

Pengaruh konsentrasi asam sulfat pada sintesis nanokristal selulosa bonggol jagung

Nadiyya Nur Maulidanti, Abdul Malik Nurdin, Ai Fifih Luthfiah, dan Astri Senania*

Universitas Garut, Indonesia

Email: astri@uniga.ac.id

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh asam sulfat pada sintesis nanokristal selulosa dari bonggol jagung. Isolasi selulosa dari bonggol jagung dilakukan dengan dua tahap yaitu delignifikasi yang dengan menggunakan NaOH dan bleaching dengan NaOCl. Sintesis nanokristalin selulosa dilakukan dengan menggunakan metode hidrolisis asam sulfat dengan variasi konsentrasi pada suhu 45°C selama 120 menit. Nanokristalin yang diperoleh dikarakterisasasi nilai kristalinitas dan ukuran kristal menggunakan analisis XRD dan identifikasi gugus fungsi dengan menggunakan FTIR. Hasil penelitian menunjukkan asam sulfat dapat mempengaruhi hasil sintesis dengan teridentifikasi adanya gugus S=O pada permukaan karena adanya perekatan gugus dari H₂SO₄. Nilai kristalinitas selulosa terbesar diperoleh pada konsentrasi asam sulfat 60% menghasilkan nanokristal selulosa dengan nilai kristalinitas sebesar 89,63%, sedangkan ukuran nanokristal terkecil (0,88 nm) dapat diperoleh pada konsentrasi 55%.

Kata Kunci: *bonggol jagung, hidrolisis asam, nanokristal selulosa*

Effect of sulfuric acid concentration on the synthesis of cellulose nanocrystals of corncob

Abstract: This study aimed to identify the effect of sulfuric acid on the synthesis of cellulose nanocrystals from corn cob. Cellulose isolation from corn cob was carried out in two stages: delignification using NaOH and bleaching with NaOCl. Cellulose nanocrystals were synthesized using sulfuric acid hydrolysis with varying concentrations at 45°C for 120 minutes. The obtained nanocrystals were characterized for crystallinity and crystal size using X-ray diffraction (XRD) analysis, and functional groups were identified using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). The results indicate that sulfuric acid affects the synthesis outcome, as evidenced by the presence of S=O groups on the surface due to the bonding of H₂SO₄ groups. The highest cellulose crystallinity was achieved at a sulfuric acid concentration of 60%, resulting in cellulose nanocrystals with a crystallinity value of 89.63%. The smallest nanocrystal size (0.88 nm) was obtained at a concentration of 55%.

Keywords: *corn cob, acid hydrolysis, nanocrystalline cellulose*

How to Cite (APA 7th Style): Maulidanti, N. N., Nurdin, A. M., Luthfiah, A. F., & Senania, A. (2024). Pengaruh konsentrasi asam sulfat pada sintesis nanokristal selulosa bonggol jagung. *Jurnal Penelitian Saintek*, 29(1), 23-30. <http://dx.doi.org/10.21831/jps.v1i1.67993>

PENDAHULUAN

Jagung (*Zea mays*) merupakan tanaman yang paling banyak ditemui ketersediaannya. Tanamaan jagung terdiri dari tangkai, bonggol, daun dan sekam (Smyth *et al.*, 2017). Produksi jagung di Indonesia pada tahun 2022 sebanyak 25,18 juta ton. Dalam 10 tahun terakhir, produksi

jagung meningkat 42,73 persen dibandingkan 2012 sebesar 17,64 juta ton. Pertumbuhan produksi tahun 2022 dibandingkan tahun 2012 terjadi di seluruh wilayah Indonesia (Saragih *et al.*, 2023). Hasil panen jagung hanya dimanfaatkan bijinya untuk keperluan pangan sedangkan bagian jagung lain seperti daun dan bonggol hanya dijadikan sebagai pakan ternak atau tidak dimanfaatkan sama sekali. Hal ini dapat menimbulkan masalah pada lingkungan.

Bonggol jagung yang tersusun dari serat lignoselulosa dapat dimanfaatkan sebagai bahan kekuatan dalam komposit polimer (Ditzel *et al.*, 2017). Kandungan kimia dalam bonggol jagung tersusun dari 44.1% selulosa, 32.7% hemiselulosa dan 19.9% lignin (Shao *et al.*, 2020). Selulosa sebagai kandungan yang berlimpah dan keterbaharuan biopolimer di alam dengan struktur kristalin dan amorf yang tersusun oleh ikatan kimia β -1,4-glikosidik (Zeni *et al.*, 2015). Selulosa memiliki sifat tidak beracun, mudah terurai dan sifat mekanik yang baik. Selain itu, selulosa memiliki pengaplikasian yang luas seperti pada kosmetik, makanan dan industri farmasi (Fan *et al.*, 2017; Kuang *et al.*, 2018). Studi saat ini banyak memanfaatkan selulosa murni sebagai aplikasi dalam nanopartikel. Salah satu penelitian dalam sintesis nanoselulosa adalah nanokristalin selulosa.

Nanokristal selulosa (NKS) menunjukkan bentuk seperti batang memanjang dan memiliki fleksibilitas yang sangat terbatas dibandingkan dengan nanofiber selulosa, karena kristalinitasnya yang lebih tinggi. Nanokristal juga dikenal sebagai selulosa nanokristalin, nanowhisiker, nanorod, dan kristal selulosa seperti batang. Partikel nanokristalin dihasilkan dari pemisahan domain amorf, serta oleh pemutusan kontak kristal lokal antara nanofibril. Sintesis Nanokristal selulosa dapat dilakukan dengan berbagai proses yang berbeda dan menghasilkan bentuk serta ukuran nanoselulosa yang berbeda seperti metode mekanik, metode kimia dan metode biologi. Penentuan untuk mendapatkan ukuran nanokristal dapat dilakukan dengan metode kimia yaitu melalui hidrolisis dengan asam yang sangat pekat (Kargarzadeh *et al.*, 2017). Asam yang sering digunakan dalam produksi nanokristal selulosa adalah asam sulfat, asam klorida, atau asam fosfat. Suspensi nanokristal selulosa yang dihasilkan oleh hidrolisis asam sulfat lebih stabil daripada asam fosfat dan asam klorida (Abouzeid *et al.*, 2019). Proses kimia ini diikuti dengan perawatan mekanis atau ultrasonik berdaya tinggi, perlakuan mekanik dapat dilakukan untuk mendapatkan ukuran nanokristal yang seragam dengan memecah kembali partikel nanokristal yang telah tersusun. Karakteristik penting dari nanokristal selulosa yang diproduksi menggunakan asam sulfat yaitu adanya muatan partikel negatif akibat pembentukan gugus ester sulfat, sehingga meningkatkan stabilitas partikel nanokristalin (Kargarzadeh *et al.*, 2017).

Nanokristalin selulosa memiliki kristalinitas yang tinggi dengan diameter antara 2-20 nm dan panjang kurang dari 500 nm. Berdasarkan prinsipnya, pembentukan nanokristal selulosa adalah mengubah bagian amorf pada selulosa (Gallardo-Sánchez *et al.*, 2021). Hal yang perlu diperhatikan saat sintesis nanokristal seperti hidrolisis asam kuat dengan mengontrol kondisi suhu, waktu serta konsentrasi yang dapat menyerang daerah amorf selulosa dan meninggalkan daerah kristalin (Di Giorgio *et al.*, 2020).

Isolasi nanokristal selulosa umumnya dilakukan dalam tiga langkah. Langkah pertama adalah pemurnian bahan baku untuk menghilangkan komponen nonselulosa dari bahan tanaman dan untuk mengisolasi selulosa murni. Pemurnian dapat dilakukan misalnya, dengan natrium atau kalium hidroksida dengan tujuan untuk menghilangkan lignin pada sampel, tahapan ini disebut delignifikasi ataupun alkalinasi. Diikuti dengan pemutihan atau bleaching dengan natrium klorit dengan tujuan untuk membersihkan sisa lignin dan membersihkan hasil delignifikasi menjadi warna putih. Prosedur ini dapat diulang beberapa kali untuk pemurnian

selulosa yang lebih efektif. Langkah kedua adalah metode kimiawi umumnya metode yang digunakan dalam modifikasi nanokristal selulosa adalah hidrolisis asam, yang digunakan untuk membagi domain amorf, menghilangkan kontak kristal interfibril lokal, dan melepaskan nanokristal selulosa (Kargarzadeh *et al.*, 2017). Asam pekat yang digunakan pada metode hidrolisis asam dapat digunakan berbagai macam asam seperti asam sulfat, asam klorida ataupun asam fosfat. Untuk menunjukkan ukuran kristal serta tingkat kristalinitas nanokristal yang dihasilkan maka dapat dilakukan perbandingan variasi pada faktor yang mempengaruhi karakteristik seperti konsentrasi, suhu dan waktu (Di Giorgio *et al.*, 2020).

Adanya potensi bonggol jagung yang dapat menimbulkan masalah di lingkungan dan memiliki kandungan selulosa yang berlimpah, maka bonggol jagung dapat dimanfaatkan kandungan selulosanya dengan menjadikan bonggol jagung menjadi nanokristal selulosa pada hasil isolasi selulosa bonggol jagung. Harapannya, pemanfaatan bonggol jagung dapat menekan limbah hasil pertanian dan dapat menaikkan nilai guna dan nilai ekonomis pada bonggol jagung.

METODE

Tahapan penelitian ini meliputi pengeringan dan pembuatan serbuk bonggol jagung serta sintesis nanokristal selulosa dengan metode hidrolisis asam menggunakan asam sulfat yang divariasikan. Bahan-bahan yang digunakan yaitu Bonggol jagung yang diambil dari industri rumah tangga yang berada di Kecamatan Sukawening, Kabupaten Garut, NaOH (Merck), NaOCl (Merck 2.5%), H₂SO₄ (Merck, 98%), dan akuades.

Isolasi selulosa dilakukan melalui dua tahapan yaitu delignifikasi dengan tujuan untuk menghilangkan lignin dan pemutihan untuk membersihkan sisa lignin. Pada tahapan delignifikasi, serbuk bonggol jagung ditambahkan pada NaOH 20% yang telah dipanaskan dengan suhu 100°C dan waktu 3 jam dengan kecepatan 500 rpm, selanjutnya dicuci dengan air suling untuk menghilangkan komponen yang larut dalam alkali. Hasil delignifikasi selanjutnya ditambahkan NaOCl 1.5% dengan suhu 80°C dan waktu 2 jam pada kecepatan 500 rpm. Setelah dilakukan pemutihan selanjutnya dicuci dengan air suling dan dikeringkan.

Sintesis nanokristal selulosa dilakukan dengan metode hidrolisis asam yang divariasikan konsentrasinya (variasi konsentrasi 45, 50, 55, 60, dan 65%) dengan waktu 120 menit dan suhu 45°C dengan menggunakan asam sulfat. Rasio antara sampel dan asam adalah 1:10. Sampel dipanaskan dengan metode refluks selanjutnya diencerkan menjadi delapan kali lipat volume dengan air untuk menghentikan reaksi hidrolisis. Endapan dipisahkan setelah disentrifugasi pada 10.000 rpm sampai tercapai pH konstan.

Parameter yang diuji pada penelitian ini adalah analisis lignoselulosa dengan metode Chesson-Datta, identifikasi gugus fungsi yang diperoleh dari hidrolisis asam dengan asam sulfat, ukuran kristal pada nanokristal dan kristalinitas yang diperoleh. Analisis gugus fungsi dilakukan dengan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) tipe Shimadzu 8400. Analisis dilakukan pada kisaran bilangan gelombang 500-4000 cm⁻¹. Penentuan ukuran kristal dan kristalinitas diuji menggunakan XRD Rigaku Smart Lab. Penentuan ukuran kristal (*D_{hkl}*) dapat diperkirakan pada puncak maksimum kristal di bidang kisi selulosa yaitu 110 dan 200 dan ditentukan dengan menggunakan persamaan Scherrer Debye (Di Giorgio *et al.*, 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi selulosa dilakukan dengan proses delignifikasi dan bleaching. delignifikasi dilakukan dengan tujuann untuk menghilangkan lignin pada sampel, sehingga trerjadi

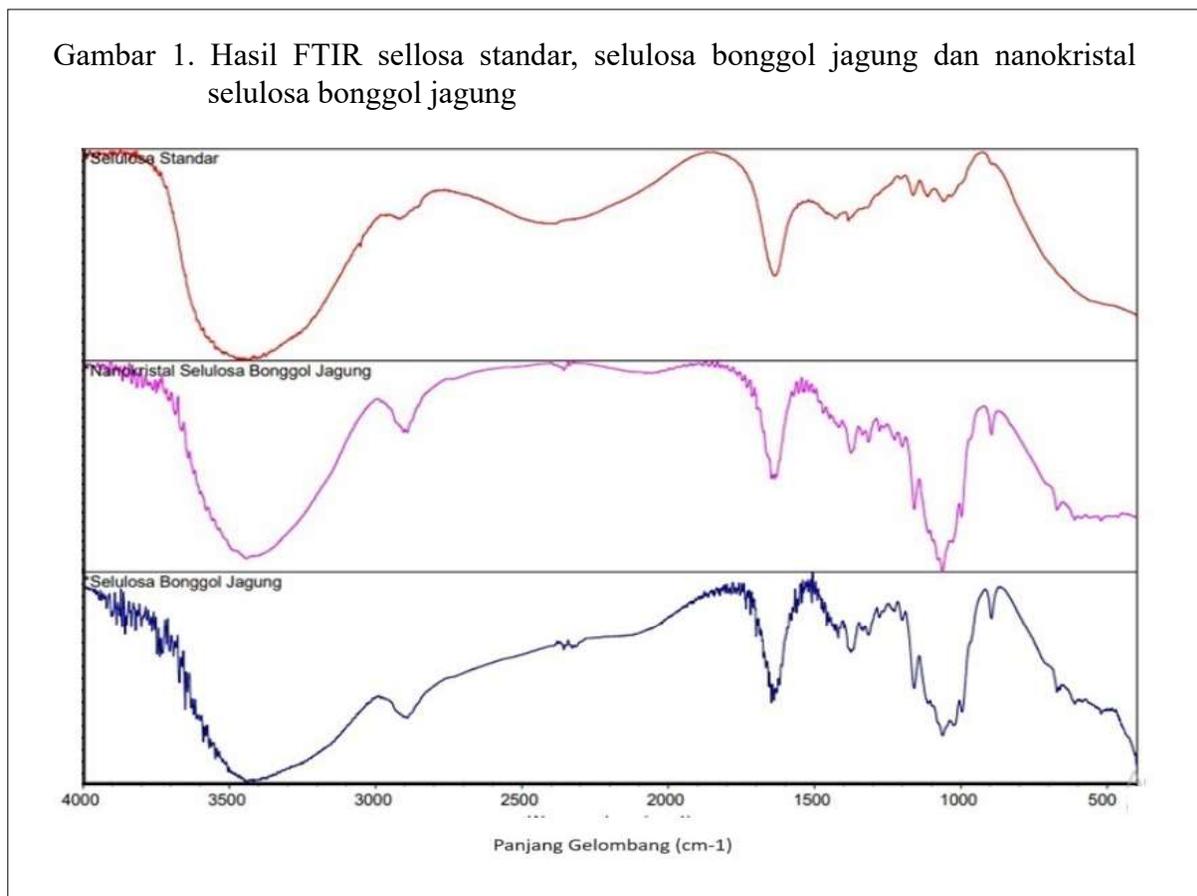
depolymerisasi pada selulosa sehingga membuat rantai selulosa lebih pendek (Heinze, 2016). Tahap ini terjadi pemutusan ikatan hidrogen sehingga serat lebih kasar. Delignifikasi atau biasa disebut alkalinasi dilakukan dengan menggunakan NaOH. Pada prinsipnya, penambahan NaOH pada tahap delignifikasi akan membuat ionisasi gugus OH pada serat sehingga akan menjadi alkalisasi (Thakur *et al.*, 2020). Selanjutnya proses *bleaching* atau pemutihan bertujuan untuk membersihkan sisa lignin pada sampel. Tahapan *bleaching* dapat menggunakan hidrogen peroksida atau dengan tambahan asam asetat seperti pada percobaan Marett *et al.* (2017), untuk menghilangkan sisa lignin pada tahap pemutihan dilakukan hingga selulosa menghasilkan massa yang berwarna putih (Marett *et al.*, 2017). Selain dengan menggunakan hidrogen peroksida, proses pemutihan dapat dilakukan dengan menggunakan NaOCl seperti percobaan yang dilakukan Kargadazeh *et al.* (2012). Hidrogen peroksida lebih efektif dari NaOCl, karena hanya membersihkan lignin pada bagian permukaan (Kargarzadeh *et al.*, 2012). Isolasi selulosa ini menghasilkan rendemen sebanyak 53,21%. Yield yang dihasilkan pada isolasi selulosa ini bernilai rendah. Menurut Wang *et al.* (2021) nilai yield yang rendah dan tingginya kandungan lignin pada sampel dapat mempengaruhi nilai selulosa yang rendah pada perlakuan pemutihan.

Komponen lignoselulosa (lignin, hemiselulosa, dan selulosa) dianalisis dengan menggunakan metode Chesson-Datta (Di Giorgio *et al.*, 2020). Penurunan berat kering (oven dry weight) setiap langkah fraksinasi memberikan fraksi berat komponen lignoselulosa utama: hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Berat kering ditentukan setelah pengeringan sampel pada suhu $105 \pm 3^\circ\text{C}$ selama 24 jam sesuai dengan metode TAPPI T264 cm tes standar-97. Berdasarkan data penentuan analisis komponen lignoselulosa pada bonggol jagung didapatkan nilai kandungan hemiselulosa sebesar 14%, selulosa 45% dan lignin 18%. Berdasarkan telaah ilmiah yang didapatkan nilai komponen lignoselulosa pada bonggol jagung yaitu 44.1% selulosa, 32.7% hemiselulosa dan 19.9% lignin (Shao *et al.*, 2020). Terdapat perbedaan yang cukup jauh pada nilai hemiselulosa antara penelitian dan telaah ilmiah. Hal ini diketahui bahwa hemiselulosa merupakan polisakarida yang dapat larut dalam larutan alkali. Sesuai dengan prosedur isolasi selulosa yang dilakukan pada bonggol jagung, dilakukan delignifikasi atau alkalinasi untuk menghilangkan lignin pada sampel. Proses tersebut dapat mempengaruhi nilai hemiselulosa pada sampel yang didapatkan karena sebagian hemiselulosa larut dalam NaOH sebagai pelarut yang bersifat alkali. Metode *bleaching* dipengaruhi oleh konsentrasi dan suhu, dimana pengulangan metode ini dapat mendegradasi kandungan selulosa pada sampel sehingga meningkatnya kadar lignin pada sampel (Wang *et al.*, 2021). Sesuai dengan pengujian kadar lignin yang dilakukan, kandungan selulosa bonggol jagung terdegradasi lebih besar dibandingkan dengan kandungan ligninnya.

Penentuan kandungan lignoselulosa pada sampel bertujuan untuk mengetahui perolehan selulosa yang didapatkan serta kandungan lignin yang dapat mempengaruhi sintesis nanokristal selulosa dengan metode hidrolisis asam apabila jika diketahui kadar lignin yang didapatkan tinggi. Lignin yang tidak terdegradasi secara sempurna dapat mempengaruhi perubahan warna pada saat hidrolisis, perubahan warna ini dapat menjadi berwarna coklat sampai hitam (Sabaruddin *et al.*, 2020). Menurut Sabaruddin *et al.* (2020) terdapat perbedaan antara sampel yang dilakukan pemutihan maupun tidak terhadap warna, sifat termo-mekanik, termal, dan sifat mudah terbakar.

Identifikasi gugus fungsi pada selulosa yang dihasilkan bertujuan untuk mengetahui perolehan penentuan selulosa yang dibandingkan dengan hasil FTIR selulosa standar. Gambar 1 menunjukkan perbandingan antara selulosa bonggol jagung dengan selulosa standar hasilnya memiliki gugus fungsi yang sama dengan daerah rentang panjang gelombang yang sama.

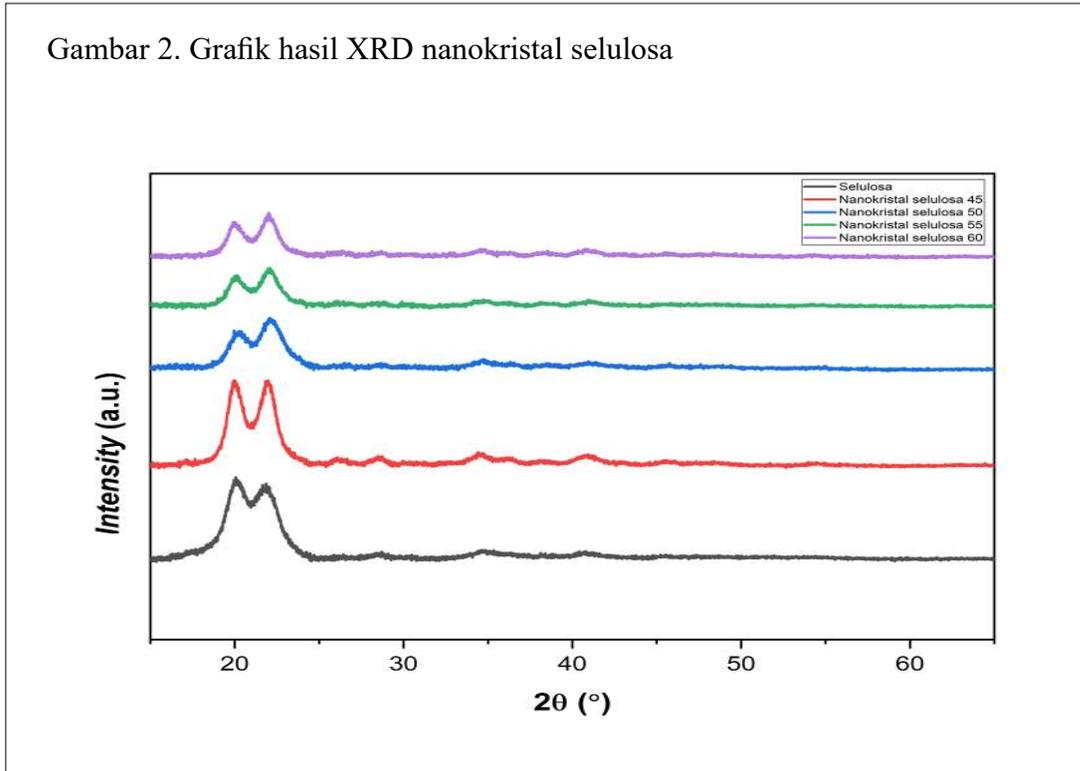
Gambar 1. Hasil FTIR selulosa standar, selulosa bonggol jagung dan nanokristal selulosa bonggol jagung



Panjang gelombang 3500 cm^{-1} menunjukkan gugus O-H stretching dengan intensitas lebih kuat pada selulosa standar, pada 2900 cm^{-1} terdapat C-H stretching dan 1600 cm^{-1} terdapat C=C stretching. Panjang gelombang tersebut teridentifikasi adanya getaran rantai aromatik pada lignin. Hasil FTIR nanokristal selulosa pun tidak jauh berbeda dengan selulosa yang diperoleh maupun standar, tetapi pada panjang gelombang $1200\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$ terdapat gugus S=O atau sulfat yang teridentifikasi karena penambahan asam sulfat saat tahapan sintesis. Perlakuan asam yang dilakukan pada sintesis nanokristal selulosa menunjukkan kemampuan mempertahankan struktur kristal selulosa yang tidak berubah.

Analisis XRD bertujuan untuk mengidentifikasi nilai kristalinitas yang dihasilkan pada nanokristal selulosa. Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 2. Dalam penelitian ini terdapat variasi konsentrasi nanokristal selulosa bonggol jagung, dimana analisa XRD dilakukan pada $15^{\circ}\text{-}65^{\circ}$. Pengolahan data untuk mengetahui nilai kristalinitas dilakukan menggunakan *software* OriginLab dengan menghitung intensitas kristalin. Struktur kristalin pada bidang kristal terdapat pada refleksi $2\theta=22,2\text{-}22,4^{\circ}$ sedangkan intensitas amorf ditunjukkan pada $2\theta=18^{\circ}$ (Fatriasari *et al.*, 2019). Diketahui dalam penelitian ini dihasilkan beberapa nilai kristalin nanokristal selulosa dan ukuran kristal bonggol jagung pada Tabel 1.

Hasil analisis menunjukkan perbedaan nilai kristalinitas pada variasi konsentrasi, nilai kristalinitas terbesar ditunjukkan oleh nanokristal selulosa 60%. Menurut telaah pustaka yang telah dilakukan semakin meningkat konsentrasi asam yang ditambahkan maka dapat meningkatkan nilai kristalinitas nanokristal selulosa (Fatriasari *et al.*, 2019). Jika dibandingkan dengan selulosa



Tabel 1

Nilai kristalinitas dan ukuran kritical pada variasi konsentrasi nanokristal Selulosa

Konsentrasi Asam sulfat (%)	Nilai Kristalinitas (%)	Ukuran Kristal (nm)
Selulosa standar	97,74	1,15
45	39,65	1,2
50	39,04	1,15
55	40,88	0,88
60	89,63	1,14
65	52,30	1,17

standar memiliki nilai yang cukup jauh. Nilai kristalinitas selulosa standar tanpa dilakukan hidrolisis asam sebesar 97,74%. Nilai kristalinitas selulosa yang telah dihidrolisis seharusnya mengalami peningkatan dibandingkan dengan selulosa yang belum dihidrolisis karena pada selulosa tanpa perlakuan hidrolisis asam masih mengalami pengikatan antara struktur amorf dan kristalin. Perbedaan ini menunjukkan adanya struktur amorf yang masih belum lepas dari struktur kristalin sehingga berpengaruh nilai kristalinitas. Nilai kristalinitas pada konsentrasi 65% menurun, karena pengaruh dari proses pencucian hasil bleaching yang kurang bersih. Adapun peningkatan konsentrasi H_2SO_4 yang lebih tinggi dapat menurunkan nilai kristalinitas pada selulosa karena struktur amorf dan kristalnya tidak terpisah secara sempurna.

Saat ini ukuran kristal banyak diusulkan karena lebih penting untuk menggambarkan struktur kristal dari selulosa (Tang *et al.*, 2014). Pengukuran nanokristal selulosa dilakukan

dengan menggunakan persamaan Debye Scherrer. Perhitungan ukuran kristal ini bertujuan untuk mengidentifikasi kemampuan H_2SO_4 yang dapat memperkecil ukuran selulosa dalam bentuk nanokristal (nm) dengan menggunakan hidrolisis asam. Berdasarkan tabel 1. tersebut dapat dijelaskan bahwa asam sulfat mampu memperkecil ukuran kristal selulosa dengan satuan nanometer. Ukuran terkecil didapatkan pada nanokristal selulosa 55%. Jika dibandingkan dengan ukuran kristal selulosa standar yang tidak mengalami hidrolisis, seharusnya ukuran kristal nanokristal selulosa dari konsentrasi yang lain mengalami penurunan pada setiap konsentrasinya karena ukuran kristal salah satu faktor yang mempengaruhinya adalah konsentrasi asam.

SIMPULAN

Sintesis nanokristal selulosa melalui hidrolisis asam sulfat dapat mempengaruhi hasil nilai kristalinitas dan ukuran kristal. Nilai kristalinitas yang meningkat dan terdapat penambahan gugus fungsi S-O pada hasil identifikasi gugus fungsi menggunakan FTIR. Nilai kristalinitas selulosa terbesar diperoleh pada konsentrasi asam sulfat 60% menghasilkan nanokristal selulosa dengan nilai kristalinitas sebesar 89,63%, sedangkan ukuran nanokristal terkecil (0,88 nm) dapat diperoleh pada konsentrasi 55%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan (Belmawa) di bawah Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi (Kemdikbudristek) yang telah memberikan wadah bagi mahasiswa untuk selalu berinovasi serta bantuan dana hibah/research grant yang menunjang penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Universitas Garut atas bantuan berupa sarana dan prasarana yang mendukung berlangsungnya kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abouzeid, R. E., Khiari, R., El-Wakil, N., & Dufresne, A. (2019). Current state and new trends in the use of cellulose nanomaterials for wastewater treatment. *Biomacromolecules*, 20(2), 573-597. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.8b00839>
- Di Giorgio, L., Martín, L., Salgado, P. R., & Mauri, A. N. (2020). Synthesis and conservation of cellulose nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*, 238, 116187. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116187>
- Ditzel, F. I., Prestes, E., Carvalho, B. M., Demiate, I. M., & Pinheiro, L. A. (2017). Nanocrystalline cellulose extracted from pine wood and corncob. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1577-1585. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.036>
- Fan, G.-Z., Wang, Y.-X., Song, G.-S., Yan, J.-T., & Li, J.-F. (2017). Preparation of microcrystalline cellulose from rice straw under microwave irradiation. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(22). <https://doi.org/10.1002/app.44901>
- Fatriasari, W., Masruchin, N., & Hermiati, E. (2019). *Selulosa: Karakteristik dan pemanfaatannya*. Penerbit BRIN.
- Gallardo-Sánchez, M. A., Diaz-Vidal, T., Navarro-Hermosillo, A. B., Figueroa-Ochoa, E. B., Ramirez Casillas, R., Anzaldo Hernández, J., Rosales-Rivera, L. C., Soltero Martínez, J. F. A., García Enríquez, S., & Macías-Balleza, E. R. (2021). Optimization of the obtaining of cellulose nanocrystals from agave tequilana weber var. Azul Bagasse by acid hydrolysis. *Nanomaterials*, 11(2), 520. <https://doi.org/10.3390/nano11020520>

- Heinze, T. (2016). Cellulose: Structure and Properties. In O. J. Rojas (Ed.), *Cellulose Chemistry and Properties: Fibers, Nanocelluloses and Advanced Materials* (pp. 1–52). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/12_2015_319
- Kargarzadeh, H., Ahmad, I., Abdullah, I., Dufresne, A., Zainudin, S. Y., & Sheltami, R. M. (2012). Effects of hydrolysis conditions on the morphology, crystallinity, and thermal stability of cellulose nanocrystals extracted from kenaf bast fibers. *Cellulose*, *19*(3), 855–866. <https://doi.org/10.1007/s10570-012-9684-6>
- Kargarzadeh, H., Ioelovich, M., Ahmad, I., Thomas, S., & Dufresne, A. (2017). Methods for Extraction of Nanocellulose from Various Sources. *Handbook of Nanocellulose and Cellulose Nanocomposites, 1*, 1-49. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527689972.ch1>
- Kuang, Y., Chen, C., Pastel, G., Li, Y., Song, J., Mi, R., Kong, W., Liu, B., Jiang, Y., Yang, K., & Hu, L. (2018). Conductive cellulose nanofiber enabled thick electrode for compact and flexible energy storage devices. *Advanced Energy Materials*, *8*(33), 1802398. <https://doi.org/10.1002/aenm.201802398>
- Marett, J., Aning, A., & Foster, E. J. (2017). The isolation of cellulose nanocrystals from pistachio shells via acid hydrolysis. *Industrial Crops and Products*, *109*, 869-874. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.039>
- Sabaruddin, F. A., Paridah, M. T., Sapuan, S. M., Ilyas, R. A., Lee, S. H., Abdan, K., Mazlan, N., Roseley, A. S. M., & Abdul Khalil, H. P. S. (2020). The effects of unbleached and bleached nanocellulose on the thermal and flammability of polypropylene-reinforced kenaf core hybrid polymer bionanocomposites. *Polymers*, *13*(1), 116. <https://doi.org/10.3390/polym13010116>
- Saragih, D. Y. E., Natalia, H., Pradityo, P. S., & Astuti, M. (2023). *Pemanfaatan Jagung lokal oleh industri pakan tahun 2022* (Vol. 4). Direktorat Pakan Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan Kementerian Pertanian RI.
- Shao, X., Wang, J., Liu, Z., Hu, N., Liu, M., & Xu, Y. (2020). Preparation and characterization of porous microcrystalline cellulose from corncob. *Industrial Crops and Products*, *151*, 112457. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112457>
- Smyth, M., García, A., Rader, C., Foster, E. J., & Bras, J. (2017). Extraction and process analysis of high aspect ratio cellulose nanocrystals from corn (*Zea mays*) agricultural residue. *Industrial Crops and Products*, *108*, 257-266. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.006>
- Tang, Y., Yang, S., Zhang, N., & Zhang, J. (2014). Preparation and characterization of nanocrystalline cellulose via low-intensity ultrasonic-assisted sulfuric acid hydrolysis. *Cellulose*, *21*(1), 335-346. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0158-2>
- Thakur, M., Sharma, A., Ahlawat, V., Bhattacharya, M., & Goswami, S. (2020). Process optimization for the production of cellulose nanocrystals from rice straw derived α -cellulose. *Materials Science for Energy Technologies*, *3*, 328-334. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.12.005>
- Wang, J., Wang, L., Gardner, D., Shaler, S., & Cai, Z. (2021). Towards a cellulose-based society: Opportunities and challenges. *Cellulose*, *28*. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03771-4>
- Zeni, M., Favero, D., Pacheco, K., & Grisa MC, A. (2015). Preparation of microcellulose (Mcc) and nanocellulose (Ncc) from eucalyptus kraft ssp pulp. *Polymer Sciences*, *1*(1), 1-5.