

Isolasi Selulosa dari Tongkol Jagung Melalui Delignifikasi Ultrasonik

Arya Mustofa⁽¹⁾, Fifit Susilowati⁽²⁾, Lilik Suprianti⁽³⁾, Mu'tasim Billah⁽⁴⁾

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan
Nasional 'Veteran' Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

Email: ¹20031010147@student.upnjatim.ac.id, ²20031010059@student.upnjatim.ac.id,
³liliksutrianti.tk@upnjatim.ac.id, ⁴tasimbillah60@gmail.com

Tersedia Online di

[http://www.jurnal.unublitar.ac.id/
index.php/briliant](http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant)

Sejarah Artikel

Diterima 28 Agustus 2024
Direvisi 04 September 2024
Disetujui 20 Agustus 2025
Dipublikasikan 20 Agustus 2025

Keywords:

Cellulose, Corncob,
Delignification, Ultrasonic

Abstract: Corncob was chosen as a raw material due to its high lignocellulose content, including 36.4% cellulose. The delignification process was performed using alkaline treatment with NaOH, enhanced by ultrasonic irradiation, creating cavitation that helps break lignin bonds, shortens processing time, and increases cellulose yield. The ultrasonic assistance aims to provide an optimal solution for lignin processing. Variables tested included ultrasonic power (80-120 watts) and delignification time (50-70 minutes). The study results indicated that both ultrasonic power and duration influenced cellulose content, with the highest yield of 66.08% achieved at 110 watts and 60 minutes. FTIR analysis showed a reduction in peak intensity, indicating lignin reduction, while SEM analysis confirmed significant surface morphology changes after delignification. In conclusion, the ultrasonic delignification method proved effective in separating cellulose from corncob, yielding better results and more efficient processing times, demonstrating the potential of ultrasonic technology in the biomass processing industry for more environmentally friendly and energy-efficient cellulose production. Further studies are recommended to optimize process conditions and evaluate industrial-scale applications.

Kata Kunci:

Selulosa, Tongkol Jagung,
Delignifikasi, Ultrasonik

Corresponding Author:

Name:
Arya Mustofa
Email:
20031010147@student.upnjatim.
ac.id

Abstrak: Tongkol jagung dipilih sebagai bahan baku karena kandungan lignoselulosa yang tinggi, termasuk 36,4% selulosa. Proses delignifikasi dilakukan dengan perlakuan alkali menggunakan NaOH yang ditingkatkan dengan bantuan ultrasonik, menghasilkan kavitas yang membantu pemecahan ikatan lignin, memperpendek waktu pemrosesan, dan meningkatkan hasil selulosa. Dengan bantuan ultrasonik ini diharapkan proses delignifikasi menjadi solusi tepat untuk pengolahan lignin. Variabel yang diuji meliputi daya ultrasonik (80-120 watt) dan waktu delignifikasi (50-70 menit). Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya dan durasi ultrasonik mempengaruhi kadar selulosa, dengan kadar tertinggi sebesar 66,08% tercapai pada daya

110 watt dan waktu 60 menit. Analisis FTIR menunjukkan penurunan intensitas puncak yang menunjukkan pengurangan lignin, sementara analisis SEM mengkonfirmasi perubahan morfologi permukaan yang signifikan setelah delignifikasi. Kesimpulannya, metode delignifikasi ultrasonik terbukti efektif dalam memisahkan selulosa dari tongkol jagung dengan hasil yang lebih baik dan waktu yang lebih efisien, menunjukkan potensi penggunaan teknologi ultrasonik dalam industri pengolahan biomassa untuk produksi selulosa yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi. Studi lebih lanjut disarankan untuk mengoptimalkan kondisi proses dan mengevaluasi skala aplikasi industri.

PENDAHULUAN

Limbah yang dihasilkan dari aktivitas pertanian merupakan salah satu sumber utama material lignoselulosa yang memiliki potensi besar untuk berbagai aplikasi industri. Tongkol jagung, sebagai salah satu jenis limbah pertanian, mengandung lignoselulosa dan merupakan sisa produk pertanian yang cukup melimpah keberadaannya. Kandungan kimia dari tongkol jagung mencakup sekitar 36,4% selulosa, 34,9% hemiselulosa, dan 14,8% lignin. Selulosa dan hemiselulosa berfungsi sebagai komponen utama dalam struktur dinding sel tanaman, sedangkan lignin memberikan kekuatan dan kekerasannya. Karena komposisinya yang kaya akan selulosa dan hemiselulosa, tongkol jagung memiliki potensi untuk diolah lebih lanjut menjadi produk bernilai tambah (Ruhibnur et al. 2019). Selulosa, dengan rumus kimia $(C_6H_{10}O_5)_n$, adalah komponen utama yang ditemukan hampir di semua sel tumbuhan. Selulosa terdiri dari rantai panjang polimer yang terbentuk dari monomer glukosa (Khairiah et al. 2021). Selulosa memiliki berbagai aplikasi industri, termasuk dalam pembuatan kertas, industri tekstil, kemasan, dan produk turunannya seperti glukosa, selulosa asetat, serta alkohol (Trisanti et al. 2018). Dalam struktur lignoselulosa, selulosa terjebak dalam matriks lignin dan hemiselulosa. Oleh karena itu, diperlukan metode khusus untuk mengisolasi selulosa dari struktur alamnya tersebut.

Proses isolasi yang dapat digunakan untuk memisahkan selulosa dari lignoselulosa adalah dengan proses delignifikasi. Proses delignifikasi adalah proses kimia maupun fisik untuk memisahkan lignin dan hemiselulosa dari selulosa (Umindya et al. 2019). Berbagai metode delignifikasi biomassa, seperti ledakan uap, perlakuan asam, dan perlakuan alkali. Delignifikasi alkali adalah salah satu proses yang paling umum diterapkan di antara berbagai metode delignifikasi yang dilakukan untuk delignifikasi biomassa. Delignifikasi biomassa lignoselulosa dengan alkali seperti NaOH dapat menghilangkan atau memodifikasi kandungan lignin dengan merusak ikatan ester yang membentuk hubungan antara xylan dan lignin, sehingga meningkatkan porositas lignoselulosa (Fuertez-Córdoba et al. 2021). Delignifikasi alkali menunjukkan degradasi polimer gula dan pembentukan turunannya yang lebih rendah. Delignifikasi alkali sangat kompleks karena melibatkan berbagai fenomena reaktif dan non-reaktif, seperti pelarutan polisakarida yang tidak terdegradasi, reaksi pengelupasan (pembentukan gugus akhir yang stabil terhadap alkali), dekomposisi polisakarida yang terlarut, dan hidrolisis ikatan glikosidik (Melro et al. 2020). Metode ekstraksi konvensional cukup untuk menghasilkan selulosa dengan kemurnian tinggi, namun metode ini memerlukan durasi perlakuan yang lama dan suhu operasional yang tinggi untuk mencapai selulosa murni tersebut (Patil, Joshi, and Gogate 2019). Oleh karena itu, perlu dilakukan proses pembaruan delignifikasi untuk mendapatkan hasil selulosa yang tinggi dengan waktu yang efektif.

Proses pretreatment alkali dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan penerapan gelombang ultrasonik. Studi ini menggabungkan pretreatment alkali dengan iradiasi ultrasonik. Perlakuan ultrasonik pada media akuatik menghasilkan kavitasasi, yang menciptakan kondisi suhu tinggi, tekanan, dan gaya geser ekstrem (Karthikesh and Yang 2021). Dekomposisi molekul air menjadi radikal bebas melalui kavitasasi membantu memecah ikatan dalam jaringan lignin dan xylan. Iradiasi ultrasonik menyebabkan homolisis ikatan lignin-karbohidrat, melepaskan lignin (Liu et al. 2020). Penerapan ultrasonik untuk delignifikasi matriks lignoselulosa masih dalam tahap pengembangan. Fraksionasi biomassa lignoselulosa yang dibantu ultrasonik meningkatkan efektivitas perlakuan konvensional seperti pada delignifikasi alkali, memberikan hasil dan selektivitas produk yang diperoleh yang lebih tinggi secara proporsional. Perlakuan ultrasonik memperpendek waktu pemrosesan serta mengurangi kebutuhan alkali (Sabaruddin et al. 2023). Ultrasonik menghasilkan efek sonokimia dan mekanokustik akibat fenomena kavitasasinya, yaitu perbedaan tekanan dalam larutan (Loow and Wu 2018). Efek mekanokustik memperkuat mikrojets dari keruntuhan gelembung yang mengakibatkan gangguan dinding sel dan meningkatkan kegunaan biomassa dalam lingkungan padat-cair heterogen. Sebaliknya, fenomena sonokimia menciptakan radikal bebas yang menghasilkan reaksi oksidasi lebih cepat pada suhu yang lebih rendah dan serangan kimia pada komponen lignoselulosa (Soontornchaiboon, Kim,

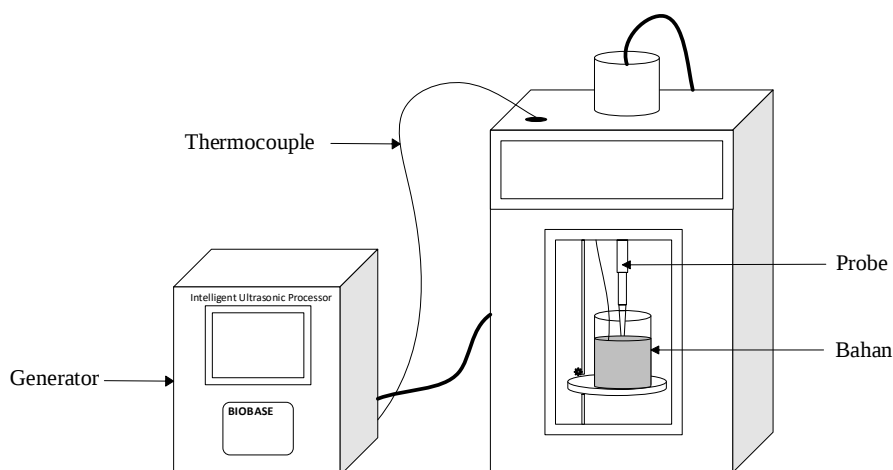
and Pawongrat 2016). Sehingga penggabungan dua metode ini dapat menghasilkan selulosa yang lebih baik dan mengoptimalkan proses delignifikasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan selulosa dengan kemurnian tinggi dari tongkol jagung dengan kadar lignin yang rendah melalui proses delignifikasi basa dengan bantuan ultrasonik. Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam pengoptimalan delignifikasi tongkol jagung menggunakan pelarut NaOH dengan bantuan gelombang ultrasonik serta mampu meningkatkan nilai jual dari limbah pertanian tongkol jagung. Selain itu, hasil penelitian dapat dipakai sebagai acuan untuk pengembangan dari metode delignifikasi biomassa khususnya tongkol jagung yang lebih efisien.

METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Riset Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur pada tanggal 24 Agustus 2023 – 12 Januari 2024 dengan menggunakan bahan yang digunakan yaitu tongkol jagung yang diambil dari Kabupaten Bojonegoro. Tongkol jagung dikeringkan dan diperkecil ukurannya hingga 40 mesh. Bahan pendukung lainnya yaitu H₂SO₄ 98%, NaOH, dan aquadest di beli di toko bahan kimia “UD. Nirwana Abadi.” NaOH digunakan sebagai pelarut dalam proses delignifikasi sedangkan H₂SO₄ digunakan dalam uji Chesson data. Aquadest berfungsi sebagai pelarut universal dalam keseluruhan penelitian ini.

Tongkol jagung kering yang telah dihancurkan diambil sebanyak 10 gram dan dilarutkan dalam 200 ml larutan NaOH 1 N. Campuran ini kemudian dimasukkan ke dalam alat sonikator, di mana daya ultrasonik dan waktu diatur sesuai variabel yang telah ditentukan. Variabel yang ditetapkan yaitu daya ultrasonik 80, 90, 100, 110, 120(watt) dan waktu delignifikasi 50, 60, 70(menit). Rangkaian alat delignifikasi dapat terlihat pada gambar 1. Setelah proses delignifikasi, campuran disaring untuk memisahkan padatan yang dihasilkan. Padatan ini kemudian dicuci dengan air untuk menetralkan pH, memastikan bahwa sisa-sisa larutan basa yang tersisa telah sepenuhnya dihilangkan. Proses ini membantu mempersiapkan bahan untuk langkah-langkah pengolahan selanjutnya. Setelah pH dinetralkan, tongkol jagung dikeringkan kembali di dalam oven pada suhu 100°C selama sekitar 2 jam. Langkah ini bertujuan untuk mengurangi kandungan air yang mungkin masih terikut dalam tongkol jagung setelah proses delignifikasi, sehingga meningkatkan kadar selulosa. Untuk memastikan perubahan komposisi lignoselulosa sebelum serta setelah proses delignifikasi, bahan diuji menggunakan metode Chesson-Datta, FTIR, dan SEM.



Gambar 1. Rangkaian Alat Ultrasonik Probe (Model UCD-250 Biobase bioindustry, China)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tongkol jagung sebelum dilakukan proses delignifikasi ultrasonik dianalisis terlebih dahulu menggunakan metode Chesson-Datta untuk mengetahui komposisi kimianya. Metode ini memungkinkan identifikasi kandungan awal dari komponen-komponen utama dalam tongkol

jagung, seperti hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Hasil analisis tersebut disajikan dalam tabel 1, yang menunjukkan persentase massa masing-masing komponen. Hemiselulosa tercatat sebanyak 1,58%, selulosa sebesar 43,25%, dan lignin memiliki kadar 44,27%. Data ini penting untuk memahami struktur awal tongkol jagung sebelum proses delignifikasi, serta untuk menilai efektivitas proses tersebut dalam memodifikasi komposisi kimianya.

Tabel 1. Hasil Analisa Bahan

Komponen	Kadar, %b/b
Hemiselulosa	1,58%
Selulosa	43,25%
Lignin	44,27%

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa kadar lignin pada tongkol jagung masih terlalu tinggi, yang dapat menghambat proses pengolahan selulosa. Kondisi yang sama juga dibuktikan oleh Susmiati (2018), dalam penelitiannya yang melibatkan penggunaan tongkol jagung juga menunjukkan kondisi kadar lignin dalam tongkol jagung masih tinggi. Kandungan lignin yang tinggi membuat selulosa sulit diakses, karena selulosa dalam tumbuhan terletak di dalam sel jaringan yang berikatan dengan hemiselulosa dan dilindungi oleh lignin pada bagian luar sel (Alves-Ferreira et al. 2021). Untuk memperoleh selulosa yang murni dan dapat diolah lebih lanjut, perlu perlakuan khusus terhadap lignin yang menghalangi akses tersebut. Salah satu metode yang efektif untuk menurunkan kadar lignin adalah proses delignifikasi. Dalam penelitian ini, proses delignifikasi dilakukan dengan menggunakan NaOH dan teknologi ultrasonik untuk hasil yang optimal. Hasil dari proses delignifikasi ultrasonik pada tongkol jagung, yang dianalisis menggunakan metode Chesson-Datta, disajikan dalam Tabel 2. Analisis ini dilakukan di Laboratorium Riset Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, untuk memastikan kualitas dan akurasi hasil penelitian.

Tabel 2. Hasil Analisa Kadar Selulosa

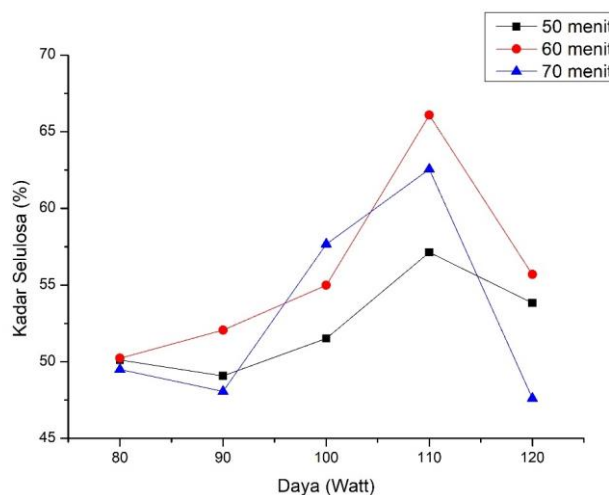
No	Waktu (menit)	Daya (Watt)	Kadar Selulosa (% b/b)
1	50	80	50,11
2		90	49,07
3		100	51,52
4		110	57,13
5		120	53,83
6	60	80	50,23
7		90	52,06
8		100	54,99
9		110	66,08
10		120	55,69
11	70	80	49,49
12		90	48,07
13		100	57,67
14		110	62,56
15		120	47,61

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 2, proses delignifikasi ultrasonik menunjukkan variasi kadar selulosa yang dihasilkan dari tongkol jagung. Data menunjukkan bahwa baik daya ultrasonik maupun durasi aplikasi mempengaruhi kadar selulosa. Peningkatan daya hingga 100 watt mampu meningkatkan kadar selulosa, dengan puncak pada 110 watt di mana kadar selulosa tertinggi tercatat sebesar 66,08% pada durasi 60 menit. Namun, pada daya 120 watt, terjadi

penurunan kadar selulosa di hampir semua durasi waktu, terutama setelah 70 menit, menunjukkan bahwa daya ini mungkin sudah melebihi titik optimal untuk proses delignifikasi. Menurut Das and Mohanty pada tahun 2023 pada penelitiannya ketika penggunaan daya ultrasonik terlalu tinggi, kemungkinan besar akan terbentuk gelembung di sekitar ujung transduser ultrasonik yang dapat menghambat transfer energi dari transduser ke dalam medium cair. Durasi ultrasonik juga mempengaruhi hasil, dengan kadar selulosa yang cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu. Namun, setelah mencapai nilai tertinggi, kadar tersebut mulai menurun, seperti yang terlihat pada daya 110 watt, di mana kadar selulosa turun dari 66,08% pada 60 menit menjadi 62,56% pada 70 menit. Penurunan ini mungkin disebabkan oleh pembentukan kembali lignin atau degradasi selulosa akibat perlakuan yang terlalu intens. Penerapan variasi waktu ultrasonik memiliki dampak yang cukup sensitif terhadap tingginya persen delignifikasi memiliki suatu titik optimum tersendiri (Olughu et al. 2021). Oleh karena itu, pengaturan yang tepat terhadap daya dan durasi ultrasonik sangat penting untuk mencapai hasil yang optimal dalam memisahkan selulosa dari lignin. Kondisi serupa juga ditemui dalam penelitian kanani pada tahun 2018 dimana persen delignifikasi mengalami penurunan setelah melewati titik optimumnya. Meskipun kondisi optimum dari tiap proses yang dihasilkan oleh penelitian sebelumnya dan sekarang berbeda, tetapi yang perlu digaris bawahi adalah semua proses delignifikasi ultrasonik pasti memiliki titik optimumnya sendiri tergantung bahan dan perlakuan yang diterapkan.

Pengaruh Daya dalam Berbagai Waktu Delignifikasi terhadap Kadar Selulosa Tongkol Jagung

Gambar 2 berikut ini merupakan grafik yang menampilkan bagaimana variabel daya dan waktu mempengaruhi proses kadar selulosa dari hasil delignifikasi basa dengan bantuan ultrasonik.

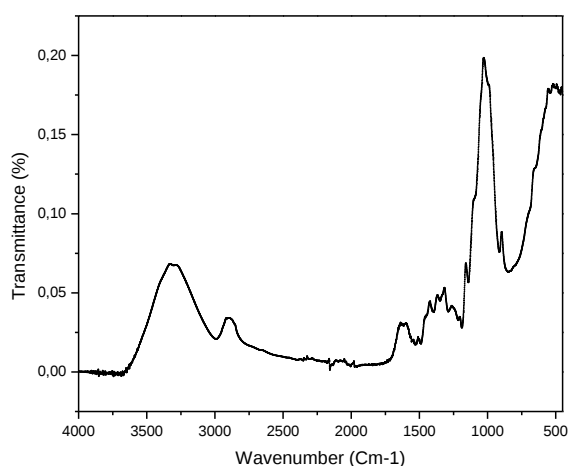


Gambar 2. Grafik hubungan daya dalam berbagai waktu delignifikasi terhadap kadar Selulosa Tongkol Jagung

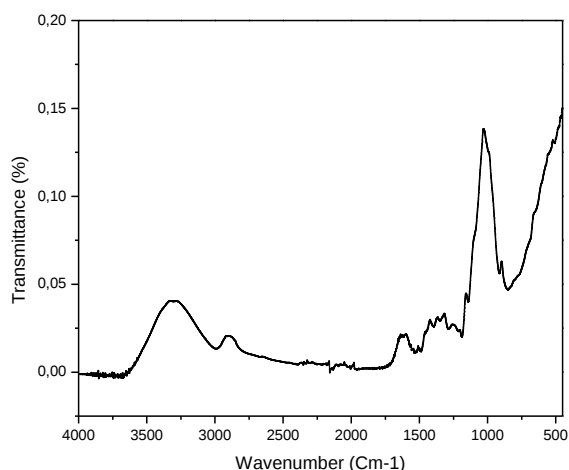
Berdasarkan grafik tersebut bahwa proses delignifikasi menggunakan ultrasonik lebih efektif menghilangkan lignin dan memperoleh selulosa yang lebih banyak seiring bertambahnya daya yang digunakan. Terlihat bahwa semakin tinggi daya delignifikasi maka kadar selulosa semakin tinggi, namun pada daya yang terlalu tinggi kadar selulosa mengalami penurunan hal ini karena ikut terdegradasinya selulosa. Menurut penelitian Trisanti et al. pada tahun 2018 didapatkan bahwa terlalu tingginya daya ultrasonik membuat selulosa yang ada dalam bahan ikut terdegradasi. Proses delignifikasi ultrasonik memang ditujukan untuk merusak lapisan lignin dari komponen lignoselulosa tetapi apabila telah melewati titik optimum tidak hanya lignin yang akan rusak strukturnya tetapi juga selulosa yang seharusnya menjadi produk utama dalam proses ini.

Hasil Analisis FTIR (fourier transform infrared spectroscopy)

Untuk mengetahui karakteristik tongkol jagung sebelum dan sesudah proses delignifikasi, dilakukan analisis Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Spektrum FTIR memberikan informasi tentang ikatan kimia dan gugus fungsi yang ada dalam sampel. Gambar 3 menyajikan spektrum FTIR tongkol jagung sebelum proses delignifikasi, yang menunjukkan ciri khas dari komponen lignoselulosa seperti lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Sementara itu, Gambar 4 menyajikan spektrum FTIR setelah proses delignifikasi, yang memperlihatkan perubahan pada puncak-puncak spektral yang menunjukkan degradasi lignin dan perubahan dalam komposisi kimia. Analisis FTIR ini memberikan bukti tambahan mengenai efektivitas proses delignifikasi dalam memodifikasi struktur kimia tongkol jagung, membantu mengkonfirmasi pengurangan lignin dan peningkatan kemurnian selulosa.



Gambar 3. Spectra FTIR tongkol jagung mula-mula



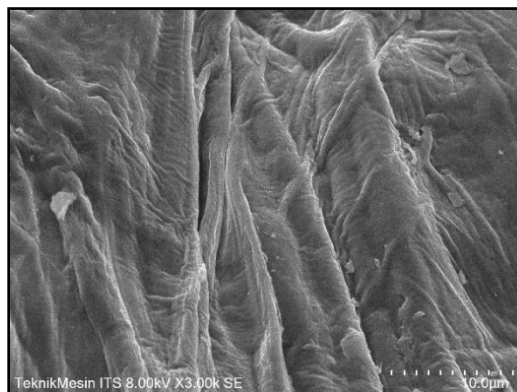
Gambar 4. Spectra FTIR tongkol jagung ultrasound 110 W dan 60 menit

Spektra FTIR dari tongkol jagung sebelum dan sesudah delignifikasi ultrasonik dicatat untuk menganalisis perubahan pada gugus fungsi. Puncak tertinggi dari setiap kurva, yaitu pada panjang gelombang 1031 cm-1, menunjukkan adanya peregangannya ikatan C-O dari gugus hidroksil sekunder yang mengacu pada selulosa dan lignin (Poon, Tan, and Kiew 2020). Selain itu, puncak

penyerapan lebar terkait dengan getaran peregangan gugus fungsi -OH terlihat sekitar 3400 cm^{-1} (Kininge and Gogate 2022). Setelah perlakuan delignifikasi menggunakan ultrasonik, intensitas puncak pada 1031 cm^{-1} dan 3400 cm^{-1} mengalami penurunan. Proses delignifikasi dengan bantuan ultrasonik terbukti efektif dalam mengurangi kandungan lignin dalam tongkol jagung. Hal ini dibuktikan dengan semakin melandainya puncak pada 1600 cm^{-1} . Melandainya puncak tersebut disebabkan oleh adanya peregangan cincin aromatik lignin akibat proses delignifikasi. Spektrum serupa ditunjukkan oleh penelitian yang dilakukan oleh Rosalina (2024), proses delignifikasi dengan bantuan ultrasonik terbukti mampu mendegradasi lignin yang terkandung dalam biomassa. Selain itu, kondisi peak yang semakin melandai akibat proses delignifikasi juga ditunjukkan dalam penelitian yang dilakukan oleh Ziaei-Rad et al. pada tahun 2023. Dengan demikian, diperoleh bahwa perlakuan alkali yang dibantu ultrasonik menghasilkan perubahan yang signifikan terhadap struktur lignoselulosa dalam biomassa dan diketahui bahwa proses ini efektif dalam meningkatkan kemurnian selulosa.

Hasil Analisis SEM (Scanning Electron Microscope)

Selain menggunakan metode Chesson-Datta dan FTIR, analisis morfologi juga dilakukan dengan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk mengamati perubahan pada struktur tongkol jagung sebelum dan sesudah proses delignifikasi. Hasil SEM menunjukkan adanya perubahan signifikan pada morfologi tongkol jagung, yang menunjukkan keberhasilan proses delignifikasi ultrasonik dalam memisahkan lignin dan hemiselulosa, serta membantu dalam memperoleh selulosa yang lebih murni. Perubahan ini mencerminkan pengaruh positif dari perlakuan ultrasonik dalam memodifikasi struktur fisik material, yang merupakan indikator penting dalam penilaian keberhasilan proses delignifikasi.



Gambar 5. Hasil Foto SEM Permukaan Tongkol Jagung mula-mula



Gambar 6. Hasil Foto SEM Permukaan Tongkol Jagung Delignifikasi US 110 watt 60 menit dengan perbesaran 5k

Berdasarkan gambar 5, struktur awal tongkol jagung terlihat masih tersusun rapi dan padat, menunjukkan integritas struktur lignoselulosa. Tongkol jagung yang belum mengalami proses delignifikasi mempunyai morfologi permukaan yang terlihat kompak dengan lignin yang masih menutupi komponen selulosa. Sebagaimana disebutkan dalam teori bahwa lignin merupakan komponen utama penahan fisik dari biomassa yang menjadikannya sulit didegradasi (Yoo et al. 2020). Kondisi yang berbeda ditunjukkan dalam gambar 6, pada gambar tersebut terjadi perubahan yang signifikan pada struktur permukaan tongkol jagung di mana terlihat adanya bekas letupan-letupan. Perubahan ini menunjukkan bahwa proses delignifikasi telah berhasil merombak struktur tongkol jagung, dengan letupan-letupan tersebut sebagai indikasi degradasi lignin. Semakin besar letupan-letupan yang terlihat, semakin banyak lignin yang terdegradasi. Dalam proses delignifikasi ultrasonik, terdapat fenomena kavitasi, yaitu pembentukan gelembung di dalam campuran cairan. Gelembung-gelembung ini dapat membesar hingga mencapai kondisi kritis, lalu meledak. Ledakan gelembung tersebut menciptakan hotspot atau titik panas pada bahan, yang meningkatkan efektivitas proses delignifikasi (Mondal et al. 2021). Fenomena ini menunjukkan peran penting ultrasonik dalam mempercepat dan meningkatkan efisiensi pemisahan lignin dari struktur selulosa, sehingga membantu memperoleh selulosa yang lebih murni (Flores et al. 2021). Penelitian yang telah dilakukan oleh Du pada tahun 2018 juga menunjukkan kondisi yang sama yaitu proses delignifikasi membuat permukaan tongkol jagung terkoyak sehingga morfologinya lebih terbuka. Penelitian lain yang juga telah membuktikan kondisi ini adalah Fakayode pada tahun 2020 yang mana dalam penelitiannya dilakukan proses delignifikasi terhadap kulit buah semangka. Penelitian tersebut juga menampilkan hasil yang mirip yaitu semakin terbukanya morfologi tongkol jagung setelah delignifikasi dengan bantuan ultrasonik serta nampak terdapat lubang lubang seperti letupan di permukaan sampel yang membuktikan adanya kavitasi oleh gelombang ultrasonik. Morfologi permukaan biomassa yang terbuka akibat dari adanya proses delignifikasi ultrasonik akan membuat ekstraksi selulosa dari biomassa tersebut semakin mudah.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa proses delignifikasi ultrasonik pada tongkol jagung secara signifikan meningkatkan kadar selulosa, terutama dengan kombinasi waktu dan daya yang optimal. Hasil menunjukkan bahwa pada daya 110 Watt dan waktu 60 menit, kadar selulosa mencapai puncaknya sebesar 66,08%. Secara umum, peningkatan daya hingga 110-120 Watt dan waktu antara 50-70 menit memberikan hasil terbaik dengan kadar selulosa tertinggi berkisar antara 62,56% hingga 66,08%. Peningkatan waktu atau daya di luar kisaran ini tidak selalu menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam kadar selulosa. Hasil analisis FTIR dan SEM terhadap tongkol jagung juga menunjukkan keadaan hasil yang positif setelah melalui proses delignifikasi ultrasonik yaitu semakin terbukanya struktur dan morfologi permukaan lignoselulosa dalam tongkol jagung tersebut. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa delignifikasi ultrasonik terbukti efektif dalam meningkatkan kadar selulosa, dengan optimalisasi pada daya dan waktu tertentu.

DAFTAR RUJUKAN

- Alves-Ferreira, Júnia et al. 2021. "Delignification of Cistus Ladanifer Biomass by Organosolv and Alkali Processes." *Energies* 14(4).
- Das, Anindita, and Kaustubha Mohanty. 2023. "Optimization of Lignin Extraction from Bamboo by Ultrasound-Assisted Organosolv Pretreatment." *Bioresource Technology* 376(January): 128884. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128884>.
- Du, Ruoyu, Rongxin Su, Wei Qi, and Zhimin He. 2018. "Enhanced Enzymatic Hydrolysis of Corn cob by Ultrasound-Assisted Soaking in Aqueous Ammonia Pretreatment." *3 Biotech* 8(3): 1–7. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1186-2>.

- Fakayode, Olugbenga Abiola et al. 2020. "Novel Two-Pot Approach Ultrasonication and Deep Eutectic Solvent Pretreatments for Watermelon Rind Delignification: Parametric Screening and Optimization via Response Surface Methodology." *Energy* 203.
- Flores, Erico M.M. et al. 2021. "Ultrasound-Assisted Biomass Valorization to Industrial Interesting Products: State-of-the-Art, Perspectives and Challenges." *Ultrasonics Sonochemistry* 72: 105455. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105455>.
- Fuertes-Córdoba, John Marcelo, Juan Camilo Acosta-Pavas, and Ángela Adriana Ruiz-Colorado. 2021. "Alkaline Delignification of Lignocellulosic Biomass for the Production of Fermentable Sugar Syrups." *DYNA (Colombia)* 88(218): 168–77.
- Kanani, Nufus, Endarto Y Wardono, Abdul M Hafidz, and Herlina R Octavani. 2018. "Proses Delignifikasi Dengan Metode Pre-Treatment Kimia." *Jurnal TEKNIKA* 14(1): 1–10.
- Karthikesh, Madhumithra Subramanian, and Xinmai Yang. 2021. "The Effect of Ultrasound Cavitation on Endothelial Cells." *Experimental Biology and Medicine* 246(7): 758–70.
- Khairiah, Hanifah et al. 2021. "Pengembangan Proses Pembuatan Bioetanol Generasi II Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit." *Jurnal Pangan dan Agroindustri* 9(4): 233–40.
- Kininge, Madhuri M., and Parag R. Gogate. 2022. "Intensification of Alkaline Delignification of Sugarcane Bagasse Using Ultrasound Assisted Approach." *Ultrasonics Sonochemistry* 82: 105870. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105870>.
- Liu, Bingyang et al. 2020. "Ultrasound Acoustic Cavitation Enhances Depolymerization of Organosolv Lignin to Phenolic Monomers and Low Molecular Weight Lignin Bio-Oils." *Fuel Processing Technology* 203(October 2019): 106387. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106387>.
- Loow, Yu Loong, and Ta Yeong Wu. 2018. "Transformation of Oil Palm Fronds into Pentose Sugars Using Copper (II) Sulfate Pentahydrate with the Assistance of Chemical Additive." *Journal of Environmental Management* 216: 192–203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.084>.
- Melro, Elodie et al. 2020. "Dissolution of Kraft Lignin in Alkaline Solutions." *International Journal of Biological Macromolecules* 148: 688–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.153>.
- Mondal, Joydip, Rajaram Lakkaraju, Parthasarathi Ghosh, and Muthupandian Ashokkumar. 2021. "Acoustic Cavitation-Induced Shear: A Mini-Review." *Biophysical Reviews* 13(6): 1229–43. <https://doi.org/10.1007/s12551-021-00896-5>.
- Olughu, Onu Onu, Lope G Tabil, and Tim Dumonceaux. 2021. "Ultrasonic Delignification and Microstructural Characterization of Switchgrass." *Energies* 14(263): 1–17.
- Patil, Rucha S, Saurabh M Joshi, and Parag R Gogate. 2019. "Ultrasonics - Sonochemistry Intensi Fi Cation of Deligni Fi Cation of Sawdust and Subsequent Enzymatic Hydrolysis Using Ultrasound." *Sonochemistry* 58(May).
- Poon, Jia Jun, Mei Ching Tan, and Peck Loo Kiew. 2020. "Ultrasound-Assisted Extraction in Delignification Process to Obtain High Purity Cellulose." *Cellulose Chemistry and Technology* 54(7–8): 725–34.
- Rosalina, Rosalina, Dwi Kemala Putri, and Reni Sutri. 2024. "Sugar Content Improvement by Sonication in the Pretreatment of Empty Fruit Bunch Hydrolysis." *Jurnal Teknik Kimia* 30(1): 80–90.
- Ruhibnur, Refid, Nur Aida, Anto Susanto, and Tardi Kurniawan. 2019. "Optimization of Corncob Waste in Bioethanol Manufacturing and Its Characteristics by the Treatment of Fermentation Period and Yeast Concentration."
- Sabaruddin, Fatimah Athiyah, Liana Noor Megashah, Siti Shazra Shazleen, and Hidayah Ariffin. 2023. "Emerging Trends in the Appliace of Ultrasonic Technology for Valorization of Agricultural Residue into Versatile Products." *Ultrasonics Sonochemistry* 99(June): 106572. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106572>.
- Soontornchaiboon, Waesarat, Sang Moo Kim, and Ratchapol Pawongrat. 2016. "Effects of Alkaline Combined with Ultrasonic Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of

- Agricultural Wastes for High Reducing Sugar Production.” *Sains Malaysiana* 45(6): 955–62.
- Susmiati, Yuana. 2018. “Prospek Produksi Bioetanol Dari Limbah Pertanian Dan Sampah Organik The Prospect of Bioethanol Production from Agricultural Waste and Organic Waste.” *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri* 7(2): 67–80.
- Trisanti, Prida Novarita, Sena Setiawan H.P, Elysa Nura’ini, and Sumarno. 2018. “Gergaji Kayu Sengon Melalui Proses Delignifikasi Alkali Ultrasonik.” *Sains Materi Indonesia* 19(3): 113–19.
- Umindya, Gusti et al. 2019. “Pembuatan Dan Karakterisasi Selulosa Dari Limbah Serbuk Meranti Kuning (*Shorea Macrobalanos*).” *Jurnal Sain Terapan* 5(1): 142–47.
- Yoo, Chang Geun, Xianzhi Meng, Yunqiao Pu, and Arthur J. Ragauskas. 2020. “The Critical Role of Lignin in Lignocellulosic Biomass Conversion and Recent Pretreatment Strategies: A Comprehensive Review.” *Bioresource Technology* 301(November 2019): 122784. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122784>.
- Ziaei-Rad, Zhila et al. 2023. “Investigation of a Robust Pretreatment Technique Based on Ultrasound-Assisted, Cost-Effective Ionic Liquid for Enhancing Saccharification and Bioethanol Production from Wheat Straw.” *Scientific Reports* 13(1): 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27258-9>.