MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v6i5.12155

Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Isolasi dan Karakteristik FTIR Selulosa dari Sabut Kelapa

The Effect of NaOH Concentration on the Isolation and FTIR Characteristics of Cellulose from Coconut Coir

Sesti Wulandari & Sri Benti Etika
Universitas Negeri Padang
sribentietika67@gmail.com

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Aug 10, 2026	Sep 7, 2026	Sep 19, 2026	Sep 24, 2026

Abstract

Coconut coir is a lignocellulosic waste with potential as a source of cellulose for use as an adsorbent component. This study aimed to isolate cellulose from coconut coir and determine a suitable NaOH concentration for delignification based on yield and infrared spectral characteristics. Isolation involved prehydrolysis, delignification using 5%, 6%, and 7% NaOH, and bleaching. The yield of the isolated cellulose was calculated, and the cellulose was characterized using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The yields obtained with 5%, 6%, and 7% NaOH were 18.492%, 18.13%, and 17.3%, respectively. After treatment, the aromatic lignin C=C band at 1519.55 cm^{-1} and the band at 1246.18 cm^{-1} observed before treatment were no longer identified, whereas the O–H, C–H, and C–O/C–O–C groups remained identifiable. With 7% NaOH, a band at 899.09 cm^{-1} associated with the β-glycosidic bonds of cellulose was also observed. Based on the observed FTIR characteristics, 7% NaOH was selected as the optimum concentration under the conditions of this study, despite producing the lowest yield. The isolated cellulose has potential for development as an adsorbent component for the treatment of dyes and heavy metals.

Keywords: Coconut Coir; Cellulose; Delignification; Sodium Hydroxide; FTIR.

Abstrak: Sabut kelapa merupakan limbah lignoselulosa yang berpotensi menjadi sumber selulosa untuk bahan penyusun adsorben. Penelitian ini bertujuan mengisolasi selulosa dari sabut kelapa dan menentukan konsentrasi NaOH yang sesuai untuk proses delignifikasi berdasarkan rendemen dan karakteristik spektrum inframerah. Isolasi dilakukan melalui prehidrolisis, delignifikasi menggunakan NaOH 5%, 6%, dan 7%, serta pemutihan (*bleaching*). Selulosa yang diperoleh dihitung rendemennya

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

dan dikarakterisasi menggunakan *Fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR). Rendemen pada perlakuan NaOH 5%, 6%, dan 7% masing-masing sebesar 18,492%, 18,13%, dan 17,3%. Setelah perlakuan, pita C=C aromatik lignin pada 1519,55 cm^{-1} dan pita pada 1246,18 cm^{-1} yang teramati sebelum perlakuan tidak lagi teridentifikasi, sedangkan gugus O–H, C–H, dan C–O/C–O–C tetap teridentifikasi. Pada perlakuan NaOH 7%, teramati pula pita pada 899,09 cm^{-1} yang berkaitan dengan ikatan β-glikosidik selulosa. Berdasarkan karakteristik FTIR yang diamati, NaOH 7% dipilih sebagai konsentrasi optimum dalam kondisi penelitian ini, meskipun menghasilkan rendemen terendah. Selulosa hasil isolasi berpotensi dikembangkan sebagai bahan penyusun adsorben untuk pengolahan zat warna dan logam berat.

Kata Kunci: Sabut Kelapa; Selulosa; Delignifikasi; Natrium Hidroksida; FTIR.

PENDAHULUAN

Akses terhadap air yang bersih, aman, dan andal merupakan kebutuhan mendasar bagi kesehatan dan kesejahteraan masyarakat. Namun, seiring dengan terus berkembangnya masyarakat serta dampaknya terhadap lingkungan dan ekosistem di sekitarnya, ketersediaan air bersih semakin langka di seluruh dunia. Sekitar 300 juta ton senyawa sintetis yang digunakan setiap tahunnya berakhir di perairan tawar (Jemai *et al.*, 2023). Pencemaran air merupakan salah satu masalah lingkungan serius akibat terbatasnya sumber air bersih. Selama beberapa tahun terakhir, aktivitas industri dan pertanian, mengalami peningkatan yang signifikan sehingga menghasilkan limbah berbahaya berupa anion beracun anorganik, sintesis pewarna, pestisida, dan logam berat (Hamidon *et al.*, 2022). Industri tekstil merupakan salah satu penyumbang utama pencemaran karena menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar seiring dengan meningkatnya aktivitas produksi (Omwoyo & Otieno, 2024).

Berbagai metode konvensional telah digunakan untuk mengolah air limbah yang mengandung zat warna, di antaranya koagulasi, proses elektrokimia, *reverse osmosis*, nanofiltrasi, dan metode lainnya (Shindhal *et al.*, 2020). Meskipun demikian, metode-metode tersebut umumnya memerlukan biaya operasional yang tinggi dan memiliki efisiensi yang terbatas dalam beberapa kondisi (Shindal *et al.*, 2016). Dibandingkan dengan metode pengolahan lainnya, adsorpsi lebih banyak dipilih karena memiliki proses yang sederhana, efisiensi yang tinggi, dan biaya relatif rendah (Bendary *et al.*, 2021). Oleh karena itu, banyak penelitian mengembangkan adsorben berbiaya rendah dengan memanfaatkan limbah organik sektor pertanian.

Sabut kelapa dipilih sebagai bahan baku sumber selulosa karena memiliki kandungan selulosa yang cukup melimpah. Selain itu sabut kelapa merupakan salah satu limbah padat

yang dihasilkan dalam jumlah besar di Indonesia, dengan volume produksi mencapai lebih dari 7 juta ton setiap tahunnya. Di Indonesia, masyarakat masih belum memanfaatkan sabut kelapa secara optimal sehingga limbah tersebut sering dibiarkan tanpa pengolahan yang memadai. Pada umumnya, masyarakat lebih banyak memanfaatkan daging dan air kelapa. Sabut kelapa merupakan hasil samping buah kelapa yang kaya akan serat dan sering dianggap sebagai limbah. Sabut kelapa mengandung komponen utama berupa selulosa, hemiselulosa dan lignin. (Rahayu *et al*., 2022). Sabut kelapa mengandung sekitar 34,96% lignin, 30,86% selulosa, dan 30% hemiselulosa (Fatmawati *et al*., 2023). Masyarakat masih memanfaatkan sabut kelapa secara terbatas sebagai bahan bakar dan bahan dasar kerajinan tangan. Padahal, sabut kelapa memiliki nilai ekonomi karena mengandung selulosa dalam jumlah yang cukup tinggi. Selulosa merupakan polimer alami yang tersedia di alam, bersifat ekonomis, dapat diperbarui, serta mudah mengalami biodegradabilitas (Natajaya *et al*., 2024). Sifat mekaniknya yang baik menjadikan serat selulosa banyak dimanfaatkan sebagai penguat dalam material komposit. Selain itu, serat selulosa memiliki beberapa keunggulan lain, seperti luas permukaan yang tinggi, densitas yang rendah, ramah lingkungan karena dapat terurai secara hayati, serta mudah dimodifikasi secara kimia. (Amiralian *et al*., 2020). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperoleh selulosa dari sabut kelapa adalah melalui proses isolasi (Rahayu *et al*., 2022).

Proses isolasi selulosa dilakukan dengan memisahkan komponen penyusun biomassa melalui perlakuan asam atau basa, yang umumnya diawali dengan tahap delignifikasi untuk melarutkan lignin pada sabut kelapa. Pemanasan selama proses delignifikasi dapat mempercepat pelarutan lignin dari sabut kelapa. Pada penelitian ini, proses delignifikasi sabut kelapa menggunakan larutan NaOH karena perlakuan alkali dapat menghasilkan karakteristik selulosa yang berbeda sesuai dengan jenis bahan baku yang digunakan (Hutomo *et al*., 2012). Selulosa merupakan komponen utama penyusun dinding sel tumbuhan yang memiliki struktur padat dan berpori sehingga mampu menyerap zat di sekitarnya (Maryudi *et al*., 2021). Tahap *phretreatment* bertujuan menurunkan kadar lignin dalam sabut kelapa agar selulosa lebih mudah diperoleh (Kurniaty *et al*., 2017). Metode delignifikasi alkali dipilih karena metode tersebut lebih efektif dalam menghilangkan lignin dan meningkatkan keterbukaan struktur selulosa dibandingkan metode lainnya (Ravindran & Jaiswal, 2016). Perlakuan menggunakan NaOH dapat memutus ikatan xilan dan lignin sehingga porositas lignoselulosa meningkat. Selain itu, perlakuan NaOH juga dapat menghilangkan bagian amorf pada biomassa sehingga luas permukaan internal dan derajat kristalinitas selulosa meningkat (Zhao *et al*., 2017).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisolasi selulosa dari sabut kelapa menggunakan variasi konsentrasi NaOH masing-masing 5%, 6%, dan 7% serta mengevaluasi hasil isolasi untuk menentukan konsentrasi NaOH yang menghasilkan selulosa dengan karakteristik terbaik dan berpotensi digunakan sebagai adsorben zat warna dan juga logam berat.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif eksperimental yang dilakukan di laboratorium untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi natrium hidroksida (NaOH) terhadap proses isolasi selulosa dari sabut kelapa.

Pada penelitian ini peralatan yang digunakan adalah peralatan gelas kimia, botol semprot, pipet tetes, batang pengaduk, kertas saring, pH meter (MR *Hei Standart*), *hot plate*, oven, neraca analitik (ABS 220-4), blender, *shaker* (VRN-480), *magnetic stirrer*, (MR Hei Standart) ayakan 100 mesh dan instrumen yang digunakan adalah FTIR (*PerkinElmer*). Sedangkan bahan-bahan yang digunakan adalah sabut kelapa, NaOH 5%, 6% dan 7%, H_2O_2 5%, aquades.

Sabut kelapa dibersihkan, dikeringkan, dihaluskan, dan diayak hingga ukuran 100 mesh. Sebanyak 5 g sampel diprehidrolisis menggunakan 300 mL aquades pada suhu 100 °C selama 1 jam, kemudian disaring. Selanjutnya, sampel dideliginifikasi masing-masing menggunakan NaOH 5%, NaOH 6% , dan NaOH 7% dengan rasio 1:30 (b/v) pada suhu 80 °C selama 1,5 jam. Sampel kemudian disaring dan dicuci dengan aquades hingga filtrat netral. Proses *bleaching* dilakukan menggunakan H_2O_2 5% pada rasio 1:30 (b/v), dengan pH 11–12 yang disesuaikan menggunakan NaOH 5%, kemudian dipanaskan pada suhu 80 °C selama 1 jam. Sampel hasil *bleaching* disaring dan dicuci hingga filtrat netral, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 45 °C hingga diperoleh bobot konstan. Selulosa yang diperoleh selanjutnya dikarakterisasi menggunakan FTIR.

HASIL

1. Hasil Isolasi Selulosa pada Berbagai Konsentrasi NaOH

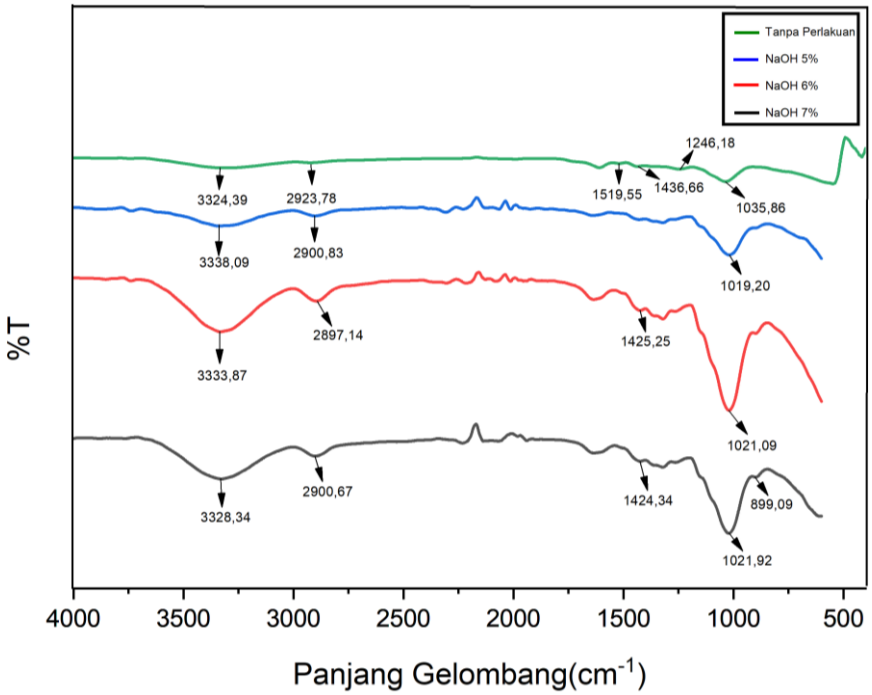
Tabel 1. Massa dan Rendemen Selulosa Hasil Isolasi pada Berbagai Konsentrasi NaOH

Konsentrasi NaOH	Massa Awal (g)	Berat Selulosa Akhir (g)	Rendemen (%)
5%	5	0,9246	18,492
6%	5	0,9065	18,13
7%	5	0,865	17,3

Berdasarkan Tabel 1, hasil isolasi selulosa menunjukkan bahwa massa yang diperoleh pada perlakuan NaOH 5%, 6%, dan 7% berturut-turut sebesar 0,9246 g, 0,9065 g, dan 0,865 g. Rendemen selulosa yang diperoleh pada masing-masing konsentrasi NaOH berturut-turut sebesar 18,492%, 18,13%, dan 17,3%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa massa dan rendemen selulosa mengalami penurunan seiring dengan peningkatan konsentrasi NaOH dari 5% hingga 7%.

2. Hasil FTIR

Analisis FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi pada sabut kelapa sebelum dan setelah perlakuan NaOH 5%, 6%, dan 7%. Spektrum FTIR masing-masing sampel disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum FTIR sabut kelapa tanpa perlakuan dan selulosa hasil perlakuan NaOH 5%, 6%, dan 7%

Berdasarkan gambar , spektrum sampel sebelum perlakuan menunjukkan pita serapan pada daerah 3324,39; 2923,78; 1519,55; 1436,66; 1246,18; dan 1035,86 cm^{-1},

sedangkan setelah perlakuan NaOH terdapat perubahan posisi dan kemunculan atau hilangnya beberapa pita serapan.

Tabel 2. Identifikasi gugus fungsi FTIR sabut kelapa sebelum dan setelah perlakuan dengan NaOH 5%, 6%, dan 7%

Gugus Fungsi	Sebelum Perlakuan	NaOH 5%	NaOH 6%	NaOH 7%
O-H stretching	3324,39	3338,09	3333,87	3328,34
C-H stretching	2923,78	2900,83	2897,14	2900,67
Lignin (C=C aromatik)	1519,55	-	-	-
O-H/CH_2 bending	1436,66	-	1425,25	1424,34
O-H in-plane	1246,18	-	-	-
C-O/C-O-C	1035,86	1019,2	1021,09	1021,92
β-glikosidik	-	-	-	899,09

Identifikasi pita serapan FTIR pada sabut kelapa sebelum dan setelah perlakuan NaOH 5%, 6%, dan 7% disajikan pada Tabel 2.

PEMBAHASAN

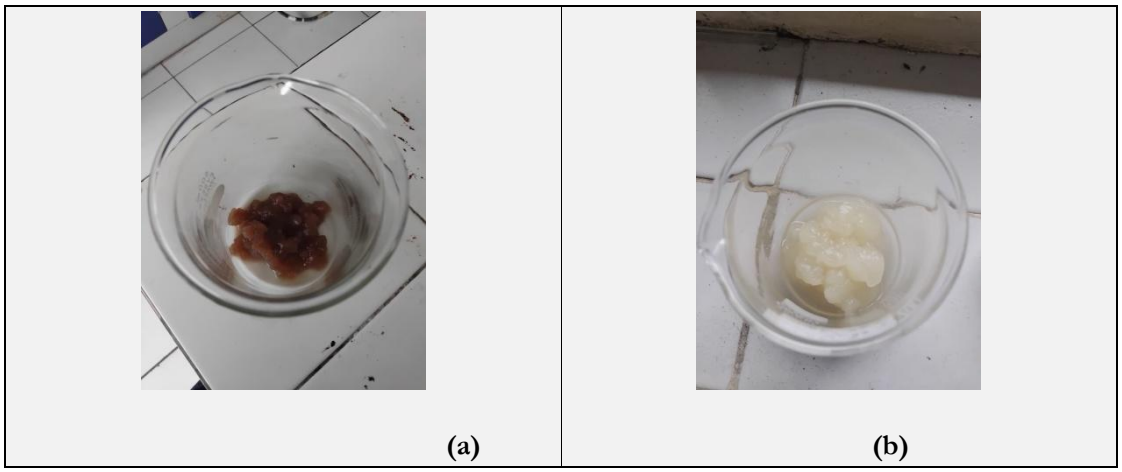
1. Proses Isolasi Selulosa dari Sabut Kelapa

Proses isolasi selulosa dari sabut kelapa dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu, delignifikasi menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi 5%, 6%, dan 7%, serta *bleaching* menggunakan Hidrogen Peroksida (H_2O_2). Perlakuan alkali tahap delignifikasi bertujuan untuk mengurangi komponen non-selulosa, terutana lignin dan sebagian hemiselulosa, sehingga fraksi selulosa menjadi lebih dominan. Penggunaan perlakuan alkali pada biomassa lignoselulosa efektif dalam membantu pemisahan lignin dari matriks selulosa (Kaur *et al*., 2025). Selamjutnya tahap *bleaching* dilakukan untuk melanjutkan penghilangan lignin dan komponen berwarna yang masih tersisa setelah perlakuan alkali.

Berdasarkan Tabel 1, peningkatan konsentrasi NaOH dari 5% hingga 7% menyebabkan penurunan massa dan rendemen selulosa. Rendemen selulosa yang diperoleh pada konsentrasi NaOH 5%, 6%, dan 7% berturut-turut sebesar 18,492%, 18,13%, dan 17,3%. Penurunan rendemen tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi alkali tidak hanya meningkatkan penghilangan komponen non-selulosa, tetapi juga dapat meningkatkan pelarutan sebagian komponen karbohidrat selama proses delignifikasi. Perlakuan alkali dengan konsentrasi yang semakin tinggi dapat menyebabkan pemutusan

ikatan pada matriks lignoselulosa serta meningkatkan pelarutan fraksi yang bersifat larut dalam alkali. Kondisi tersebut menyebabkan massa padatan yang tersisa setelah proses delignifikasi menjadi lebih rendah.

Setelah perlakuan alkali, proses *bleaching* menggunakan H_2O_2 untuk melanjutkan penghilangan komponen berwarna dan sisa lignin yang masih terdapat pada serat. Tahap *bleaching* penting dilakukan karena perlakuan alkali tidak selalu mampu menghilangkan seluruh komponen non-selulosa. Penelitian pada sabut kelapa menunjukkan bahwa *bleaching* menggunakan H_2O_2 dapat mendukung proses delignifikasi dengan mengurangi kandungan lignin dan hemiselulosa (Klunklin *et al*., 2023). Penelitian lain pada juga menunjukkan bahwa perlakuan alkali yang dilanjutkan dengan *bleaching* menggunakan H_2O_2 dan NaOH dapat membantu menghilangkan residu lignin dan hemiselulosa sehingga diperoleh selulosa dengan kemurnian yang lebih tinggi (Kaur *et al*., 2025).



Gambar 2. a) Setelah proses delignifikasi , b) Setelah proses *bleaching*

Perubahan warna sampel setelah tahap delignifikasi dan *bleaching* ditampilkan pada Gambar 2. Sampel setelah proses delignifikasi masih memiliki warna yang relatif lebih gelap, sedangkan sampel setelah proses *bleaching* menunjukkan warna yang lebih terang. Perubahan warna tersebut menunjukkan adanya pengurangan komponen berwarna dalam biomassa setelah perlakuan *bleaching*. H_2O_2 dapat menghasilkan spesies oksidatif yang berperan dalam menguraikan senyawa penyebab warna dan sisa lignin pada serat sehingga warna selulosa menjadi lebih terang (Klunklin et al., 2023). Meskipun demikian perubahan warna yang diamati secara visual hanya digunakan sebagai data pendukung dan tidak dapat dijadikan sebagai satu-satunya bukti keberhasilan proses delignifikasi

2. Karakteristik FTIR Selulosa

Berdasarkan Tabel 2, spektrum FTIR sabut kelapa sebelum perlakuan menunjukkan pita seapan pada 3324,39 cm^{-1} yang berkaitan dengan vibrasi O–H *stretching* dan pada 2923,78 cm^{-1} yang berkaitan dengan vibrasi C–H *stretching*. Setelah perlakuan NaOH 5%, 6%, dan 7%, pita O–H terindentifikasi masing-masing pada 3338,09; 3333,87; dan 3328,34 cm^{-1}, sedangkan pita C–H teridenifikasi pada 2900,83; 2897,14; dan 2900,67 cm^{-1}. Pita C–O/C–O–C yang sebelum perlakuan berada pada 1035,86 cm^{-1} juga tetap teridentifikasi pada kisaran 1019,20–1021,92 cm^{-1}. Keberadaan pita O–H pada 3330 cm^{-1}, C–H pada sekitar 2900 cm^{-1}, dan C–O pada kisaran 1020–1050 cm^{-1} menunjukkan karakteristik struktur selulosa pada sabut kelapa. Hasil tersebut sesuai dengan Klunklin *et al*., (2023) melaporkan keberadaan pita O–H pada 3350–3300 cm^{-1}, C–H sekitar 2894 cm^{-1}, dan gugus eter sekitar 1050 cm^{-1} pada selulosa sabut kelapa. Hasil serupa juga dilaporkan oleh F. Sangian & Widjaja, (2017) pada selulosa sabut kelapa, dengan pita O–H sekitar 3324 cm^{-1} dan C–H sekitar 2905 cm^{-1}. Sebelum perlakuan sabut kelapa menunjukkan pita serapan pada 1519,55 cm^{-1} yang berkaitan dengan vibrasi C=C aromatik lignin serta pita pada 1246,18 cm^{-1} yang berkaitan dengan struktur lignin.

Setelah perlakuan NaOH 5%, 6%, dan 7%, kedua pita tersebut tidak lagi teridentifikasi. Hilangnya pita pada 1519,55 cm^{-1} menunjukkan adanya pengurangan komponen lignin selama proses delignifikasi. Islam *et al*., (2025) melaporkan bahwa pita pada 1518–1510 cm^{-1} merupakan karakteristik C=C aromatik lignin, sedangkan pita sekitar 1252 cm^{-1} berkaitan dengan struktur lignin. Hilangnya kedua pita tersebut setelah perlakuan alkali menunjukkan terjadinya penghilangan lignin dari sabut kelapa. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Ajiz *et al*., (2024), dimana pita sekitar 1597 cm^{-1} diidentifikasi sebagai C=C aromatik lignin dan pita 1237 cm^{-1} berkaitan dengan ikatan C–O–C lignin. Intensitas pita yang berkaitan dengan lignin tersebut mengalami penurunan setelah perlakuan alkali dan *bleaching*. Selain itu, F. Sangian & Widjaja, (2017) menunjukkan bahwa perlakuan NaOH pada sabut kelapa menyebabkan perubahan pada pita C=C aromatik lignin yang berkaitan dengan berkurangnya kandungan lignin setelah tahap *Pretreatment*.

Pita serapan pada 1436,66 cm^{-1} sebelum perlakuan dan pada kisaran 1424–1425 cm^{-1} setelah perlakuan berkaitan dengan vibrasi *bending* pada struktur selulosa. Pada sampel dengan perlakuan NaOH 7% juga teridentifikasi pita serapan pada 899,09 cm^{-1} yang berkaitan

dengan ikatan β-glikosidik pada selulosa. Keberadaan pita-pita tersebut menunjukkan bahwa karakteristik struktur selulosa masih teridentifikasi setelah perlakuan alkali. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perlakuan NaOH tidak menghilangkan struktur utama selulosa, meskipun terjadi pengurangan komponen non-selulosa. Temuan ini sesuai dengan laporan Islam *et al.*, (2025) serta F. Sangian & Widjaja, (2017) yang mengidentifikasi pita pada sekitar 1430 dan 896–894 cm^{-1} sebagai pita yang berkaitan dengan struktur selulosa.

Berdasarkan keseluruhan hasil penelitian, konsentrasi NaOH 7% dipilih sebagai kondisi optimum dengan mempertimbangkan tujuan utama proses isolasi, yaitu memperoleh selulosa dengan pengurangan komponen non-selulosa yang optimal. Meskipun perlakuan NaOH 7% menghasilkan rendemen terendah, yaitu sebesar 17,3%, kondisi tersebut dapat berkaitan dengan pelarutan komponen non-selulosa yang lebih intensif selama proses perlakuan alkali. Pada sampel dengan perlakuan NaOH 7% juga masih teridentifikasi pita karakteristik selulosa, termasuk pita pada 899,09 cm^{-1} yang berkaitan dengan ikatan β-glikosidik. Dengan demikian, pemilihan NaOH 7% sebagai kondisi optimum didasarkan pada hasil karakterisasi FTIR dan tujuan memperoleh fraksi selulosa dengan pengurangan komponen non-selulosa, bukan semata-mata berdasarkan nilai rendemen tertinggi.

KESIMPULAN

Variasi konsentrasi NaOH 5%, 6%, dan 7% menghasilkan rendemen masing-masing 18,492%, 18,13%, dan 17,3%. Hasil FTIR menunjukkan berkurangnya komponen lignin setelah perlakuan NaOH, ditandai dengan hilangnya pita C=C aromatik lignin pada 1519,55 cm^{-1}, sementara gugus karakteristik selulosa tetap teridentifikasi. Berdasarkan hasil FTIR dan tujuan memperoleh selulosa dengan pengurangan komponen non-selulosa yang optimal, NaOH 7% dipilih sebagai konsentrasi optimum.

Kontribusi penelitian ini adalah memberikan data eksperimental bahwa peningkatan konsentrasi NaOH 5–7% memengaruhi rendemen dan karakteristik FTIR selulosa hasil isolasi dari sabut kelapa. Hilangnya pita karakteristik lignin setelah perlakuan menunjukkan keberhasilan pengurangan komponen non-selulosa, sehingga penelitian ini dapat menjadi informasi awal dalam menentukan kondisi delignifikasi sabut kelapa untuk memperoleh selulosa yang selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyusun adsorben.

DAFTAR PUSTAKA

Ajiz, H. A., Ardiansyah, R. P., Dwiatmaka, M. S. K. R., Setyawan, H., Nurtono, T., & Widiyastuti, W. (2024). Silica surface modification using cellulose as a renewable organosilane derived from coconut coir fiber for carbon capture. *Results in Engineering, 24*, Article 103060. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103060

Amiralian, N., Mustapic, M., Hossain, M. S. A., Wang, C., Konarova, M., Tang, J., Na, J., Khan, A., & Rowan, A. (2020). Magnetic nanocellulose: A potential material for removal of dye from water. *Journal of Hazardous Materials, 394*, Article 122571. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122571

El Bendary, M. M., Radwan, E. K., & El-Shahat, M. F. (2021). Valorization of secondary resources into silica-based adsorbents: Preparation, characterization and application in dye removal from wastewater. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 15*, Article 100455. https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100455

Fatmawati, A., Nurtono, T., & Widjaja, A. (2023). Thermogravimetric kinetic-based computation of raw and pretreated coconut husk powder lignocellulosic composition. *Bioresource Technology Reports, 22*, Article 101500. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101500

Hamidon, T. S., Adnan, R., Haafiz, M. K. M., & Hussin, M. H. (2022). Cellulose-based beads for the adsorptive removal of wastewater effluents: A review. *Environmental Chemistry Letters, 20*(3), 1965–2017. https://doi.org/10.1007/s10311-022-01401-4

Hutomo, G. S., Marseno, D. W., Anggrahini, S., & Supriyanto. (2012). Ekstraksi Selulosa dari Pod Husk Kakao Menggunakan Sodium Hidroksida [Cellulose extraction from cacao pod husk using sodium hydroxide]. *agriTECH, 32*(3), 223–229. https://journal.ugm.ac.id/agritech/article/view/9612

Islam, M. H., Hosna Ara, M., Khan, M. A., Naime, J., Rahman, M. L., Ruhane, T. A., & Khan, M. A. R. (2025). A sustainable approach for the development of cellulose-based food container from coconut coir. *ACS Omega, 10*(1), 157–169. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c03031

Jemai, R., Djebbi, M. A., Boubakri, S., Ben Rhaiem, H., & Ben Haj Amara, A. (2023). Effective removal of methyl orange dyes using an adsorbent prepared from porous starch aerogel and organoclay. *Colorants, 2*(2), 209–229. https://doi.org/10.3390/colorants2020014

Kaur, N., Chandel, P., Capezza, A. J., Pandey, A., Olsson, R. T., & Banik, N. (2025). Upcycling coconut husk coir by extraction of cellulose nanofibrils using green citric acid from lemon juice. *RSC Sustainability, 3*(7), 2970–2983. https://doi.org/10.1039/d5su00281h

Klunklin, W., Hinmo, S., Thipchai, P., & Rachtanapun, P. (2023). Effect of bleaching processes on physicochemical and functional properties of cellulose and carboxymethyl cellulose from young and mature coconut coir. *Polymers, 15*(16), Article 3376. https://doi.org/10.3390/polym15163376

Kurniaty, I., Hasyim, U. H., Yustiana, D., & M, I. F. (2017). Proses Delignifikasi Menggunakan NaOH dan Amonia (NH_3) pada Tempurung Kelapa. *Jurnal Integrasi Proses, 6*(4), 197–201. https://doi.org/10.36055/jip.v6i4.2546

Maryudi, Rahayu, A., Syauqi, R., & Islami, M. K. (2021). Teknologi Pengolahan Kandungan Kromium dalam Limbah Penyamakan Kulit Menggunakan Proses Adsorpsi: Review. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan, 5*(1), 90–99. https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i1.207

Natajaya, A., Ongkowijoyo, F. N., Yuliana, M., Santoso, S. P., & Hartono, S. B. (2024). Potential conversion of coconut husk-waste to magnetic cellulose designed for synthetic dye removal. *Jurnal Teknologi Lingkungan, 25*(2), 153–159. https://doi.org/10.55981/jtl.2024.5779

Omwoyo, F. O., & Otieno, G. (2024). Optimization of methylene blue dye adsorption onto coconut husk cellulose using response surface methodology: Adsorption kinetics, isotherms and reusability studies. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering, 12*(2), 1–18. https://doi.org/10.4236/msce.2024.122001

Rahayu, A., Hanum, F. F., Amrillah, N. A. Z., Lim, L. W., & Salamah, S. (2022). Cellulose extraction from coconut coir with alkaline delignification process. *Journal of Fibers and Polymer Composites, 1*(2), 106–116. https://doi.org/10.55043/jfpc.v1i2.51

Ravindran, R., & Jaiswal, A. K. (2016). A comprehensive review on pre-treatment strategy for lignocellulosic food industry waste: Challenges and opportunities. *Bioresource Technology, 199*, 92–102. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.106

Sangian, H. F., & Widjaja, A. (2017). Effect of pretreatment method on structural changes of coconut coir dust. *BioResources, 12*(4), 8030–8046. https://doi.org/10.15376/biores.12.4.8030-8046

Shindhal, T., Rakholiya, P., Varjani, S., Pandey, A., Ngo, H. H., Guo, W., Ng, H. Y., & Taherzadeh, M. J. (2021). A critical review on advances in the practices and perspectives for the treatment of dye industry wastewater. *Bioengineered, 12*(1), 70–87. https://doi.org/10.1080/21655979.2020.1863034

Sulyman, M., Namieśnik, J., & Gierak, A. (2016). Adsorptive removal of aqueous phase crystal violet dye by low-cost activated carbon obtained from date palm (L.) dead leaflets. *Engineering and Protection of Environment, 19*(4), 611–631. https://doi.org/10.17512/ios.2016.4.14

Zhao, L., Yuan, Z., Kapu, N. S., Chang, X. F., Beatson, R., Trajano, H. L., & Martinez, D. M. (2017). Increasing efficiency of enzymatic hemicellulose removal from bamboo for production of high-grade dissolving pulp. *Bioresource Technology, 223*, 40–46. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.034