

Modifikasi Kristalinitas Selulosa II menjadi Selulosa III dari Eceng Gondok

Miranda Angeline^{1,2}, Sindy Amelia Saputri^{1,2}, Ely Kurniati^{1,2}

¹Departemen Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

²Laboratorium Material Maju, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: mirangeline10@gmail.com

Diterima: 23 Mei 2026

Disetujui: 30 Mei 2026

Abstract

Water hyacinth is one of the invasive plants that disrupt the environment. Analysis of cellulose content in water hyacinth (EG) showed results of 30.61% so that cellulose crystallinity modification was carried out. Delignification using a microwave power of 240 W with a variable concentration of 2% w/v NaOH for 6 minutes became the EGN sample (Cellulose in Water Hyacinth after Delignification). Modification of cellulose crystallinity using a magnetic stirrer with a stirring speed of 150 rpm produced EGNN (NH₄OH Treatment Water Hyacinth) with variable NH₄OH concentration and temperature. The results of the cellulose content test in EGN showed an increase of 37.31%. XRD results showed that most EGNN samples still resembled the characteristics of EGN, EGNN samples at a variable NH₄OH concentration of 25% v/v and temperature of 10 °C had the lowest crystallinity value. FTIR results on EG, EGN, and EGNN samples showed the presence of cellulose functional groups, namely -OH at 3320.8198 cm⁻¹, -CH at 2900.89616 cm⁻¹, and C-O at 1027.39068 cm⁻¹. NH₄OH treatment on water hyacinth cellulose tends to modify the degree of crystallinity rather than the crystalline phase, and does not change the main functional groups.

Keywords: *water hyacinth, cellulose III, cellulose modification, microwave-assisted delignification, NH₄OH treatment*

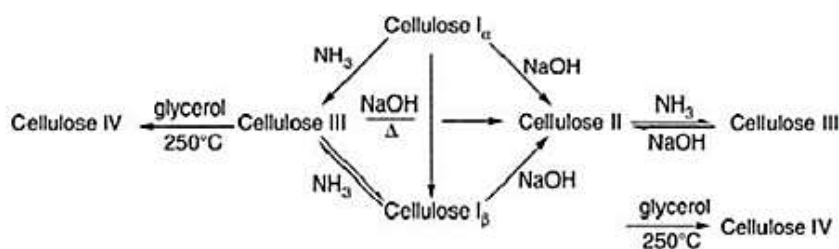
Abstrak

Eceng gondok merupakan salah satu tanaman invasif yang mengganggu lingkungan. Analisa kandungan selulosa pada eceng gondok (EG) menunjukkan hasil sebesar 30,61% sehingga dapat digunakan untuk modifikasi kristalinitas selulosa. Delignifikasi menggunakan microwave daya 240 W dengan variabel konsentrasi NaOH 2% w/v selama 6 menit menjadi sampel EGN (Selulosa pada Eceng Gondok setelah Delignifikasi). Modifikasi kristalinitas selulosa menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan pengadukan 150 rpm menghasilkan EGNN (Eceng Gondok Perlakuan NH₄OH) dengan variabel konsentrasi NH₄OH dan suhu. Hasil uji kandungan selulosa pada EGN menunjukkan kenaikan sebesar 37,31%. Hasil XRD menunjukkan sebagian besar sampel EGNN masih menyerupai karakteristik EGN, sampel EGNN pada variabel konsentrasi NH₄OH 25% dan suhu 10 °C memiliki nilai kristalinitas terendah. Hasil FTIR pada sampel EG, EGN, dan EGNN menunjukkan keberadaan gugus fungsi selulosa yaitu -OH pada 3320.8198 cm⁻¹, -CH pada 2900.89616 cm⁻¹, dan C-O pada 1027.39068 cm⁻¹. Perlakuan NH₄OH pada selulosa eceng gondok cenderung memodifikasi derajat kristalinitas daripada fase kristalin, serta tidak mengubah gugus fungsi utama.

Kata Kunci: *eceng gondok, selulosa III, modifikasi selulosa, delignifikasi microwave, perlakuan NH₄OH*

1. Pendahuluan

Eceng gondok (*Pontederia crassipes*) tumbuh dan menyebar dengan cepat di daerah beriklim hangat sehingga dianggap tanaman air terburuk di dunia, hal ini dikarenakan eceng gondok menghalangi pertumbuhan vegetasi alam dengan mencegah akses cahaya ke permukaan air [1]. Eceng gondok memiliki potensi besar sebagai sumber biomaterial, terutama dalam bentuk selulosa. Selulosa termasuk material semi-kristalin yang memiliki derajat kristalinitas bervariasi berdasarkan sumber dan metode ekstraksi, rasio antara bagian kristalin dan bagian amorf disebut derajat kristalinitas selulosa [2,3]. Berdasarkan struktur kristalinitasnya, selulosa dibagi menjadi selulosa I, II, III, dan IV. Selulosa I_β ditemukan pada tumbuhan, selulosa II diperoleh melalui proses delignifikasi selulosa I menggunakan NaOH, dan selulosa III_{II} berasal dari selulosa II dengan perlakuan NH₃ [4].



Gambar 1. Skema Transformasi Selulosa
Sumber: Hartati dkk. (2023)

Kristalinitas selulosa dapat dilihat berdasarkan data puncak difraksi XRD. Polimorf selulosa I memiliki puncak difraksi khas sekitar 14.88°, 16.68°, dan 22.40°, sedangkan 12.2°, 20.2°, dan 22.1° pada selulosa II [5]. Selulosa III memiliki puncak difraksi khas sekitar 20.1° dan 21.6° [6]. Spektra FTIR selulosa memiliki gugus fungsi utama yaitu -OH (3550-3200 cm⁻¹), -CH (3000-2850 cm⁻¹), dan -CO (1048-1036 cm⁻¹) [7]. Isolasi selulosa dilakukan untuk memperoleh selulosa murni dari tanaman dengan delignifikasi, proses ini berperan dalam meningkatkan kadar selulosa yang diisolasi [8,9]. Proses delignifikasi dengan proses merserisasi dengan bantuan gelombang microwave telah dilakukan selama 6 menit dengan daya 300 W [8], dengan alat *microwave* proses delignifikasi jauh lebih cepat dibandingkan delignifikasi konvensional. Berdasarkan skema transformasi selulosa [2], selulosa III_I dan III_{II} berasal dari selulosa I dan II dengan perlakuan amonia (NH₃) [4]. Modifikasi kristalinitas selulosa dapat dilakukan menggunakan NH₃ pada selulosa I dalam 5-30 menit [10]. NH₃ (amonia) dapat menembus selulosa dengan mudah dan bereaksi dengan gugus hidroksil setelah memutus ikatan hidrogen.

Meskipun molekul amonia tidak cukup besar untuk melarutkan selulosa, keberadaan amonia di dalam kristalit dapat memperbesar jarak antar rantai selulosa [11]. Adapun NH₃ yang larut dalam air membentuk NH₄OH sehingga sebagian besar amonia tetap dalam bentuk molekul netral, bukan dalam bentuk ion [12,13]. Molekul amonia yang tidak terionisasi ini dapat masuk ke dalam struktur selulosa dan berikatan dengan gugus hidroksil pada rantai polimer selulosa. Berdasarkan pengembangan dari penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi NH₄OH dan suhu operasi untuk mengetahui pengaruh terhadap pembentukan kristalinitas selulosa III.

2. Metode Penelitian

Bahan dan Rangkaian Alat

Penelitian dilakukan selama 8 bulan di Laboratorium Material Maju, UPN “Veteran” Jawa Timur. Bahan utama yang digunakan adalah eceng gondok yang diambil di Sungai Brantas, Sidoarjo. Proses delignifikasi selulosa menggunakan bahan kimia NaOH dengan rangkaian alat berupa *microwave*. Modifikasi kristalinitas selulosa menggunakan bahan kimia NH₄OH 25% dengan rangkaian alat berupa *magnetic stirrer* dilengkapi *ice bath*. Adapun H₂O digunakan sebagai pelarut bahan kimia.

Prosedur Penelitian

Preparasi Bahan

Eceng gondok dicuci dan dihilangkan getahnya sebelum dikeringkan dengan oven pada suhu 100 °C sampai bertekstur kering dan berwarna kecokelatan. Eceng gondok yang telah kering kemudian dicacah dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Sampel EG telah diperoleh dan digunakan pada proses delignifikasi.

Proses Delignifikasi

Sampel EG sebanyak 13.3 gr dicampurkan dengan larutan NaOH 2% w/v sebanyak 200 ml di dalam *beaker glass*, kemudian dimasukkan ke dalam *microwave* daya 240 W selama 6 menit. Sampel disaring untuk memisahkan antara selulosa dengan lignin, selanjutnya dicuci sampai pH filtrat sama dengan pH H₂O. Setelah itu, endapan dikeringkan dengan oven suhu 100 °C sampai mengering. Sampel EGN bertekstur bubuk telah diperoleh dan dilanjutkan pada proses perlakuan NH₄OH.

Perlakuan NH₄OH

Sampel EGN sebanyak 3 gr dicampurkan dengan larutan NH₄OH sebanyak 30 ml pada variabel konsentrasi 15%, 17.5%, 20%, 22.5%, dan 25% v/v menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 150 rpm selama 15 menit dengan variabel suhu 10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C, dan 30 °C. Suhu operasi dibawah 25 °C dijaga tetap stabil dengan meletakkan *beaker glass* di dalam *ice bath* diatas *magnetic stirrer* selama proses

dijalankan. Endapan sampel yang diperoleh setelah penyaringan selanjutnya dicuci sampai pH filtrat sama dengan pH H₂O. Sampel EGNN bertekstur bubuk diperoleh setelah pengeringan.

Karakterisasi Sampel

Analisa kandungan selulosa metode *chesson* dilakukan pada sampel EG dan EGN. Sampel EG, EGN, dan 5 sampel EGNN yaitu 15% 30 °C, 17.5% 25 °C, 20% 20 °C, 22.5% 15 °C, 25% 10 °C dilakukan pengujian XRD untuk menganalisis pola difraksi serta uji FTIR untuk menganalisis gugus fungsi dalam molekul.

3. Hasil dan Pembahasan

Modifikasi selulosa dilakukan menggunakan bahan baku eceng gondok yang telah melalui perlakuan alkali dengan larutan NaOH dan NH₄OH pada berbagai kondisi operasi. Data hasil penelitian kemudian dianalisis untuk mengkaji pengaruh konsentrasi NH₄OH serta suhu operasi terhadap karakteristik kristalin selulosa, khususnya yang berkaitan dengan perubahan derajat kristalinitas dan kecenderungan terbentuknya selulosa III₂. Adapun hasil yang diperoleh pada setiap tahapan proses yang dilakukan disajikan sebagai berikut:

Kadar Selulosa

Analisa kadar selulosa pada Eceng Gondok (EG) dilakukan sebagai tahapan awal untuk mengetahui karakteristik bahan baku dalam penelitian ini. Selanjutnya, dilakukan proses delignifikasi atau perlakuan NaOH terhadap eceng gondok yang disebut sebagai EGN. Hasil analisa dilakukan dengan metode *chesson* di Laboratorium Gizi Universitas Airlangga, berikut kandungan selulosa pada EG dan EGN dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Analisa Persentase Selulosa

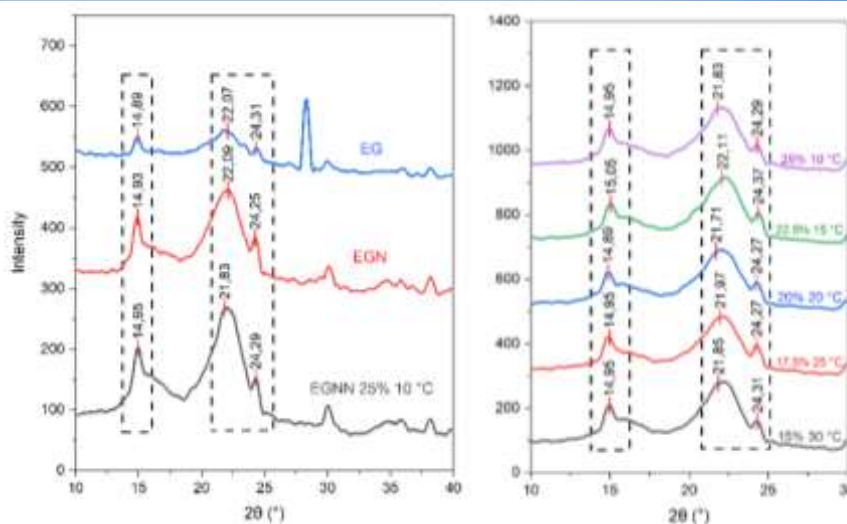
Nama	Kadar Selulosa (%)
EG (Eceng Gondok)	30,61
EGN (Eceng Gondok dengan perlakuan NaOH)	37,31

Berdasarkan hasil uji kadar kandungan selulosa awal pada EG sebesar 30,61%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa EG memiliki potensi sebagai sumber selulosa. Namun, EG juga mengandung komponen non-selulosa yaitu lignin dan hemiselulosa. Oleh karena itu, untuk memodifikasi struktur kristalinitas selulosa maka diperlukan proses lanjutan untuk meningkatkan kemurnian selulosa. Proses lanjutan dilakukan dengan delignifikasi dengan perlakuan NaOH terhadap eceng gondok, selanjutnya disebut sebagai EGN. Delignifikasi dilakukan dengan tujuan meningkatkan kadar selulosa melalui pengurangan komponen non-selulosa pada eceng gondok. Setelah proses delignifikasi, dilakukan analisa kandungan selulosa untuk mengevaluasi efektifitas proses. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar EGN meningkat menjadi 37,31%. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa delignifikasi berperan meningkatkan kemurnian selulosa. EGN akan digunakan sebagai bahan penelitian yaitu modifikasi kristalinitas selulosa.

XRD (X-Ray Diffraction)

Analisis X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk mengevaluasi perubahan karakteristik kristalinitas selulosa pada eceng gondok akibat perlakuan NH₄OH dan variasi suhu operasi, yang selanjutnya disebut sebagai EGNN. Hasil pola difraksi XRD untuk masing-masing variasi kondisi operasi disajikan pada **Gambar 2**.

Data yang telah diperoleh diolah menggunakan perangkat lunak Origin untuk selanjutnya dianalisis. Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 1(a), sampel EG menunjukkan puncak 2 θ pada 14,89°, 22,07°, dan 24,31°, sedangkan EGN menunjukkan puncak pada 14,93°, 22,09°, dan 24,25°. Pergeseran puncak 2 θ yang terjadi tidak signifikan, namun intensitas difraksi keduanya menunjukkan perbedaan yang cukup jelas. Perbedaan pola difraksi tersebut dipengaruhi oleh proses delignifikasi menggunakan NaOH yang bertujuan menghilangkan lignin dan hemiselulosa, sehingga meningkatkan kemurnian serta rasio kristalinitas selulosa dan menghasilkan puncak karakteristik selulosa yang lebih tajam [14]. Selanjutnya, EGNN 25% 10 °C menunjukkan puncak 2 θ pada 14,95°, 21,83°, dan 24,29°. Pergeseran puncak pada 21,83° menunjukkan adanya perubahan struktur kristalin akibat perlakuan NH₄OH, namun keberadaan puncak pada 24,29° mengindikasikan bahwa transformasi struktur belum berlangsung sempurna. Kesamaan pola difraksi antara EGN dan EGNN menunjukkan bahwa perlakuan NH₄OH hanya menghasilkan perubahan parsial pada struktur kristalin, sehingga EGNN masih didominasi oleh struktur selulosa II dan belum sepenuhnya berubah menjadi selulosa III.



Gambar 2. (a) Grafik Uji XRD EG (Eceng Gondok), EGN (Eceng Gondok dengan perlakuan NaOH), EGNN (EGN dengan perlakuan NH_4OH) 25% 10 °C; (b) Grafik Uji XRD EGNN (EGN dengan perlakuan NH_4OH) 25% 10 °C, 22.5% 15 °C, 20% 20 °C, 17.5% 25 °C, 15% 30 °C

Hasil analisis pada **Gambar 2** (b) menunjukkan pola XRD EGNN di berbagai kondisi operasi. Pola XRD EGNN di berbagai kondisi operasi secara umum memiliki bentuk dan posisi puncak yang relatif serupa. Hal ini mengindikasikan variasi kondisi operasi yang diterapkan belum mampu menghasilkan perubahan struktur kristalin yang signifikan. Puncak difraksi 2θ pada 24° merupakan karakteristik selulosa II, sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur yang terbentuk masih didominasi oleh selulosa II. Meskipun demikian, terdapat sedikit perubahan pada intensitas dan lebar puncak, yang mengindikasikan adanya gangguan pada daerah amorf [15]. Dengan demikian, perlakuan yang dilakukan cenderung hanya memengaruhi struktur non-kristalin tanpa menyebabkan transformasi fase kristal secara menyeluruh. Hal ini selanjutnya diperkuat oleh hasil perhitungan derajat kristalinitas selulosa yang disajikan pada **Tabel 2**.

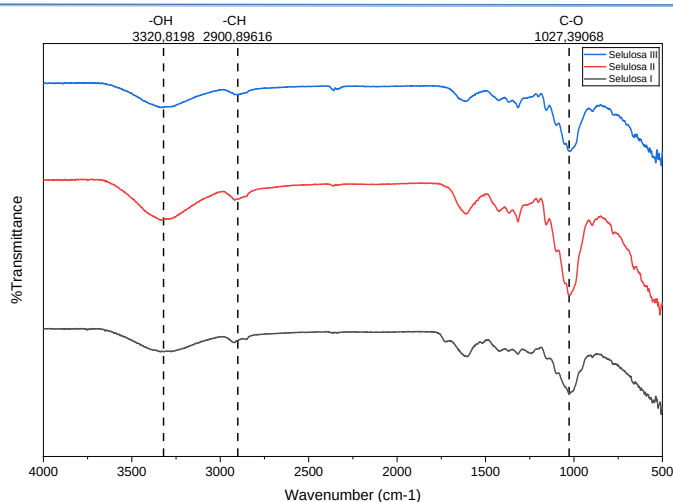
Tabel 2. Hasil Analisa Kandungan Selulosa

Sampel	Fraksi Area Kristalin	Fraksi Area Total	Kristalinitas (%)
EGN	1.746,12456	3.475,190881	50,25
EGNN 15% 30 °C	1.592,09717	3.833,416622	41,53
EGNN 17.5% 25 °C	1.301,27115	3.531,144991	36,85
EGNN 20% 20 °C	1.274,39523	3.681,30236	34,62
EGNN 22.5% 15 °C	1.328,49699	3.807,14615	34,89
EGNN 25% 10 °C	1.247,74747	3.720,711026	33,54

Berdasarkan **Tabel 2**, nilai derajat kristalinitas selulosa pada berbagai kondisi operasi menunjukkan adanya variasi. Kristalinitas EGN menunjukkan nilai tertinggi sekitar 50,25%. Hal ini terjadi karena proses delignifikasi menggunakan NaOH mampu menghilangkan komponen non-selulosa yaitu lignin dan hemiselulosa, sehingga fraksi selulosa menjadi lebih dominan. Selanjutnya untuk variasi kondisi operasi yang dilakukan kristalinitas terendah EGNN 25% 10 °C sekitar 33,54%. Sedangkan kristalinitas tertinggi pada EGNN 15% 30 °C sekitar 41,53%. Namun demikian, variasi tersebut tidak diikuti dengan perubahan posisi puncak difraksi XRD, sehingga struktur yang terbentuk masih didominasi oleh selulosa II. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan yang terjadi lebih berkaitan dengan gangguan pada daerah amorf dibandingkan dengan transformasi fase kristal.

FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

Analisa FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi senyawa kimia dan menganalisis gugus fungsi pada sampel selulosa. Hasil uji FTIR disajikan dalam bentuk spektrum serapan inframerah yang menunjukkan karakteristik ikatan kimia pada material yang dianalisis. Spektrum hasil uji FTIR ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Spektrum FTIR EG, EGN, dan EGNN 25% 10 °C

Berdasarkan hasil analisis FTIR, ketiga sampel yaitu EG, EGN, dan EGNN menunjukkan keberadaan gugus fungsi utama berupa -OH , -CH , dan C-O yang merupakan karakteristik khas struktur polisakarida selulosa. Terdapat pita serapan pada daerah -OH (sekitar $3550\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$) pada EG, EGN, dan EGNN. Pada EGN yang diperoleh melalui perlakuan NaOH mengalami perubahan yang berkaitan dengan reorganisasi struktur kristalin dari susunan paralel menjadi antiparalel, yang menyebabkan perubahan intensitas dan bentuk pita FTIR [16]. Pita pada daerah -CH (sekitar $3000\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$) tetap muncul pada ketiga sampel, namun mengalami perubahan intensitas yang berkaitan dengan perubahan derajat kristalinitas. Sementara itu, pita pada daerah C-O (sekitar $1048\text{--}1036\text{ cm}^{-1}$) juga teramati pada semua sampel dengan sedikit pergeseran yang menunjukkan adanya perubahan lingkungan struktur cincin glukopiranos. EGNN yang diperoleh melalui perlakuan NH_4OH , mulai menyebabkan pergeseran dan perubahan intensitas pita pada sistem ikatan hidrogen, terutama pada daerah O-H dan C-O , sebagai akibat dari masuknya molekul amonia yang memodifikasi struktur kristalin selulosa [7]. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa transformasi dari EG ke EGN lalu EGNN tidak mengubah gugus fungsi utama, namun dapat menyebabkan reorganisasi struktur kristalin dan ikatan hidrogen yang mempengaruhi sifat fisik dan kimia selulosa.

4. Kesimpulan

Variasi konsentrasi NH_4OH memberikan pengaruh terhadap nilai derajat kristalinitas selulosa, namun belum mampu secara signifikan menginduksi pembentukan struktur selulosa III. Hal ini ditunjukkan oleh pola difraksi XRD yang pada sebagian besar kondisi masih menyerupai karakteristik selulosa II. Berdasarkan nilai kristalinitas yang diperoleh, nilai terendah tercatat pada EGNN 25% 10 °C, yaitu sekitar 33,54%. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa kombinasi konsentrasi dan suhu tertentu dapat menyebabkan gangguan terhadap keteraturan struktur kristalin dalam sampel. Dengan demikian, baik konsentrasi NH_4OH maupun suhu operasi berpengaruh terhadap karakteristik kristalin selulosa, namun pengaruh tersebut lebih dominan dalam memodifikasi derajat kristalinitas dibandingkan dalam mengubah fase kristalin menjadi selulosa III. Analisa FTIR pada sampel EG, EGN, dan EGNN menunjukkan keberadaan gugus fungsi selulosa yaitu -OH pada 3320.8198 cm^{-1} , -CH pada $2900.89616\text{ cm}^{-1}$, dan C-O pada $1027.39068\text{ cm}^{-1}$. Perlakuan NH_4OH pada selulosa eceng gondok cenderung memodifikasi derajat kristalinitas daripada fase kristalin, serta tidak mengubah gugus fungsi utama.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih kepada pihak laboratorium di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Universitas Airlangga, dan Universitas Negeri Malang atas bantuan dalam pengujian penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

- [1] R. D. Ratnani, F. D. Arianti, and N. A. Sasongko, “Exploring the potential of water hyacinth weed (*Pontederia crassipes*) as an environmentally friendly antifungal to realize sustainable development in lakes: A review,” *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, p. 100702, 2024.

- <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100702>
- [2] N. Hartati, E. Kurniawan, M. Trisna, and I. Noviarni, "Isolasi, karakterisasi, dan aplikasi nanokristal selulosa," *JSSIT: Jurnal Sains dan Sains Terapan*, vol. 1, no. 2, pp. 29–38, 2023. <https://doi.org/10.30631/jssit.v1i2.19>
 - [3] W. Fatriasari, N. Masruchin, and E. Hermiati, *Selulosa: Karakteristik dan Pemanfaatannya. Indonesia: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)*, 2019.
 - [4] S. Gea and M. Harahap, *Selulosa Karakteristik dan Pemanfaatannya sebagai Biomaterial. Indonesia: USU Press*, 2018.
 - [5] A. D. French, "Idealized powder diffraction patterns for cellulose polymorphs," *Cellulose*, vol. 21, no. 2, pp. 885–896, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0030-4>
 - [6] R. Abdullah and S. Saka, "Hydrolysis behavior of various crystalline celluloses treated by cellulase of *Tricoderma viride*," *Cellulose*, vol. 21, pp. 4049–4058, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0410-4>
 - [7] A. H. Gao, M. V. Bule, D. D. Laskar, and S. Chen, "Structural and thermal characterization of wheat straw pretreated with aqueous ammonia soaking," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 60, no. 35, pp. 8632–8639, 2012. <https://doi.org/10.1021/jf301244m>
 - [8] J. Li, J. Tan, B. Zhang, C. Wei, P. Li, Y. Zhang, and J. Chen, "Microwave assisted pretreatment of urban green waste with more efficiency and less energy cost," *International Journal of Environmental Science and Technology*, pp. 1–16, 2025. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05736-z>
 - [9] T. Sumiati, S. Yuningtyas, and L. E. B. Haloho, "Delignifikasi lignoselulosa daun nanas sebagai sumber alfa selulosa," *Jurnal Farmamedika*, vol. 8, no. 2, pp. 130–137, 2023. <https://doi.org/10.47219/ath.v8i2.301>
 - [10] R. N. Goldberg et al., "A thermodynamic investigation of the cellulose allomorphs: Cellulose (am), cellulose I β (cr), cellulose II (cr), and cellulose III (cr)," *The Journal of Chemical Thermodynamics*, vol. 81, pp. 184–226, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2014.09.006>
 - [11] M. Lewin and L. G. Roldan, "The effect of liquid anhydrous ammonia in the structure and morphology of cotton cellulose," *Journal of Polymer Science Part C: Polymer Symposia*, vol. 36, no. 1, pp. 213–229, 1971. <https://doi.org/10.1002/polc.5070360115>
 - [12] N. Hikmah, "Analisis kadar ammonia (NH₃) di perairan sekitar pabrik karet daerah Banjarmasin menggunakan spektrofotometri visible," *Journal of Pharmaceutical Care Anwar Medika (J-PhAM)*, vol. 4, no. 1, pp. 20–30, 2021. <http://dx.doi.org/10.36932/jpcam.v4i1.38>
 - [13] M. J. Sanger and M. Danner, "Aqueous ammonia or ammonium hydroxide? Identifying a base as strong or weak," *Journal of Chemical Education*, vol. 87, no. 11, pp. 1213–1216, 2010. <https://doi.org/10.1021/ed100536n>
 - [14] T. Chaiwarit, B. Chanabodeechalermrung, N. Kantrong, C. Chittasupho, and P. Jantrawut, "Fabrication and evaluation of water hyacinth cellulose-composited hydrogel containing quercetin for topical antibacterial applications," *Gels*, vol. 8, no. 12, p. 767, 2022. <https://doi.org/10.3390/gels8120767>
 - [15] S. Nam, A. D. French, B. D. Condon, and M. Concha, "Segal crystallinity index revisited by the simulation of X-ray diffraction patterns of cotton cellulose I β and cellulose II," *Carbohydrate Polymers*, vol. 135, pp. 1–9, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.035>
 - [16] S. Y. Oh, D. I. Yoo, Y. Shin, and G. Seo, "FTIR analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide," *Carbohydrate Research*, vol. 340, pp. 2376–2391, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2004.11.027>