

Sintesis dan Karakterisasi Nanokristalin Selulosa dari Limbah Pelepeh Pisang dengan Variasi Suhu Bleaching dan Konsentrasi Asam Sulfat

Ayu Rahmawati, Lutfatin Faidah, Rachmad Ramadhan Yogaswara*

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
Jl. Raya Rungkut Madya No.1, Surabaya-Jawa Timur 60294

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 3 Maret 2025
Direvisi: 1 April 2025
Diterima: 2 Juli 2025

Kata kunci:

Limbah Pelepeh Pisang
Nanokristalin Selulosa
Sintesis

Keywords:

Banana pseudostem waste
Cellulose nanocrystals
Synthesis

Penulis Korespondensi:

Rachmad Ramadhan Yogaswara
Email:
r.yogaswara.tk@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Nanokristalin selulosa (CNC) dari limbah pelepeh pisang berhasil disintesis dan menunjukkan potensi besar untuk diaplikasikan dalam biokomposit, material berkelanjutan, dan bidang biomedis. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan CNC dari limbah pelepeh pisang melalui pendekatan kimia yang ramah lingkungan serta mengkaji pengaruh suhu bleaching dan konsentrasi asam terhadap massa nanoselulosa yang dihasilkan serta karakteristik nanoselulosa yang diperoleh sesuai dengan standar ISO/TS 20477:2017. Proses sintesis diawali dengan delignifikasi menggunakan NaOH 17% dengan suhu 100°C dengan waktu 1,5 jam untuk melarutkan lignin yang mengikat serat selulosa. Kemudian dilakukan bleaching dengan H₂O₂ 10% selama 1,5 jam pada variasi suhu (70°C–90°C) untuk menghilangkan residu lignin dan meningkatkan kemurnian selulosa. Selanjutnya, dilakukan hidrolisis asam menggunakan variasi konsentrasi H₂SO₄ (10%–30%) pada suhu 45°C selama 40 menit guna memutus bagian amorf selulosa dan membentuk struktur kristalin berskala nano. Uji Chesson-Datta menunjukkan kandungan selulosa sebesar 80,32%, hemiselulosa 5,257%, dan lignin 3,26%. Kondisi optimum diperoleh pada suhu bleaching 80°C dan konsentrasi H₂SO₄ 10%, menghasilkan massa CNC sebesar 2,5606 g. Hasil Karakterisasi SEM-EDX menunjukkan morfologi berserat halus dengan kandungan karbon 63,55% dan oksigen 35,83%. Hasil analisis XRD menunjukkan ukuran partikel 8,76–24,12 nm dengan rata-rata 14,25 nm, serta persen kristalinitas dari sampel yang diuji mencapai 92,5412%.

Nanocrystalline cellulose (CNC) was successfully synthesized from banana sheath waste and demonstrated promising potential for applications in biocomposites, sustainable materials, and biomedical fields. This study aimed to produce CNC through an environmentally friendly chemical process while investigating the effects of bleaching temperature and acid concentration on CNC yield and properties, in accordance with ISO/TS 20477:2017. The process involved delignification using 17% NaOH at 100°C for 1.5 hours to remove lignin, followed by bleaching with 10% H₂O₂ for 1.5 hours at various temperatures (70°C–90°C) to enhance cellulose purity. Acid hydrolysis using H₂SO₄ at concentrations of 10%–30% was conducted at 45°C for 40 minutes to break down amorphous regions and form nanocrystalline structures. Chesson-Datta analysis revealed cellulose, hemicellulose, and lignin contents of 80.32%, 5.257%, and 3.26%, respectively. Optimal conditions were found at 80°C bleaching temperature and 10% acid concentration, yielding 2.5606 g of CNC. SEM-EDX analysis showed smooth fibrous morphology with 63.55% carbon and 35.83% oxygen content, while XRD analysis indicated particle sizes ranging from 8.76 to 24.12 nm, with an average of 14.25 nm, and the crystallinity index of the analyzed sample reached 92.5412%.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang menempati posisi atas dalam jumlah produksi pisang di tingkat internasional karena memiliki iklim yang hangat dan tanahnya yang subur. Produksi pisang Indonesia terus meningkat setiap tahun, menurut data yang dikumpulkan oleh (BPS, 2023) produksi pisang nasional mencapai 9.335.233 ton serta mengalami peningkatan setiap tahunnya. Tanaman pisang tidak hanya menghasilkan buah yang bernilai ekonomi tinggi, tetapi juga limbah pertanian berupa pelepah pisang yang kaya akan kandungan selulosa. Meskipun seringkali dianggap sebagai limbah tanpa nilai guna, pelepah pisang memiliki potensi besar sebagai bahan baku dalam produksi selulosa kristalin. Pemanfaatan limbah ini menjadi langkah strategis dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku sintetis serta meningkatkan penggunaan bahan alam yang dapat diperbarui.

Selulosa merupakan polimer alami utama yang membentuk lapisan pelindung sel tumbuhan dan merupakan salah satu komponen kimia organik paling melimpah di bumi. Selulosa kristalin atau nanokristalin selulosa (CNC) diperoleh melalui pemisahan bagian kristalin dari struktur amorf selulosa. CNC memiliki banyak aplikasi, di antaranya sebagai bahan dalam komposit, energi terbarukan, biomedis, dan sistem penghantaran obat (Fatriasari et al., 2019). Berbagai jenis biomassa telah digunakan sebagai sumber selulosa, seperti bagas tebu, jerami (Mulyadi, 2019), batang jagung (Amrillah et al., 2022), dan pelepah pisang (Pine et al., 2021). Pelepah pisang memiliki keunggulan karena ketersediaannya melimpah, terbarukan dalam waktu singkat, serta proses ekstraksinya lebih hemat energi. Menurut Pine et al. (2021), kandungan komponen kimia dalam pelepah pisang meliputi 64% selulosa, 19% hemiselulosa, 5% lignin, dan 11% kadar air.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji proses sintesis CNC menggunakan metode hidrolisis asam. Muljani et al. (2023) mensintesis selulosa dari batang tembakau melalui proses hidrolisis menggunakan H_2SO_4 40% dan bleaching selama 90 menit, dengan hasil kadar selulosa sebesar 63,154% dan ukuran partikel 4,30 μm . Ningtyas et al. (2020) menggunakan jerami dan kulit jagung sebagai bahan baku dengan kondisi hidrolisis asam H_2SO_4 45%, dan menghasilkan partikel berukuran masing-masing 365,5 nm dan 422,6 nm. Ukuran tersebut masih berada di atas batas nanoselulosa yang ideal, yaitu 1–100 nm, sehingga diperlukan pengoptimalan lebih lanjut terhadap kondisi proses agar diperoleh CNC berukuran nano sesuai standar.

Beberapa faktor utama yang memengaruhi sintesis nanoselulosa adalah waktu dan suhu hidrolisis, pH, serta konsentrasi larutan asam (Pratama et al., 2019). Dalam proses bleaching, suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan efektivitas reaksi, namun suhu yang terlalu tinggi dapat merusak struktur selulosa dan hemiselulosa. Sementara itu, peningkatan konsentrasi asam dapat meningkatkan degradasi struktur amorf dan pembentukan glukosa hingga mencapai titik optimum (Effendi et al., 2015). Penelitian ini menggunakan metode kimia melalui hidrolisis asam karena dinilai efisien dalam menghasilkan CNC dengan kristalinitas tinggi dan stabilitas termal yang baik. Dengan demikian, studi ini diarahkan untuk mengevaluasi bagaimana variasi suhu pada tahap *bleaching* serta perbedaan konsentrasi asam sulfat memengaruhi jumlah dan sifat nanokristalin selulosa (CNC) yang dihasilkan dari limbah pelepah pisang, dengan karakterisasi menggunakan analisis SEM-EDX dan XRD, serta mengacu pada standar ISO/TS 20477:2017.

II. METODE

2.1 Preparasi Sampel

Pelepah pisang yang telah melalui proses sortir selanjutnya dipotong dalam ukuran kecil dan dijemur di bawah paparan sinar matahari guna menurunkan kadar airnya. Setelah proses pengeringan selesai, pelepah tersebut digiling hingga menjadi bubuk halus, lalu disaring menggunakan ayakan berukuran 100 mesh untuk mendapatkan partikel yang seragam.

2.2 Sintesis Kristalin Selulosa

2.2.1 Proses Delignifikasi

Sebanyak 10 gram serbuk pelepah pisang direaksikan dengan 200 mL larutan NaOH 17%. Campuran ini dipanaskan menggunakan *hot plate magnetic stirrer* pada suhu 100°C selama 1,5 jam dengan kecepatan pengadukan 150 rpm. Setelah proses selesai, campuran disaring dan residu hasil

delignifikasi dicuci menggunakan aquadest hingga pH netral. Endapan kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu 65°C dan disimpan di dalam desikator untuk mencegah penyerapan kelembapan dari udara.

2.2.2 Proses Bleaching

Selulosa setelah melalui proses delignifikasi, kemudian dilakukan tahap *bleaching* menggunakan larutan hidrogen peroksida (H₂O₂) 10% sebanyak 100 mL. Tahap *bleaching* ini berlangsung selama 1,5 jam pada suhu yang divariasikan, yaitu 70°C hingga 90°C, dengan kenaikan setiap 5°C. Proses dilakukan menggunakan *hot plate magnetic stirrer* dengan kecepatan putar 150 rpm. Usai tahap *bleaching*, campuran disaring, lalu residunya dicuci sampai mencapai pH netral. Endapan hasil penyaringan dikeringkan kembali dalam oven bersuhu 65°C, kemudian disimpan di dalam desikator untuk tahap berikutnya.

2.2.3 Proses Hidrolisis Asam

Selulosa yang telah melalui tahap *bleaching* selanjutnya mengalami proses hidrolisis menggunakan larutan asam sulfat (H₂SO₄) dengan variasi konsentrasi 10% hingga 30%, dengan kenaikan setiap 5%. Hidrolisis dilakukan dengan durasi 40 menit pada temperatur terkendali sebesar 45°C menggunakan pengadukan konstan sebesar 150 rpm. Setelah reaksi selesai, campuran dibilas menggunakan air suling hingga pH-nya netral, lalu disaring untuk memisahkan padatan. Produk nanoselulosa yang telah terbentuk dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 65°C, kemudian dianalisis dengan instrumen SEM-EDX dan XRD untuk mengidentifikasi sifat fisik dan struktur kristalnya.

2.3 Penentuan Ukuran Diameter Kristalin Selulosa menggunakan Persamaan Scherrer

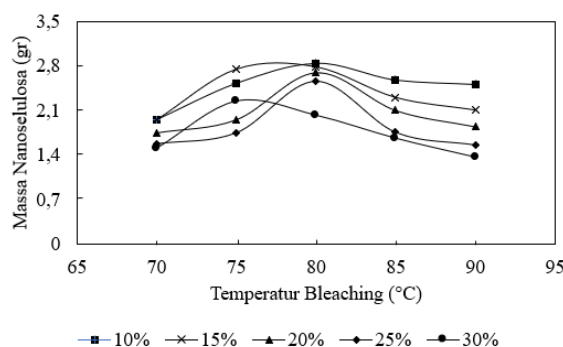
Pengujian menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan guna memperoleh data yang diperlukan untuk menghitung ukuran kristal dari nanoselulosa. Perhitungan diameter partikel dilakukan dengan menggunakan Rumus Scherrer berdasarkan data yang diperoleh dari hasil analisis XRD, yakni:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad (1)$$

Dalam persamaan tersebut, dimensi kristalit dalam analisis ini dilambangkan dengan D, sementara K merupakan faktor bentuk dengan nilai standar sekitar 0,9, Nilai λ menunjukkan panjang gelombang dari sinar-X yang digunakan, β adalah lebar puncak difraksi pada titik setengah maksimum (FWHM) dalam satuan radian, dan θ merujuk pada sudut difraksi. Pendekatan ini tergolong praktis dan cepat, sehingga sering dijadikan pilihan untuk mengkarakterisasi bahan berukuran nano (Sumadiyasa and Manuaba, 2020).

III. HASIL DAN DISKUSI

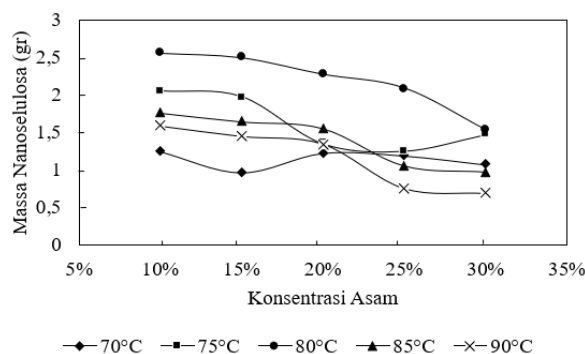
3.1 Pengaruh Temperatur Bleaching dan Konsentrasi Asam terhadap Massa Nanoselulosa



Gambar 1 Hubungan Temperatur Bleaching terhadap Massa Nanoselulosa

Suhu pada tahap *bleaching* memiliki pengaruh terhadap jumlah nanoselulosa yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian, massa nanoselulosa paling tinggi tercatat pada suhu 80°C dengan nilai 2,8406 gram, sementara massa terendah ditemukan pada suhu 90°C, yaitu sebesar 1,3576 gram. Suhu 80°C merupakan kondisi paling optimum untuk memperoleh hasil nanoselulosa tertinggi karena mampu

mendegradasi lignin secara efektif tanpa merusak struktur kristalin selulosa (Lismeri et al., 2019). Pada suhu ini, laju reaksi kimia meningkat dan difusi agen pemutih seperti H_2O_2 menjadi lebih efisien, sehingga proses pemutihan berlangsung optimal (Habibi et al., 2010). Namun, jika suhu melebihi 80°C , H_2O_2 dapat terdekomposisi lebih cepat terutama dalam kondisi asam kuat, menghasilkan radikal bebas yang merusak rantai selulosa (Priatmoko, 2023). Akibatnya, terjadi penurunan *yield* nanoselulosa karena terbentuknya senyawa larut dari degradasi selulosa (Dewanti, 2018).

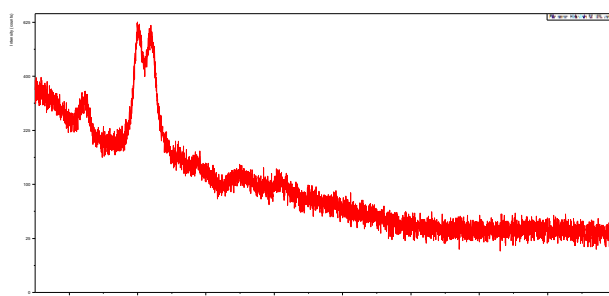


Gambar 2 Hubungan Konsentrasi Asam terhadap Massa Nanoselulosa

Konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4) berpengaruh signifikan terhadap massa nanoselulosa yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa massa nanoselulosa tertinggi diperoleh pada konsentrasi asam 10% sebesar 2,5606 gram, sedangkan massa terendah diperoleh pada konsentrasi 30% sebesar 0,6895 gram (Pratama et al., 2019). Konsentrasi asam 10% merupakan kondisi paling optimum karena mampu mendegradasi bagian amorf selulosa secara selektif tanpa merusak struktur kristalin yang menjadi inti nanoselulosa (Harahap, 2019). Konsentrasi tersebut memungkinkan pemutusan ikatan hidrogen pada area amorf secara optimal, yang berdampak pada terbentuknya nanoselulosa dengan partikel berukuran lebih kecil dan penyebaran ukuran yang lebih homogen. Sebaliknya, pada konsentrasi asam yang lebih tinggi, reaksi hidrolisis menjadi terlalu agresif dan mulai merusak struktur kristalin selulosa, menyebabkan penurunan *yield* secara drastis (Lismeri et al., 2019). Selain itu, konsentrasi asam yang berlebihan juga dapat memicu pembentukan senyawa sampingan yang menurunkan kualitas nanoselulosa (Pratama et al., 2019).

3.2 Karakteristik Nanoselulosa

3.2.1 Analisis X-Ray Diffraction (XRD)



Gambar 3 Hasil Analisa X-Ray Diffraction (XRD)

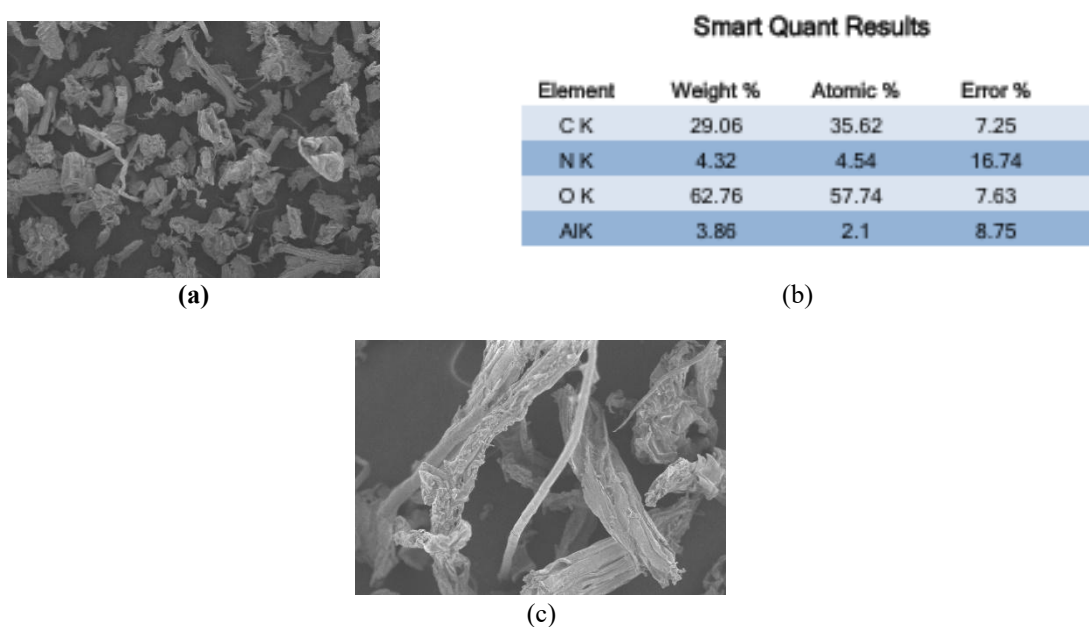
Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) pada kondisi bleaching 80°C dengan konsentrasi asam sulfat 10% menunjukkan adanya puncak-puncak difraksi yang mencerminkan struktur kristalin selulosa, menandakan keteraturan susunan atom dalam material (Habibi et al., 2020). Perhitungan menggunakan persamaan *Scherrer* menghasilkan ukuran kristal bervariasi antara 8,76–24,12 nm, dengan rata-rata 14,25 nm. Variasi ini dipengaruhi oleh metode preparasi, kondisi hidrolisis, dan distribusi partikel (Wang et al., 2019). Hidrolisis yang terlalu agresif dapat menurunkan ukuran kristal akibat rusaknya area kristalin, sedangkan ukuran kristal yang lebih besar menunjukkan struktur yang lebih stabil dan padat, penting bagi kekuatan mekanik dan kestabilan termal nanoselulosa (Trache et al., 2020). Sementara itu, pada *bleaching* 90°C dan konsentrasi asam 25%, kristalinitas turun drastis menjadi 40,37% dengan ukuran kristal membesar hingga 152,63–176,54 nm. Hal ini menunjukkan bahwa suhu tinggi dan konsentrasi asam pekat dapat merusak struktur kristalin dan menyebabkan aglomerasi (Chen

et al., 2023). Oleh karena itu, kondisi proses yang lebih moderat dinilai lebih efektif dalam mempertahankan struktur kristal dan menghasilkan nanoselulosa berukuran kecil dan seragam.

Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa persentase kristalinitas dari sampel yang diuji pada temperatur *bleaching* 80°C dan konsentrasi asam sulfat 10% mencapai 92,5412%. Nilai ini dihitung berdasarkan pendekatan kuantitatif menggunakan metode dekonvolusi pola difraksi sinar-X (XRD), di mana fraksi luas kristalin dibandingkan terhadap total luas puncak difraksi, yang mencakup fraksi kristalin dan amorf. Metode ini merupakan pendekatan yang banyak digunakan untuk karakterisasi kristalinitas pada bahan selulosa dan nanoselulosa karena memberikan gambaran yang akurat mengenai proporsi struktur teratur dibandingkan bagian amorf yang tidak teratur (Kargarzadeh et al., 2022). Nilai ini menandakan bahwa sebagian besar struktur selulosa dalam sampel berada dalam bentuk kristalin, dengan kandungan amorf yang relatif kecil. Tingkat kristalinitas yang tinggi sangat berpengaruh terhadap sifat fungsional selulosa, seperti kekakuan mekanik, ketahanan terhadap panas, serta stabilitas terhadap bahan kimia (Lismeri et al., 2019). Semakin tinggi kristalinitas, semakin besar pula kekuatan dan kestabilan struktur material, sehingga menjadikannya lebih unggul untuk berbagai aplikasi. Dalam bidang industri, selulosa dengan kristalinitas tinggi berpotensi tinggi untuk dimanfaatkan sebagai material utama dalam proses pembuatan material komposit, kemasan ramah lingkungan, serta sebagai pengisi (filler) dalam bidang farmasi dan biomedis karena sifat mekanik dan ketahanannya yang baik (Pratama et al., 2019).

Hasil ini juga sejalan dengan standar ISO/TS 20477:2017 yang menyatakan bahwa ukuran kristal selulosa berada dalam kisaran 1–100 nm, serta bahwa selulosa dengan kristalinitas lebih besar cenderung memberikan kinerja fungsional yang lebih baik daripada selulosa yang mengandung fraksi amorf dalam jumlah tinggi. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa selulosa yang diperoleh melalui metode hidrolisis ini memiliki struktur kristalin yang baik, ukuran kristal yang sesuai dengan standar, serta tingkat kristalinitas yang tinggi, sehingga memenuhi kriteria sebagai material berkualitas tinggi.

3.2.2 Analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX)



Gambar 4 (a) Hasil Uji SEM Nanoselulosa pada Temperatur Bleaching 80C dan Konsentrasi Asam 10% (b) Hasil Uji EDX Nanoselulosa pada Temperatur Bleaching 80C dan Konsentrasi Asam 10% (c) Hasil Uji SEM Bahan Awal Pelelepah Pisang

Hasil analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) - *Energy Dispersive X-ray* (EDX) menunjukkan perbedaan morfologi yang signifikan antara bahan awal pelepah pisang dan hasil nanoselulosa yang telah melalui proses kimia. Gambar SEM bahan awal memperlihatkan struktur serat yang masih panjang, tebal, dan menyatu, dengan permukaan yang relatif halus. Kondisi ini

mengindikasikan bahwa komponen lignin dan hemiselulosa masih mendominasi, membentuk matriks lignoselulosa yang padat dan belum terdegradasi (Islam et al., 2020). Sebaliknya, hasil SEM nanoselulosa pada suhu bleaching 80°C dan konsentrasi H₂SO₄ 10% memperlihatkan morfologi yang lebih acak dan tidak beraturan, dengan serat yang telah terfragmentasi dan permukaan yang kasar serta berpori. Terjadinya pengelupasan serat dan pembentukan struktur jaringan serat yang saling bertumpuk menunjukkan bahwa proses delignifikasi, *bleaching*, dan hidrolisis asam telah berhasil memisahkan selulosa dari komponen amorfnya (Kargarzadeh et al., 2022). Permukaan yang berpori dan tidak seragam ini juga menjadi ciri khas nanoselulosa, di mana ikatan hidrogen antarmolekul selulosa yang telah murni membentuk struktur padat yang khas pada tingkat nano. Perubahan morfologi ini membuktikan efektivitas pendekatan kimia yang digunakan dalam menghasilkan nanokristalin selulosa (CNC) dari limbah pelepah pisang, serta menunjukkan kesesuaian hasil dengan standar morfologi nanoselulosa sebagaimana ditetapkan oleh ISO/TS 20477:2017 (Ching et al., 2020).

Analisis EDX menunjukkan bahwa unsur utama penyusun selulosa adalah karbon (C) sebesar 29,06% dan oksigen (O) sebesar 62,76%, yang merupakan komponen utama dalam struktur dasar selulosa. Kandungan oksigen yang tinggi mengindikasikan banyaknya gugus hidroksil (-OH) dalam struktur polimer selulosa, yang berkontribusi terhadap sifat hidrofilik dan kekuatan mekanik material (Khalil et al., 2020). Selain itu, terdeteksi pula unsur nitrogen (N) sebesar 4,32% dan aluminium (Al) sebesar 3,86%, yang kemungkinan berasal dari sisa reagen atau kontaminasi peralatan seperti blender dan ayakan yang digunakan dalam proses penghalusan dan preparasi bahan. Keberadaan unsur-unsur ini menunjukkan pentingnya pengendalian kebersihan alat dan kondisi proses selama tahap isolasi untuk menjaga kemurnian nanoselulosa yang dihasilkan.

IV. KESIMPULAN

Suhu bleaching dan konsentrasi asam sulfat berpengaruh signifikan terhadap massa nanoselulosa yang dihasilkan. Suhu optimal sebesar 80°C dengan agen pemutih H₂O₂ mampu menghilangkan lignin secara efektif tanpa merusak struktur kristalin selulosa. Sementara itu, konsentrasi H₂SO₄ yang optimal berada pada kisaran 10–20%, khususnya 10%, karena mampu memecah bagian amorf tanpa merusak bagian kristalin, sedangkan konsentrasi >25% justru menurunkan yield akibat degradasi berlebih. Hasil analisis XRD menunjukkan ukuran kristalin berkisar antara 8,7606–24,1241 nm dengan rata-rata 14,2475 nm dan kristalinitas 92,5412%, menandakan dominasi struktur kristalin. Hasil SEM-EDX memperlihatkan morfologi serat yang tidak beraturan, berpori, dan kasar, sesuai dengan karakteristik nanoselulosa. Kandungan unsur utama dari hasil EDX menunjukkan karbon (C) sebesar 29,06% dan oksigen (O) sebesar 62,76%, yang mencerminkan komposisi utama selulosa. Kombinasi karakteristik ini menunjukkan bahwa material yang diperoleh memenuhi standar ISO/TS 20477:2017 dan berpotensi untuk berbagai aplikasi industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2023)., Produksi Tanaman Buah – Buah, 2021-2023. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjLjMg==/produksi-tanaman-buah-buahan.html> (9 Juli 2024)
- Amrillah, N. A. Z., Hanum, F. F. and Rahayu, A. (2022) ‘Studi Efektivitas Metode Ekstraksi Selulosa dari Agricultural Waste’, Jurnal Pangan Halal, 1(1), pp. 1–3.
- Chen, Y., Liu, C., Zhang, Z., & Liu, Y. (2023). Effects of acid hydrolysis conditions on morphology and crystallinity of cellulose nanocrystals from biomass sources. *Carbohydrate Polymers*, 311, 120743. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120743>
- Ching, Y. C., Gan, S. N., & Tee, Y. B. (2020). Recent advances in cellulose nanocrystals: Structure, preparation, and applications. *Cellulose*, 27, 8425–8452. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03296-2>
- Dewanti, D.P., (2018). ‘Potensi Selulosa Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan’, Jurnal Teknologi Lingkungan, 19(1), pp.81-88. 10.29122/jtlv19i1.2644.

- Effendi, D. B., Rosyid, N. H., Nandiyanto, A. B. D, Mudzakir, A. (2015) 'Review: Sintesis Nanoselulosa', *Journal of Energy Mechanical Material and Manufacturing Engineering*, 5(2), p. 61. <http://dx.doi.org/10.36055/jip.v5i2.199>.
- Fatriasari, W., Masruchin, N. and Hermiati, E., (2019) *Selulosa Karakteristik dan Pemanfaatannya*. Jakarta: LIPI Press.
- Habibi, Y., Follain, N., & Dufresne, A. (2020). Processing and properties of nanocellulose-reinforced polymeric materials: A review. *Progress in Polymer Science*, 102, 101221. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2019.101221>.
- Harahap, H., Harfansah, A., Junaidi, I.F. (2019). 'Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat (H₂SO₄) pada Hidrolisa Tongkol Jagung (*Zea mays*) Menjadi Nanokristal Selulosa sebagai Filler Penguat Pada Produk Lateks Karet Alami', *Jurnal Teknik Kimia USU*, 8(2), pp. 48-53. <https://doi.org/10.32734/jtk.v8i2.1873>.
- Islam, M. T., Alam, M. M., & Rahman, M. M. (2020). Extraction and characterization of cellulose microfibrils from banana pseudostem. *Industrial Crops and Products*, 143, 111931. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111931>
- Kargarzadeh, H., et al. (2022). Nanocellulose-based biomaterials: Recent advances. *Carbohydrate Polymers*, 291, 119550. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119550>
- Khalil, H. P. S., Lai, T. K., Tye, Y. Y., Rizal, S., Chong, E. W. N., & Nurul Fazita, M. R. (2020). A comprehensive review on nanocellulose: Recent developments, challenges, and future prospects. *Carbohydrate Polymers*, 249, 116767. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116767>.
- Lismeri, H. et al. (2019) 'Pengaruh Suhu dan Waktu Pretreatment Alkali Pada Isolasi Selulosa Limbah Batang Pisang', *Journal Of Chemical Process Engineering*, 4(1), pp. 18-22. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v4i1.319>.
- Liu, D., Zhang, X., Li, T., & Ma, Z. (2021). Enhanced purification of cellulose from lignocellulosic biomass using deep eutectic solvents. *Industrial Crops and Products*, 162, 113256. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113256>.
- Muljani, S., Candra, A. and Faiqoh, I. (2023) 'Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Kristal dari Batang Tembakau', *Jurnal Teknik Kimia*, 17(2), pp.46–51. https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v17i2.3780.
- Mulyadi, I. (2019) 'Isolasi dan Karakterisasi Selulosa: Review', *Jurnal Sainika*, 1(2), p. 177. <https://doi.org/10.32493/JSMU.V1I2.2381>.
- Ningtyas, K.R., Muslihudin, M., dan Sari, I.N. (2020), 'Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Hasil Pertanian dengan Menggunakan Variasi Konsentrasi Asam', *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 20(2), pp. 142-147. [10.25181/jppt.v20i2.1631](https://doi.org/10.25181/jppt.v20i2.1631).
- Pine, A. T., Base, N. H. and Angelina, J. B. (2021) 'Produksi dan Karakterisasi Serbuk Selulosa dari Batang Pisang (*Musa paradisiaca* L.)', *Jurnal Kesehatan Yamsi*, 5(2). Pp. 119-120.
- Pratama, J. H., Rohmah, R. L., Amalia, Saraswati, T. E., (2019) 'Isolasi Mikroselulosa dari Limbah Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan Metode Bleaching-Alkalinasi', *Jurnal Manajemen*, 15(2), p. 241. <https://doi.org/10.20961/alchemy.15.2.30862.239-250>.
- Priatmoko, S., Rohman, A. N., (2023), *Konservasi Alam Jilid 2*, Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Sumadiyasa, M. and Manuaba, I.B.S. (2020) 'Penentuan Ukuran Kristal Menggunakan Formula Scherrer, Williamson-Hull Plot, dan Ukuran Partikel dengan SEM', *Buletin Fisika*, 19(1), pp. 28–35.
- Trache, D., et al. (2020). Recent progress in cellulose nanocrystals: Sources and production. *Processes*, 8(8), 925. <https://doi.org/10.3390/pr8080925>
- Wang, Y., Zhang, X., Li, J., & Yu, J. (2019). Effect of hydrolysis conditions on the structure and properties of cellulose nanocrystals extracted from biomass. *Cellulose*, 26(4), 2345–2358. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-02266-w>
- Zhang, X., Zhang, Y., Wang, L., & Zhou, J. (2020). Cellulose nanofibrils extracted from waste tissue paper: A comparative study of different fibrillation methods. *Carbohydrate Polymers*, 240, 116313.