

Review: Isolasi α -Selulosa dari Bahan Alam dengan Berbagai Metode (Kimia, Fisika, Biologi)

Review: Isolation of α -Cellulose from Natural Materials using Various Methods (Chemical, Physical, Biological)

Yulianita Pratiwi Indah Lestari

How to cite: Lestari, Y.P.I. (2024) "Review: Isolasi α -Selulosa dari Bahan Alam dengan Berbagai Metode (Kimia, Fisika, Biologi)", Farmasains: Jurnal Ilmiah Ilmu Kefarmasian, 11(2), pp. 76–89. <https://doi.org/10.22236/farmasains.v11i2.11919>

To link to this article: <https://doi.org/10.22236/farmasains.v11i2.11919>



©2024. The Author(s). This open access article is distributed under a [Creative Commons Attribution \(CC BY-SA\) 4.0 license](#).



Published Online on October 31, 2024

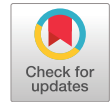


[Submit your paper to this journal](#)



CrossMark

[View Crossmark data](#)



Review: Isolasi α -Selulosa dari Bahan Alam dengan Berbagai Metode (Kimia, Fisika, Biologi)

Yulianita Pratiwi Indah Lestari*

Fakultas Farmasi, Universitas Muhammadiyah Banjarmasin, Kalimantan Selatan, 70581, Indonesia

*Corresponding author: yulianita.pratiwi@umbjm.ac.id

Dikirim: 22 Juni 2023

Diterima: 19 Juli 2024

Diterbitkan: 31 Oktober 2024

Abstract

One of Indonesia's most abundant natural resources is cellulose ($C_6H_{10}O_5)_n$, where cellulose is the main component of most plant cells. Cellulose is a glucose monomer with long polymer chains. Cellulose is a relatively common substance because it makes up most of the plant cell walls. Most of the cellulose is still combined with lignin and hemicellulose found in woody plant cells, while some are found in pure form, such as in cotton seeds and other plants. Several procedures to obtain cellulose have been carried out, including basic alkalinization treatment with bleaching, steam exposure, irradiation, extrusion, biodelignification, and enzymatic processes, which can isolate cellulose. The type of agent used as an alkali, bleaching agent, addition of enzymes, and the equipment used all influence the effectiveness of the cellulose isolation process. This research was carried out based on a literature study regarding methods that can be used in the cellulose isolation process, accessed by comparing multiple procedures, where the proper procedure will produce maximum cellulose content. This research aims to determine various methods that can be used to obtain or isolate α -cellulose from natural materials. Based on the results of a literature study, it was found that cellulose isolation can be done using several methods, including chemical methods, physical methods, biological methods, and other traditional methods.

Keywords: cellulose isolation; cellulose; Indonesia; natural materials; plant

Abstrak

Salah satu sumber daya alam Indonesia yang paling melimpah adalah selulosa ($C_6H_{10}O_5)_n$, senyawa ini merupakan komponen utama dari sebagian besar sel tumbuhan. Selulosa merupakan monomer glukosa dengan rantai polimer yang panjang. Karena menyusun sebagian besar dinding sel tumbuhan, selulosa adalah zat yang relatif umum terdapat di alam. Sebagian besar selulosa masih berkombinasi dengan lignin dan hemiselulosa yang terdapat pada sel tumbuhan berkayu, sedangkan sebagian lagi terdapat dalam bentuk murni, seperti pada biji kapas dan tanaman lainnya. Beberapa prosedur untuk mendapatkan selulosa telah dilakukan, termasuk perlakuan dasar alkalinasi dengan proses *bleaching*, *steam exposition*, iradiasi, ekstruksi, biodelignifikasi, serta enzimatik, yang dimana tahapan ini dapat digunakan untuk mengisolasi selulosa. Jenis zat yang digunakan sebagai alkali, zat pemutih, penambahan enzim, dan penggunaan peralatan semuanya berdampak pada seberapa efektivitas proses isolasi selulosa. Penelitian ini dilakukan berdasarkan studi literatur mengenai metode-metode yang dapat digunakan dalam proses isolasi selulosa, diakses dengan membandingkan berbagai prosedur, dimana prosedur yang tepat akan menghasilkan kadar selulosa yang maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berbagai macam metode yang dapat dilakukan untuk mendapatkan atau mengisolasi α -selulosa dari bahan alam. Berdasarkan hasil studi literatur yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa isolasi selulosa dapat melalui beberapa cara, antara lain: cara kimia, cara fisika, cara biologi dan cara tradisional lainnya.

Kata Kunci: bahan alam; Indonesia; isolasi selulosa; selulosa; tumbuhan



2024. The Author(s). This open access article is distributed under a [Creative Commons Attribution \(CC BY-SA\) 4.0 license](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

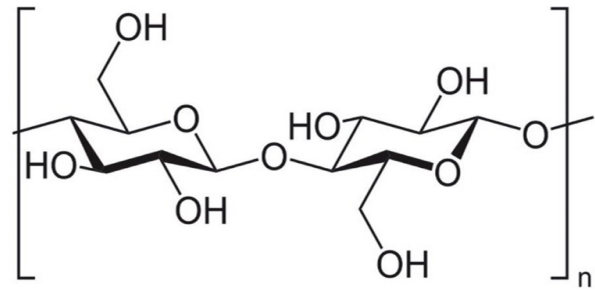
PENDAHULUAN

Selulosa memiliki manfaat dalam berbagai bidang, di antaranya sebagai adsorben logam berat (1), bahan baku pembuatan selulosa mikrokristal (2), serta bahan baku dalam pembuatan senyawa turunan selulosa lainnya, seperti metil selulosa (3) dan selulosa asetat (4). Dengan demikian, diperlukan berbagai metode dan modifikasi yang tepat agar dapat menghasilkan selulosa dengan rendemen yang tinggi. Selulosa mikrokristal dibuat dengan proses hidrolisis sederhana dari berbagai sumber serat dan teknik. Tujuannya adalah untuk meningkatkan penggunaan dan permintaannya, seperti obat-obatan, cat tekstil, makanan, dan kosmetik (5).

Selulosa merupakan penyusun sebagian besar dinding sel tumbuhan, sehingga dapat dikatakan bahwa selulosa adalah zat yang relatif umum ditemukan di alam. Polimer dengan struktur rantai lurus 1,4- β -D-glukosa membentuk selulosa (6). Batang tanaman jagung merupakan salah satu limbah hasil pertanian yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Penggunaan NaOH konsentrasi 25% pada proses ekstraksi selulosa batang jagung menghasilkan rendemen tertinggi sebesar 35,61% dengan nilai pH rata-rata sebesar 8,66. Kemampuan mengikat air atau disebut dengan *Water Holding Capacity* (WHC) tertinggi sebesar 8,21 g/g dan kemampuan mengikat minyak atau disebut dengan *Oil Holding Capacity* (OHC) sebesar 9,76 g/g.

Gambar 1 mengilustrasikan komposisi kimia selulosa. Sebagian besar selulosa masih berkombinasi dengan lignin dan hemiselulosa yang terdapat pada sel tumbuhan berkayu, sedangkan sebagian lagi terdapat dalam bentuk murni, seperti pada biji kapas (6).

Lignin terdiri dari sejumlah zat yang berhubungan erat secara kimia yang mencakup karbon, hidrogen, dan oksigen, meskipun persentase karbon dalam lignin lebih besar daripada zat yang mengandung karbohidrat. Polisakarida heterogen dengan berat molekul rendah membentuk hemiselulosa. Bahan hemiselulosa biasanya mengandung antara 15 hingga 30 persen dari berat keringnya



Gambar 1. Struktur Molekul Selulosa (7).

dalam lignoselulosa. Pembentukan mikrofibril oleh hemiselulosa ini dengan lembaran serat yang mengikat selulosa untuk meningkatkan stabilitas dinding sel (7).

Banyak sumber alami, termasuk bakteri, ganggang, tanaman tahunan, limbah pertanian, dan kayu, dapat menghasilkan selulosa (8). Salah satu sumber daya alam Indonesia yang paling melimpah adalah selulosa ($C_6H_{10}O_5$)_n, di mana komponen utama dari sebagian besar sel tumbuhan adalah selulosa. Monomer glukosa dengan rantai polimer panjang membentuk selulosa (9).

Limbah pertanian dianggap sebagai sumber serat selulosa alami yang berlimpah, berkelanjutan, terjangkau, dan terbarukan. Secara keseluruhan, produksi gula, tepung sagu, beras, dan minyak goreng pada tahun 2016 masing-masing sebesar 2,33 juta ton, 440,516 juta ton, 32,42 juta ton, dan 33,5 juta ton, menurut data Badan Pusat Statistik (BPS). Produksi ini menghasilkan sampah dalam jumlah yang signifikan, terbukti dengan angka produksinya, dan sulit untuk ditangani pembuangan limbahnya. Biasanya, limbah tersebut ditangani dengan diolah menjadi pakan ternak (10). Material lignoselulosa, selulosa, serta lignin merupakan komponen utama dari limbah pertanian. Jutaan ton limbah pertanian dibuang dan dibakar setiap tahunnya. Limbah dalam jumlah besar ini menyebabkan pencemaran lingkungan dan pemborosan sumber daya energi terbarukan. Oleh karena itu, diperlukan tindakan yang dapat menghasilkan manfaat sebesar-besarnya mengingat limbah pertanian merupakan sumber yang sangat baik untuk ekstraksi selulosa. Peningkatan limbah tersebut dengan mengembangkan

produk inovatif seperti nanomaterial selulosa dan nanokomposit dapat memberikan manfaat lingkungan dan ekonomi yang tinggi (11).

Industri farmasi Indonesia terus mengimpor bahan baku farmasi hingga saat ini. Bahan baku farmasi mengandung sekitar 90% bahan mentah yang bersumber dari luar negeri. Secara khusus, ketersediaan bahan baku farmasi perlu ditingkatkan untuk industri farmasi Indonesia. Bahan baku farmasi yang telah diimpor pada 2012 sekitar Rp 11,4 triliun. Jika dipersentasekan, bahan baku medis di Indonesia bisa mencapai 95% dari seluruh nilai bisnis perusahaan. Pemerintah merespon dengan mendorong investasi di industri farmasi. Untuk menjalankan prosedur produksi, baik skala kecil di laboratorium maupun skala besar di lingkungan industri, penting untuk terus mencari alternatif dari bahan alam Indonesia yang cepat tumbuh dan mudah diakses (12).

Berdasarkan derajat polimerisasi (DP) dan kelarutan dalam senyawa natrium hidroksida (NaOH) 17,5 % (13). Secara analitik, selulosa terdiri dari tiga fraksi, yaitu alfa, beta, dan gamma (14), penjelasannya sebagai berikut (13):

- a. Alfa Selulosa (*Alpha Cellulose*, α -selulosa) adalah selulosa berantai panjang yang tahan dan tidak larut dalam larutan NaOH 17,5 % atau larutan basa kuat dengan DP sebesar 600-15000. α -selulosa digunakan sebagai penduga atau tingkat kemurnian selulosa.
- b. Beta Selulosa (*Beta Cellulose*, β -selulosa) adalah selulosa berantai pendek yang larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan DP berkisar antara 15–90. β -selulosa ini dapat mengendap jika ekstrak dinetralkan.
- c. Gamma Selulosa (*Gamma Cellulose*, γ -selulosa) adalah selulosa berantai pendek yang larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan DP kurang dari 15. Kandungan utamanya adalah hemiselulosa.

Ulasan ini bertujuan untuk mengetahui berbagai macam metode yang dapat dilakukan

untuk mengisolasi α -selulosa dari bahan alam. Keunggulan yang disajikan dalam ulasan ini terletak pada keterbaruan data dari referensi dengan rentang tahun 2013-2024, baik dari sumber Jurnal Nasional maupun Internasional. Ulasan ini juga dapat menjadi acuan bagi penulis dan peneliti lain untuk mempelajari isolasi selulosa serta berbagai derivatnya yang berasal dari bahan alam.

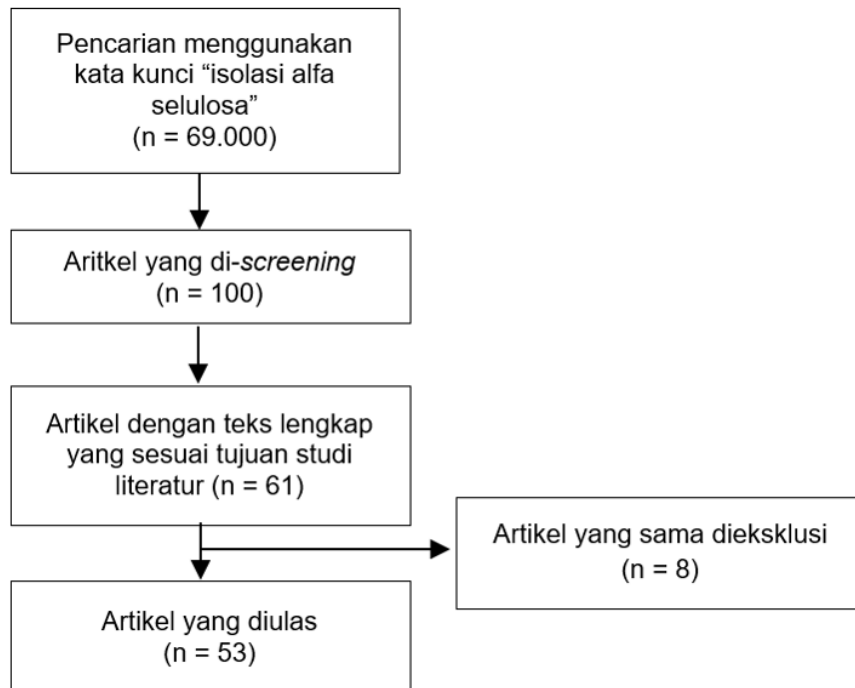
METODE

Metode studi literatur digunakan untuk mengumpulkan informasi yang dibutuhkan dalam penulisan ulasan artikel ini. Alat pencarian perpustakaan online yang digunakan antara lain, Google, Google Scholar, Research Gate, dan Elsevier.

Kata kunci yang digunakan dalam penelusuran pustaka dilakukan dengan pencarian menggunakan beberapa kata kunci atau *keyword*, yaitu terkait dengan “isolasi selulosa”, “selulosa”, “delignifikasi”, “biodelignifikasi”, “isolasi α -selulosa”, serta “isolasi selulosa enzimatis”. Pustaka yang diperoleh kemudian disusun sesuai kerangka isolasi α -selulosa dengan berbagai metode dan penulisan review sesuai format yang diberikan.

Sulitnya menemukan variasi metode yang sesuai dengan tema studi literatur, dengan demikian referensi yang digunakan dalam ulasan ini adalah mayoritas artikel yang terbit 10 tahun terakhir dan maksimal 20 tahun terakhir.

Berdasarkan hasil studi literatur, diperoleh 55 artikel yang terdiri dari literatur nasional maupun internasional. Artikel-artikel tersebut memuat informasi mengenai berbagai macam metode untuk proses isolasi α -selulosa, meliputi teknik, tahapan, hingga hasilnya. Kriteria inklusi dari studi literatur ini adalah artikel-artikel penelitian yang memiliki data mengenai teknik isolasi α -selulosa, sedangkan kriteria eksklusi adalah artikel-artikel yang menggunakan bahasa asing selain Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris. Bagan alir pengumpulan informasi mengikuti diagram Prisma seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Prisma.

PEMBAHASAN

Preparasi Sampel

Simplisia sebagai bahan baku perlu di-preparasi sebelum digunakan pada prosedur isolasi selulosa. Preparasi tersebut dilakukan untuk meningkatkan luas permukaan kontak, memutus ikatan kimia dari molekul rantai panjang, dan menghasilkan rendemen selulosa setinggi mungkin agar lebih mudah mengisolasi selulosa dari bahan baku (15).

Pembuatan serbuk simplisia dimulai dengan mengumpulkan bahan baku simplisia, yang sebelumnya telah dikeringkan menggunakan sinar matahari serta ditutupi kain, lalu digiling dengan menggunakan blender hingga menjadi lebih halus dibanding sebelumnya, kemudian dilakukan ekstraksi pada simplisia tersebut (16).

Maserasi adalah salah satu metode ekstraksi yang paling disukai, dan ini memerlukan penggabungan serbuk simplisia tanaman dengan pelarut yang sesuai dalam wadah *inert* yang disimpan pada suhu kamar. Prosedur maserasi memang memiliki beberapa hal negatif secara substansial, seperti membutuhkan waktu lama, membutuhkan banyak

pelarut, dan dapat menyebabkan beberapa senyawa hilang. Selain itu, beberapa zat mungkin sulit dihilangkan pada suhu kamar. Namun, menggunakan pendekatan maserasi juga mengurangi kemungkinan merusak komponen tanaman termolabil (17).

Maserasi dapat dilakukan dengan menggunakan etanol 96% sebagai pelarut. Maserasi dilaksanakan dalam waktu tiga hari dengan mengganti pelarut tiap 24 jam. Serbuk simplisia sejumlah 500 g direndam dalam pelarut etanol 96% dalam wadah kaca selama 24 jam terlindung dari cahaya sambil sering dilakukan pengadukan. Filtrat pertama yang diperoleh disaring, lalu ampas yang diperoleh diremaserasi dengan pelarut yang baru sampai warna dari pelarut tersebut tidak pekat lagi. Maserat yang didapat dipekatkan sampai terbentuk ekstrak kental (18).

Ekstrak selanjutnya dikentalkan dengan cara diangin-anginkan, lalu disimpan untuk penelitian yang lainnya. Sedangkan residu (ampas) serbuk sisa ekstraksi dikeringkan dan dilanjutkan ke tahap penelitian selanjutnya (isolasi selulosa). Hasil isolasi selulosa dari beberapa peneliti telah dikumpulkan dan disajikan pada Tabel 1.

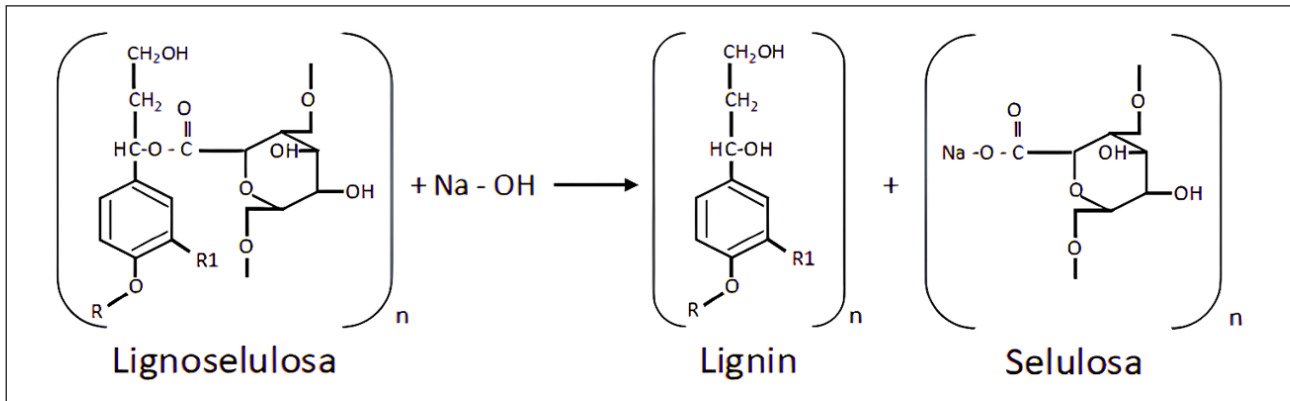
Tabel 1. Hasil Isolasi Selulosa dari Beberapa Peneliti (2013-2023)

No	Tanaman	Author, Tahun	Metode	Rendemen (%b/b)
1	Kulit Pisang (<i>Musa paradisiaca</i>)	Tibolla <i>et al.</i> , 2014 (40)	Delignifikasi Kimia (Alkalinasi)	5,10
2	Eceng Gondok (<i>Eichhornia crassipes</i>)	Pratama <i>et al.</i> , 2019 (23)	Delignifikasi Kimia (Alkalinasi)	20,00
3	Kulit Kacang Tanah (<i>Arachys hypogaea</i> L.)	Ischak <i>et al.</i> , 2021 (49)	Delignifikasi Kimia (Alkalinasi)	59,58
4	Buah Nanas (<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr)	(Agustin & Abdassah, 2021) (52)	Delignifikasi Kimia (Alkalinasi)	15,80
5	Kulit Jeruk Baby (<i>Citrus sinensis</i>)	(Lestari <i>et al.</i> , 2022) (53)	Delignifikasi Kimia (Alkalinasi)	66,75
6	Kulit Buah Pinang (<i>Areca catechu</i>)	(Kuswariyah <i>et al.</i> , 2023) (54)	Delignifikasi Kimia (Alkalinasi)	38,90
7	Daun Sirsak (<i>Annona muricata</i> L.)	(Lestari <i>et al.</i> , 2023) (12)	Delignifikasi Kimia (Alkalinasi)	17,90
8	Tandan Kosong Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.)	(Saputra <i>et al.</i> , 2022) (26)	Steam Exposion	34,90
9	Bagas Tebu (<i>Saccharum officinarum</i>)	(Jufrinaldi, 2018) (28)	Pemanasan Iradiasi Gelombang Mikro	78,46
10	Jerami Padi (<i>Oryza sativa</i>)	(Panatagama <i>et al.</i> , 2013) (29)	Pemanasan Iradiasi (Gelombang Mikro)	72,70
11	Tandan Kosong Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.)	(Putri <i>et al.</i> , 2023) (30)	Pemanasan Iradiasi (Gelombang Mikro)	36,87
12	Kulit Kacang Kedelai (<i>Glycine max</i> (L.) Merr.)	(Merci <i>et al.</i> , 2015) (31)	Ekstruksi	83,79
13	Kulit Kapuk Randu (<i>Ceiba petandra</i> (L.) Gaertner)	(Lestari <i>et al.</i> , 2020) (55)	Biodelignifikasi (<i>Trametes versicolor</i>)	76,00
14	Kulit Pisang (<i>Musa paradisiaca</i>)	(Tibolla <i>et al.</i> , 2014) (40)	Enzimatik (Xylanase)	10,00

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa selulosa dapat diisolasi dari bahan alam menggunakan berbagai metode, dan setiap tanaman memiliki persentase kandungan atau rendemen selulosa yang berbeda. Berdasarkan data yang disajikan, kadar selulosa dari bahan alam memiliki rentang persentase rendemen 5,10–83,79%.

Isolasi Selulosa

Teknik *pretreatment* berkembang dengan cepat saat ini. Berbagai teknik *pretreatment* digunakan sebagai hasil dari berbagai jenis bahan baku lignoselulosa telah dilakukan (19). Prosedur utama yang digunakan dalam semua teknik adalah delignifikasi, yang mencoba menghilangkan komponen lignin (9).



Gambar 3. Mekanisme reaksi lignoselulosa dengan NaOH (51).

Berbagai metode yang dapat digunakan untuk memaksimalkan hasil isolasi selulosa, antara lain:

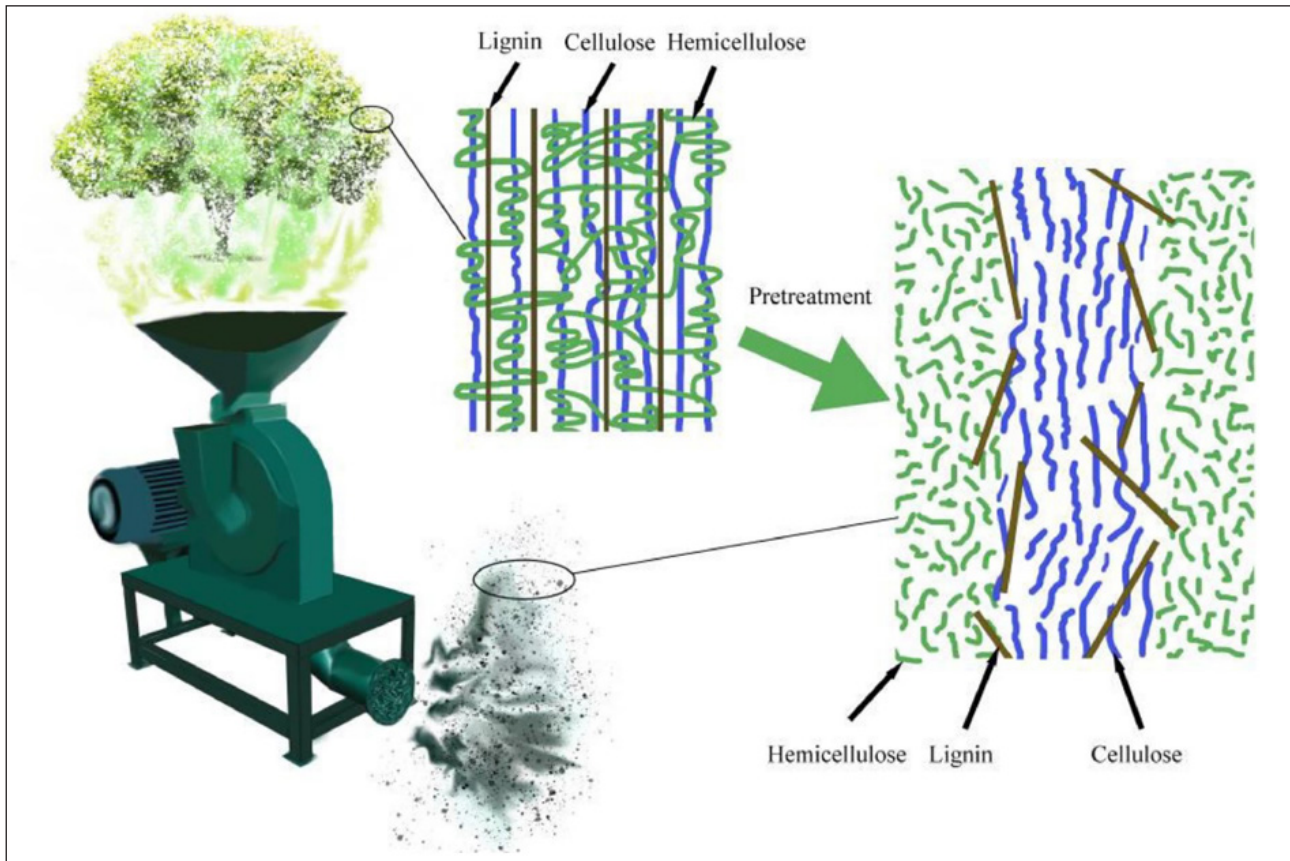
1. Cara Kimia

Metode delignifikasi (alkalinasi) secara kimia adalah metode *pre-treatment* lignoselulosa yang paling umum dan efisien, dimana teknik pengolahan asam umum dilakukan pada *pre-treatment* lignoselulosa. Selama proses *pre-treatment*, jenis asam, kekuatan keasaman, suhu reaksi, konsentrasi, dan lama waktu perlakuan semuanya mempengaruhi hasil lignoselulosa *pre-treatment*. Misalnya, fraksi asam sulfat berkualitas tinggi dapat merusak struktur selulosa dan hemiselulosa mengganggu pemisahan antara lignin dan selulosa. Degradasi hemiselulosa dan lignin tidak membutuhkan banyak reaksi tetapi memperpanjang waktu reaksi dapat mendorong degradasi hemiselulosa (20).

Proses yang sederhana dan terstandarisasi, menjadikan metode delignifikasi kimia sebagai metode isolasi selulosa yang paling mudah dan populer, karena cocok untuk eksperimen sederhana, dan peralatan serta persediaan yang diperlukan lebih mudah dijangkau. Tergantung pada jenis bahan bakunya, prosedur delignifikasi dengan alkali menghasilkan karakteristik dan persentase selulosa yang bervariasi (32,33). Ikatan glikosidik yang menahan lignin dengan selulosa dapat dipecah, sehingga lignin dapat dihilangkan, dan porositas biomassa meningkat ketika natrium hidroksida

digunakan dalam proses delignifikasi (9). Pemecahan ikatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

Proses yang dilakukan agar dapat menghilangkan hemiselulosa dan lignin, serat terlebih dahulu diolah dengan natrium hidroksida (NaOH) dan pelarut organik seperti etanol, metanol, atau toluena. Hasilnya biasanya masih berwarna coklat, oleh karena itu untuk menghilangkan residu lignin dan hemiselulosa yang tertinggal, proses ini kemudian dilanjutkan dengan pemutihan dan pencucian dengan larutan natrium klorit (NaOCl_2), asam asetat, natrium hidroksida (NaOH), dan air. Jika ingin membuat serat berukuran nano, teknik alkalisasi ini dapat digunakan bersamaan dengan perlakuan mekanis menggunakan ultrasonikasi dengan alat berupa *Ultrasonic-Assisted Extraction* (UAE). Ditemukan bahwa perlakuan berulang metode alkali dengan NaOH dan pelarut organik dalam berbagai fase dapat merusak integritas struktural selulosa dan membuat pemisahan selulosa menjadi kurang efisien. Berdasarkan banyaknya teknik isolasi tersebut dan dengan mempertimbangkan kepraktisan teknik isolasi tersebut, maka teknik alkalinasi adalah yang paling sederhana untuk digunakan. Namun, untuk mempersingkat waktu proses isolasi, metode bleaching yang dianggap mampu menghasilkan lebih banyak serat selulosa dalam waktu yang lebih singkat menggantikan perlakuan basa dan melarutkan dengan pelarut organik pada tahap awal (23).



Gambar 4. Perubahan struktural lignoselulosa dengan *pretreatment* penghancuran mekanis (20).

2. Cara Fisika

Salah satu cara isolasi selulosa adalah cara fisika. Ilustrasi mengenai perubahan struktural lignoselulosa dengan *pretreatment* penghancuran mekanis dapat dilihat pada Gambar 4.

a. *Steam Explosion* (Ledakan Uap)

Uap bertekanan tinggi digunakan dalam metode *Steam Explosion* dalam pemrosesan lignoselulosa. Secara umum, metode *Steam Explosion* adalah hasil pengolahan biomassa dengan uap panas (180-240 °C) di bawah tekanan atau vakum (1-3,5 MPa), yang diikuti dengan peningkatan tekanan secara tiba-tiba sebelum uap tersebut meledak ke atmosfer dengan cepat meningkatkan tekanan sekali lagi. Proses ini dapat menyebabkan struktur keras serat biomassa hancur. Defibrilasi selulosa disebabkan oleh pelepasan tekanan secara tiba-tiba, yang membuat selulosa lebih mudah diakses untuk hidrolisis dan fermentasi

enzimatik. Suhu dan lama tinggal memiliki peran dalam proses ini (24). Dibandingkan dengan teknologi lain, metode *Steam Explosion* memiliki sejumlah fitur yang menarik, termasuk investasi modal yang lebih rendah, efek lingkungan yang lebih sedikit, lebih sedikit bahan kimia dan kondisi proses yang berpotensi berbahaya, dan potensi efisiensi energi yang lebih besar (25).

Selama *pretreatment* uap, hemiselulosa dihilangkan dan/atau dihidrolisis. Akibatnya, jumlah lignin relatif lebih tinggi dan lignin ini lebih mudah tersedia untuk mengikat, sehingga menghasilkan pelet unggul, selama proses *steam blast*, lignin teraktivasi dan struktur selulosa berubah yang memfasilitasi pembentukan ikatan baru. Aktivasi kimiawi dengan hidrogen peroksida menghasilkan daya tahan mekanis yang lebih rendah dan nilai kalor yang berkurang, tetapi percobaan aktivasi termal menunjukkan efek positif pada daya tahannya (37).

Tantangan dalam metode ini adalah adanya sejumlah penghambat yang dapat menghambat proses selanjutnya. Inhibitor yang dapat menimbulkan gangguan antara lain asam lemah (terutama asam asetat), furan (produk pemecahan karbohidrat hemiselulosa), dan senyawa fenolik dari degradasi lignin. Zat-zat ini hadir dalam produk sampingan dari proses isolasi selulosa dengan metode *Steam Explosion* (26).

Saputra *et al.* (2022) melaporkan bahwa dengan menggunakan metode *Steam Explosion* dapat meningkatkan rendemen selulosa dari 28% menjadi 34,90%. Proses tersebut disertai dengan penambahan asam formiat dengan kadar 80% (26).

b. Iradiasi (Gelombang Mikro)

Asam atau basa yang digunakan sebagai tahap awal dalam metode delignifikasi kimia (alkalinasi) dapat merusak struktur selulosa. Putusnya ikatan hidrogen penyusun serat menyebabkan kerusakan pada selulosa (27). Oleh karena itu, diperlukan cara isolasi selulosa yang lebih aman, tidak menyebabkan kerusakan bagi struktur selulosa, dan lebih berkelanjutan (ramah lingkungan).

Metode iradiasi gelombang mikro mengisolasi kandungan selulosa dari suatu bahan baku dengan menggabungkan berbagai metode. Pemanasan iradiasi gelombang mikro digunakan dalam proses peleburan, delignifikasi, dan pemutihan untuk mengisolasi selulosa. Selain itu, ikatan rantai selulosa terputus akibat proses ini (28).

Panatagama *et al.* (2013) juga melaporkan bahwa radiasi gelombang mikro mempengaruhi kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin (29). Dapat meningkatkan jumlah selulosa sebesar 30,38% menjadi 72,70%, menurunkan jumlah lignin sebesar 7,93% menjadi 3,66%, dan menurunkan jumlah hemiselulosa sebesar 18,49% menjadi 16,93%. Penelitian Putri *et al.* (2023) melaporkan bahwa *pre-treatment* gelombang mikro berhasil meningkatkan kandungan selulosa dari 33,84% menjadi 36,87% dan menurunkan kadar lignin dari 16,81% menjadi 13,74% (30).

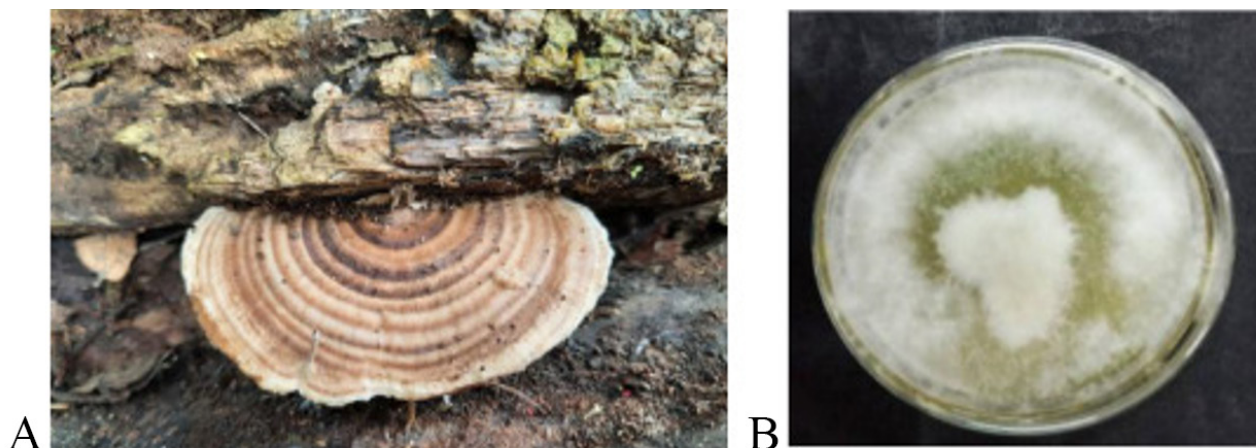
Jika dibandingkan dengan pendekatan konvensional, khususnya dalam hal waktu pengerjaan, metode iradiasi gelombang mikro terbukti lebih berhasil dan efisien. Biasanya, perawatan asam dikombinasikan dengan perawatan alkali. Pendekatan ini adalah prosedur yang cepat, terjangkau, dan berkelanjutan. Sangat penting untuk diingat bahwa proses ini harus diatur dengan benar untuk mencegah hasil yang tidak diinginkan, seperti kerusakan selulosa (10).

c. Ekstrusi

Teknik ekstrusi adalah proses hidrolisis suhu tinggi yang cepat yang memiliki manfaat bebas limbah, sangat fleksibel, dan bermanfaat secara ekologis. Ekstrusi adalah proses yang cepat dan sangat fleksibel yang tidak menghasilkan limbah saat beroperasi pada suhu tinggi (31).

Teknik ekstrusi mampu menghasilkan ekstrudat dengan berbagai karakteristik fungsional, kimia, dan fisika (32). Ada dua fase dalam proses ekstrusi: ekstrusi asam sulfat dan ekstrusi basa natrium hidroksida. Perlakuan ekstrusi dapat menggunakan satu reaktor kontinyu untuk biomassa lignoselulosa dengan *output* dan rasio padatan lebih tinggi bila dikombinasikan dengan perlakuan termomekanis (33). Dengan demikian, teknologi ini menggunakan kadar air yang lebih rendah daripada teknik tradisional dalam mengisolasi selulosa dari limbah lignoselulosa (9).

Menurut penelitian Merci *et al.* (2015), ekstrusi merupakan metode yang berhasil untuk memproduksi selulosa karena kandungan selulosa meningkat dari 31,19% pada sampel kulit kedelai menjadi 83,79% setelah proses isolasi, kandungan hemiselulosa menurun dari 2,28% menjadi 0,32%, dan kandungan lignin stabil pada nilai yang rendah (sekitar 1,50%). Dengan mengekstrusi sampel dalam "*Single Screw Extruder*" pada suhu 110 °C dan kecepatan rotasi 100 rpm, prosedur ini diubah dari perlakuan dasar. Temuan ini menunjukkan bahwa modifikasi delignifikasi alkali berbasis ekstrusi telah meningkatkan isolasi selulosa dari bahan baku (31).



Gambar 5. Jamur pelapuk putih di habitat aslinya (A), dan di media PDA (B) (42)

3. Cara Biologi dan Tradisional Lainnya

Pretreatment biologis memainkan peran penting dalam hidrolisis enzimatik, biofuel (bioetanol, biogas, dan pirolisis), *biopulp*, *biobleaching*, pakan ternak, dan produksi enzim. Jamur pelapuk putih (Gambar 5) mempunyai kemampuan untuk memineralsasi lignin menjadi CO_2 dan H_2O serta menghasilkan enzim ligninolitik: lignin peroksidase, mangan peroksidase, dan lakase (20). *Rhodococcus* juga bisa mendegradasi dan mengisolasi lignin dan menggunakannya sebagai sumber karbon untuk kebutuhan pertumbuhannya sendiri, dimana ketika jerami jagung diberi perlakuan awal dengan *Rhodococcus*, ditemukan bahwa struktur lignin pada permukaan bahan jerami jagung mengalami perubahan (34).

a. Biodelignifikasi

Mikroorganisme digunakan pada tahap awal biodelignifikasi untuk menghilangkan lignin dari lignoselulosa (35). Salah satu metode degradasi lignin yang ramah lingkungan adalah metode biodelignifikasi dengan menggunakan agen hayati jamur. Jamur yang digunakan adalah jamur yang diisolasi dari tanah yang telah terkontaminasi limbah tekstil. Ini menghasilkan enzim ligninolitik yang dapat memecah lignin. Dibandingkan dengan penggunaan industri metode sulfat, metode ini jauh lebih murah. Kemampuan jamur indigenous untuk mendegradasi polimer kompleks, seperti senyawa xenobiotik, pengurangan warna efluen dan

biobleaching dari *pulp kraft*, pengolahan limbah seperti limbah tekstil dan hidrokarbon, juga dapat dikembangkan melalui proses bioteknologi (36). Jamur pelapuk putih atau *White-rot fungi* (WRF) dianggap sebagai organisme yang paling efisien dalam mendegradasi lignin di alam. Mikroorganisme ini memiliki sistem enzimatik untuk mendegradasi lignin secara efektif. Sistem ini mengandung tiga enzim utama lakase, mangan peroksidase (MnP), dan lignin peroksidase (LiP). Mikroorganisme ini telah digunakan untuk delignifikasi substrat yang berbeda seperti kertas, pakan ternak, dan biofuel (37).

Penelitian di bidang ini masih terus dikembangkan karena betapa pentingnya jamur pengurai lignin bagi sektor industri, pengolahan limbah, dan lingkungan. Semakin banyak jamur dengan kemampuan biodelignifikasi diperoleh melalui praktik pertumbuhan isolasi jamur (38). Beberapa jamur busuk putih telah diteliti kemampuannya dalam memecah lignin; dua jamur yang umum dimanfaatkan adalah *Trametes versicolor* (28) dan *Phanerochaete chrysosporium* (39).

Pada penelitian yang dilakukan Valencia, *et al.* (2017), diperoleh 14 isolat jamur yang dapat mendegradasi lignin dan termasuk ke dalam Divisi Ascomycota (38). Trichocomaceae adalah keluarga jamur dengan kapasitas signifikan untuk biodelignifikasi. *Aspergillus niger* merupakan salah satu dari 14 isolat yang memiliki kemampuan delignifikasi paling baik,

dengan diameter zona bening berukuran 6,45 cm (hari ke-7), sedangkan *Aureobasidium sp.* memiliki kemampuan paling buruk, dengan diameter zona bening berukuran 1,9 cm (hari ke-7). Pada inkubasi 30 hari, 81,4% lignin pada batang jagung dihancurkan oleh jamur *Phanerochaete chrysosporium*. Degradasi selulosa terjadi setelah degradasi lignin, namun terjadi dalam jumlah yang jauh lebih sedikit (22,3%) pada 30 hari inkubasi. Jamur akan mengubah selulosa menjadi bahan kimia sederhana yang mereka gunakan sebagai bahan penyusun pertumbuhan. Salah satu komponen yang mengurangi jumlah selulosa yang dipecah oleh jamur adalah penambahan nutrisi berupa glukosa. Penambahan nutrisi akan mempercepat penguraian lignin, mendorong perkembangan jamur, dan memperlambat penguraian selulosa (39).

b. Enzimatik

Enzim xilanase digunakan dalam teknik enzimatik, yang menggabungkan perlakuan alkali dengan hidrolisis enzim (40). Ikatan 1,4- β yang terdapat dalam hemiselulosa, seperti xilan atau polimer xilosa dan xilooligosakarida, dapat dihidrolisis oleh enzim ini (41).

Enzim ligninolitik merupakan kompleks enzim yang menghasilkan kemampuan delignifikasi, pada berbagai jenis organisme seperti bakteri, serangga, dan jamur. Enzim ligninolitik yang diketahui selama ini bersifat ekstraseluler, tidak spesifik, dan memecah aromatik struktur lignin dan ikatan antar unit lignoselulosa melalui reaksi oksidatif yang berbeda (42).

Hidrolisis enzimatik adalah prosedur ramah lingkungan yang berpotensi lebih ramah lingkungan dan meningkatkan produktivitas karena tidak memerlukan pelarut atau reagen (43). Enzim hidrolitik xilanase, yang mengubah zat amorf (hemiselulosa) yang terkandung dalam serat tanaman, sering digunakan dalam *treatment* ini (9).

Ekstraksi selulosa dari kulit pisang oleh Tibolla *et al.* (2014) menggunakan KOH sebagai alkali untuk membandingkan perlakuan kimia (*Chemical treatment*, CT) dan perlakuan

enzimatik (*Enzymatic treatment*, ET). Setelah delignifikasi, hasil selulosa adalah 10% untuk ET, namun 5,1% untuk CT. Perlakuan basa dengan bahan pemutih natrium hipoklorit (NaOCl) bahkan kurang berhasil dalam mengekstraksi selulosa dari bahan baku, menurut perlakuan dengan CT. Jadi, untuk meningkatkan hasil selulosa, modifikasi ET dilakukan yang menggabungkan prosedur perlakuan basa dengan masuknya enzim (40).

Bleaching (Pemutihan)

Berdasarkan prosedur untuk mengurai sisa lignin pada bahan lignoselulosa, *bleaching* merupakan salah satu teknik pemutihan yang digunakan. Dalam proses *bleaching*, zat pengoksidasi seperti natrium hipoklorit sering digunakan (12,44,45) dan hidrogen peroksida (46) dalam kondisi alkali (9).

Prosedur pemutihan ini digunakan untuk meningkatkan kemurnian dan stabilitas *pulp* selain untuk meningkatkan tingkat keputihannya. Penghilangan lignin atau penghilangan warna lignin inilah yang menyebabkan warna putih pada selulosa lebih menonjol (47). Dengan menghilangkan komponen kromofor yang menyerap cahaya pada selulosa, terutama gugus lignin yang terdegradasi secara fungsional dan sisa lignin yang dimodifikasi, proses pemutihan *pulp* (selulosa) bertujuan untuk meningkatkan keputihan *pulp*. Besarnya tingkat keputihan pada selulosa dinyatakan dalam perubahan sifat optik selulosa terhadap penyerapan cahaya, hamburan cahaya, dan refleksi. Penggunaan H_2O_2 dalam media asam asetat memiliki manfaat tidak merusak selulosa dan ramah lingkungan, karena tidak mengandung klorin. Antara 1% hingga 10% hidrogen peroksida digunakan untuk prosedur *bleaching* (48).

Residu yang telah dikeringkan sebelumnya (ampas residu ekstraksi) kemudian diputihkan dengan pelarut NaOCl dan dipanaskan selama waktu dan suhu tertentu sehingga dihasilkan selulosa dengan kandungan dan persen rendemen lebih tinggi. Selulosa selanjutnya dicuci dan dimurnikan hingga pH netral. Residu yang dihasilkan kemudian dikeringkan dalam oven dan ditimbang dengan

pengulangan (replikasi) sebelum analisis lebih lanjut (49).

Berdasarkan hasil studi literatur yang telah dilakukan, terlihat bahwa isolasi selulosa dapat dilakukan dengan berbagai cara, metode yang berbeda, dan sumber bahan baku tanaman yang berbeda, dapat menghasilkan jenis dan jumlah α -selulosa yang berbeda pula. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan seperti melakukan optimasi isolasi α -selulosa dengan beberapa metode, dan membandingkan hasilnya, sehingga dapat dilaporkan teknik yang efektif dan optimal untuk digunakan pada tanaman tersebut.

KESIMPULAN

Beberapa prosedur, termasuk perlakuan dasar alkalinasi dengan proses *bleaching*, *steam exposition*, iradiasi, ekstruksi, biodelignifikasi, serta enzimatik dapat digunakan untuk mengisolasi α -selulosa.

DAFTAR PUSTAKA

1. Siagian HS. Karakterisasi Film Kitosan-Mikrokristal Selulosa Alang-Alang (*Imperata cylindrica*) sebagai Adsorben. *Jurnal Ilmiah Farmasi Imelda*. 2020; 4(1): 1-6. <https://doi.org/10.52943/jifarmasi.v4i1.381>.
2. Rum IA, Lestari H, Santoso R. Preparasi dan Karakterisasi Selulosa Mikrokristal dari Nata De Pina sebagai Bahan Eksi-pien dalam Sediaan Tablet. *Journal of Pharmacopolium*. 2018; 1(3): 149-161. <http://dx.doi.org/10.36465/jop.v1i3.432>.
3. Nurjannah NR, Sudiarti T, Rahmidar L. Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Termetilasi sebagai Biokomposit Hidrogel. *al-Kimiya*, 2020; 7(1): 19-27. <https://doi.org/10.15575/ak.v7i1.6490>.
4. Apriani R, Rohman T, Mustikasari K. Sintesis dan Karakterisasi Membran Selulosa Asetat dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*. 2017; 9(2): 91-98. <https://dx.doi.org/10.24111/jrihh.v9i2.3305>.
5. Sarkar S, Dilruba FA, Rahman M, Hossen M, Dayan AR, Khatton A, Sarker J, Uddin M. Isolation of Microcrystalline Alpha-Cellulose from Jute: A Suitable and Economical Viable Resource. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*. 2022; 18(03): 219-225. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2022.18.3.0121>.
6. Asmoro NW, Afriyanti A, Ismawati I. Rendemen Selulosa Hasil Ekstraksi Batang Tanaman Jagung (*Zea mays*) Menggunakan Variasi Lama Blanching dan Konsentrasi NaOH. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. 2018; 4(1): 283-288. <https://doi.org/10.29303/profood.v4i1.76>.
7. Pasue II, Salah E. Analisis Lignin, Selulosa dan Hemi Selulosa Jerami Jagung Hasil di Fermentasi *Trichoderma viride* dengan Masa Inkubasi yang Berbeda. *JJAS*. 2019; 1(2): 62-67. <https://doi.org/10.35900/jjas.v1i2.2607>.
8. Nechyporchuk O. Cellulose Nanofibers for the Production of Bionanocomposites. 2015. Université Grenoble Alpes; Instituto superior técnico (Lisbonne).
9. Amrillah NAZ, Hanum FF, Rahayu A. Studi Efektivitas Metode Ekstraksi Selulosa dari Agricultural Waste. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*. 2022: 1-8.
10. Mulyadi I. Isolasi dan Karakterisasi Selulosa: Review. *Jurnal Sains dan Matematika Unpam*. 2019; 1(2): 177. <https://doi.org/10.32493/jsmu.v1i2.2381>.
11. Riseh RS, Vazvani MG, Hassanisaadi M, Thakur VK. Agricultural Wastes: A Practical and Potential Source for The Isolation and Preparation of Cellulose and Application in Agriculture and Different Industries. *Industrial Crops and Products*. 2024; 208: 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117904>.
12. Lestari YPI, Mi'rajunnisa, Patimah R. The Isolation of α -Cellulose & The Preparation of Microcrystalline Cellulose from Soursop Leaves (*Annona muricata* L.). *Jurnal Insan Farmasi Indonesia*. 2023; 6(1): 157-165. <https://doi.org/10.36387/jifi.v6i1.1298>.
13. Zulnazri, Lestari D, Hakim L, Dewi R, Sulhatun. Kajian Ekstraksi Selulosa dari Kulit Pinang dengan Menggunakan Larutan

- NaOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 2022; 11(2): 193-206. <https://doi.org/10.29103/jtku.v11i2.7846>.
14. Rivai H, Hamdani AS, Ramdani R, Lalfari RS, Andayani R, Armin F, et al. Production and Characterization of Alpha Cellulose Derived from Rice Straw (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*. 2018; 52(1): 45-48.
 15. Syam LK, Farikha J, Fitriana, DN. Pemanfaatan Limbah Pod Kakao untuk Menghasilkan Etanol sebagai Sumber Energi Terbarukan. 2009. Institut Pertanian Bogor.
 16. Yanti D, Agustien GS, Nofriyaldi A. Uji Aktivitas Antijamur Sabun Pembersih Kewanitaan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polyanthum* (Wight) Walp.) terhadap *Candida albicans*. *Farmasains*. 2024; 11(1): 26-35. <https://doi.org/10.22236/farmasains.v11i1.12694>.
 17. Badaring DR, Sari SPM, Nurhabiba S, Wulan W, Lembang SAR. Uji Ekstrak Daun Maja (*Aegle marmelos* L.) terhadap Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences*. 2020; 6(1): 16-26. <https://doi.org/10.26858/ijfs.v6i1.13941>.
 18. Yuliyani R, Agustien GS, Susanti. Uji Aktivitas Antijamur *Candida albicans* Sediaan Patch Mukoadhesif Ekstrak Etanol Daun Sirsak (*Annona muricata* L.). *Farmasains*. 2024; 11(1): 12-24. <https://doi.org/10.22236/farmasains.v11i1.12682>.
 19. Khan MU, Usman M., Ashraf, M.A., Dutta, N., Luo, G., Zhang, S. A Review of Recent Advancements In Pretreatment Techniques of Lignocellulosic Materials for Biogas Production: Opportunities and Limitations. *Chemical Engineering Journal Advances*. 2022; 10(1): 1-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceja.2022.100263>.
 20. Li P, Yang C, Jiang Z, Jin Y, Wu W. Lignocellulose Pretreatment by Deep Eutectic Solvents and Related Technologies: A Review. *Journal of Bioresources and Bioproducts*. 2023; 8(1): 33-44. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2022.11.004>.
 21. Hutomo GS, Marseno DW, Anggrahini S, Supriyanto. 2012. Ekstraksi Selulosa dari Pod Husk Kakao Menggunakan Sodium Cellulose (*Extraction from Cacao Pod Husk Using Sodium Hydroxide*). *Agritech*. 2012; 32(3): 223-229. <https://doi.org/10.22146/agritech.9612>.
 22. Bouredja N, Mehdadi Z, Bouredja M. Extraction of The Cellulose and The Biometrics of The Fibers of The Pods of *Retamamonosperma* (L.). Boissgrowingin Natural Conditions in The Algerian Western Coast. *International Journal of Biosciences*. 2015; 6(10): pp.31-38.
 23. Pratama JH, Rohmah RL, Amalia A, Saraswati TE. Isolasi Mikroselulosa dari Limbah Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dengan Metode Bleaching-Alkalinasi. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*. 2019; 15(2): 239-250. <https://doi.org/10.20961/alchemy.15.2.30862.239-250>.
 24. Stelte W. Steam explosion for biomass pre-treatment. *Danish Technol. Inst*. 2013; 1-15.
 25. Pandey J, Takagi H, Nakagaito A, Kim H. Handbook of Polymer Nanocomposites. Processing, Performance and Application, Springer. 2015. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-45232-1>.
 26. Saputra BYE, Fahmi MF, Widjaja T. Fraksinasi Lignoselulosa dari TKKS dengan Metode Steam Explosion Pretreatment Disertai Penambahan Asam Formiat. *Jurnal Teknik ITS*. 2022; 11(2): 2337-3539. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v11i2.89395>.
 27. Pangau JR, Sangian HF, Lumi BM. 2017. Karakterisasi Bahan Selulosa dengan Iradiasi Pretreatment Gelombang Mikro terhadap Serbuk Kayu Cempaka Wasian (*Elmerillia ovalis*) di Sulawesi Utara. *Jurnal MIPA UNSRAT*. 2017; 6(1): 53-58. <https://doi.org/10.35799/jm.6.1.2017.16157>.
 28. Jufrinaldi J. Isolasi Selulosa dari Bagas Tebu Melalui Pemanasan Iradiasi Gelombang Mikro. *J ilm Teknik Kimia*. 2018; 2(2): 83. <http://dx.doi.org/10.32493/jitk.v2i2.1683>.

29. Dehani FR, Argo BD, Yulianingsih, R. Pemanfaatan Iradiasi Gelombang Mikro untuk Memaksimalkan Proses Pretreatment Degradasi Lignin Jerami Padi (pada produksi bioetanol). *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*. 2013; 1(1): 13-20.
30. Putri MA, Afriwana SD, Pulungan SH, Hasibuan A. Analisis Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Pupuk Bagi Masyarakat Simandiingin Kab. Labuhanbatu Selatan. *ZAHRA: Journal Of Health And Medical Research* 2023; 3(3): 408–412.
31. Merci A, Urbano A, Grossmann MVA, Tischer CA, Mali S. Properties of Microcrystalline Cellulose Extracted from Soybean Hulls by Reactive Extrusion. *Food Res*. 2015; 73: 38-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.020>.
32. Santosa BAS, Sudaryono, Widowati S. Karakteristik Ekstrudat Beberapa Varietas Jagung dengan Penambahan Akuades. *Jurnal Pascapanen*. 2006; 3(2): 96-107. <https://dx.doi.org/10.21082/jpasca.v3n2.2006.96-108>.
33. Lamsal B, Yoo J, Brijwani K, Alavi S. Extrusion as A Thermomechanical Pre-treatment for Lignocellulosic Ethanol. *Biomass and Bioenergy*. 2010; 34(12): 1703–1710. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.06.009>.
34. Hu P, Li HN, Xiao WJ, Xie XH, Yang YX, Duan L, Zhou SN, Hu YM, Qiao, QM, Ran QP, Jiang ZB. Effect of *Rhodococcus* sp. Pretreatment on Cellulose Hydrolysis of Corn Stalk. *Prep. Biochem. Biotechnol*. 2021; 51: 137–143. <https://doi.org/10.1080/10826068.2020.1799391>.
35. Darliana I, Wilujeng S. Isolasi dan Karakterisasi Jamur Indigenous dan Potensinya untuk Biodelignifikasi. *Jurnal Agrotek Indonesia*. 2020; 2(5): 1-6.
36. del Cerro C, Erickson, E, Dong T, Salvachúa D. Intracellular Pathways for Lignin Catabolism In White-Rot Fungi. *PNAS*. 2021; 118(9). <https://doi.org/10.1073/pnas.2017381118>.
37. Plácido J, Capareda S. Ligninolytic Enzymes: A Biotechnological Alternative for Bioethanol Production. *Bioresources and Bioprocessing*. 2015; 2(23): 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40643-015-0049-5>.
38. Valencia PE, Meitiniarti VI. Isolasi dan Karakterisasi Jamur Ligninolitik Serta Perbandingan Kemampuannya dalam Biodelignifikasi. *Scri Biol*. 2017; 4(3): 171. <https://dx.doi.org/10.20884/1.sb.2017.4.3.449>.
39. Fadilah, Distantina S, Artati EK. Biodelignifikasi Batang Jagung dengan Jamur Pelapuk Putih *Phanerochaete chrysosporium*. *Ekulibrium*. 2008; 7(1): 7-11. <https://doi.org/10.20961/ekulibrium.v7i1.49497>.
40. Tibolla H, Pelissari FM, Menegalli FC. Cellulose Nanofibers Produced from Banana Peel by Chemical and Enzymatic Treatment. *LWT - Food Science and Technology*. 2014; 59(2): 1311–8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.011>.
41. Tistiana H, Sjojfan O, Widodo E, Djunaidi IH, Natsir MH. 2018. Efek Penambahan Enzim Xilanase dengan Level Serat Pakan Berbeda terhadap Penampilan Produksi Ayam Pedaging. *TERNAK TROPIKA Journal of Tropical Animal Production*. 2018; 19(1): 27-31. <https://doi.org/10.21776/ub.jtapro.2018.019.01.4>.
42. Suryadi H, Judono JJ, Putri MR, Eclessia AD, Ulhaq JM, Agustina DN, Sumiati T. Biodelignification of Lignocellulose using Ligninolytic Enzymes from White-rot Fungi. *Heliyon*. 2022; 8(2): 1-12. <https://doi.org/10.1016%2Fj.heliyon.2022.e08865>.
43. Fuadi A, Harismah K, Setiawan A. Hidrolisis Enzimatis Kertas Bekas dengan Variasi Pemanasan Awal. 2015. University Research Colloquium.
44. Lestari YPI. Optimasi Konsentrasi HCl pada Proses Hidrolisis Untuk Pembuatan Mikrokristalin Selulosa (MCC) dari Eceng Gondok. *Journal Of Innovation Research And Knowledge*. 2022; 1(10): 1335-1344. <https://doi.org/10.53625/jirk.v1i10.1750>.
45. Lestari YPI, Falya Y, Chasanah U, Kusumo DW, Bethasari M. 2022. Isolasi A-Selulosa, Pembuatan & Karakterisasi Mikrokristalin

- Selulosa (MCC) dari Limbah Kulit Jeruk Baby (*Citrus sinensis*). *Majalah Farmasi dan Farmakologi*. 2022; 26(3): 119-123. <https://doi.org/10.20956/mff.v26i3.22070>.
46. Andari IGAAU, Arnata IW, Anggreni AAMD. Pengaruh Konsentrasi Hidrogen Peroksida dan Waktu Proses Bleaching terhadap Karakteristik Selulosa Serat Sabut Kelapa (*Cocos nucifera* L.). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 2022; 10(3): 237-247. <http://dx.doi.org/10.24843/JRMA.2022.v10.i03.p01>.
47. Fuadi AM, Sulistya H. 2008. Pemutihan Pulp dengan Hidrogen Peroksida. *Reaktor*. 2008; 12(2): 123-128. <https://doi.org/10.14710/reaktor.12.2.123-128>.
48. Coniwanti P, Anka MNP, Sanders C. Pengaruh Konsentrasi, Waktu dan Temperatur terhadap Kandungan lignin pada Proses Pemutihan Bubur Kertas Bekas. *Jurnal Teknik Kimia*. 2015; 21(3): 47-55.
49. Ischak NI, Fazriani D, Botutihe DN. Ekstraksi dan Karakterisasi Selulosa dari Limbah Kulit Kacang Tanah (*Arachys hypogaea* L.) sebagai Adsorben Ion Logam Besi. *Jambura J Chem*. 2021; 3(1): 27-36. <https://doi.org/10.34312/jambchem.v3i1.9290>.
50. Dey AK, Dey A. 2021. Selection of Optimal Processing Condition During Removal of Methylene Blue Dye Using Treated Betel Nut Fibre Implementing Desirability Based RSM Approach. *Response Surface Methodology in Engineering Science*. *Intech Open*. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.98428>.
51. Trisanti PN, Setiawan SHP, Nura'ini E, Sumarno S. Ekstraksi Selulosa dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon Melalui Proses Delignifikasi Alkali Ultrasonik. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 2018; 19(3): 113-119. <https://dx.doi.org/10.17146/jsmi.2018.19.3.4496>.
52. Agustin N, Abdassah M. 2021. Isolasi dan Karakterisasi Selulosa Mikrokrystal dari Nanas (*Ananas comosus* (L.) Merr). *PHARMACY: Jurnal Farmasi Indonesia*. 2021; 18(1): 111-121. <https://dx.doi.org/10.30595/pharmacy.v18i1.10277>.
53. Lestari YPI, Falya Y, Chasanah U, Kusumo DW, Bethasari M. Isolasi α -Selulosa, Pembuatan & Karakterisasi Mikrokrystalin Selulosa (MCC) dari Limbah Kulit Jeruk Baby (*Citrus sinensis*). *Majalah Farmasi dan Farmakologi*. 2022; 26(3): 119-123. <https://doi.org/10.20956/mff.v26i3.22070>.
54. Kuswariyah R, Sitorus B, Adhityawarman A, Antonius A. Microcellulose from Betel Husk Fiber as Filler in Bioplastic. *Jurnal Ilmu Dasar*. 2023; 24(1): 91-100. <https://doi.org/10.19184/jid.v24i1.34023>.
55. Lestari YPI, Suryadi H, Mirajunnisa, Mangunwardoyo W, Sutriyo, Yanuar A. Characterization of Kapok Pericarpium Microcrystalline Cellulose Produced of Enzymatic Hydrolysis Using Purified Cellulase from Termite (*Macrotermes gilvus*). *Int J Pharm Pharm Sci*. 2020; 12(3): 7-14. <http://dx.doi.org/10.22159/ijpps.2020v12i3.36468>.