Ariffin, H., & Syed Abdullah, S. S. (2019). Fresh oil palm frond juice as a novel and alternative fermentation medium for bacterial cellulose production. *Materials Today: Proceedings*, 42(xxxx), 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.220>
- Sharifah Fathiyah, S. M., Shahril, M., & Junaidi, Z. (2021). Oil palm frond juice and coconut water as alternative fermentation substrate for bacterial cellulose production. *IOP Conference*

- 
- Series: Materials Science and Engineering, 1092(1)*, 012055. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1092/1/012055>
- Sou Min, T. (2023). Bacterial Cellulose Production From Oil Palm Frond Juice and Its Impregnation With Silver Nanoparticles for Antibacterial Wound Dressing. *Journal of Oil Palm Research*. <https://doi.org/10.21894/jopr.2023.0055>
- Supian, N. N. I., Zakaria, J., Amin, K. N. M., Mohamad, S., & Mohamad, S. F. S. (2021). Effect of fermentation period on bacterial cellulose production from oil palm frond (OPF) juice. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1092(1)*, 012048. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1092/1/012048>
- Tyagi, N., & Suresh, S. (2016). Production of cellulose from sugarcane molasses using *Gluconacetobacter intermedius* SNT-1: Optimization & characterization. *Journal of Cleaner Production, 112*(January), 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.054>
- Wang, J., Tavakoli, J., & Tang, Y. (2019). Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods – A review. *Carbohydrate Polymers, 219*(May), 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.008>
- Ye, J., Zheng, S., Zhang, Z., Yang, F., Ma, K., Feng, Y., Zheng, J., Mao, D., & Yang, X. (2019). Bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* ATCC 23767 using tobacco waste extract as culture medium. *Bioresource Technology, 274*(December 2018), 518–524. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.028>
- Zahari, M. A. K. M., Zakaria, M. R., Ariffin, H., Mokhtar, M. N., Salihon, J., Shirai, Y., & Hassan, M. A. (2012). Renewable sugars from oil palm frond juice as an alternative novel fermentation feedstock for value-added products. *Bioresource Technology, 110*, 566–571. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.119>