Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
5 (2) 2025, Page: 18357-18366

Karakteristik Bioplastik dari Pati Jagung Berpengisi Nanocrystal Cellulose (NCC) dari Ampas Tebu

Aga Nugraha[1], Muliani Syahputri[2], Ghendis Ekawati Ayu[3]
[1]Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Del
[2,3]Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Corresponding Author: Aga Nugraha, e-mail: nugraha.aga@gmail.com

Published: August , 2025

ABSTRAK

Permasalahan lingkungan yang ditimbulkan oleh akumulasi limbah plastik konvensional telah mendorong pengembangan bioplastik berbasis bahan alami yang ramah lingkungan dan biodegradable. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bioplastik berbasis pati jagung dengan penambahan nanokristalin selulosa (NCC) hasil isolasi dari limbah ampas tebu sebagai agen penguat, gliserol sebagai plastisiser, serta minyak sereh sebagai agen antimikroba alami. Isolasi NCC dilakukan melalui tahap delignifikasi dan pemutihan menggunakan gelombang mikro, kemudian dilanjutkan dengan hidrolisis asam sulfat. Karakterisasi NCC dan biokomposit meliputi analisis FTIR, difraksi, analisis termal TGA-DSC. Bioplastik diformulasikan dengan konsentrasi NCC 6% b/b (terhadap massa pati) dan variasi konsentrasi minyak sereh (6%, 12%, 18%, dan 24% v/v), lalu diuji sifat termalnya. Hasil analisis termogravimetri (TGA) dan Differential Scanning Calorimetry (DSC) menunjukkan bahwa penambahan NCC mampu meningkatkan stabilitas termal serta menurunkan kehilangan massa pada bioplastik. Spektrum FTIR mengindikasikan bahwa struktur dasar selulosa tetap terjaga, dengan penghilangan sebagian besar gugus fungsi lignin akibat perlakuan kimia dan gelombang mikro. Penambahan minyak sereh memberikan potensi aktivitas antimikroba tanpa menyebabkan perubahan signifikan terhadap karakteristik termal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai sumber NCC yang berkelanjutan untuk meningkatkan karakteristik bioplastik pada aplikasi kemasan ramah lingkungan.

Kata kunci: Bioplastik, pati jagung, nanokristalin selulosa, ampas tebu, minyak sereh

ABSTRACT

Environmental issues arising from the accumulation of conventional plastic waste have driven the development of bioplastics derived from natural materials that are both environmentally friendly and biodegradable. This study aims to develop corn starch-based bioplastics by incorporating nanocrystalline cellulose (NCC), isolated from bagasse waste, as a reinforcing agent, glycerol as a plasticizer, and citronella oil as a natural antimicrobial agent. The isolation of NCC was achieved through a delignification and bleaching process using microwaves, followed by sulfuric acid hydrolysis. The characterization of NCC and biocomposit included FTIR analysis, X-ray diffraction, and TGA-DSC thermal analysis. Bioplastics were formulated with NCC concentrations 6% w/w (starch mass) and citronella oil concentrations (6%, 12%, 18%, and 24% v/v), and their thermal properties were subsequently tested. The results from thermogravimetric (TGA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC) analyses demonstrated that the incorporation of NCC significantly enhanced thermal stability and reduced mass loss in the bioplastics. The FTIR spectrum revealed that the fundamental cellulose structure was preserved, while most of the lignin functional groups were removed due to the chemical and microwave treatments. Furthermore, the addition of citronella oil provided notable antimicrobial activity without causing significant changes to the thermal properties of the bioplastics. The findings of this study suggest that bagasse waste can be effectively utilized as a sustainable source of NCC to enhance the properties of bioplastics for environmentally friendly packaging applications.

Keywords: Bioplastic, corn starch, nanocrystallin cellulose, citronella oil

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Permintaan dan penggunaan plastik terus meningkat, di mana plastik secara luas dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari sebagai bahan kemasan untuk kebutuhan primer, sekunder, maupun tersier. Sifat plastik yang ringan dan mudah digunakan menjadikannya pilihan utama dibandingkan dengan bahan lainnya. Namun, penggunaan plastik konvensional secara berlebihan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan karena sifatnya yang sulit terurai, sehingga menyebabkan peningkatan polusi dan kerusakan lingkungan (Evode et al., 2021). Sebagai solusi, dikembangkan alternatif kemasan bioplastik dengan memanfaatkan matriks polimerik seperti polisakarida (pati), protein, dan lipid yang tidak hanya melimpah dan terbarukan, tetapi juga ramah lingkungan (Saharan & Kharb, 2022).

Pati adalah biopolimer karbohidrat yang memiliki peran penting dalam produksi bioplastik karena sifatnya yang mudah terdegradasi secara alami. Kemampuannya untuk terurai dengan cepat di lingkungan menjadikan pati sebagai bahan ideal dalam pengembangan alternatif plastik yang berkelanjutan. Selain itu, pati tersedia dalam jumlah melimpah, mudah diakses, dan berbiaya rendah, sehingga banyak digunakan sebagai bahan utama dalam sintesis plastik ramah lingkungan (Henning et al., 2022). Beberapa jenis pati yang umum digunakan dalam produksi bioplastik antara lain pati jagung (Marichelvam et al., 2019), pati tapioka (Asrofi et al., 2020), dan pati sagu (Emanratu et al., 2025). Di antara jenis tersebut, jagung merupakan komoditas bernilai ekonomi tinggi karena mengandung pati sekitar 75%, dengan komposisi 25% amilosa dan 75% amilopektin (Yu-Kyung & Sun-Moon, 2021). Dalam penelitian ini, pati jagung dipilih karena ketersediaannya yang melimpah, harga yang terjangkau, serta kandungan pati yang tinggi.

Bioplastik berbasis pati memiliki kelemahan berupa sifat hidrofilik serta kekuatan mekanik yang rendah. Untuk mengatasi kelemahan ini, pati dapat dicampurkan dengan biopolimer hidrofobik atau tahan air seperti gliserol, yang berperan sebagai plastisizer (Abe et al., 2021). Penambahan plastisizer bertujuan untuk meningkatkan elastisitas dan mengurangi sifat penghalang pada film (Alonso-González et al., 2022). Gliserol bekerja dengan mengurangi gaya antar molekul dalam rantai polimer, sehingga meningkatkan mobilitas molekul dan menghasilkan film yang lebih lentur dan elastis (Santana et al., 2018). Namun, peningkatan konsentrasi gliserol dapat menurunkan ineteraksi antar molekul bioplastic yang menyebabkan penurunanpada kekuatan tarik kekuatan tarik bioplastic (Rahmatullah et al., 2022).

Struktur dan sifat akhir dari material dari material komposit sangat bergantung pada penguat dan matriks polimer serta interaksi antar kedua senyawa tersebut (Boey et al., 2022). Salah satu penguat alami yang potensial untuk bioplastik adalah selulosa. Selulosa merupakan biopolymer dengan ketersediaan melimpah di alam dan menjadi komponen struktural utama pada dinding sel tumbuhan dan alga. Selulosa memiliki karakteristik unggul seperti tidak beracun, warna putih dalam keadaan murni, massa molekul tinggi ($1{,}44 \times 10^6$–$1{,}8 \times 10^6$ g/mol), serta kekuatan tarik dan kristalinitas tinggi (Madhushree et al., 2024). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkaji pemanfaatan selulosa dari limbah pertanian sebagai bahan penguat pada pembuatan bioplastic. (Hendrawati et al., 2023) melaporkan penambahan selulosa dari sekam padi secara siginifikan mampu meningkatkan kekuatan tarik bioplastik dari pati singkong melalui ikatan hidrogen antara gugus hidroksil (O–H) pada pati dan gugus hidroksil (O–H) serta karboksil (COOH) pada selulosa. Pada penelitian berbeda (Agustina et al., 2023) melaporkan penambahan konsentrasi selulosa dari ampas tebu mampu meningkatkan kekuatan tarik bioplastic dari pati pisang dengan kekuatan tarik tertinggi didapatkan 0.5109 (N/mm^2). (Darni et al., 2017) melaporkan penambahan konsentrasi pengisi selulosa dari batang sorgum mampu meningkatkan sifat mekanik dari bioplastik dari pati sorgum dengan kekuatan tarik tertinggi sebesar 7000 kPa.

Salah satu limbah biomassa yang berpotensi menjadi sumber selulosa adalah ampas tebu. Ampas tebu merupakan limbah padat dari industri gula dan minuman yang mengandung serat lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Komposisi kimia ampas tebu terdiri dari selulosa (40–42.19%), hemiselulosa (25–27,60%), lignin (20–21.56%), abu (1,0–2,8%), dan senyawa ekstraktif (5.63%) (Nunes et al., 2020). Selulosa alami yang diperoleh dari limbah biomassa dapat dirubah menjadi material dengan skala mikro dan nano untuk menghasilkan produk mikrokristalin selulosa (MCC) dan nanokristalin selulosa (NCC). NCC berfungsi sebagai pengisi untuk memperkuat dan

memperbaiki sifat mekanik biokomposit. karena memiliki gugus hidroksil yang melimpah, kompatibilitas tinggi, kristalinitas tinggi, luas permukaan spesifik besar, rasio aspek tinggi, serta stabilitas termal yang baik (Collazo-Bigliardi et al., 2018). Nanokristalin selulosa merupakan serat alami berukuran nano, dengan diameter kurang dari 100 nm bersifat biodegradable, ringan, berdensitas rendah, serta memiliki kekuatan tarik sangat tinggi (Zhang et al., 2023). Namun, untuk memperoleh selulosa berkualitas tinggi dari bahan lignoselulosa seperti ampas tebu, diperlukan tahap *pretreatment*-delignifikasi untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa (Thomas et al., 2020). Proses delignifikasi dapat dilakukan menggunakan metode alkalisasi dengan larutan NaOH, yang diikuti oleh proses pemutihan menggunakan larutan H_2O_2 (Zhang et al., 2023). Proses ini memiliki kelebihan kinerja delignifikasi yang lebih efektif serta penggunaan bahan kimia yang murah (Ng et al., 2021). Namun metode delignifikasi menggunakan metode alkali memiliki kelemahan berupa waktu proses yang lama. Untuk mengatasi permasalahan ini pemanasan menggunakan gelombang mikro dapat dijadikan alternatif dalam menggantikan pemanasa konvensional pada proses deliginfikasi menggunakan metode alkali. Pemanasan gelombang mikro emungkinkan penyerapan energi oleh molekul secara tidak langsung, yang meningkatkan transfer panas dan mempercepat kerusakan struktur biomassa melalui tumbukan molekuler yang dipicu oleh polarisasi dielektrik. Gerakan partikel polar menghasilkan pemanasan yang cepat, sehingga dapat mengurangi suhu dan waktu proses (Muharja et al., 2021). Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan penggunaan kombinasi pemanasan gelombang mikro dan metode alkali dapat meningkatkan kadar selulosa dan kadar lignin (Lubis et al., 2023).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkaji karakteristik bioplastik berbasis pati dengan pengisi selulosa. Namun kajian mengenai pengaruh penggunaan energi gelombang mikro dan proses alkali untuk delignifikasi selulosa dari ampas tebu belum pernah dilakukan. Pada penelitian selulosa ini yang telah diisolasi kemudian dilakukan perubahan material dalam skala nano menggunakan proses hidrolisis. Pada penelitian ini pengembangan bioplastik berbasis pati jagung dilakukan dengan penambahan gliserol sebagai plastisizer, nanokristalin selulosa sebagai penguat, dan minyak sereh sebagai agen antimikroba. Penambahan minyak sereh pada bioplastik bertujuan untuk menghambat pertumbuhan mikroba, memperpanjang masa simpan, dan menjaga kualitas produk bioplastik yang dihasilkan.

METODE

Bahan

Ampas tebu diperoleh dari salah satu pabrik pengolahan tebu di Kota Medan. Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini meliputi natrium hidroksida (NaOH) 2,5 M, asam sulfat (H_2SO_4) dengan variasi konsentrasi 30%, 35%, dan 40%, hidrogen peroksida (H_2O_2) 32%, gliserol, dan minyak sereh. Seluruh bahan kimia merupakan reagen pro analisis yang diperoleh dari salah satu toko bahan kimia di Kota Medan.

Preparasi Bahan Baku

Ampas tebu diperoleh dari pedagang minuman di sekitar Kota Medan. Ampas tebu dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan kotoran dan sisa gula yang menempel, lalu dikeringkan di bawah sinar matahari selama 2 jam. Setelah kering, ampas tebu dihancurkan menggunakan blender hingga berukuran lebih kecil dan diayak dengan ukuran 20 mesh

Delignifikasi dan Bleaching

Proses delignifikasi dilakukan dengan metode yang digunakan oleh (Lubis et al., 2023) menggunakan larutan NaOH 2,5 M. Campuran ampas tebu dan NaOH dipanaskan menggunakan oven gelombang mikro (Sharp R-21D0(S)IN) dengan daya 450 watt selama 30 menit. Setelah itu, campuran disaring dan dicuci dengan air sampai mencapai pH netral. Proses pemutihan dilakukan terhadap residu hasil delignifikasi menggunakan H_2O_2 30%, dipanaskan kembali dengan gelombang mikro pada daya 300 watt selama 70 menit, lalu dilakukan penyaringan (Singh et al., 2017).

Proses Hidrolisis Selulosa

Selulosa alfa hasil pemutihan dicuci dengan akuades hingga mencapai pH netral. Hidrolisis untuk menghasilkan nanokristalin selulosa (NCC) dilakukan menggunakan H_2SO_4 dengan konsentrasi 30%, 40%, dan 45% pada suhu 45°C selama 45 menit. Suspensi yang terbentuk

dibiarkan semalaman, kemudian disentrifugasi pada 10.000 rpm selama 25 menit hingga pH kembali netral. Endapan putih yang diperoleh diultrasonikasi selama 10 menit, lalu dimasukkan ke dalam membran dialisis dan direndam dalam 100 mL air suling selama 4 hari dengan pengadukan ringan. Setelah itu, larutan NCC dipanaskan pada suhu 70°C hingga air menguap dan diperoleh NCC dalam bentuk kering (Azrina et al., 2017).

Proses Pembuatan Bioplastik

Proses pembuatan bioplastik dilakukan menggunakan prosedur (Fath et al., 2023), langkah awal nanokristalin selulosa (NCC) ditimbang sesuai dengan konsentrasi 6% dari massa pati (% b/b terhadap massa pati). Kemudian sampel NCC dilarutkan dalam 100 ml akuades. Larutan NCC kemudian didispersikan menggunakan ultrasonik selama 30 menit. Setelah proses ultrasonik selesai, sebanyak 5 gram pati ditambahkan ke dalam larutan NCC. Selanjutnya, gliserol ditambahkan sebanyak 30% dari massa pati (% b/b terhadap massa pati), kemudian diaduk hingga homogen. Campuran tersebut kemudian dipanaskan secara bertahap menggunakan hot plate, dari suhu 30°C hingga 70°C selama 20 menit dengan pengadukan konstan pada kecepatan 750 rpm. Selama proses gelatinisasi berlangsung, gelas beaker ditutup dengan aluminium foil untuk mencegah penguapan. Setelah campuran homogen, pemanasan dan pengadukan dihentikan. Gelas beaker yang berisi larutan dikeluarkan dari hot plate dan didinginkan, kemudian ditambahkan minyak sereh dengan variasi konsentrasi 6%, 12%, 18%, dan 24% (v/v). Larutan kemudian dituangkan ke dalam cetakan dan dikeringkan pada suhu ruang selama 48 jam.

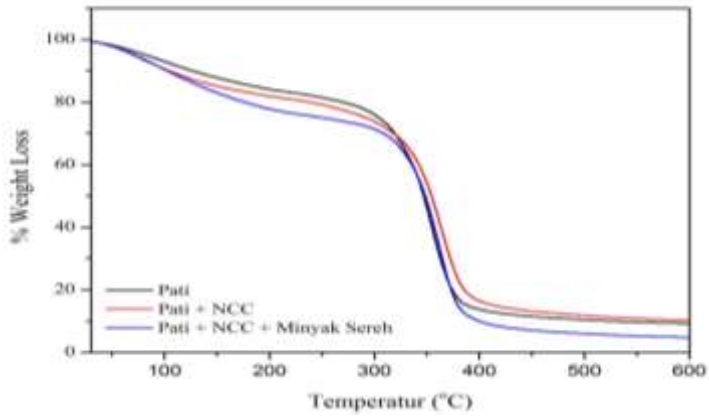
Karakteristik Bioplastik

Analisa gugus fungsi pada biokomposit dilakukan menggunakan FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) pada rentang 4000-500 cm^{-1} Balai Laboratorium Bea dan Cukai II Kota Medan. Analisis termal pada biokomposit menggunakan TGA-DSC dilakukan di Laboratorium Pengujian Politeknik Negeri Lhoksumawe. Pengaruh penambahan minyak sereh pada biokomposit dilakukan menggunakan uji aktivitas antimikroba menggunakan metode difusi agar di laboratorium mikrobiologi Universitas Sumatera Utara.

PEMBAHASAN

Analisis Termogravimetri (TGA)

Analisis termogravimetri (TGA) digunakan untuk mengkaji sifat termal dan degradasi sampel bioplastik. Gambar 1 menunjukkan kurva TG dan DTG dari bioplastik berbasis pati, pati + NCC, serta pati + NCC + minyak sereh yang mengalami tiga tahap dekomposisi termal. Pada tahap pertama degradasi terjadi pada rentang suhu 60–120 °C, dengan persentase kehilangan massa masing-masing sebesar 9%, 13%, dan 14%. Kehilangan massa ini disebabkan oleh penguapan air bebas, pelepasan air terikat karena sifat hidrofilik yang tinggi, serta hilangnya senyawa volatil dalam bioplastik. Penambahan minyak sereh dalam sampel pati + NCC meningkatkan volatilitas, yang tercermin pada peningkatan persentase kehilangan massa pada suhu yang lebih rendah (Zhao et al., 2018).



Gambar 1 Kurva Thermo Gravimetry Analysis (TGA) Biokomposit

Penambahan NCC sebagai pengisi meningkatkan persentase massa senyawa yang hilang. Hal ini dapat dijelaskan oleh sifat hidrofilik NCC yang dapat mengikat air, yang pada gilirannya

menurunkan stabilitas termal bioplastik. Namun, di sisi lain, NCC juga berfungsi sebagai insulator dan penghalang terhadap transportasi massa, yang menghambat pelepasan produk volatil selama proses dekomposisi (Oyeoka et al., 2021). Pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa penambahan minyak sereh tidak menunjukkan peningkatan signifikan terhadap kehilangan massa. Hal ini mungkin disebabkan oleh kandungan senyawa berantai karbon panjang dalam minyak sereh yang tidak mudah terdekomposisi pada suhu 60–120°C, yang merupakan rentang suhu pada tahap pertama degradasi..

Tahap degradasi kedua terjadi pada rentang suhu 120–310°C, di mana material lignoselulosa seperti hemiselulosa dan selulosa mulai terdegradasi. Hemiselulosa terdegradasi pada suhu 150–350°C, selulosa pada 275–350°C, dan lignin secara bertahap pada suhu 250–500°C (Collazo-Bigliardi et al., 2018). Pada tahap ini, kehilangan massa pada bioplastik berbasis pati, pati + NCC, dan pati + NCC + minyak sereh masing-masing adalah 12%, 17%, dan 18%. Peningkatan kehilangan massa pada sampel pati + NCC dan pati + NCC + minyak sereh dapat disebabkan oleh interaksi antara NCC yang bersifat hidrofilik dengan selulosa, serta volatilitas senyawa dalam minyak sereh yang terdekomposisi pada suhu ini.

Tahap degradasi ketiga terjadi pada suhu 314–379°C, yang ditandai dengan penurunan massa yang drastis akibat depolimerisasi termal karbohidrat dan lignin, serta dekomposisi unit glikosil(Oyeoka et al., 2021). Setelah suhu mencapai lebih dari 400°C, kehilangan massa relatif stabil, dengan residu akhir masing-masing sebesar 9%, 10%, dan 5%. Residu ini kemungkinan besar berasal dari degradasi karbon yang tersisa, dekomposisi unit monomer D-glukopiranosa menjadi radikal bebas, serta sisa-sisa lignin dan kompleks selulosa-lignin. Selain itu, keberadaan gugus sulfat dapat berasal dari hidrolisis asam sulfat yang terjadi selama proses pemanasan (Benini et al., 2018).

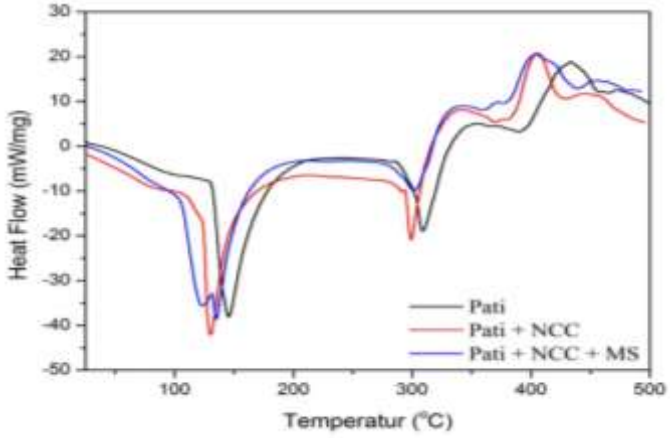
Tabel. 1 Analisis Suhu Degradasi Termal

Sampel	Tmax (°C)	On set Temp (°C)	Kehilangan Massa (%)	Residu (%)
Pati	377.76	314.56	82%	9%
Pati + NCC	379.21	315.6	81%	10%
Pati + NCC + Minyak sereh	378.33	314.14	87%	5%

Pada tabel 1 dapat dilihat penambahan NCC meningkatkan suhu degradasi maksimum (Tmax) menjadi 379,21 °C dan menurunkan kehilangan massa menjadi 81%. Hal ini menunjukkan bahwa NCC dapat meningkatkan stabilitas termal bioplastik dengan bertindak sebagai penghalang termal dan transportasi massa (Oyeoka et al., 2021)

Analisis Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Analisis DSC digunakan untuk mengetahui sifat termal dari material biokomposit termasuk transisi fasa, titik lebur, ketahanan termal, dan energi yang terlibat dalam perubahan fasa. Pati dan selulosa perlu dikaji untuk menilai kestabilan termalnya, yang mempengaruhi kinerja material tersebut dalam kondisi aplikasi yang berbeda (Harini & Chandra Mohan, 2020).



Gambar 2 Kurva Differential Scanning Calorimetry (DSC) Biokomposit

Pada Gambar 2 dan Tabel 2 menunjukkan kurva DSC dari bioplastik berbasis pati, pati + NCC, dan pati + NCC + minyak sereh yang masing-masing menunjukkan dua puncak endotermik. Puncak endotermik pertama muncul pada suhu 144,95 °C (ΔH = 240,52 J/g) untuk pati, 132,27 °C (ΔH = 189,69 J/g) untuk pati + NCC, dan 140,29 °C (ΔH = 276,76 J/g) untuk pati + NCC + minyak sereh. Puncak ini disebabkan oleh penguapan air terikat dalam bioplastik (Zhao et al., 2018).

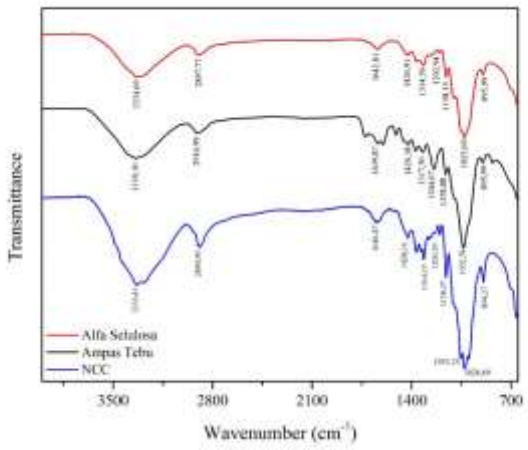
Tabel. 2 Analisis Suhu Degradasi Termal

Sampel	Endotermis 1		Endotermis 2	
	Temp (°C)	**ΔH (J/g)**	**Temp** (°C)	**ΔH (J/g)**
Pati	144.95	240.52	308.29	117.33
Pati + NCC	132.27	189.69	303.42	56.77
Pati + NCC + Minyak Sereh	140.29	276.76	309.06	86.78

Pada tabel 2 dapat dilihat puncak endotermik kedua menunjukkan adanya perubahan pada struktur polimer yang membutuhkan energi untuk memutuskan ikatan kimia dalam polimer tersebut. Pada pati, puncak endotermik kedua muncul pada suhu 308.29°C dengan entalpi (ΔH) sebesar 117.33 J/g, sedangkan pada pati + NCC puncak tersebut muncul pada suhu 303.42°C dengan ΔH = 56.77 J/g, menunjukkan penurunan entalpi yang lebih rendah pada sampel dengan penambahan NCC. Hal ini mengindikasikan bahwa NCC dapat meningkatkan kestabilan termal bioplastik, mempengaruhi suhu degradasi, dan mengurangi energi yang diperlukan pada proses degradasi. Penambahan minyak sereh dalam sampel pati + NCC + minyak sereh juga mempengaruhi titik suhu pada puncak endotermik kedua yang terjadi pada suhu 309.06°C dengan ΔH = 86.78 J/g, yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati + NCC namun lebih rendah dibandingkan dengan pati. Perubahan ini menunjukkan bahwa minyak sereh dapat memodifikasi struktur dan interaksi antar molekul dalam bioplastik, mempengaruhi proses dekomposisi dan transisi fasa pada suhu lebih tinggi (Zhao et al., 2018).

Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Karakterisasi FTIR adalah teknik spektroskopi yang menggunakan prinsip spektroskopi inframerah untuk mengidentifikasi senyawa dalam material. FTIR bekerja dengan mengukur serapan radiasi inframerah yang dihasilkan oleh getaran molekuler pada berbagai panjang gelombang. Setiap senyawa memiliki pola spektrum yang unik, dengan puncak-puncak yang menunjukkan adanya ikatan kimia spesifik. Hasil analisis FTIR pada biokomposit dapat dilihat pada Gambar 3, yang menunjukkan puncak-puncak pada rentang panjang gelombang tertentu yang mengindikasikan kelompok fungsi seperti karboksil atau hidroksil dalam bahan tersebut.



Gambar 3 Analisis FTIR

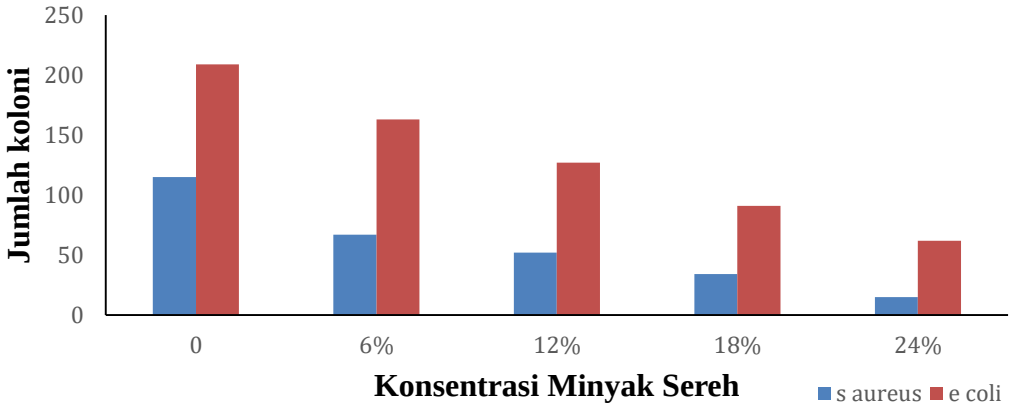
Spektrum FTIR dari ampas tebu, serat selulosa, dan nanokristal selulosa (NCC) ditunjukkan pada Gambar 3. Puncak serapan pada 3333 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus hidroksil (O–H), sedangkan puncak pada 2890 cm^{-1} menunjukkan gugus metilena (C–H), yang umumnya ditemukan pada selulosa dan hemiselulosa (Xie et al., 2016). Spektrum FTIR ampas tebu menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan alpha selulosa dan NCC. Puncak pada 1510 cm^{-1} yang berasal dari getaran aromatik pada gugus C=C dalam lignin, serta puncak pada 1242 cm^{-1} yang berkaitan dengan gugus metoksil lignin, tampak kuat pada spektrum ampas tebu, namun intensitasnya berkurang secara signifikan pada spektrum alpha selulosa dan NCC.

Hasil ini mengindikasikan bahwa gugus fungsi lignin, seperti cincin aromatik, sebagian besar telah terdegradasi dan larut akibat perlakuan pemanasan dengan gelombang mikro dan hidrolisis menggunakan asam sulfat (Harini & Chandra Mohan, 2020). Meskipun demikian, tidak ditemukan perbedaan karakteristik gugus fungsi yang signifikan antara ampas tebu, alpha selulosa, dan NCC. Perbedaan utama terletak pada intensitas dan sedikit pergeseran pita serapan FTIR. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan gelombang mikro dan hidrolisis asam sulfat tidak mengubah struktur kimia dasar dari serat selulosa.

Penelitian oleh (Ayu et al., 2021) juga menunjukkan hasil serupa dalam pembuatan nanofiber dari limbah serat buah sawit menggunakan asam sulfat, yang menghasilkan puncak serapan pada bilangan gelombang 1631–1643 cm^{-1} (gugus regang C=C), 1242 cm^{-1} (regangan C–O siklik), dan 1371 cm^{-1} (tekukan CH_3). Puncak-puncak tersebut tampak pada sampel limbah serat sawit, tetapi tidak muncul pada nanofiber selulosa yang dihasilkan. Selain itu, puncak serapan pada 892 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan ikatan β-glikosidik dari cincin glukosa dalam rantai selulosa, yang menunjukkan bahwa lignin dan hemiselulosa telah berhasil dihilangkan, meninggalkan struktur selulosa yang lebih murni.

Uji Aktivitas Antimikroba

Perbandingan film biokomposit tanpa dan dengan penambahan minyak sereh dapat dilihat pada Gambar 4. Film bioplastik yang digunakan merupakan biokomposit dengan penambahan 6% (b/b) nanokristalin selulosa (NCC) dan variasi konsentrasi minyak sereh sebesar 0%, 6%, 12%, 18%, dan 24% (b/b terhadap massa pati). Uji aktivitas antimikroba dilakukan terhadap dua jenis bakteri, yaitu Staphylococcus aureus dan Escherichia coli.



Gambar 4 Penurunan jumlah koloni bakteri pada masing-masing film biokomposit dengan penambahan agen aktif minyak sereh dan 6% NCC

Seluruh sampel yang diamati menunjukkan aktivitas antimikroba terhadap S. aureus dan E. coli. Setiap perlakuan menunjukkan tingkat efektivitas yang berbeda dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Hasil uji menunjukkan bahwa penambahan minyak sereh ke dalam bioplastik menyebabkan penurunan jumlah mikroba seiring dengan peningkatan konsentrasi minyak sereh. Hal ini disebabkan oleh mekanisme kerja minyak atsiri sebagai antimikroba, yaitu dengan menghambat atau menghentikan pertumbuhan mikroba melalui gangguan pada proses pembentukan dinding sel, sehingga dinding sel tidak terbentuk secara sempurna atau bahkan tidak terbentuk sama sekali

(Rizqullah et al., 2023). Temuan serupa juga dilaporkan oleh (Putri et al., 2021), di mana film dengan kombinasi perlakuan ekstrak jahe merah 20% menunjukkan aktivitas antimikroba sebesar 1,1 cm terhadap bakteri E. coli. Aktivitas antimikroba dari edible film berbasis pati terhadap E. coli meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak jahe yang diberikan.

KESIMPULAN

Bioplastik berbasis pati dengan penambahan nanokristalin selulosa (NCC) dan minyak sereh menunjukkan peningkatan sifat termal, stabilitas, dan aktivitas antimikroba. Analisis termogravimetri (TGA) menunjukkan bahwa NCC meningkatkan suhu degradasi maksimum dan stabilitas termal, sementara minyak sereh tidak banyak mempengaruhi stabilitas pada suhu rendah. Analisis DSC memperlihatkan bahwa penambahan NCC dan minyak sereh memengaruhi kebutuhan energi degradasi termal. Spektrum FTIR mengonfirmasi penghilangan lignin dan hemiselulosa tanpa mengubah struktur dasar selulosa. Uji antimikroba membuktikan bahwa peningkatan konsentrasi minyak sereh secara signifikan menurunkan jumlah koloni bakteri S. aureus dan E. coli, menjadikan bioplastik ini potensial sebagai material ramah lingkungan dengan sifat antimikroba yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

Abe, M. M., Martins, J. R., Sanvezzo, P. B., Macedo, J. V., Branciforti, M. C., Halley, P., Botaro, V. R., & Brienzo, M. (2021). Advantages and disadvantages of bioplastics production from starch and lignocellulosic components. *Polymers*, *13*(15). https://doi.org/10.3390/polym13152484

Agustina, A. S., Jumrah, E., & Abubakar, A. N. F. (2023). Synthesis of Eco-Friendly Bioplastic from Banana Hump Starch and Sugarcane Bagasse Cellulose Filler with Fish Scale Chitosan. *Jurnal Akta Kimia Indonesia (Indonesia Chimica Acta)*, *9*, 44–48. https://doi.org/10.20956/ica.v16i2.29891

Alonso-González, M., Felix, M., & Romero, A. (2022). Influence of the plasticizer on rice bran-based eco-friendly bioplastics obtained by injection moulding. *Industrial Crops and Products*, *180*(February). https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114767

Asrofi, M., Sapuan, S. M., Ilyas, R. A., & Ramesh, M. (2020). Characteristic of composite bioplastics from tapioca starch and sugarcane bagasse fiber: Effect of time duration of ultrasonication (Bath-Type). *Materials Today: Proceedings*, *46*(xxxx), 1626–1630. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.254

Ayu, G. E., Lubis, M., Ginting, M. H. S., Hayat, N., & Hasibuan, M. S. (2021). Characterization of nanofiber cellulose from oil palm mesocarp fiber using chemical-ultrasonic processes. *Rasayan Journal of Chemistry*, *14*(3), 1906–1909. https://doi.org/10.31788/RJC.2021.1436374

Azrina, Z., Beg, M. D. H., Rosli, M. Y., Ramli, R., Junadi, N., & Alam, A. K. M. M. (2017). Spherical nanocrystalline cellulose (NCC) from oil palm empty fruit bunch pulp via ultrasound assisted hydrolysis. *Carbohydrate Polymers*, *162*(17), 115–120. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.035

Benini, K. C. C. de C., Voorwald, H. J. C., Cioffi, M. O. H., Rezende, M. C., & Arantes, V. (2018). Preparation of nanocellulose from Imperata brasiliensis grass using Taguchi method. *Carbohydrate Polymers*, *192*(January), 337–346. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.055

Boey, J. Y., Lee, C. K., & Tay, G. S. (2022). Factors Affecting Mechanical Properties of Reinforced Bioplastics: A Review. *Polymers*, *14*(18). https://doi.org/10.3390/polym14183737

Collazo-Bigliardi, S., Ortega-Toro, R., & Chiralt Boix, A. (2018). Isolation and characterisation of microcrystalline cellulose and cellulose nanocrystals from coffee husk and comparative study with rice husk. *Carbohydrate Polymers*, *191*, 205–215. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.022

Darni, Y., Dewi, F. Y., & Lismeri, L. (2017). Modification of Sorghum Starch-Cellulose Bioplastic with Sorghum Stalks Filler. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, *12*(1), 22–30. https://doi.org/10.23955/rkl.v12i1.5410

Emanratu, J. D., Santoso, B., Myrra, A., & Dewi, P. (2025). Sintesis Bioplastik Berbasis Pati Sagu (Metroxylon Sp) Termodifikasi Heat Moisture Treatment (HMT) dan Aplikasinya sebagai Pengemas Kopi Bubuk. *Journal of Food and Agricultural Product*, *5*(1), 83–91.

Evode, N., Qamar, S. A., Bilal, M., Barceló, D., & Iqbal, H. M. N. (2021). Plastic waste and its management strategies for environmental sustainability. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *4*(August). https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100142

Fath, M. T. A., Ayu, G. E., Lubis, M., Hasibuan, G. C. R., & Dalimunthe, N. F. (2023). Mechanical And Thermal Properties Of Starch Avocado Seed Bioplastic Filled With Cellulose Nanocrystal (CNC) As Filler And Potassium Chloride (KCl) As Dispersion Agent. *Rasayan Journal of Chemistry*, *16*(3), 1630–1636. https://doi.org/10.31788/RJC.2023.1638464

Harini, K., & Chandra Mohan, C. (2020). Isolation and characterization of micro and nanocrystalline

cellulose fibers from the walnut shell, corncob and sugarcane bagasse. *International Journal of Biological Macromolecules*, *163*, 1375–1383. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.239

Hendrawati, Liandi, A. R., Ahyar, H., Maladi, I., Azhari, A., & Cornelia, M. (2023). The influence of the filler addition of rice husk cellulose, polyvinyl alcohol, and zinc oxide on the characteristics of environmentally friendly cassava biodegradable plastic. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *8*(August), 100520. https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100520

Henning, F. G., Ito, V. C., Demiate, I. M., & Lacerda, L. G. (2022). Non-conventional starches for biodegradable films: A review focussing on characterisation and recent applications in food packaging. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, *4*(August 2021), 100157. https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100157

Lubis, M., Sartika, M., Ginting, M. H. S., & Lestari, D. L. (2023). Microwave-Assisted Alkalization Pretreatment of Cellulose Nanofibers Derived From Sugar Palm Fiber. *Rasayan Journal of Chemistry*, *16*(3), 1906–1911. https://doi.org/10.31788/RJC.2023.1638186

Madhushree, M., Vairavel, P., Mahesha, G. T., & Bhat, K. S. (2024). A Comprehensive Review of Cellulose and Cellulose-Based Materials: Extraction, Modification, and Sustainable Applications. *Journal of Natural Fibers*, *21*(1), 1–27. https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2418357

Marichelvam, M. K., Jawaid, M., & Asim, M. (2019). Corn and rice starch-based bio-plastics as alternative packaging materials. *Fibers*, *7*(4), 1–14. https://doi.org/10.3390/fib7040032

Muharja, M., Darmayanti, R. F., Palupi, B., Rahmawati, I., Fachri, B. A., Setiawan, F. A., Amini, H. W., Rizkiana, M. F., Rahmawati, A., Susanti, A., & Putri, D. K. Y. (2021). Optimization of microwave-assisted alkali pretreatment for enhancement of delignification process of cocoa pod husk. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, *16*(1), 31–43. https://doi.org/10.9767/BCREC.16.1.8872.31-43

Ng, L. Y., Wong, T. J., Ng, C. Y., & Amelia, C. K. M. (2021). A review on cellulose nanocrystals production and characterization methods from Elaeis guineensis empty fruit bunches. *Arabian Journal of Chemistry*, *14*(9), 103339. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103339

Nunes, L. J. R., Loureiro, L. M. E. F., Sá, L. C. R., & Silva, H. F. C. (2020). Sugarcane industry waste recovery: A case study using thermochemical conversion technologies to increase sustainability. *Applied Sciences (Switzerland)*, *10*(18). https://doi.org/10.3390/APP10186481

Oyeoka, H. C., Ewulonu, C. M., Nwuzor, I. C., Obele, C. M., & Nwabanne, J. T. (2021). Packaging and degradability properties of polyvinyl alcohol/gelatin nanocomposite films filled water hyacinth cellulose nanocrystals. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, *6*(2), 168–185. https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.02.009

Putri, M. K., Karyantina, M., & Suhartatik, N. (2021). Aktivitas Antimikrobia Edible Film Pati Kimpul (Xanthosma Sagittifolium) Dengan Variasi Jenis Dan Konsentrasi Ekstrak Jahe (Zingiber Officinale). *Agrointek*, *15*(1), 15–24.

Rahmatullah, Putri, R. W., Rendana, M., Waluyo, U., & Andrianto, T. (2022). Effect of Plasticizer and Concentration on Characteristics of Bioplastic Based on Cellulose Acetate from Kapok (Ceiba pentandra) Fiber. *Science and Technology Indonesia*, *7*(1), 73–83. https://doi.org/10.26554/sti.2022.7.1.73-83

Rizqullah, M. A., Purba, F. F., Kusuma, I. W., & Kuspradini, H. (2023). Karakteristik dan Aktivitas Antimikroba Minyak Atsiri Daun Actinodaphne borneensis Terhadap Mikroorganise Penyebab Karies Gigi. *Teknotan*, *17*(2), 123. https://doi.org/10.24198/jtvol17n2.6

Saharan, R., & Kharb, J. (2022). Exploration of Bioplastics: A Review. *Oriental Journal Of Chemistry*, *38*(4), 840–854. https://doi.org/10.13005/ojc/380403

Santana, R. F., Bonomo, R. C. F., Gandolfi, O. R. R., Rodrigues, L. B., Santos, L. S., dos Santos Pires, A. C., de Oliveira, C. P., da Costa Ilhéu Fontan, R., & Veloso, C. M. (2018). Characterization of starch-based bioplastics from jackfruit seed plasticized with glycerol. *Journal of Food Science and Technology*, *55*(1), 278–286. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2936-6

Singh, S., Gaikwad, K. K., Park, S. Il, & Lee, Y. S. (2017). Microwave-assisted step reduced extraction of seaweed (Gelidiella aceroso) cellulose nanocrystals. *International Journal of Biological Macromolecules*, *99*, 506–510. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.004

Thomas, P., Duolikun, T., Rumjit, N. P., Moosavi, S., Lai, C. W., Bin Johan, M. R., & Fen, L. B. (2020). Comprehensive review on nanocellulose: Recent developments, challenges and future prospects. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, *110*(May), 103884. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103884

Xie, J., Hse, C. Y., De Hoop, C. F., Hu, T., Qi, J., & Shupe, T. F. (2016). Isolation and characterization of cellulose nanofibers from bamboo using microwave liquefaction combined with chemical treatment

and ultrasonication. *Carbohydrate Polymers*, *151*, 725–734. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.011

Yu-Kyung, J., & Sun-Moon, Y. (2021). Corn Starch: Quality and Quantity Improvement for Industrial Uses. *Plants*, *11*(1), 1–9. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35009095%0Ahttp://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC8747220

Zhang, Y., Zhang, Y., Xu, W., Wu, H., Shao, Y., Han, X., Zhou, M., Gu, P., & Li, Z. (2023). Preparation methods of cellulose nanocrystal and its application in treatment of environmental pollution: A mini-review. *Colloids and Interface Science Communications*, *53*(October 2022), 100707. https://doi.org/10.1016/j.colcom.2023.100707

Zhao, T., Chen, Z., Lin, X., Ren, Z., Li, B., & Zhang, Y. (2018). Preparation and characterization of microcrystalline cellulose (MCC) from tea waste. *Carbohydrate Polymers*, *184*(December 2017), 164–170. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.12.024