



Pengaruh perbedaan pH media fermentasi terhadap produksi dan karakterisasi selulosa bakteri sari pelepah kelapa sawit

The effect of differences pH medium fermentation on production and characterization of bacteria cellulose from oil palm frond juice

Arief Fazlul Rahman^{1*}, Iffadhya Fathin Adiba¹, Fachri Ibrahim Nasution¹

¹Program Studi Teknologi Pasca Panen, Institut Teknologi Perkebunan Pelalawan Indonesia

*corresponding author: arieffazlurahman@itp2i-yap.ac.id

Received: 31st December, 2025 | accepted: 22nd February, 2026

ABSTRAK

Pelepah kelapa sawit merupakan hasil samping dari proses panen kelapa sawit, mengandung sari pelepah seperti glukosa, sukrosa, dan fruktosa, cocok digunakan sebagai bahan baku fermentasi sehingga dapat menaikkan nilai tambah dari pelepah sawit. Sebagai media fermentasi, sari pelepah 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 ditambahkan protein dengan pH media yang berbeda difermentasi selama 8 hari menggunakan suhu ruang dalam keadaan statis. Hasil ketebalan dan berat selulosa bakteri terbaik pada medium pH 5 0,78 cm dan 393,015 g/L. Analisis mikroskop FE-SEM untuk selulosa bakteri menunjukkan puncak-puncak khas terdapat selulosa dengan benang fibril yang khas. pH 3 mempunyai nilai kristalinitas terendah dan kristalinitas terbaik ditemukan pada pH 5 berdasarkan FWHM. 1106 dan 1423 cm⁻¹ merupakan area ikatan C-O-C atau C-O yang merupakan salah satu dari ikatan dari rantai utama selulosa bakteri dan hasil uji kuat tarik terbaik adalah perlakuan pH 5 dengan kekuatan tarik 261,645 Mpa.

Kata kunci: *Acetobacter Xylinum*; karakteristik; pH; sari pelepah kelapa sawit; selulosa bakteri

ABSTRACT

How to cite: Rahman, A.F., Adiba, I.F., & Nasution, F.I.(2026). Pengaruh perbedaan pH media fermentasi terhadap produksi dan karakterisasi selulosa bakteri sari pelepah kelapa sawit. *Jurnal Agrotek Ummat*, 13(1), 1-13

Oil palm frond juice is a byproduct of the palm oil harvesting process, containing frond juice containing glucose, sucrose, and fructose. They are suitable for use as a fermentation raw material, thereby increasing the added value of the fronds. As a fermentation medium, frond juice does not inhibit microbial growth and poses no health or safety risks. 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 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 result tensile strength is the pH 5 treatment with a strength of 261.645 MPa.

Keywords: *Acetobacter Xylinum*; bacterial cellulose; charecteristic; oil palm frond juice; pH.

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 and Skrifvars 2020; Said Azmi et al. 2019). Di antara bakteri tersebut, *Acetobacter Xylinum* atau yang dikenal sebagai *Gluconacetobacter xylinus* menghasilkan selulosa bakteri dalam jumlah besar dalam produksi skala besar (Baghaei and Skrifvars 2020). 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, Tavakoli, and Tang 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 samping (asam glukonat, asetat, atau laktat) (Said Azmi et al. 2019; Wang et al. 2019). Dalam proses fermentasi selulosa bakteri, pH media merupakan faktor penentu dalam keberhasilan proses fermentasi, perbedaan nilai pH media fermentasi akan membedakan hasil dari selulosa bakteri dari sari pelepah kelapa sawit (Mohamad et al. 2022). 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 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. Penelitian pendahulu 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_4 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, Shahril, and Junaidi 2021). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan pH media fermentasi terhadap selulosa bakteri sari pelepah kelapa sawit yang dihasilkan.

METODOLOGI

1. 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_2HPO_4 , 0,115%, dan dalam 100 mL air suling (Athirah Raihana Nor Aziz Hashim et al. 2021; 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 3.214×9 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).

2. Penambahan Nitrogen Dalam Media

Sari pelepah sebanyak 100 ml ditambahkan sumber nitrogen dari 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 28°C (Mohamad et al. 2022) dengan lama inkubasi 8 hari. Selulosa bakteri

yang telah dipanen di ukur ketebalannya dengan menggunakan jangka sorong.

3. Pemurnian selulosa bakteri

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).

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 untuk uji DMRT, dan Origin Software 9.1 untuk uji XrD dan FTIR.

4. Karakterisasi Selulosa Bakteri

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

a. 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⁻¹ (Athirah et al., 2021).

b. 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).

c. Kristalinitas diamati menggunakan *X-ray Diffractometer* (XrD) selulosa bakteri yang kering beku ditentukan menggunakan *fraktometer Bruker D8 Advance* yang dihasilkan pada tegangan 40k pada panjang gelombang radiasi Cu Ka ($\lambda=1,5406$ Å). Sampel dipindai antara 5 dan 90 pada rentang 2 jam dengan kecepatan pindai 0,5 menit 1 dan ukuran langkah 0,02 (Said Azmi et al. 2019). Indeks kristalinitas (Crl) sampel diidentifikasi menggunakan metode dekonvolusi spektrum XrD (Tyagi and Suresh 2016).

d. Kuat tarik diukur dan pemanjangan saat putus (elongasi) diukur menggunakan Lloyd's Universal Testing 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).

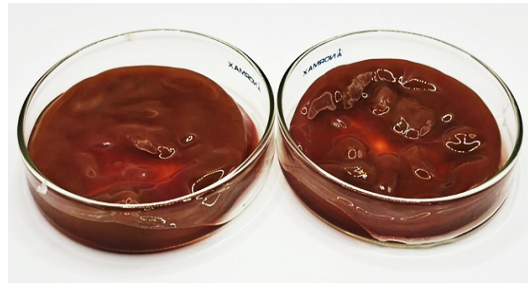
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Produksi Bakteri Selulosa Dari Sari Pelepah 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 selulosa bakteri.

Gambar 1 menggambarkan hasil dan ketebalan selulosa bakteri yang dihasilkan dari sari pelepah sawit yang disuplemen dengan berbagai sumber nitrogen.



(a)

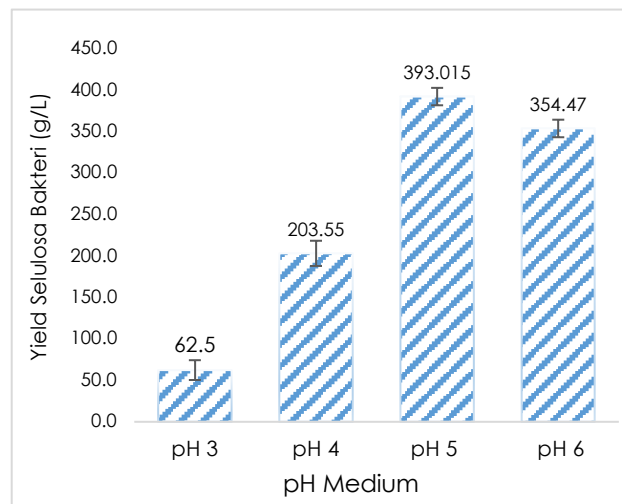


(b)

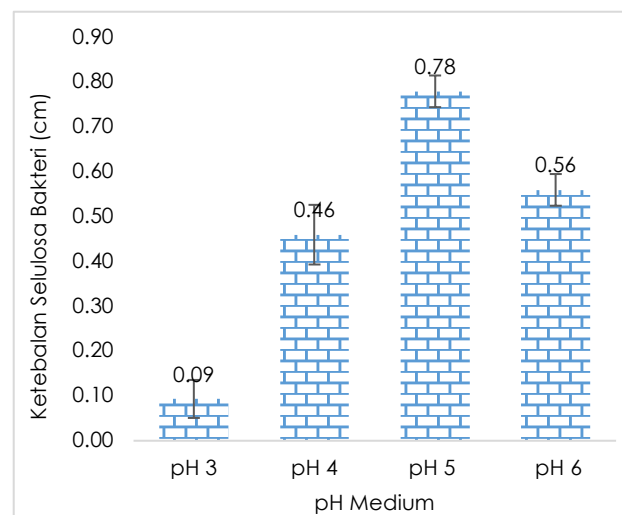
Gambar 1. Produksi selulosa bakteri sari pelepah kelapa sawit pada pH media yang berbeda, (a) pH 5 dan 6, (b) pH 3

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 selulosa bakteri tidak didukung oleh bakteri (*Acetobacter Xylinum*). Lebih lanjut, efek inhibitor terhadap pembentukan selulosa

bakteri berkurang dengan pengenceran sari pelepah kelapa sawit sehingga meningkatkan produksi selulosa bakterio secara signifikan, tetapi pengenceran lebih lanjut mengurangi produksi selulosa bakteri karena kadar gula dan nutrisi dalam medium lebih rendah (Supian et al. 2021). Berat bakteri selulosa dan ketebalan selulosa dapat dilihat pada **Gambar 2** di bawah ini.



(a)



(b)

Gambar 2. Berat dan ketebalan selulosa bakteri dengan pH medium yang berbeda (a) berat selulosa bakteri, (b) ketebalan selulosa bakteri

Hasil yang diperoleh menegaskan bahwa peran sumber nitrogen dalam produktivitas *Acetobacter xylinum* dengan mendorong pertumbuhan sel dan metabolisme sel, sehingga meningkatkan produksi selulosa bakteri (Said Azmi et al. 2019; Ye et al. 2019). Tanpa penambahan sumber nitrogen ke dalam sari pelepah sawit,

selulosa bakteri 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 selulosa bakteri (Said Azmi et al. 2019). Hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa perbedaan pH

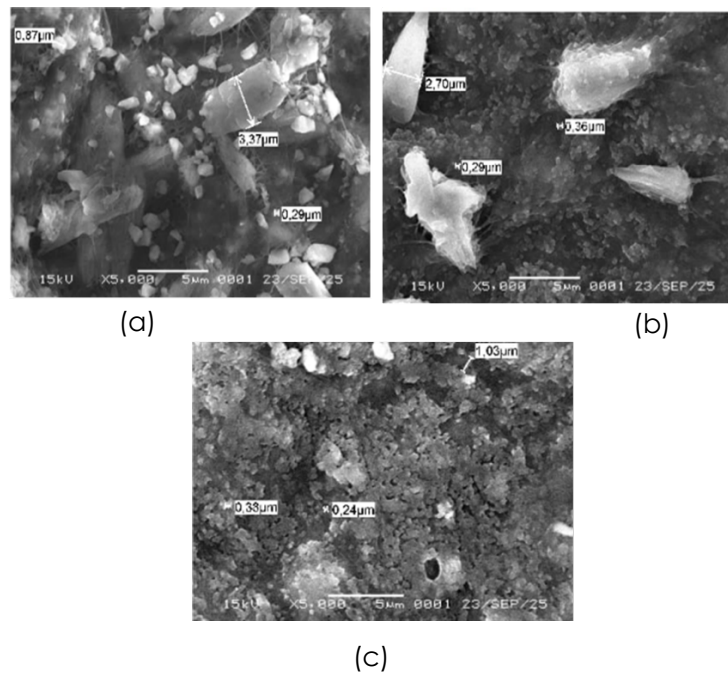
media dapat memberikan produksi dan ketebalan bakteri selulosa yang berbeda. pH 5 memberikan hasil terbaik dengan berat 393,015 g/L dan ketebalan 0,78 cm, sedangkan pH 3 memberikan hasil terendah dengan berat 62,5 g/L dan ketebalan 0,41 cm. Hasil penelitian (Mohamad et al. 2022) menyatakan bahwa perbedaan 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. Sejalan juga dengan penelitian (Said Azmi et al. 2019; Supian et al. 2021) bahwa pH 5 merupakan pH optimal untuk pertumbuhan selulosa bakteri, sedangkan pH yang lebih rendah, pertumbuhan selulosa bakteri tidak akan maksimal.

2. Karakteristik Bakteri Selulosa Sari Pelepah Kelapa Sawit

a. Uji Scanning electron microscopy (SEM)

Hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) selulosa bakteri dari sari pelepah kelapa sawit dapat dilihat pada **Gambar 3**. Mikrograf menunjukkan permukaan BC untuk kedua medium menampilkan mikrofibril seperti benang seragam, yang terjerat secara acak dengan mikrofibril lain yang membentuk

jaringan selulosa. Perlu dicatat bahwa mikrofibril. Bakteri selulosa dari sari pelepah 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 and Aşık 2018) dan stillage serta whey (permukaan selulosa bakteri) juga menunjukkan struktur jaringan ultrahalus yang terdiri dari struktur jaringan selulosa padat (Kasim and Rahman 2016). Oleh karena itu, dapat diasumsikan bahwa selulosa bakteri hasil fermentasi media sari pelepah sawit menghasilkan struktur selulosa bakteri dengan morfologi yang khas dengan jaringan 3D berpori, mirip dengan produk selulosa bakteri hasil fermentasi dengan media bioproduk seperti teh kombucha

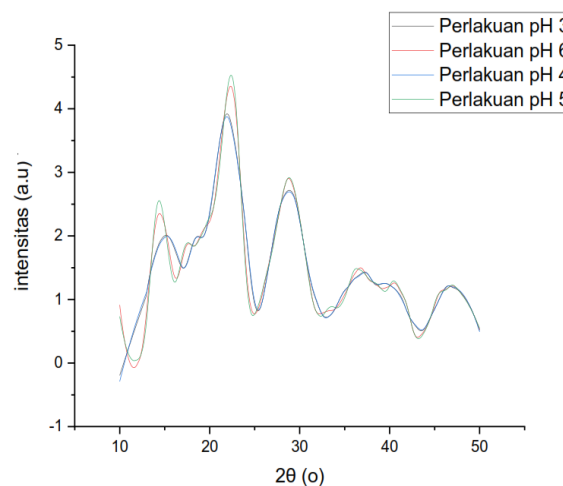


Gambar 3. Scanning Electron Microscopy (SEM) bakteri selulosa dengan pH media berbeda, (a) pH 5, (pH) 6, (b) pH 3

b. 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 pelepah 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 (Hasanah and Apriani 2025). 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 nila.

FWHM maka nilai kristalinitas semakin kecil (Revin et al. 2018), dimana pH 3 mempunyai nilai kristalinitas terendah dan kristalinitas terbaik adalah di pH 5 yang baik juga. Nilai kristalinitas pH 3 rendah disebabkan benang fibril yang membentuk selulosa bakteri tidak padat. (Daicho et al. 2018; Fijałkowski et al. 2016) dalam penelitiannya menyatakan bahwa ketebalan dan struktur morfologi sesuai dengan uji SEM yang dihasilkan oleh selulosa bakteri mempengaruhi nilai kristalinitas. Pada penelitian ini, pada hasil uji SEM, pH 5 mempunyai benang fibril yang saling berhimpitan dan diameter yang lebih besar dibandingkan dengan pH 3, sehingga pH 3 memiliki nilai kristalinitas yang rendah.

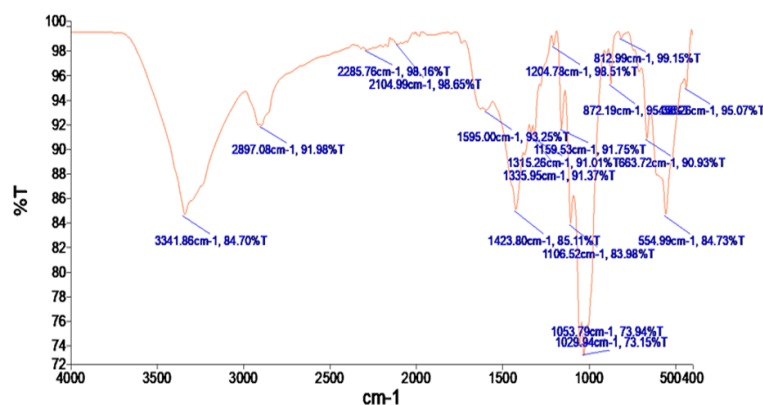


Gambar 4. Hasil x-ray diffractometer pada selulosa bakteri sari pelepah sawit dengan perlakuan ph media

Nilai kritisilinitas juga dipengaruhi oleh media fermentasi dari selulosa bakteri (Harrison et al. 2023; Kasim and Rahman 2016; Tyagi and 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.

Hasil spektra FTIR pada sampel selulosa bakteri dari sari pelepah sawit mempunyai panjang gelombang 4000–400 cm^{-1} yang merupakan rentang panjang gelombang selulosa bakteri (Said Azmi et al. 2019), dengan hasil spektra yang dapat dilihat pada **Gamabr 5** yaitu dapat diamati bahwa gugus fungsional selulosa bakteri yang diperoleh dari gugus fungsional dari struktur selulosa bakteri yang dihasilkan.

c. Uji Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) spectroscopy



Gambar 5. Hasil uji *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR) spectroscopy selulosa bakteri

Struktur gelombang selulosa bakteri dari sari pelepah sawit dapat diamati pada *wavenumber* 3000-3500 cm^{-1} menunjukkan peregangan ikatan O–H selulosa (Fijałkowski et al. 2016). Peregangan ikatan C–H dapat diamati pada 2897 cm^{-1} dimana daerah tersebut menunjukkan komposisi kimia rantai utama selulosa bakteri (Fuller et al. 2017), 1106 dan 1423 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, Fong-In, and Potaros 2020). *Wavenumber* 1106 dan 1423 cm^{-1} menunjukkan gugus C–O eter dan alkohol, memperkuat identifikasi bahwa material yang terbentuk adalah selulosa. Hasil ini

sesuai dengan hasil penelitian dari (Hasanah and Apriani 2025; Said Azmi et al. 2019) yang menyatakan bahwa *wavenumber* tersebut adalah marker khas dari selulosa bakteri yang berasal dari media fermentasi bioproduk murni.

d. Uji Kuat Tarik Selulosa Bakteri

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.
Hasil uji kuat tarik selulosa bakteri sari pelepah kelapa sawit

Perlakuan	Tarikan	Load	Kekuatan
	MPa	N	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

Dari **Tabel 1** di atas, dapat dilihat bahwa selulosa bakteri dengan kekuatan terbaik adalah perlakuan pH 5, dengan kekuatan 261,645c Mpa. Perbedaan nilai kekuatan tarik antara sampel selulosa bakteri dapat diamati melalui morfologi SEM pada **Gambar 3** dan uji XrD pada **Gambar 4**. Orientasi fibrilar dan lebar fibril yang berbeda dan

nilai kristalanisasi sebagai sifat mekanik yang lebih tinggi merupakan selulosa bakteri terbaik. Hal ini sejalan dengan (Kuo et al. 2016; Said Azmi et al. 2019; Ye et al. 2019) bahwa perbedaan media fermentasi, nilai kristalinitas dan morfologi selulosa bakteri dapat membuat nilai uji kuat tarik berbeda. Nilai kristalinitas tinggi dan benang

fibril yang lebih tebal akan memiliki kuat tarik lebih tinggi. Hal ini membuat selulosa bakteri dari sari pelepah kelapa sawit berpotensi dalam aplikasi bikomposit seperti regenerasi jaringan (Said Azmi et al. 2019).

SIMPULAN

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 FWHM terendah, wavenumber 1106 dan 1423 cm^{-1} menunjukkan gugus C–O eter dan alkohol mana daerah tersebut menunjukkan komposisi kimia rantai utama selulosa bakteri. Disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan terhadap lama hari fermentasi selulosa bakteri dengan media sari pelepah kelapa sawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bima Kementerian Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini dengan skema dana hibah penelitian pada tahun 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Asthary, Prima Besty, Saepulloh Saepulloh, Ayu Sanningtyas, Gian Aditya Pertiwi, Chandra Apriana Purwita, and Krisna Septiningrum. 2021. "Optimasi Produksi Bacterial Nanocellulose Dengan Metode Kultur Agitasi." *Jurnal Selulosa* 10(02):89. doi: 10.25269/jsel.v10i02.295.
- Atthirah Raihana Nor Aziz Hashim, Nurul, Junaidi Zakaria, Shahril Mohamad, Sharifah Fathiyah Sy Mohamad, and Mohd Hairul Ab. Rahim. 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. doi: 10.1088/1757-899x/1092/1/012058.
- Baghaei, Behnaz, and Mikael Skrifvars. 2020. "All-Cellulose Composites: A Review of Recent Studies on Structure, Properties and Applications." *Molecules* 25(12). doi: 10.3390/molecules25122836.
- Daicho, Kazuho, Tsuguyuki Saito, Shuji Fujisawa, and Akira Isogai. 2018. "The Crystallinity of Nanocellulose: Dispersion-Induced Disorder of the Grain Boundary in Biologically Structured Cellulose." *ACS Applied Nano Materials* 1(1):5744–85. doi: 10.1021/acsanm.8b01438.
- Faisul Aris, Fathin Amila, Fatin Nur Ain Mohd Fauzi, Woei Yenn Tong, and Sharifah Soplah Syed Abdullah. 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. doi: 10.1016/j.bcab.2019.101332.
- Fijałkowski, Karol, Rafał Rakoczy, Anna Zywicka, Radosław Drozd, Beata Zielińska, Karolina Wenelska, Krzysztof Cendrowski, Dorota Peitler, Marian Kordas, Maciej Konopacki, and Ewa Mijowska. 2016. "Time Dependent Influence of Rotating Magnetic Field on Bacterial Cellulose." *International Journal of Polymer Science* 2016. doi: 10.1155/2016/7536397.
- Fuller, Mark E., Christina Andaya, Kevin McClay, Federal Services, Mark E. Fuller, and Aptim Federal Services. 2017. "Evaluation of ATR-FTIR for Analysis of Bacterial Cellulose Impurities." *Jurnal Biocellulose Impurity Analysis* 1–19.
- Gündüz, Gökhan, and Nejla Aşık. 2018.

- "Production and Characterization of Bacterial Cellulose with Different Nutrient Source and Surface–Volume Ratios." *Drvna Industrija* 69(2):141–47. doi: 10.5552/drind.2018.1744.
- Harrison, Thomas R., Vijai Kumar, Parvez Alam, Adam Willis, Fabrizio Scarpa, and Vijay Kumar. 2023. "From Trash to Treasure: Sourcing High-Value, Sustainable Cellulosic Materials from Living Bioreactor Waste Streams." *International Journal of Biological Macromolecules* 233(February):123511. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.123511.
- Hasanah, Nenda, and Riza Apriani. 2025. "Isolasi Dan Karakterisasi Selulosa Bakteri Dari Limbah Kulit Jeruk Peras (Citrus Sinensis L. Osbeck)." 1(1):1–10.
- Hossain, M. A., M. M. Hoque, M. M. Hossain, M. H. Kabir, M. Yasin, and M. A. Islam. 2020. "Biochemical, Microbiological and Organoleptic Properties of Probiotic Pineapple Juice Developed by Lactic Acid Bacteria."
- Kasim, Norasila, and Norliza ABD Rahman. 2016. "Design and Production Control of Biocellulose from *Acetobacter Xylinum*." *Indian Journal of Science and Technology* 9(21). doi: 10.17485/ijst/2016/v9i21/95241.
- Kuo, Chia Hung, Jing Hua Chen, Bo Kang Liou, and Cheng Kang Lee. 2016. "Utilization of Acetate Buffer to Improve Bacterial Cellulose Production by *Gluconacetobacter Xylinus*." *Food Hydrocolloids* 53:98–103. doi: 10.1016/J.FOODHYD.2014.12.034.
- Mohamad, Shahril, Luqman Chuah Abdullah, Saidatul Shima Jamari, Syeed Saifulazry Osman Al Edrus, Min Min Aung, and Sharifah Fathiyah Sy Mohamad. 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):16005–16. doi: 10.1080/15440478.2022.2140243.
- Nimitkeatkai, H., S. Fong-In, and T. Potaros. 2020. "Characterization of Bacterial Cellulose (Nata de Coco) from Lychee." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 515(1). doi: 10.1088/1755-1315/515/1/012063.
- Ramli, Umi Salamah, Noor Idayu Tahir, Nurul Liyana Rozali, Abrizah Othman, Nor Hayati Muhammad, Syahidah Akmal Muhammad, Azmil Haizam Ahmad Tarmizi, Norfadilah Hashim, Ravigadevi Sambanthamurthi, Rajinder Singh, Mohamad Arif Abd Manaf, and Ghulam Kadir Ahmad Parveez. 2020. "Sustainable Palm Oil—The Role of Screening and Advanced Analytical Techniques for Geographical Traceability and Authenticity Verification." *Molecules* 25(12):1–26. doi: 10.3390/molecules25122927.
- Revin, Victor, Elena Liyaskina, Maria Nazarkina, Alena Bogatyreva, and Mikhail Shchankin. 2018. "Cost-Effective Production of Bacterial Cellulose Using Acidic Food Industry by-Products." *Brazilian Journal of Microbiology* 49:151–59. doi: 10.1016/j.bjbm.2017.12.012.
- Said Azmi, Siti Nur Nadhirah, Siti Nur Najwa Farhah Mohd Fabli, Fathin Amila Faisul Aris, Zainatul Asyiqin Samsu, Ahmad Syafiq Fauzan Mohd Asnawi, Yuhanees Mohamed Yusof, Hidayah Ariffin, and Sharifah Soplah Syed Abdullah. 2019. "Fresh Oil Palm Frond Juice as a Novel and Alternative Fermentation Medium for Bacterial Cellulose Production." *Materials Today: Proceedings* 42(xxxx):101–6. doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.220.
- Sharifah Fathiyah, S. M., M. Shahril, and Z. Junaidi. 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. doi: 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*. doi: 10.21894/jopr.2023.0055.

- Supian, N. N. I., J. Zakaria, K. N. M. Amin, S. Mohamad, and S. F. S. Mohamad. 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. doi: 10.1088/1757-899x/1092/1/012048.
- Tyagi, Neha, and Sumathi Suresh. 2016. "Production of Cellulose from Sugarcane Molasses Using *Gluconacetobacter Intermedius* SNT-1: Optimization & Characterization." *Journal of Cleaner Production* 112(January):71–80. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.07.054.
- Wang, Jing, Javad Tavakoli, and Youhong Tang. 2019. "Bacterial Cellulose Production, Properties and Applications with Different Culture Methods – A Review." *Carbohydrate Polymers* 219(May):63–76. doi: 10.1016/j.carbpol.2019.05.008.
- Ye, Jianbin, Shanshan Zheng, Zhan Zhang, Feng Yang, Ke Ma, Yinjie Feng, Jianqiang Zheng, Duobin Mao, and Xuepeng Yang. 2019. "Bacterial Cellulose Production by *Acetobacter Xylinum* ATCC 23767 Using Tobacco Waste Extract as Culture Medium." *Bioresource Technology* 274(December 2018):518–24. doi: 10.1016/j.biortech.2018.12.028.