

SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOKRISTAL SELULOSA BERBASIS BIOMASSA SERAT SAWIT SEBAGAI MATERIAL ISOLASI PANAS

Ina Ristian¹, Muhammad Rizki Kurniawan², Renny Septiani Mokodongan³,
Siti Nur Fauzia⁴

Politeknik Kesehatan Genesis Medicare^{1,2,3,4}
inaristian@gmail.com¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis *cellulose nanocrystals* (CNC) dari biomassa kelapa sawit dan melakukan karakterisasinya. Metode yang digunakan adalah isolasi selulosa melalui proses delignifikasi dengan garam alkali, diikuti sintesis CNC menggunakan hidrolisis asam, serta karakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Particle Size Analyzer* (PSA). Hasil analisis PSA menunjukkan bahwa CNC memiliki diameter rata-rata sebesar 30 nm, dengan sebagian kecil berukuran 90–100 nm dan sebagian kecil lainnya mencapai 10 nm. Analisis morfologi menggunakan SEM memperlihatkan bahwa CNC memiliki permukaan yang kasar. Simpulan, CNC yang diperoleh berpotensi digunakan sebagai material fungsional di berbagai bidang, khususnya otomotif sebagai material isolasi panas.

Kata Kunci: Biomassa, Isolasi Panas, Nanokristal, Selulosa, Serat Sawit

ABSTRACT

This study aims to synthesize cellulose nanocrystals (CNC) from oil palm biomass and to characterize their properties. The method involved cellulose isolation through delignification using alkaline salts, followed by CNC synthesis via acid hydrolysis, and characterization using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Particle Size Analyzer (PSA). The PSA analysis showed that CNC had an average diameter of 30 nm, with a small fraction ranging from 90 to 100 nm and another fraction reaching 10 nm. Morphological analysis by SEM revealed that CNC exhibited a rough surface. In conclusion, the obtained CNC has potential applications as a functional material in various fields, particularly in the automotive sector as a thermal insulation material.

Keywords: Biomass, Cellulose, Insulation, Nanocrystal, Oil Palm Fiber

PENDAHULUAN

Luasnya perkebunan kelapa sawit di Indonesia mendorong peneliti dan pengusaha untuk mengembangkan riset di bidang kelapa sawit. Fokus riset terbaru dan menarik adalah mengolah limbah biomassa kelapa sawit menjadi material yang

memiliki nilai ekonomis. Pelelepah, daun, tandan, dan batang kelapa sawit menyumbang limbah biomassa paling tinggi. Biomassa sawit seperti tandan dan pelelepah sawit kaya akan kandungan selulosa, lignin, dan hemiselulosa (Benzidane et al., 2022). Kelimpahan dan ketersediaan kelapa sawit sebagai penyumbang limbah biomassa terbesar ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber selulosa yang, jika dikembangkan, akan menjadi produk dengan nilai ekonomis.

Selulosa merupakan biopolimer yang melimpah di alam dan berasal dari serat alam, termasuk kelapa sawit. Nanokristal selulosa atau *cellulose nanocrystal* (CNC) adalah bagian dari nanoselulosa yang dapat dimanfaatkan di berbagai bidang. Salah satu bidang yang sedang banyak diminati adalah interior otomotif. Material peredam panas memainkan peran penting dalam manajemen energi pada bidang otomotif. CNC memiliki koefisien ekspansi panas yang rendah (Ji et al., 2023), konduktivitas termal yang rendah (Le et al., 2023), dan porositas tinggi (Babaei-Ghazvini et al., 2024), sehingga dapat diaplikasikan pada material peredam panas (Chen et al., 2022; Septevani et al., 2017; Wang et al., 2023). CNC juga dapat dimanfaatkan sebagai penguat polimer karena memiliki sifat mekanik yang baik, biokompatibel, ramah lingkungan, dan mudah terurai (Ma et al., 2024).

CNC adalah selulosa berukuran nano dengan panjang kurang dari 100 nm dan lebar di bawah 100 nm yang memiliki kristalinitas tinggi (Xing et al., 2018). CNC berasal dari ekstraksi kayu atau biomassa lain yang melimpah. Untuk dapat mensintesis CNC, terdapat dua langkah utama, yaitu pertama menghilangkan komponen nonselulosa berupa lignin dan hemiselulosa, dan kedua menghilangkan bagian amorf dari selulosa melalui hidrolisis asam (Babaei-Ghazvini et al., 2024; Septevani et al., 2017).

Biomassa kelapa sawit masih mengandung komponen kimia yang, jika dimanfaatkan, dapat menghasilkan material bernilai tinggi. Oleh karena itu, pengembangan metode perlu dilakukan agar diperoleh hasil yang optimal. Kajian literatur menunjukkan bahwa CNC memiliki sifat khas sehingga berpotensi dimanfaatkan dalam material peredam panas. Pada penelitian ini, biomassa sawit digunakan sebagai *raw material* dalam *green synthesis* CNC yang ramah lingkungan. Pelarut yang digunakan berbasis air tanpa penambahan tekanan dan suhu yang tinggi.

METODE PENELITIAN

Materials

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu serat pohon sawit, asam asetat glasial, natrium klorit (NaClO_2), membran nilon, NaOH 8%, aquades, H_2SO_4 .

Methods

Sampel serat kelapa sawit dibersihkan dan dikeringkan sampai mudah dihancurkan. Serat kelapa sawit di keringkan pada suhu 60°C selama 24 jam. Kemudian sampel digerus hingga halus dan didapatkan ukuran $120\ \mu\text{m}$. Selanjutnya

direndam dalam air garam selama 24 jam dan di cuci menggunakan filtrasi vakum untuk menghilangkan warna coklat. Filtrat yang diperoleh kemudian diatur pH 3-4 menggunakan asam asetat glasial. Selanjutnya serat yang diperoleh dicuci menggunakan air bersih sampai diperoleh pH 6-7 (Raza et al., 2024).

Sintesis dan Karakterisasi CNC

Selulosa hasil ekstraksi dicuci dengan larutan natrium klorit (NaClO_2) pada suhu $70\text{--}80^\circ\text{C}$ selama 1 jam. Larutan diatur pH 4 dengan penambahan asam asetat lalu disaring menggunakan membran nilon hingga diperoleh larutan kuning keputihan. Selanjutnya proses pengeringan menggunakan oven selama 24 jam pada suhu 60°C untuk menghilangkan kandungan air.

Selulosa kemudian ditambahkan NaOH 8% selama 30 menit pada suhu 25°C dengan perbandingan 2 gr serat banding 100 ml larutan NaOH. Selanjutnya dihidrolisis menggunakan reaksi asam selama 1 jam pada suhu $40\text{--}50^\circ\text{C}$. Lalu serat yang terhirolisis dinetralisasi menggunakan sentrifus hingga diperoleh pH 3 dengan penambahan aquades. Setelah itu suspensi yang terbentuk didiamkan mengendap selama 1 jam. Supernatan dengan nanokristal selulosa diperoleh dengan teknik dekantasi sehingga diperoleh serbuk nanokristal selulosa (Alothman et al., 2021).

CNC hasil sintesis selanjutnya dikarakterisasi menggunakan SEM untuk melihat morfologi permukaan dan PSA untuk melihat ukuran yang dihasilkan. Hasil analisis menggunakan PSA dapat digunakan untuk menentukan bahwa CNC hasil sintesis terbukti memiliki ukuran nanometer.

HASIL PENELITIAN

Serat kelapa sawit memiliki kandungan selulosa yang dominan dibandingkan dengan lignin dan hemiselulosa. Serat kasar kelapa sawit dikeringkan dan dibersihkan dari pengotor untuk memperoleh serat yang murni. Serat yang sudah bersih dihaluskan menggunakan mesin penggiling hingga didapatkan serbuk halus berukuran 50–100 mesh. Serbuk halus serat kelapa sawit yang sudah dihaluskan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Serbuk Serat Kelapa Sawit

Dari gambar tersebut terlihat bahwa serbuk serat kelapa sawit sebelum proses isolasi selulosa menggunakan bahan kimia memiliki warna kecoklatan.

Isolasi selulosa dari serat kelapa sawit didapatkan melalui dua tahapan yaitu delignifikasi dan pemutihan. Delignifikasi atau proses alkalisasi adalah salah satu metode yang digunakan untuk memberikan modifikasi permukaan pada serat alam. Proses alkalisasi dilakukan dengan perendaman serat pada larutan alkali (NaOH) selama 24 jam. Selanjutnya diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 3 jam pada suhu 70 °C, kemudian dibilas menggunakan aquades dan dilanjutkan proses pemutihan.

Proses alkalisasi akan memunculkan selulosa dan menghilangkan pengotor pada permukaan serat alam seperti lignin dan pektin sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik dari serat. Hilangnya pengotor ini dapat terjadi akibat adanya depolimerisasi selulosa oleh NaOH. Hal ini menyebabkan rantai pada selulosa menjadi lebih pendek dan bebas dari lignin (Tiwari & Sanjog, 2025). Proses delignifikasi berlangsung ketika terjadi reaksi ionisasi gugus OH pada serat kelapa sawit sehingga terjadi pemutusan ikatan hidrogen. Selanjutnya proses pemutihan menggunakan NaClO₂ bertujuan untuk menghilangkan lignin yang masih tersisa dan menghasilkan massa yang berwarna putih.

Sintesis CNC

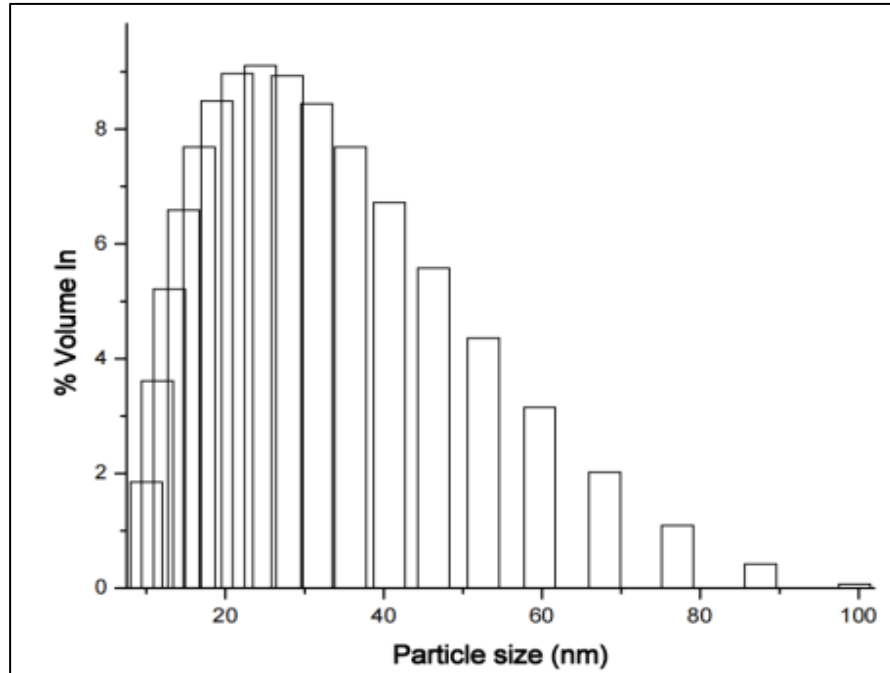
Nanokristal selulosa disintesis menggunakan metode hidrolisis asam. Asam dalam proses hidrolisis merupakan asam kuat yang mampu mendispersikan nanokristal selulosa dalam sistem koloid. H₂SO₄ salah satu asam kuat yang mampu mengisolasi nanoselulosa. Serbuk selulosa hasil isolasi serat kelapa sawit dihidrolisis pada suhu 40-50 °C menggunakan H₂SO₄ selama 90 menit. Pengaturan pH setelah proses hidrolisis dilakukan menggunakan asam asetat glasial hingga mencapai pH 3. kemudian dinetralkan menggunakan aquades selama 1 jam. Selanjutnya dilakukan sentrifugasi untuk memisahkan nanokristal selulosa dari aquades. CNC hasil sintesis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Nanokristal selulosa (CNC)

Hasil Karakterisasi CNC

Distribusi ukuran partikel rata-rata pada nanokristal selulosa hasil sintesis diamati menggunakan *particles size analyzer* (PSA). Hasil analisis menunjukkan bahwa diameter nanopartikel rata-rata sebesar 30 nm. Sebagian kecil memiliki ukuran 90 hingga 100 nm dan bagian kecil lainnya mencapai ukuran 10 nm. Hasil analisis distribusi ukuran nanokristal selulosa dapat dilihat pada Gambar 3.



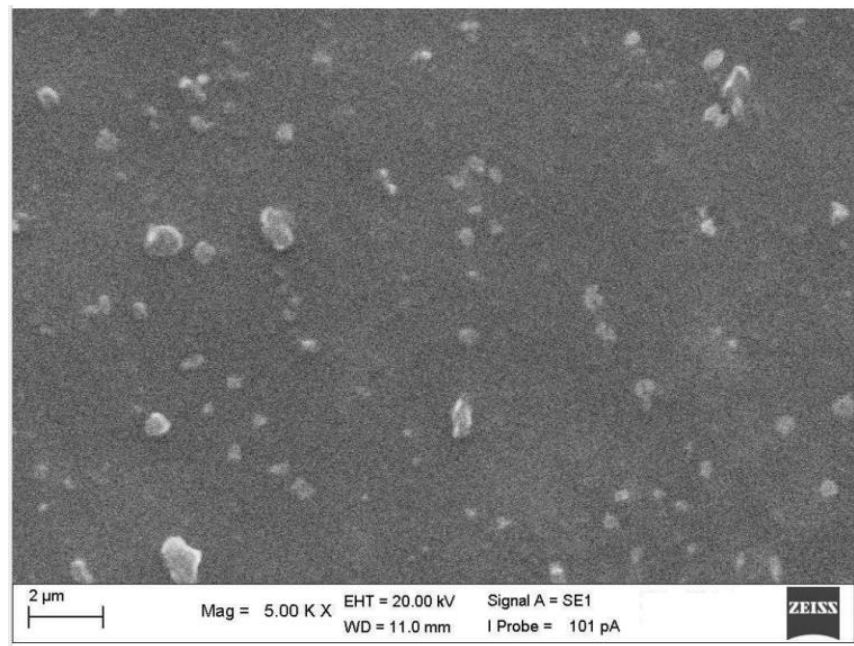
Gambar 3. Distribusi ukuran CNC

Selama proses hidrolisis asam, konsentrasi asam berpengaruh nyata terhadap pembentukan nanokristal selulosa dan ukuran partikel yang dihasilkan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa variasi konsentrasi asam menentukan tingkat degradasi selulosa selama sintesis, sehingga perlu dilakukan optimasi konsentrasi untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam dan stabil.

Citra morfologi permukaan nanokristal selulosa (CNC) hasil analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan bahwa partikel CNC memiliki permukaan kasar dan berpori. Kekasaran ini menandakan terjadinya degradasi lignin dan hemiselulosa selama proses sintesis. Permukaan berpori tersebut meningkatkan luas permukaan spesifik CNC dan menunjukkan potensi material ini untuk diaplikasikan sebagai bahan dasar pembuatan komposit.

Selain itu, hasil percobaan menunjukkan bahwa penambahan natrium klorida selama proses isolasi membantu melarutkan lignoselulosa, sehingga hemiselulosa lebih mudah terurai dalam air. Reaksi ini diikuti dengan pembentukan kompleks dan depolimerisasi yang meningkatkan kemurnian CNC.

Citra hasil analisis morfologi permukaan CNC disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Citra morfologi permukaan CNC

PEMBAHASAN

Sintesis dan Karakterisasi Nanokristal Selulosa (CNC)

Nanokristal selulosa (CNC) pada penelitian ini disintesis menggunakan metode hidrolisis asam, yang merupakan salah satu teknik paling efektif untuk memecah bagian amorf selulosa dan menghasilkan partikel berskala nano. Asam sulfat (H_2SO_4) berperan penting dalam memutus rantai selulosa dan mendispersikan nanokristal dalam sistem koloid.

Hasil analisis PSA menunjukkan ukuran partikel CNC berkisar antara 10–100 nm dengan rata-rata 30 nm. Variasi ukuran ini dapat disebabkan oleh ketidakseragaman reaksi hidrolitik pada serat selulosa. Fenomena serupa juga dilaporkan oleh Tiwari dan Sanjog (2025) yang menemukan bahwa hidrolisis asam yang tidak merata menghasilkan partikel dengan distribusi ukuran yang bervariasi.

Konsentrasi asam selama proses hidrolisis sangat memengaruhi karakteristik CNC. Berdasarkan kajian Wulandari et al. (2016), peningkatan konsentrasi asam menyebabkan penurunan indeks kristalinitas akibat degradasi berlebih pada struktur selulosa. Oleh karena itu, optimasi konsentrasi asam menjadi langkah penting untuk memperoleh CNC dengan keseimbangan antara ukuran partikel kecil dan kristalinitas tinggi.

Citra SEM menunjukkan permukaan CNC yang kasar dan berpori. Morfologi ini menunjukkan bahwa lignin dan hemiselulosa telah terdegradasi secara signifikan, sebagaimana dijelaskan oleh Zheng et al. (2019). Permukaan berpori meningkatkan luas permukaan spesifik CNC, menjadikannya ideal sebagai bahan penguat komposit maupun isolator termal. Hasil ini konsisten dengan temuan Babaei-Ghazvini et al. (2024) yang menyatakan bahwa peningkatan porositas nanoselulosa dapat memperbaiki sifat mekanik dan termal material komposit.

Selain itu, penambahan natrium klorida selama proses isolasi turut membantu melarutkan lignoselulosa dan memfasilitasi pelarutan hemiselulosa dalam air, sehingga kemurnian CNC meningkat (Tiwari & Sanjog, 2025). Proses delignifikasi dengan NaOH juga efektif menghilangkan lignin dan pektin pada permukaan serat, menghasilkan selulosa murni dengan rantai molekul yang lebih pendek dan reaktif.

Proses pemutihan menggunakan NaClO_2 menghasilkan massa berwarna putih, menandakan peningkatan kemurnian selulosa. Hasil ini mendukung laporan Zheng et al. (2019) yang menjelaskan bahwa klorit sebagai oksidator mampu memecah lignin dan meningkatkan derajat putih serat alami.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa serat kelapa sawit memiliki potensi tinggi sebagai bahan baku alternatif untuk produksi nanokristal selulosa. Dengan karakteristik ukuran partikel nano, struktur berpori, dan kemurnian tinggi, CNC yang dihasilkan sangat potensial dimanfaatkan pada berbagai aplikasi, seperti penguat biokomposit, isolator termal, dan bahan pengisi biopolimer ramah lingkungan.

SIMPULAN

Biomassa serat sawit kaya akan selulosa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan CNC. CNC hasil sintesis memiliki diameter nanopartikel rata-rata sebesar 30 nm. Ukuran partikel yang tidak seragam disebabkan oleh degradasi selama proses hidrolisis asam. Morfologi permukaan CNC terlihat kasar dan degradasi lignin dan hemiselulosa dalam proses sintesis CNC menyebabkan permukaan menjadi berpori. Hal ini menjadikan CNC potensial dalam mendukung material tahan panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alothman, O. Y., Kian, L. K., Saba, N., Jawaid, M., & Khiari, R. (2021). Cellulose nanocrystal extracted from date palm fibre: Morphological, structural and thermal properties. *Industrial Crops and Products*, 159, 113075. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113075>
- Babaei-Ghazvini, A., Vafakish, B., Patel, R., Falua, K. J., Dunlop, M. J., & Acharya, B. (2024). Cellulose nanocrystals in the development of biodegradable materials: A review on CNC resources, modification, and their hybridization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 258, 128834. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128834>
- Benzidane, M. A., Benzidane, R., Hamamousse, K., Adjal, Y., Sereir, Z., & Poilâne, C. (2022). Valorization of date palm wastes as sandwich panels using short rachis fibers in skin and petiole “wood” as core. *Industrial Crops and Products*, 177, 114436. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114436>
- Chen, Z., Li, Z., Lan, P., Xu, H., & Lin, N. (2022). Hydrophobic and thermal-insulating aerogels based on rigid cellulose nanocrystal and elastic rubber.

- Carbohydrate Polymers*, 275, 118708.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118708>
- Ji, Q., Zhou, C., Li, Z., Boateng, I. D., & Liu, X. (2023). Is nanocellulose a good substitute for non-renewable raw materials? A comprehensive review of the state of the art, preparations, and industrial applications. *Industrial Crops and Products*, 202, 117093. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117093>
- Le, W. T., Kankkunen, A., Rojas, O. J., & Yazdani, M. R. (2023). Leakage-free porous cellulose-based phase change cryogels for sound and thermal insulation. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 256, 112337. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2023.112337>
- Ma, X., Chen, X., Yu, H. Y., Dong, Y., Jin, M., Chen, X., & Wang, X. (2024). Facile preparation of cellulose nanocrystal/alumina oxide composite flame retardant with corn-like structure, superhigh heat insulation, and synergistic smoke suppression ability. *Industrial Crops and Products*, 208, 117867. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117867>
- Raza, M., Mustafa, J., Al-Marzouqi, A. H., & Abu-Jdayil, B. (2024). Isolation and characterization of cellulose from date palm waste using rejected brine solution. *International Journal of Thermofluids*, 21, 100548. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100548>
- Septevani, A. A., Evans, D. A. C., Annamalai, P. K., & Martin, D. J. (2017). The use of cellulose nanocrystals to enhance the thermal insulation properties and sustainability of rigid polyurethane foam. *Industrial Crops and Products*, 107, 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.039>
- Tiwari, A., & Sanjog, J. (2025). Morphological, structural, and thermal properties of cellulose nanocrystals extracted from Indian water chestnut shells (agricultural waste). *Next Materials*, 8, 100653. <https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2025.100653>
- Wang, H., Xia, B., Song, R., Huang, W., Zhang, M., Liu, C., Ke, Y., Yin, J. F., Chen, K., & Yin, P. (2023). Metal oxide cluster-assisted assembly of anisotropic cellulose nanocrystal aerogels for balanced mechanical and thermal insulation properties. *Nanoscale*, 15(11), 5469–5475. <https://doi.org/10.1039/d2nr06551g>
- Wulandari, W. T., Rochliadi, A., & Arcana, I. M. (2016). Nanocellulose prepared by acid hydrolysis of isolated cellulose from sugarcane bagasse. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 107(1), 012045. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/107/1/012045>
- Xing, L., Gu, J., Zhang, W., Tu, D., & Hu, C. (2018). Cellulose I and II nanocrystals produced by sulfuric acid hydrolysis of Tetra Pak cellulose I. *Carbohydrate Polymers*, 192, 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.042>
- Zheng, D., Zhang, Y., Guo, Y., & Yue, J. (2019). Isolation and characterization of nanocellulose with a novel shape from walnut (*Juglans regia* L.) shell

agricultural waste. *Polymers*, 11(7), 1130.
<https://doi.org/10.3390/polym11071130>