



Ekstraksi dan isolasi mikro selulosa dari serat batang pohon nunang (*cordia dichotoma*)

Extraction and isolation of microcellulose from nunang tree (cordia dichotoma) stem fibers

Suteja^{1*}, Nasmi Herlina Sari¹, Maharsa Pradityatama²,

¹Jurusan Teknik Mesin, fakultas Teknik, universitas Mataram, Indonesia

²Program Studi Teknik Industri, Universitas Mataram, Indonesia

*corresponding author: suteja@unram.ac.id

Received: 13rd October, 2025 | accepted: 15th November, 2025

ABSTRAK

Mikro serat (holoselulosa) dari serat batang pohon nunang memiliki karakteristik mekanik, ketahanan panas yang baik dan densitas ringan sehingga cocok untuk material kemasan hasil pertanian (biokomposit). Lembaran serat nunang diperoleh dengan merendam kulit batang nunang dalam air dan dipotong ± 1 cm untuk diblender, dan dilanjutkan proses pengayakan 40 mesh. Serat makro nunang kemudian diputihkan dengan larutan NaClO_2 5% dan dimerserisasi dengan larutan NaOH 9% pada suhu 65°C dan kecepatan 500 rpm selama 2 jam di atas *magnetic stirrer*. Hasil uji FTIR mengungkapkan telah hilangnya serapan pada bilangan gelombang $2026\text{--}1698\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan indikasi hilangnya senyawa lignin, hemiselulosa, lilin dan senyawa pengotor lainnya. Pengujian difraksi sinar-X (XRD) menunjukkan nilai indeks kekristalan yang lebih tinggi setelah perlakuan kimia NaClO_2 dan NaOH , sementara itu pengamatan foto SEM menunjukkan fitur permukaan yang lebih kasar sebagai tanda larutnya material pengotor. Setelah perlakuan kimia serat mikro juga mengindikasikan ketahanan termal yang lebih tinggi. Penelitian ini menunjukkan bahwa serat mikro nunang setelah perlakuan kimia memiliki potensi untuk industri kemasan hasil pertanian seperti film transparan ataupun bioplastik.

Kata kunci : biokomposit; mikro selulosa; serat nunang; spektroskopi; uji morfologi.

ABSTRACT

Microfibers (holocellulose) from nunang tree trunk fibers have mechanical characteristics, good heat resistance and low density, making them suitable for agricultural packaging materials (biocomposites). Nunang fiber sheets are obtained by soaking nunang bark in water and cutting it into ± 1 cm pieces for

blending, followed by 40 mesh sieving process. The macro fibers of nunang are then bleached with 5% NaClO₂ solution and mercerized with 9% NaOH solution at a temperature of 65 °C and a speed of 500 rpm for 2 hours on magnetic stirrer. FTIR test results revealed the loss of absorption at a wavelength of 2026–1698 cm⁻¹, which indicates the loss of lignin, hemicellulose, wax, and other impurities. X-ray diffraction (XRD) testing showed higher crystallinity indices after chemical treatment with NaClO₂ and NaOH, while SEM observations revealed rougher surface features as a sign of impurity dissolution. After chemical treatment, the microfibers also showed higher thermal resistance. This study shows that nunang microfibers after chemical treatment have potential for the agricultural product packaging industry, such as transparent films or bioplastics.

Keywords: *biocomposites; micro cellulose; morphological test; nunang fiber; spectroscopy*

PENDAHULUAN

Bahan holoselulosa dan selulosa berukuran mikro hingga nano memiliki peran yang sangat penting karena sifatnya yang adaptif dan terbarukan, sehingga saat ini banyak diminati di berbagai industri, seperti kemasan, medis, dan biomaterial lainnya. (Risite et al., 2022). Serat tanaman memiliki kandungan lignoselulosa cukup signifikan yang menawarkan potensi menjanjikan dan nilai ekonomis tinggi (Faisal et al., 2023; Randis et al., 2024; Tao et al., 2024).

Salah satu serat yang potensial adalah serat nunang. Serat nunang yang diperoleh dari batang tanaman pohon nunang atau pohon kendal (*Cordia dichotoma*) yang dikenal sebagai limbah untuk kayu furnitur. Serat nunang memiliki sifat unik yang menjadikannya sangat menarik sebagai sumber holoselulosa dan selulosa.

Untuk mendapatkan holoselulosa dan selulosa dari tanaman dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya dengan menggunakan metode perlakuan alkali (NaOH), asam

cair (H₂SO₄), metode mekanik (ultrasonik) dan lainnya (Gapsari et al., 2024). Dua metode yang paling umum digunakan adalah metode alkalisasi dengan larutan NaOH dan perlakuan kimia (pemutihan dengan NaClO₂) merupakan teknik yang cukup efektif untuk menghilangkan dan mengekstraksi holoselulosa ataupun selulosa dari sumber tanaman (daun batang dan akarnya) (Ilyas et al., 2018). Perlakuan kimia mampu meningkatkan kandungan hasil ekstraksi dan kualitas selulosa (Cholant et al., 2025). Perlakuan dengan larutan alkali NaOH sebagai proses merseksasi untuk menghilangkan kandungan hemiselulosa, pektin dan zat lilin. Sedangkan proses pemutihan dengan larutan NaClO₂ berfungsi untuk menghilangkan kandungan lignin dan zat non-selulosa lainnya secara efektif, murah, efisien serta alami dengan tetap mempertahankan struktur selulosanya (Andoko et al., 2025). Meskipun terdapat kesulitan mencapai keseragaman kualitas dan kuantitas selulosa seperti kandungan selulosa dan diameter serat mikro selama proses perlakuan kimia dengan pemutihan-alkali (Andoko et al., 2023;

Pinto et al., 2022), akan tetapi, kombinasi perlakuan NaClO_2 dan perlakuan alkali dengan NaOH telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam meningkatkan sifat termal, ketahanan air (hidrofobik) dan daya rekat holoselulosa secara keseluruhan sehingga lebih cocok untuk berbagai aplikasi industri (Pattnaik et al., 2022).

Gabungan kedua perlakuan antara NaOH dan NaClO_2 telah diamati dapat mengoptimalkan karakteristik serat alami selulosa untuk digunakan sebagai bahan penguat komposit polimer maupun biokomposit (Gapsari, 2025). Beberapa penelitian telah fokus mengisolasi dan menginvestigasi penggunaan kedua perlakuan kimia tersebut pada serat aren (Ilyas et al., 2018). Mereka meneliti potensi serat aren sebagai sumber holoselulosa dan melaporkan bahwa terjadi tren peningkatan kandungan selulosa setelah setiap perlakuan kimia, kandungan selulosa berubah dari 43,88% pada serat aren tanpa perlakuan menjadi 81,5% pada serat yang *dibleaching* dan 82,33% pada serat yang diperlakukan dengan alkali NaOH . Kemudian Gapsari et al., (2024) juga telah mengekstraksi dan melaporkan efektifitas perlakuan NaOH dan NaClO_2 pada isolasi holoselulosa serat timoho. Mereka mengungkapkan bahwa setelah proses alkali (NaOH) dan delignifikasi NaClO_2 , kandungan senyawa selulosa timoho meningkat dari 38,42% menjadi 72,29% dalam nanoselulosa timoho.

Pemanfaatan serat nunang sebagai bahan holoselulosa sejalan dengan meningkatnya perhatian terhadap pemanfaatan sumber daya alam yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dengan memanfaatkan larutan NaClO_2 dan larutan alkali NaOH diyakinkan sangat efisien dalam memisahkan dan mengekstrak serat nunang untuk memperoleh mikroselulosa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik mikroselulosa serat nunang dengan metode isolasi alkali dan pemutihan sebagai potensi sumber selulosa berkelanjutan.

METODOLOGI

Kumpulan kulit pohon nunang yang telah berumur 2 – 3 tahun diperoleh dari Desa Setanggor, Kab. Lombok Tengah Nusa Tenggara Barat. Bahan dicuci bersih dengan air mengalir untuk menghilangkan partikel debu. Kerak terluar kulit yang menempel di permukaan pohon nunang dikikis dengan pisau. Kulit pohon nunang tersebut kemudian direndam dalam baskom berisi air bersih selama 10–14 hari untuk reaksi mikro bakteri agar lembaran serat mudah diisolasi (Suteja et al., 2025). Lembaran serat yang terkumpul dicuci bersih dengan air mengalir sekitar 4 hingga 5 siklus untuk menghilangkan kotoran tambahan lainnya serta lendir–lendir serat, kemudian dikeringkan selama dua hari sampai kelembaban relatif sekitar 30% untuk disimpan di dalam plastik. Selanjutnya serat nunang dipotong ± 1

cm dan diblender menjadi serbuk serat (makro serat).

Ekstraksi serat nunang dilakukan dalam dua tahap berturut-turut, sesuai dengan standar kimia yang dijelaskan oleh Andoko et al., (2023). Serat nunang diisolasi secara mikro dalam dua tahap: pertama, diperlakukan dengan larutan NaClO_2 5% dan kemudian direndam dengan larutan NaOH 9% dalam perlakuan alkali hidrotermal.

Untuk melakukan perlakuan *bleaching*, 20 gr serbuk serat nunang ditempatkan

dalam gelas kimia dengan 400 ml air suling dan serbuk NaClO_2 5% (w/v) dan asam asetat (CH_3COOH) dalam perbandingan 4:1 (v/v). Campuran tersebut diaduk pada plat pemanas *magnetic stirrer* pada suhu 65°C dan kecepatan 500 rpm selama 2 jam. Setelah itu, serat dibilas dengan air suling untuk menyeimbangkan pH, dan serbuk serat nunang yang dihasilkan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 12 jam.

Gambar 1 memperlihatkan diagram proses ekstraksi dan karakterisasi holoselulosa nunang



Gambar 1. diagram proses ekstraksi dan karakterisasi holoselulosa nunang.

Selanjutnya, perlakuan kimia alkali dengan (NaOH) menggunakan larutan NaOH 9% (w/v) 400 ml pada suhu 65°C dan kecepatan 500 rpm selama 2 jam. Serbuk serat nunang kemudian dibilas dengan air suling hingga mencapai pH netral. Serbuk kemudian dikeringkan di

dalam oven pada suhu 50°C selama 12 jam. Hasil ekstraksi serbuk serat nunang ini disebut sebagai holoselulosa nunang. Kode dan jenis perlakuan serbuk serat nunang disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1
Kode dan Jenis Perlakuan Sampel

Kode sampel	Jenis perlakuan
NFTP	Serat nunang tanpa perlakuan
NFBL	Serat nunang perlakuan <i>bleaching</i>
NFBLN	Serat nunang perlakuan <i>bleaching</i> dilanjutkan dengan perlakuan NaOH

1. Karakterisasi

Pengujian Fourier Transform Intra-Red (FTIR)

Gugus fungsi holoselulosa nunang diinvestigasi menggunakan *Fourier transform infrared spectroscopy* dengan *attenuated total reflectance* (ATR-FTIR). *Perkin Elmer Spectrum*, model 100 dilengkapi dengan ATR. *Spectra transmittance* masing-masing sampel direkam pada *spectral range* dari 4000 sampai 450 cm^{-1} dan resolusi sebesar 4 cm^{-1} menggunakan matrik 1 mg serbuk KBr.

Pengamatan Morphology dengan Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pemindaian foto dengan *scanning electron microscopy* merk SEM (FEI Inspect S50) digunakan untuk membantu mengamati permukaan holoselulosa. Sebelum pengambilan foto, mereka disemprotkan dengan emas untuk melapisi sampel selama 3 menit hingga ketebalan ± 10 nm di bawah tekanan 0,1 torr dan arus 18 mA serta tegangan percepatan sekitar 10 kV.

X-Ray Diffraction (XRD)

Nilai indeks kekristalan holoselulosa diamati dan dianalisis

menggunakan detektor HyPix-3000, merk PHILIPS X-ray diffractometer (PW3050 model). Radiasi Cu Ka monokromatik pada arus 30 mA dan tegangan percepatan 40 kV digunakan dan dijalankan dalam pengamatan ini. Rentang 2θ diamati dari 10° – 90° dengan step size dan scan rate masing-masing sebesar $0,05^\circ$ dan $10,16^\circ$. Selanjutnya, identifikasi besarnya indeks kristal (CI%) sampel menggunakan Persamaan. (4):

$$\%CI = \left(\frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \right) \times 100 \quad (4)$$

I_{002} mewakili intensitas puncak difraksi kisi (002) pada sudut 2θ yang berkisar antara 22° hingga 23° , sedangkan I_{am} menunjukkan intensitas terendah yang diamati di daerah *amorf* pada sudut 2θ antara 18° dan 19° .

Thermogravimetric Analysis (TGA)

Dalam pengukuran karakteristik termal holoselulosa serat nunang dengan sampel sekitar 10 mg yang dimasukkan ke dalam wadah aluminium dengan atmosfer nitrogen. Laju aliran udara dalam tungku pemanasan diatur sebesar 20 ml/menit, rentang suhu pengamatan dari 30°C – 600°C dan

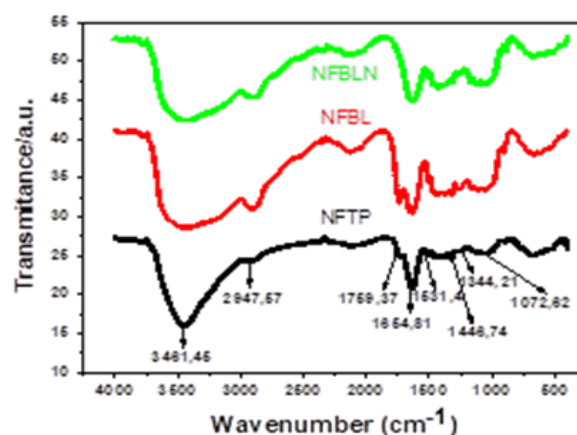
laju pemanasan 10 °C/Menit. Pengamatan ini dilakukan pada model peralatan *Thermal Analysis Instruments* TGA-1 Metler Toledo.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR)

Kurva spectra FTIR dari holoselulosa ditampilkan pada **Gambar 2**. Gugus fungsi yang terdapat pada serat makro nunang (NFTP) dapat diungkapkan dari munculnya pita serapan pada bilangan gelombang diantaranya 1072,62, 1344,21, 1446,74, 1531,4, 1654,81, 1759,37, 2947,57, 3461,45 cm⁻¹. Puncak-puncak bilangan tersebut mengindikasikan bahwa serat makro nunang mengandung senyawa selulosa, lignin, hemiselulosa dan senyawa pengotor lainnya. Intensitas serapan bilangan gelombang pada

3461,79 cm⁻¹ dan 3456,62 cm⁻¹ ditemukan pada semua tipe sampel NFBL, yang merepresentasikan peregangan dari *group hydroxyl* (-OH) pada β -selulosa (Schoeler et al., 2020). Salah satu pita serapan bilangan gelombang yang mencolok yaitu bilangan gelombang 1759,17 cm⁻¹ yang mengindikasikan hadirnya hemiselulosa dengan *group ikatan* C=O atau peregangan getaran gelombang dari *group carboxyl* dari asam carboxylik pada lignin ataupun *group ester* pada hemiselulosa sampel NFTP. Setelah perlakuan kimia (NaOH dan NaClO₂) sampel NFBLN pita serapan pada bilangan gelombang sekitar 2026–1698 cm⁻¹ tidak muncul lagi. Hal ini disebabkan oleh larutnya senyawa hemiselulosa pada permukaan serat ataupun larut bersama senyawa lignin.



Gambar 2. Kurva FTIR Serat.

Spectra gugus fungsi 1345 cm⁻¹ – 1343 cm⁻¹ menunjukkan adanya

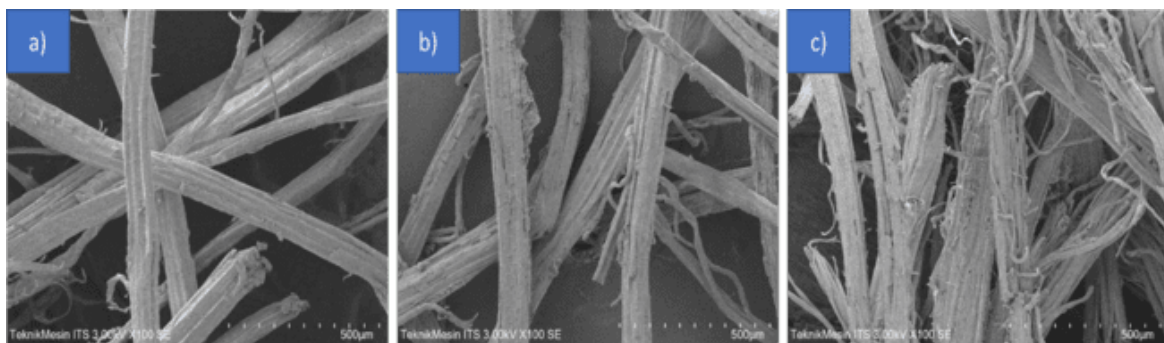
senyawa lignin dengan transmittance yang lebih rendah

pada sampel NFBL dibandingkan dengan sampel lainnya. Hal ini dikarenakan oleh perlakuan *bleaching* dengan NaClO_2 serat nunang berperan sebagai delignifikasi pada sampel, dibuktikan peregangan C–O dari group acetyl pada lignin berkurang (Vinod et al., 2021). Sementara itu, dibandingkan dengan sampel NFBL, sampel NFBLN pada serapan bilangan dengan serapan lebih rendah yang menunjukkan berkurangnya senyawa hemiselulosa sebagai akibat dari

perlakuan NaOH serat. Serapan bilangan gelombang pada holoselulosa serat nunang ini mirip dengan serapan bilangan gelombang pada serat aren yaitu 3282, 2897, 1719, 1656, 1593, 1424, 1370, 1030 dan 897 cm^{-1} (Ilyas et al., 2018).

2. *canning Electron Microscopy (SEM)*

Foto SEM pada **Gambar 3**. menunjukkan perubahan morfologi serat mikro nunang pada berbagai tahap perlakuan.



Gambar 3 SEM sampel mikro holoselulosa; a) NFTP, b) NFBL, dan c) NFBLN.

Gambar 3a. SEM serat nunang tanpa perlakuan (sampel NFTP) menunjukkan lapisan halus, putih tebal pada permukaan sampel NFTP, yang menunjukkan adanya kontaminan seperti hemiselulosa, lignin, dan lilin. **Gambar 3b.** menunjukkan bahwa penggunaan NaClO_2 dalam proses pemutihan serat nunang (sampel NFBL) secara efektif menghilangkan komponen lignin, mengakibatkan penurunan yang nyata pada lapisan putih.

Perlakuan pemutihan awal dengan larutan NaClO_2 sangat penting untuk menghilangkan lignin dari serat nunang (Wang et al., 2022).

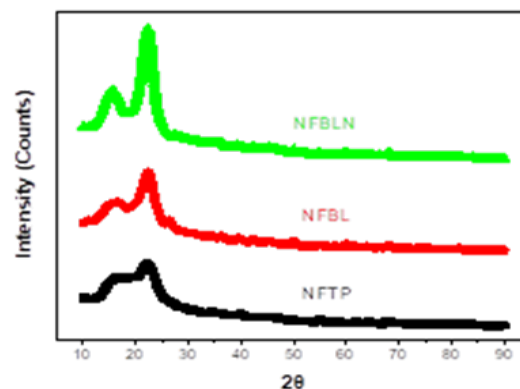
Perlakuan berikutnya adalah perlakuan menggunakan natrium hidroksida (NaOH) dalam perlakuan alkali untuk menghilangkan dan memecah senyawa hemiselulosa, silika, garam mineral terlarut, dan abu pada serat nunang, ditunjukkan pada **Gambar 3c**. Foto SEM serat

makro nunang yang telah diperlakukan NaClO_2 dan NaOH alkali menunjukkan permukaan serat yang lebih kasar, bebas dari pektin, lignin, dan hemiselulosa.

3. X-Ray Diffraction (XRD)

Spektrum XRD sampel NFTP, NFBL, dan NFBLN disajikan pada **Gambar 4**. Masing-masing puncak pada sampel NFTP menandakan struktur serat terlihat di sekitar $16,23^\circ$, $22,32^\circ$, dan $35,89^\circ$. Puncak-puncak ini disebabkan oleh (101), (002), dan (004) yang merefleksikan struktur kristal selulosa tipe I (Ilyas et al., 2018). Pada sampel NFTP juga terlihat bahwa puncak 1 (101) dan puncak 2 (002) tidak memiliki perbedaan yang terlalu jauh yaitu masing-masing intensitas sebesar 152,42 dan 147,38. Puncak difraksi XRD yang seperti ini menunjukkan bahwa NFTP berbentuk semikristalin.

Setelah perlakuan *bleaching* (NFBL) dan perlakuan *bleaching* (NaClO_2) serta perlakuan alkali (NaOH) (sampel NFBLN) masing-masing spectra XRD menjadi lebih jelas, seperti yang diharapkan. Selain itu, puncak difraksi pada (002) menjadi lebih tajam dan sempit sehingga menunjukkan peningkatan indeks kristalinitas dibandingkan sampel tanpa perlakuan kimia NFTP. Gugus hidroksil yang ada dalam selulosa menghasilkan sejumlah hidrogen intramolekul dan antarmolekul, sehingga memberikan susunan material yang teratur (Omran et al., 2021). Perlakuan alkali (NaOH), *bleaching*/ NaClO_2 dan perlakuan alkali (NaOH) menyebabkan penurunan sudut spiral dan peningkatan orientasi molekul, sehingga menghasilkan penyusunan rantai selulosa yang lebih baik (Cholant et al., 2025).



Gambar 4. Kurva XRD makro holoselulosa.

Indeks kekeristalan sampel NFTP, NFBL, dan NFBLN masing-masing memiliki indeks kekeristalan sebesar 28,63%, 59,46% dan 67,52% berturut-turut. Nilai indeks kekeristalan yang

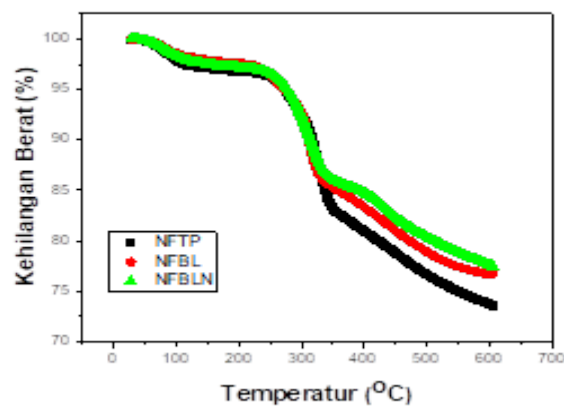
mengalami peningkatan ini mengkonfirmasi bahwa komponen amorphous, lignin dan hemiselulosa berkurang setelah perlakuan kimia, dan secara optimal

berkurang setelah perlakuan NaClO_2 (*bleaching*) diikuti dengan NaOH . Beberapa penelitian menjelaskan bahwa peningkatan indeks kristalinitas memberikan ketahanan termal dan ketahanan penyerapan air yang lebih baik (Wirawan et al., 2022). Nilai indeks kekeristalan holoselulosa serat nunang ini masih lebih rendah dibandingkan dengan indeks kekeristalan holoselulosa serat aren yang sebesar 76.5% (Ilyas et al., 2018) dan holoselulosa serat timoho sebesar 88.05% (Gapsari et al., 2024)

4. Thermogravimetric Analysis (TGA)

Gambar 5. menampilkan kurva *thermogravimetric* dari sampel NFTP, NFBL, dan NFBLN. Kurva TGA menyajikan penurunan berat awal secara umum terlihat bahwa sampel NFTP, NFBL, dan NFBLN dari

suhu kamar hingga sekitar 100 °C, yang disebabkan oleh penguapan dan menghilangkan kelembapan yang diserap dari ketiga sampel tersebut. Dan berhubungan dengan hilangnya kelembapan, yang mana perlakuan *bleaching* (NaClO_2) dan alkali (NaOH) mampu mengurangi penyerapan air sehingga menurunkan kandungan air serat. Degradasi tahap dua merupakan dekomposisi hemiselulosa amorf dan lignin yang diikuti oleh dekomposisi daerah kristalin, yang biasanya terjadi pada suhu lebih tinggi daripada daerah amorf. Dekomposisi tahap ini terjadi pada temperatur sekitar 220 °C sampai temperatur 400 °C. Hal ini sesuai dengan yang diungkapkan oleh (Bozdoğan et al., 2020) yang mana hemiselulosa terurai pada suhu 220 °C, dan sebagian besar terurai sempurna pada suhu 315 – 400 °C.



Gambar 5. kurva TGA makro holoselulosa serat nunang.

Penguraian tahap kedua karena sifat selulosa yang sangat kristalin, selulosa relatif stabil secara termal.

Selulosa sendiri mempunyai bagian yang berbentuk kristal dan *amorf*. Pada temperatur 420 °C terjadi

sedikit puncak yang mencolok pada sampel NFBLN yang kemungkinan disebabkan pengembangan volume dari sisa lignin pada sampel. Hal ini dikarenakan oleh komponen lignin terurai dengan temperature yang lebih panjang mulai pada suhu 200 °C dan terurai secara perlahan hingga 600 °C (Zhang et al. 2018).

SIMPULAN

Ekstraksi dan isolasi serat mikro nunang dengan metode kimia NaClO_2 (pemutihan) dan NaOH (merserisasi) terbukti efektif dalam menghilangkan senyawa dari bahan baku serat nunang, seperti hemiselulosa, lignin, dan lilin dan lainnya. Hasil uji FTIR. Serapan bilangan gelombang 1759,17 cm^{-1} hanya muncul pada sampel NFBLN yang mengindikasikan hadirnya hemiselulosa tidak muncul lagi pada sampel NFBL dan NFBLN. Nilai indeks kekeristalan serat mikro nunang menunjukkan peningkatan mulai dari 28,63%, 59,46% sampai 67,52% seiring dengan diberikannya perlakuan kimia. Hasil tersebut sejalan dengan fitur permukaan yang lebih kasar sebagai tanda larutnya material pengotor serat sehingga stabilitas termal yang dihasilkan juga lebih baik. Hasil penelitian secara keseluruhan memberikan pemahaman terkait potensi serat nunang sebagai penguat alternatif plastik polyvinyl alcohol (PVA) ramah lingkungan untuk industri kemasan hasil pertanian seperti film transparan ataupun bioplastik.

DAFTAR PUSTAKA

Andoko, A., Gapsari, F., Diharjo, K., M R, S., & Siengchin, S. (2023). Isolation of

microcellulose from timoho fiber using the process of delignification and maceration: Evaluation of physical, chemical, structural, and thermal properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 224, 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.225>

Andoko, A., Gapsari, F., Prasetya, R., Sulaiman, A. M., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2025). Walikukun fiber as lightweight polymer reinforcement: physical, chemical, mechanical, thermal, and morphological properties. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15(1), 1269–1281.

<https://doi.org/10.1007/s13399-023-05203-8>

Bozdoğan, A., Aksakal, B., & Yargi, O. (2020). Film formation and mechanical properties of an opaque titanium dioxide and transparent polyvinyl alcohol composite films. *Polymer Composites*, 41(3), 939–950. <https://doi.org/10.1002/pc.25425>

Cholant, G. M., Bosenbecker, M. W., Reichert, A. A., Beatrice, C. A. G., Freitas, T. C., Freitas, N. D., de Nunes, N. V. V., Galio, A. F., Missio, A. L., & de Oliveira, A. D. (2025). Polyvinyl Alcohol Films Reinforced with Nanocellulose from Rice Husk. *Macromol*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.3390/macromol5010006>

Faisal, M., Harianto, A., Hutasoit, J. P., Amrullah, S., & Ardiansyah, A. (2023). The effect of sodium tripolyphosphate (STPP) concentration on the physical and chemical properties of modified yellow pumpkin starch (Modified cucurbita moschata starch). *Jurnal Agrotek Ummat*, 10(3), 206.

- <https://doi.org/10.31764/jau.v10i3.15817>
- Gapsari, F. (2025). Enhanced structural and thermal properties of oil palm frond fiber-derived nanocellulose using chemical and mechanical treatments for eco-friendly composites. *Disseminating Information on the Research of Mechanical Engineering-Jurnal Polimesin*, 23(2). <http://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin>
- Gapsari, F., Andoko, A., Diharjo, K., Sanjay, M. R., & Siengchin, S. (2024). The effectiveness of isolation and characterization nanocelullose from Timoho fiber for sustainable materials. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(14), 16487–16497. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03672-x>
- Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., & Ishak, M. R. (2018). Isolation and characterization of nanocrystalline cellulose from sugar palm fibres (*Arenga Pinnata*). *Carbohydrate Polymers*, 181, 1038–1051. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.045>
- Omran, A. A. B., Mohammed, A. A. B. A., Sapuan, S. M., Ilyas, R. A., Asyraf, M. R. M., Koor, S. S. R., & Petru, M. (2021). Micro-and nanocellulose in polymer composite materials: A review. In *Polymers* (Vol. 13, Issue 2, pp. 1–30). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym13020231>
- Pattnaik, F., Nanda, S., Kumar, V., Naik, S., & Dalai, A. K. (2022). Isolation of cellulose fibers from wetland reed grass through an integrated subcritical water hydrolysis-pulping-bleaching process. *Fuel*, 311, 122618. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122618>
- Pinto, E., Aggrey, W. N., Boakye, P., Amenuvor, G., Sokama-Neuyam, Y. A., Fokuo, M. K., Karimaie, H., Sarkodie, K., Adenutsi, C. D., Erzuah, S., & Rockson, M. A. D. (2022). Cellulose processing from biomass and its derivatization into carboxymethylcellulose: A review. *Scientific African*, 15, e01078. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01078>
- Randis, R., Darmadi, D. B., Gapsari, F., & Sonief, A. A. A. (2024). Isolation and characterization of microcrystalline cellulose from oil palm fronds biomass using consecutive chemical treatments. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2024.100616>
- Risite, H., Salim, M. H., Oudinot, B. T., Ablouh, E. houssaine, Joyeux, H. T., Sehaqui, H., Razafimahatratra, J. H. A., Qaiss, A. E. K., El Achaby, M., & Kassab, Z. (2022). *Artemisia annua* Stems a New Sustainable Source for Cellulosic Materials: Production and Characterization of Cellulose Microfibers and Nanocrystals. *Waste and Biomass Valorization*, 13(4), 2411–2423. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01658-w>
- Schoeler, M. N., Scremin, F. R., de Mendonça, N. F., Benetti, V. P., de Jesus, J. A., de Oliveira Basso, R. L., & Stival Bittencour, P. R. (2020). CELLULOSE NANOFIBERS from CASSAVA AGRO-INDUSTRIAL WASTE AS REINFORCEMENT in PVA FILMS. *Quimica Nova*, 43(6), 711–717. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170542>
- Suteja, Hidayatullah, S., Gapsari, F., Purnowidodo, A., Susanti, L., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2025). Enhancing the performance

- of natural fiber composites: Integrating Walikukun fiber and aluminum filler in epoxy matrices. *Reactive and Functional Polymers*, 214. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2025.106302>
- Tao, S., Chen, Y., Qin, S., Zhang, C., & Qi, H. (2024). Holocellulose fibers and paper from birch based on peracetic acid treatment. *Wood Science and Technology*, 58(2), 609–625. <https://doi.org/10.1007/s00226-024-01542-5>
- Vinod, A., Sanjay, M. R., Siengchin, S., & Fischer, S. (2021). Fully bio-based agro-waste soy stem fiber reinforced bio-epoxy composites for lightweight structural applications: Influence of surface modification techniques. *Construction and Building Materials*, 303, 124509. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124509>
- Wang, N., Xu, B., Wang, X., Lang, J., & Zhang, H. (2022). Chemical and Structural Elucidation of Lignin and Cellulose Isolated Using DES from Bagasse Based on Alkaline and Hydrothermal Pretreatment. *Polymers*, 14(14), 2756. <https://doi.org/10.3390/polym14142756>
- Wirawan, W. A., Choiron, Moch. A., Siswanto, E., & Widodo, T. D. (2022). Morphology, Structure, and Mechanical Properties of New Natural Cellulose Fiber Reinforcement from Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) Bark. *Journal of Natural Fibers*, 19(15), 12385–12397. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2060402>