

## Produksi Nanoselulosa Berkelanjutan dari Tongkol Jagung untuk Adsorpsi Logam Berat yang Efisien: Sebuah Tinjauan

### *Sustainable Nanocellulose Production from Corncobs for Efficient Heavy Metal Adsorption: A Review*

Firman Abadi Saputra<sup>1</sup>, Taufik Fauzi<sup>1\*</sup>, I Wayan Sudika<sup>1</sup>, A.A. Ketut Sudharmawan<sup>1</sup>,  
Taslim Sjah<sup>1</sup>, Suwardji<sup>1</sup>, Mulyati<sup>1</sup>, Diah Miftahul Aini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Fakultas Pertanian Universitas Mataram, Mataram, Indonesia;

<sup>2</sup>(Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mataram, Mataram, Indonesia.)

\*corresponding author, email: [mtaufikfauzi@unram.ac.id](mailto:mtaufikfauzi@unram.ac.id)

#### ABSTRAK

Kontaminasi logam berat pada tanah pertanian merupakan ancaman signifikan terhadap kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat, terutama di wilayah dengan aktivitas industri dan pertanian yang intensif. Meskipun teknik remediasi konvensional banyak digunakan, seringkali terkendala oleh biaya operasional yang tinggi, munculnya polutan sekunder serta efisiensi yang rendah pada konsentrasi kontaminan yang rendah. Menanggapi keterbatasan tersebut, tinjauan ini membahas potensi pemanfaatan limbah tongkol jagung sebagai adsorben logam berat dengan menyajikan sumber informasi yang komprehensif bagi para peneliti dan profesional industri. Metodologi yang digunakan mencakup tinjauan literatur ilmiah secara ekstensif terkait produksi nanocellulose dan adsorpsi logam berat melalui Google Scholar, Mendeley, dan basis data ilmiah lainnya. Hasil kajian menunjukkan bahwa tongkol jagung kaya akan selulosa dan sangat ideal sebagai bahan baku sintesis nanoselulosa. Teknik karakterisasi seperti *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *X-Ray Diffraction* (XRD) mengonfirmasi kesesuaian struktur kimia bahan tersebut. Studi adsorpsi menunjukkan kemampuan yang efektif dalam menghilangkan ion logam berat melalui mekanisme ikatan ionik, kompleksasi, dan pertukaran ion. Temuan ini menyoroti dua manfaat utama dari pendekatan ini: mengubah limbah pertanian menjadi material bernilai tambah dan menyediakan alternatif yang ramah lingkungan serta hemat biaya untuk dekontaminasi tanah. Tinjauan ini menjadi referensi penting bagi peneliti, pelaku agribisnis, dan praktisi yang tertarik pada strategi berkelanjutan untuk remediasi lingkungan, serta menunjukkan arah pengembangan yang menjanjikan di masa depan.

**Kata kunci:** nanocellulose\_tongkol\_jagung; adsorpsi\_logam\_berat; sintesis\_hijau; biosorben; agribisnis

#### ABSTRACT

*Heavy metal contamination in agricultural soils significantly threatens environmental quality and public health, especially in areas with intensive industrial and agricultural activities. Conventional remediation techniques, though widely used, are often hindered by high operational costs, the generation of secondary pollutants, and reduced efficiency at low contaminant concentrations. In response to these limitations, this review examines the potential use of corncob residues as adsorbents for heavy metals, offering a thorough resource for researchers and industry professionals. The methodology involved an extensive review of academic literature in nanocellulose production and heavy metal adsorption from Google Scholar, Mendeley, and other scientific databases. These findings prove that corncobs are rich in cellulose and serve as an ideal raw material for nanocellulose synthesis. Characterization techniques such as *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), and *X-Ray Diffraction* (XRD) confirm the structural and chemical suitability of the material. Adsorption studies reveal effective removal of heavy metal ions through ionic bonding, complexation, and ion exchange mechanisms. The findings underscore the dual benefits of this approach: transforming agricultural waste into value-added materials and providing an eco-friendly, cost-effective alternative for soil decontamination. This review serves as a comprehensive resource for researchers, agribusiness actors, and practitioners interested in sustainable strategies for environmental remediation and highlights promising directions for future development.*

**Keywords:** *corncob\_nanocellulose; heavy\_metal\_adsorption; green\_synthesis; biosorbent; agribusiness*

## PENDAHULUAN

Kontaminasi logam berat di lahan pertanian telah menjadi perhatian yang signifikan, karena masyarakat mengonsumsi hasil pertanian dari lahan tersebut yang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan. Limbah industri merupakan salah satu sumber utama logam berat di tanah pertanian (Handayani *et al.*, 2022). Akumulasi logam berat di dalam tanah memiliki dampak lingkungan yang signifikan, termasuk gangguan keseimbangan ekologi, penurunan kesuburan tanah, perubahan sifat fisikokimia tanah, serta risiko serius terhadap kesehatan manusia (Handayani *et al.*, 2023). Sehingga, diperlukan alternatif yang ramah lingkungan untuk mengatasi permasalahan ini dengan cara mengurangi kontaminasi logam berat secara berkelanjutan.

Beberapa proses yang dilakukan untuk menghilangkan logam berat masih menghadapi tantangan besar, termasuk menghasilkan endapan toksik dalam jumlah besar, biaya operasional yang tinggi, serta efektivitas yang menurun ketika diterapkan pada limbah dengan konsentrasi rendah (Kurniasari, 2010). Oleh karena itu, perlu dikaji metode alternatif yang ramah lingkungan dan mampu memberikan hasil optimal dengan biaya rendah (Sangi *et al.*, 2008). Dengan demikian, sangat penting untuk mengembangkan metode pengolahan limbah menggunakan teknologi alternatif yang ramah lingkungan dan memiliki efisiensi tinggi (Ida *et al.*, 2024).

Adsorpsi menggunakan bahan alami sebagai adsorben merupakan salah satu metode alternatif untuk mengolah limbah yang mengandung logam berat. Proses ini dikenal sebagai biosorpsi, dan adsorben yang digunakan disebut biosorben. Keunggulan penggunaan biosorben meliputi ketersediaan bahan baku yang melimpah dan murah, efisiensi tinggi dalam pengolahan limbah, minimnya produksi lumpur, serta tidak memerlukan tambahan nutrisi maupun proses regenerasi (Kurniasari, 2010).

Salah satu adsorben yang umum digunakan adalah selulosa, yaitu biopolimer alami yang dapat diperbarui, biodegradable, dan tidak beracun. Selulosa bersifat hidrofilik namun tidak larut dalam air, mudah didapat dengan kemurnian tinggi, serta lebih hemat biaya dibandingkan biopolimer lain seperti kitosan (Aka *et al.*, 2019). Selulosa juga dapat dimodifikasi menjadi nanoselulosa untuk memperoleh sifat yang lebih unggul. Nanoselulosa, dengan ukuran di bawah 1000 nm, memiliki berbagai keunggulan seperti daya sebar yang tinggi, biodegradabilitas, peningkatan kristalinitas, rasio aspek, dan luas permukaan (Vikriya, 2018). Kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan menurunnya ukuran partikel, yang menjadi salah satu alasan utama dikembangkannya selulosa pada skala nanometer (Maulana, 2012). Limbah pertanian merupakan sumber potensial untuk mengekstrak material kaya selulosa. Selulosa yang diperoleh dapat diolah menjadi nanoselulosa yang memberikan banyak keuntungan untuk berbagai aplikasi (Ningtyas *et al.*, 2020). Selulosa dapat diperoleh dari berbagai sumber alami, salah satunya adalah tongkol jagung, yaitu hasil samping pertanian dari tanaman jagung (*Zea mays*).

Jagung merupakan komoditas pangan terpenting kedua setelah padi. Oleh karena itu, Indonesia menempati peringkat kedelapan sebagai produsen jagung terbesar di dunia. Tingginya produksi jagung berkaitan langsung dengan jumlah limbah tongkol jagung yang dihasilkan dalam jumlah besar. Karena limbah ini diproduksi secara berkelanjutan, maka diperlukan strategi pemanfaatan dan pengelolaan yang efektif (Nurfadila *et al.*, 2022). Tongkol jagung (*Zea mays*) merupakan hasil samping jagung yang jarang dimanfaatkan. Tongkol jagung mengandung 40–44% selulosa, 31–33% hemiselulosa, 16–18% lignin, dan 3–5% abu. Kandungan selulosa yang tinggi menjadikan tongkol jagung sebagai sumber material adsorben yang menjanjikan serta menawarkan solusi potensial untuk mengatasi tantangan yang dihadapi petani jagung akibat melimpahnya limbah tongkol jagung yang belum dimanfaatkan secara optimal (Wang *et al.*, 2011; Winda *et al.*, 2014).

Pemanfaatan nanoselulosa dari limbah tongkol jagung juga memiliki potensi nilai ekonomi yang tinggi karena dapat digunakan sebagai bahan baku untuk industri tekstil, farmasi, biokomposit, dan teknologi lingkungan, sehingga mendukung hilirisasi produk agribisnis dan meningkatkan pendapatan petani (Fitriani *et al.*, 2021). Tongkol jagung kaya akan selulosa sehingga memiliki potensi besar sebagai bahan baku biosorben. Namun, masih terdapat kekurangan studi komprehensif yang menggabungkan hasil penelitian yang telah ada mengenai konversi bahan ini menjadi nanoselulosa serta penerapannya secara praktis dalam remediasi logam berat. Tinjauan ini bertujuan untuk mengeksplorasi pemanfaatan limbah tongkol jagung sebagai adsorben logam berat, sehingga dapat menjadi referensi yang komprehensif bagi akademisi, pelaku agribisnis, dan para profesional (Gan *et al.*, 2020; Kaur *et al.*, 2021).

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan melakukan studi kepustakaan. Pendekatan penulisan melibatkan pencarian dan pengumpulan literatur sebagai basis data, termasuk artikel ilmiah, laporan, dan hasil penelitian sebelumnya. Sementara itu, untuk mengumpulkan informasi yang mendukung isi penulisan, berbagai sumber informasi digunakan dengan menganalisis dan membedakan substansi dari buku, artikel, situs web, dan data lain yang relevan dengan topik dalam studi literatur ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik dan Komposisi Tongkol Jagung

Tongkol jagung, yaitu bagian sisa dari tanaman jagung yang tertinggal setelah biji dipanen, merupakan limbah lignoselulosa yang terutama terdiri atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang menjadikannya sebagai bahan baku potensial untuk berbagai aplikasi bioproduk. Komposisi kimia rata-rata dari tongkol jagung mencakup sekitar 38,8% selulosa, 44,4% hemiselulosa, dan 11,9% lignin. Selulosa dan hemiselulosa merupakan polimer karbohidrat yang mudah terdegradasi, sedangkan lignin lebih tahan terhadap dekomposisi dan berperan dalam memberikan kekuatan struktural pada dinding sel tanaman. Selain komposisi kimianya, karakteristik fisik dari tongkol jagung seperti porositas yang tinggi, luas permukaan yang besar, dan kapasitas penyerapan cairan yang signifikan turut mendukung kesesuaiannya untuk diaplikasikan sebagai adsorben, bahan bakar biomassa, dan substrat fermentasi (Pointner *et al.*, 2014).

### Proses Produksi dan Modifikasi Nanoselulosa

Isolasi selulosa dari tongkol jagung merupakan langkah awal yang krusial dalam pemanfaatan biomassa lignoselulosa. Secara umum, proses ini melibatkan beberapa tahapan, yaitu pra-perlakuan alkali, delignifikasi, dan pemurnian selulosa. Pra-perlakuan alkali bertujuan melarutkan hemiselulosa dan sebagian lignin. Sementara itu, tahap pemutihan menggunakan agen pengoksidasi seperti natrium hipoklorit (NaClO) atau hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) untuk menghilangkan lignin yang tersisa dan menghasilkan selulosa dengan kemurnian tinggi. Proses-proses ini umumnya dilakukan pada suhu antara 60–100°C selama beberapa jam, tergantung pada konsentrasi reagen dan jenis bahan baku yang digunakan. Produk akhir dari tahap ini adalah  $\alpha$ -selulosa dengan tingkat kemurnian tinggi yang sesuai sebagai prekursor untuk produksi nanoselulosa (Gan *et al.*, 2020; Kaur *et al.*, 2021).

Selulosa dari tongkol jagung dapat diisolasi secara efisien melalui kombinasi pra-perlakuan alkali menggunakan 4% NaOH dan proses pemutihan dengan 1% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, yang menghasilkan tingkat pemulihan selulosa hingga 35–40% dari berat kering awal. Setelah proses isolasi, selulosa dari tongkol jagung dapat dimodifikasi lebih lanjut menjadi nanoselulosa melalui berbagai metode, seperti hidrolisis asam, proses mekanik (misalnya ultrasonikasi, homogenisasi bertekanan tinggi), dan metode ramah lingkungan seperti perlakuan enzimatik yang dikombinasikan dengan ultrasonikasi (Sengar *et al.*, 2023).

Nanoselulosa dapat diproduksi menggunakan asam, terutama asam sulfat. Proses ini menghilangkan bagian lunak dari selulosa dan menyisakan kristal kecil yang kuat, yang dikenal sebagai crystalline nanocellulose (CNC), dengan ukuran sekitar 100 hingga 300 nanometer. Namun, proses ini menghasilkan limbah asam yang perlu ditangani secara hati-hati. Dalam sebuah studi, nanoselulosa diproduksi melalui penghilangan lignin, perlakuan alkali, dan kemudian hidrolisis asam. Peneliti menguji berbagai kadar asam, waktu, dan suhu untuk mendapatkan hasil terbaik. Hasil optimal diperoleh dengan menggunakan asam 44,4% selama 32 menit pada suhu 40,5°C, yang menghasilkan rendemen tertinggi sebesar 62,2%. Pengujian menunjukkan bahwa komponen yang tidak diinginkan berhasil dihilangkan, nanoselulosa yang dihasilkan berukuran kecil dan seragam (sekitar 101,6 nm), serta memiliki struktur kristal yang lebih tinggi dibandingkan bahan asalnya. Nanoselulosa ini juga menunjukkan ketahanan panas yang berbeda, terdegradasi pada suhu 270°C. Pengamatan dengan mikroskop menunjukkan bahwa perlakuan tersebut meningkatkan struktur permukaan nanoselulosa (Bacha, 2022).

### Metode dan Sintesis Ramah Lingkungan dalam Produksi Nanoselulosa

Metode yang dilakukan seperti ultrasonikasi atau homogenisasi bertekanan tinggi menghasilkan nanofiber selulosa (CNF) dengan diameter di bawah 100 nm dan panjang yang dapat mencapai beberapa mikrometer. Meskipun teknik ini membutuhkan konsumsi energi yang tinggi, metode ini tidak melibatkan bahan kimia berbahaya sehingga dianggap lebih ramah lingkungan. Terdapat berbagai metode untuk memproduksi nanoselulosa

(NC) dan bentuk terfibrilasinya (CNF) dengan peningkatan sifat fisikokimia. Namun, perlakuan konvensional yang melibatkan penggunaan asam, basa, atau proses organosolv dianggap tidak ramah lingkungan dan berisiko tinggi terhadap ekosistem. Oleh karena itu, strategi produksi NC/CNF dari biomassa saat ini perlu dievaluasi kembali dengan mengedepankan prinsip keberlanjutan dan kimia hijau.

Teknik-teknik seperti pemrosesan hidrotermal, homogenisasi bertekanan tinggi, ball milling, perlakuan dengan pelarut eutektik dalam (deep eutectic solvent), dan hidrolisis enzimatis telah banyak diterapkan. Namun, desain proses secara keseluruhan masih membutuhkan optimalisasi agar dapat mencapai produksi yang benar-benar efisien dan berkelanjutan (Teo & Wahab, 2020).

Pendekatan sintesis hijau, seperti kombinasi enzim selulase dengan proses ultrasonikasi, tengah dikembangkan untuk mengurangi konsumsi energi dan penggunaan bahan kimia. Pra-perlakuan enzimatis yang dikombinasikan dengan ultrasonikasi ini mampu menghasilkan nanoselulosa dari tongkol jagung dengan ukuran partikel yang seragam serta stabilitas suspensi yang tinggi, tanpa menghasilkan limbah kimia yang berbahaya (Sengar *et al.*, 2023).

### **Karakterisasi Nanoselulosa**

Karakterisasi yang komprehensif sangat penting untuk memahami dan mengoptimalkan potensi aplikasi nanoselulosa. Karakterisasi ini mencakup analisis ukuran partikel dan luas permukaan, struktur kimia, serta sifat fisikokimia utama yang mendukung kinerja nanoselulosa, khususnya dalam aplikasi adsorpsi dan material fungsional lainnya.

### **Ukuran Partikel dan Luas Permukaan**

Ukuran partikel nanoselulosa merupakan parameter utama yang memengaruhi sifat fisik dan reaktivitasnya. Umumnya, partikel nanoselulosa memiliki diameter kurang dari 100 nm dan panjang hingga beberapa mikrometer, tergantung pada metode produksi yang digunakan. Teknik *Particle Size Analyzer* (PSA) digunakan untuk menentukan distribusi ukuran partikel dalam suspensi. Sementara itu, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM) memberikan citra resolusi tinggi terhadap morfologi permukaan dan struktur internal nanoselulosa. Nanoselulosa yang dihasilkan melalui hidrolisis asam biasanya memiliki morfologi batang (rod-like) dengan panjang antara 100–300 nm dan diameter antara 5–20 nm, serta luas permukaan spesifik yang tinggi ( $>200 \text{ m}^2/\text{g}$ ), yang sangat memengaruhi kapasitas adsorpsi dan interaksi antarpartikel (Barbash *et al.*, 2023; Rajanna *et al.*, 2022).

### **Struktur Kimia Nanoselulosa**

Struktur kimia nanoselulosa dianalisis menggunakan teknik *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *X-ray Diffraction* (XRD). FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada permukaan nanoselulosa, seperti gugus hidroksil ( $-\text{OH}$ ), yang berperan penting dalam pembentukan ikatan hidrogen dengan molekul lain. Gugus karbonil dan eter juga dapat muncul tergantung pada proses modifikasi kimia yang diterapkan (Bian *et al.*, 2021).

XRD digunakan untuk mengevaluasi tingkat kristalinitas nanoselulosa. Nanoselulosa kristalin (CNC) umumnya menunjukkan puncak difraksi karakteristik pada sudut  $2\theta$  sekitar  $22^\circ$ , yang sesuai dengan struktur selulosa tipe I. Tingkat kristalinitas yang tinggi mengindikasikan sifat mekanik yang unggul dan ketahanan terhadap degradasi yang lebih baik. Selain itu, metode XRD digunakan untuk menghitung *Crystallinity Index* (CrI), yang penting untuk menghubungkan susunan mikrostruktur dengan sifat makroskopik seperti kekuatan tarik dan stabilitas termal (Bian *et al.*, 2021; Rajanna *et al.*, 2022).

Nanoselulosa memiliki berbagai sifat unggul yang menjadikannya material adsorben yang sangat efisien, antara lain tingkat hidrofilisitas yang tinggi, stabilitas koloid yang sangat baik, serta rasio luas permukaan terhadap volume yang besar. Afinitasnya yang kuat terhadap air dan senyawa polar lainnya disebabkan oleh keberadaan gugus hidroksil ( $-\text{OH}$ ) yang melimpah pada permukaannya, yang sangat penting dalam aplikasi untuk menyerap logam berat, zat warna tekstil, atau senyawa organik dari air limbah.

Ukuran partikelnya yang kecil dan muatan permukaan negatif yang berasal dari gugus sulfat atau karboksilat, tergantung pada metode produksinya berkontribusi terhadap stabilitas koloid yang sangat baik dalam

pelarut polar. Selain itu, rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi secara signifikan meningkatkan kapasitas interaksinya dengan molekul target, baik dalam media cair maupun gas.

Secara khusus, nanoselulosa yang dihasilkan melalui oksidasi menunjukkan stabilitas luar biasa dalam media air karena permukaannya yang bermuatan negatif, dan dapat dimodifikasi lebih lanjut untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi selektif terhadap ion logam seperti  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ , atau  $\text{Cr}^{6+}$  (Yang *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2024).

### **Mekanisme Adsorpsi Logam Berat oleh Nanoselulosa**

Biosorpsi merupakan proses pasif di mana bahan biologis atau berbasis biomassa, seperti nanoselulosa, mampu menyerap kontaminan berupa logam berat melalui berbagai mekanisme permukaan. Nanoselulosa memiliki banyak gugus hidroksil ( $-\text{OH}$ ) dan dapat dimodifikasi secara kimia untuk menambahkan gugus fungsional lain seperti karboksil ( $-\text{COOH}$ ), sulfat ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ), atau amina ( $-\text{NH}_2$ ), yang dapat meningkatkan kapasitas adsorpsinya terhadap ion logam (Alves *et al.*, 2024).

Nanoselulosa berperan sebagai biosorben yang efektif karena memiliki luas permukaan yang tinggi, jumlah gugus aktif yang melimpah, serta stabilitas struktural yang baik di berbagai kondisi lingkungan. Mekanisme adsorpsi logam berat oleh nanoselulosa melibatkan beberapa jenis interaksi, termasuk ikatan ionik dan kompleksasi, di mana ion logam bermuatan positif seperti  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ , dan  $\text{Cu}^{2+}$  berinteraksi dengan gugus bermuatan negatif seperti  $-\text{COO}^-$  pada permukaan nanoselulosa dan membentuk kompleks stabil. Proses kimia ini menghasilkan ikatan yang relatif kuat. Selain itu, adsorpsi fisik (fisorpsi) juga terjadi melalui gaya lemah seperti gaya van der Waals atau gaya elektrostatik yang bersifat reversibel, memungkinkan regenerasi biosorben. Pertukaran ion juga merupakan mekanisme penting, di mana ion logam menggantikan ion seperti  $\text{Na}^+$  atau  $\text{H}^+$  yang terikat pada gugus fungsi di permukaan nanoselulosa. Gabungan dari interaksi fisik dan kimia ini menghasilkan efisiensi adsorpsi yang tinggi serta memperluas jenis ion logam yang dapat diserap (Sangi *et al.*, 2008).

Efektivitas nanoselulosa dalam menyerap ion logam sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter lingkungan dan operasional. Salah satu faktor paling penting adalah pH larutan, karena memengaruhi bentuk spesiasi ion logam serta muatan permukaan nanoselulosa. Pada pH rendah, ion  $\text{H}^+$  yang berlebih akan bersaing dengan ion logam untuk mengisi situs aktif adsorpsi, sehingga menurunkan kapasitas adsorpsi. Sebaliknya, pada pH optimal (biasanya antara 5 hingga 6), peningkatan muatan negatif pada permukaan nanoselulosa akan meningkatkan interaksinya dengan ion logam bermuatan positif. Selain itu, konsentrasi awal ion logam juga berpengaruh, di mana konsentrasi yang lebih tinggi menciptakan gradien konsentrasi yang mendorong proses adsorpsi, meskipun pada akhirnya akan mencapai titik jenuh. Waktu kontak merupakan faktor penting lainnya, di mana adsorpsi berlangsung cepat pada awal proses dan melambat seiring tercapainya kesetimbangan; waktu optimal berkisar antara 30 hingga 120 menit tergantung jenis logam dan kondisi sistem. Suhu juga memengaruhi proses adsorpsi; peningkatan suhu sedang dapat meningkatkan difusi ion logam ke pori-pori nanoselulosa, namun suhu yang terlalu tinggi dapat merusak struktur biosorben. Selain itu, sifat termodinamika dari proses adsorpsi, apakah bersifat endotermis atau eksotermis, sangat tergantung pada jenis ion logam serta gugus fungsi aktif yang terlibat dalam proses tersebut (Marichelvam & Azhagurajan, 2018).

### **Efektivitas Nanoselulosa dalam Adsorpsi Logam Berat**

Berbagai studi telah membuktikan bahwa nanoselulosa mampu secara efisien menyerap ion logam berat seperti merkuri ( $\text{Hg}^{2+}$ ), timbal ( $\text{Pb}^{2+}$ ), dan kadmium ( $\text{Cd}^{2+}$ ). Efektivitas ini terutama disebabkan oleh mekanisme kompleksasi antara ion logam dengan gugus fungsi aktif yang terdapat pada permukaan nanoselulosa. Nanoselulosa teroksidasi menunjukkan kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap logam berat, dengan nilai mencapai 120–150 mg/g untuk  $\text{Pb}^{2+}$  dan 90–110 mg/g untuk  $\text{Cd}^{2+}$ , tergantung pada kondisi lingkungan dan modifikasi permukaannya. Selain itu, nanoselulosa juga efektif terhadap logam lain seperti  $\text{Cr}(\text{VI})$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , dan  $\text{Ni}^{2+}$ , sehingga menjadikannya adsorben multifungsi yang cocok untuk pengolahan limbah industri dan pertanian (Zhang *et al.*, 2024).

### **Inovasi Hilirisasi Nanoselulosa**

Pemanfaatan nanoselulosa yang berasal dari limbah tongkol jagung merupakan inovasi hilirisasi yang menjanjikan dengan potensi besar dalam pengelolaan agribisnis berkelanjutan. Limbah tongkol jagung, yang sebelumnya hanya dianggap sebagai sisa hasil produksi pertanian, kini dapat diolah menjadi nanoselulosa—

material bernilai tinggi dengan berbagai aplikasi industri, mulai dari biosorben dan kemasan ramah lingkungan hingga komponen material komposit (Klemm *et al.*, 2011; Jiang & Hsieh, 2015). Menurut Isogai (2020), nanoselulosa memiliki kekuatan mekanik tinggi, dapat terurai secara hayati, dan memiliki kapasitas adsorpsi yang sangat baik, sehingga menjadi kandidat unggul dalam teknologi ramah lingkungan. Dalam sektor agribisnis, hal ini sejalan dengan pendapat Elizabeth dan Anugrah (2020) yang menyatakan bahwa pengolahan limbah menjadi produk bioindustri dapat meningkatkan daya saing agroindustri sekaligus mengurangi limbah yang merusak lingkungan. Pemanfaatan tongkol jagung sebagai sumber nanoselulosa tidak hanya meningkatkan nilai tambah produk berbasis jagung, tetapi juga memberikan peluang diversifikasi pendapatan bagi petani dan pelaku usaha kecil dan menengah (UKM). Penanganan limbah hasil biomasa menjadi salah satu alternatif yang dapat berpotensi dimanfaatkan oleh petani sebagai peningkatan perekonomian Masyarakat (Rahmawati *et al.*, 2022). Edukasi mengenai pemanfaatan limbah hasil pertanian juga menjadi isu penting yang harus dilakukan terutama ke Masyarakat hal ini juga membuka peluang baru bagi Masyarakat dan mendorong *Sustainable Development Goals* (SDGs) (Handayani, *et al* 2025).

Pengembangan hilirisasi nanoselulosa berbasis tongkol jagung juga membuka peluang integrasi ke dalam rantai nilai agribisnis yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Seperti yang disampaikan oleh Ardiansyah Haidi (2019), pengolahan jagung dan limbahnya di tingkat rumah tangga dapat meningkatkan pendapatan petani dan mendukung kemandirian ekonomi lokal. Lebih lanjut, Sari *et al.* (2024) menekankan bahwa pemberdayaan petani dalam pengolahan berbasis limbah, termasuk produksi nanoselulosa, turut berkontribusi terhadap pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Dengan demikian, pengembangan hilirisasi nanoselulosa tidak hanya relevan sebagai inovasi teknologi, tetapi juga sebagai strategi pengelolaan agribisnis berkelanjutan yang mendukung ekonomi sirkular dan kesejahteraan petani.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tongkol jagung mengandung selulosa dalam jumlah tinggi, sehingga sangat cocok digunakan sebagai prekursor dalam produksi nanoselulosa. Metode analisis seperti *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *X-Ray Diffraction* (XRD) telah membuktikan bahwa struktur dan sifat kimia material ini memenuhi syarat untuk tujuan tersebut. Studi tentang kinerja adsorpsi juga menunjukkan bahwa nanoselulosa mampu menangkap ion logam berat secara efisien melalui mekanisme seperti interaksi ionik, kompleksasi, dan pertukaran ion. Secara keseluruhan, pendekatan ini menunjukkan keuntungan ganda: mengubah limbah pertanian menjadi material bernilai tinggi serta menawarkan solusi remediasi tanah tercemar yang ramah lingkungan dan hemat biaya. Hilirisasi nanoselulosa dari limbah tongkol jagung merupakan strategi inovatif yang mengintegrasikan nilai ekonomi, keberlanjutan agribisnis, serta kontribusi nyata terhadap pembangunan lingkungan dan kesejahteraan petani. Pendekatan ini menyoroti manfaat ganda: transformasi limbah pertanian menjadi material bernilai tinggi dalam sistem hilirisasi agribisnis, sekaligus menawarkan solusi yang ramah lingkungan dan efisien dalam penanganan pencemaran tanah.

## Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Mataram atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan dalam penyusunan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aka, E. C., Nongbe, M. C., Ekou, T., Ekou, L., Coeffard, V., & Felpin, F. X. 2019. A fully bio-sourced adsorbent of heavy metals in water fabricated by immobilization of quinine on cellulose paper. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.05.006>
- Alves, D. F., Camani, P. H., Souza, A. G., & Rosa, D. S. 2024. A novel sustainable composite hydrogel containing nanocellulose to remove potentially toxic metals from contaminated water. *Polymer Bulletin*, 81(7). <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04986-0>
- Ardiansyah Haidi, A. 2019. Analisis peningkatan nilai tambah produk jagung marning skala industri rumah tangga di Kota Makassar [Tesis, Universitas Hasanuddin]. Universitas Hasanuddin Repository. <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/28444/1/TEISIS%20LENGKAP-dikonversi.pdf>
- Bacha, E. G. 2022. Response Surface Methodology Modeling, Experimental Validation, and Optimization of Acid Hydrolysis Process Parameters for Nanocellulose Extraction. *South African Journal of Chemical*

*Engineering*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.03.003>

- Barbash, V. A., Yashchenko, O. V., Yakymenko, O. S., & Myshak, V. D. 2023. Extraction, properties and use of nanocellulose from corn crop residues. *Applied Nanoscience (Switzerland)*, 13(12). <https://doi.org/10.1007/s13204-023-02926-y>
- Bian, H., Yang, Y., & Tu, P. 2021. Crystalline Structure Analysis of All-cellulose Nanocomposite Films Based on Corn and Wheat Straws. *BioResources*, 16(4). <https://doi.org/10.15376/biores.16.4.8353-8365>
- Elizabeth, R., & Anugrah, I. S. 2020. Pertanian bioindustri meningkatkan daya saing produk agroindustri dan pembangunan pertanian berkelanjutan. Forum Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis, 2020, 1–12. <https://core.ac.uk/download/pdf/327129290.pdf>
- Fitriani, E., Arbianti, R., & Sari, R. K. 2021. Nanoselulosa dari limbah tongkol jagung sebagai material multifungsi bernilai ekonomi tinggi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(3), 345–354. <https://doi.org/10.29122/jtl.v22i3.4571>
- Handayani, C. O., Sukarjo, & Dewi, T. 2022. Distribusi Logam Berat Pb , Cd , Cr , Ni dan Risiko Kesehatan Akibat Paparan Logam Berat Melalui Saluran Pencernaan di Lahan Sawah Sekitar Kawasan Industri Kabupaten Bandung. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 46(1).
- Handayani, C. O., Sukarjo, S., Zu'amah, H., & Dewi, T. 2023. Penilaian Status dan Risiko Ekologi Cemaran Logam Berat di Lahan Pertanian Kota Malang, Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(1). <https://doi.org/10.14710/jil.22.1.60-68>
- Handayani, S. S., Suhendra, D. ., Ryantin Gunawan, E. ., Miftahul Aini, D. ., Putra Adiguna, S. ., Sari Fania, R. ., Maulida, E., Rischia, A. ., & Nurlaela, N. 2025. Peningkatan Keterampilan Masyarakat dalam Pengelolaan Minyak Nabati dari Limbah Pertanian di Desa Barabali Batuk Liang Lombok Tengah. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Sains Indonesia (Indonesian Journal Of Science Community Services)*, 7(1), 5–8. <https://doi.org/10.29303/jpmsi.v7i1.1156>
- Ida, N. C., Sariono, H., & Widyawatinigrum, E. 2024. Pemanfaatan Mikroba *Saccharomyces cerevisiae* Sebagai Biosorpsi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Limbah Pengujian AAS (Atomic Absorption Spectrometry) Di Laboratorium Biosain. *Jurnal Pengembangan Potensi Laboratorium*, 3(1). <https://doi.org/10.25047/plp.v3i1.4660>
- Isogai, A. 2020. Wood nanocelluloses: Fundamentals and applications. *Japanese Journal of Applied Physics*, 59(6), 060501. <https://doi.org/10.35848/1347-4065/ab7be8>
- Jiang, F., & Hsieh, Y. L. 2015. Cellulose nanocrystal isolation from tomato peels and assembled nanofibers. *Carbohydrate Polymers*, 122, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.12.059>
- Kaur, P., Sharma, N., Munagala, M., Rajkhowa, R., Aallardyce, B., Shastri, Y., & Agrawal, R. 2021. Nanocellulose: Resources, Physio-Chemical Properties, Current Uses and Future Applications. *In Frontiers in Nanotechnology (Vol. 3)*. <https://doi.org/10.3389/fnano.2021.747329>
- Klemm, D., Kramer, F., Moritz, S., Lindström, T., Ankerfors, M., Gray, D., & Dorris, A. 2011. Nanocelluloses: A new family of nature-based materials. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(24), 5438–5466. <https://doi.org/10.1002/anie.201001273>
- Laeli Kurniasari. (2010). Pemanfaatan Mikroorganisme Dan Limbah Pertanian Sebagai Bahan Baku Biosorben Logam Berat. *Momentum*, 6(2).
- Marichelvam, M. K., & Azhagurajan, A. 2018. Removal of mercury from effluent solution by using banana corm and neem leaves activated charcoal. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.08.005>
- Maulana, M. S. 2012. Pengaruh variasi waktu hidrolisis terhadap sifat permukaan nanoselulosa nata de coco dalam mengikat ion Cd(II).
- Ningtyas, K. rimadhanti, Muslihudin, M., & Sari, I. N. 2020. Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Hasil Pertanian dengan Menggunakan Variasi Konsentrasi Asam. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 20(2). <https://doi.org/10.25181/jppts.v20i2.1631>
- Nurfadila, Kurniati, M., & Maddu, A. 2022. Hidrogel Berbasis Nanoselulosa Tongkol Jagung dan Asam Akrilat-Akrilamida dengan Metode Ikat Silang Secara Kimia dan Iradiasi Gamma. [Repository.Ipb.Ac.Id](https://repository.ipb.ac.id).

- Pointner, M., Kuttner, P., Obrlik, T., Jäger, A., & Kahr, H. 2014. Composition of corncobs as a substrate for fermentation of biofuels. *Agronomy Research*, 12(2).
- Rahmawati, K. P., Abdul Muin, Diah Miftahul Aini, Baiq Desy Ratnasri, & Faelga Sara Rosiana. 2022. Pemanfaatan Kulit Buah Manggis Sebagai Bahan Campuran dalam Panganan Masyarakat Sebagai Upaya Penanganan Limbah Kulit Manggis di Daerah Desa Gegelang, Lombok Barat. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Formosa*, 1(2). <https://doi.org/10.55927/jpmf.v1i2.538>
- Rajanna, M., Shivashankar, L. M., Shivamurthy, O. H., Ramachandrappa, S. U., Betageri, V. S., Shivamallu, C., Hallur Lakshmana Shetty, R., Kumar, S., Amachawadi, R. G., & Kollur, S. P. 2022. A Facile Synthesis of Cellulose Nanofibers from Corn Cob and Rice Straw by Acid Hydrolysis Method. *Polymers*, 14(20). <https://doi.org/10.3390/polym14204383>
- Sangi, M. R., Shahmoradi, A., Zolgharnein, J., Azimi, G. H., & Ghorbandoost, M. 2008. Removal and recovery of heavy metals from aqueous solution using *Ulmus carpinifolia* and *Fraxinus excelsior* tree leaves. *Journal of Hazardous Materials*, 155(3). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.110>
- Sari, S. A., Prastowo, P., & Muslim, M. 2024. Analyze farmers' attitudes, skills, and SDG achievements through the production of organic fertilizer from corn cobs. *Engagement: Jurnal Hilirisasi Teknologi kepada Masyarakat*, 11(1), 45–60. <https://engagement.fkdp.or.id/index.php/engagement/article/download/1835/276>
- Sengar, C., Kapoor, A., & Sastry, S. V. A. R. 2023. Biomass conversion of cotton to nanocellulose: synthesis of biodegradable nanopolymer and its application for removal of rhodamine B dye from aqueous solutions. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-05228-z>
- Teo, H. L., & Wahab, R. A. 2020. Towards an eco-friendly deconstruction of agro-industrial biomass and preparation of renewable cellulose nanomaterials: A review. *In International Journal of Biological Macromolecules (Vol. 161)*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.076>
- Vikriya, N. Z. 2018. Preparasi dan Karakterisasi Nanoselulosa dari Tongkol Jagung Secara Hidrolisis Asam. *In Digital Repository Universitas Jember*.
- Wang, L., Yang, M., Fan, X., Zhu, X., Xu, T., & Yuan, Q. 2011. An environmentally friendly and efficient method for xylitol bioconversion with high-temperature-steaming corncob hydrolysate by adapted *Candida tropicalis*. *Process Biochemistry*, 46(8). <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.05.004>
- Winda, D. T., Hastuti, R., & Haris, A. 2014. Pengaruh Penambahan PVA-Sulfonasi pada Tongkol Jagung (*Zea Mays*) sebagai Adsorben Ion Logam Pb<sup>2+</sup>. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 17(1). <https://doi.org/10.14710/jksa.17.1.31-36>
- Zhang, S., Zhu, G., Xu, X., Luo, F., Tian, D., Liu, Y., Wang, Q., Chen, Q., Jiang, Y., Qi, J., Xu, J., Wu, F., Feng, X., Tang, Q., Guo, W., & Lu, Y. 2024. Two all-biomass cellulose/amino acid spherical nanoadsorbents based on a tri-aldehyde spherical nanocellulose II amino acid premodification platform for the efficient removal of Cr(VI) and Cu(II). *International Journal of Biological Macromolecules*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128748>