



## UTILIZATION AND EXTRACTION METHOD OF NANOCELLULOSE: A REVIEW

Farrah Fadhillah Hanum\*, Aster Rahayu, Nafira Alfi Zaini Amrillah, Yoga Nawaki Helmi Mustafa  
 Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan,  
 Jl. Ringroad Selatan, Kragilan, Tamanan, Kec. Banguntapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa  
 Yogyakarta, 55191, Indonesia

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 23 Apr 2023,

Revised 14 Jul 2023,

Accepted 17 Jul 2023,

Available online 30 Jul 2023

#### Keywords:

- ✓ Nanocellulose
- ✓ Utilization
- ✓ Methods
- ✓ Preparation
- ✓ Extraction

#### \*corresponding author:

[farrah.hanum@che.uad.ac.id](mailto:farrah.hanum@che.uad.ac.id)

<https://doi.org/10.31938/jsn.v13i3.565>

### ABSTRACT

Currently, the use of nanocellulose is very broad in various fields, such as pharmaceuticals, cosmetics, and electronics industries. In its development, this nano-sized cellulose is widely used as a reinforcement nanocomposite nanofiller. Nanocellulose has several advantages, including its large surface area, very lightweight, easy to shape, ability to break through the performance limits of conventional materials, and having a high economic value. Nanotechnology develops based on new properties produced by nanomaterials as advanced materials. Therefore, the factor of the extraction process method must be considered to produce nanocellulose that has good quality and large quantity. Nanocellulose extraction can be accomplished in a variety of ways depending on the raw material but is generally done through a combination of chemical, mechanical, and biological treatments.

### ABSTRAK

#### Pemanfaatan Nanoselulosa dan Metode Ekstraksinya: Review

Saat ini pemanfaatan nanoselulosa sudah sangat luas pada berbagai bidang seperti pada industri farmasi, kosmetik, dan elektronik. Pada perkembangannya, selulosa berukuran nano ini banyak digunakan sebagai *nanofiller* penguat nanokomposit. Nanoselulosa memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah permukaannya yang luas, sangat ringan, mudah dibentuk, mampu menembus batas kinerja material konvensional serta memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi. Teknologi nano berkembang atas dasar sifat baru yang dihasilkan material nano sebagai material maju. Oleh karena itu, faktor metode proses ekstraksi menjadi hal yang harus diperhatikan, supaya dapat menghasilkan nanoselulosa yang memiliki kualitas baik dan kuantitas besar. Ekstraksi nanoselulosa dapat dilakukan dengan bermacam-macam metode tergantung pada bahan bakunya, tetapi umumnya merupakan gabungan dari perlakuan kimia, mekanik dan biologi.

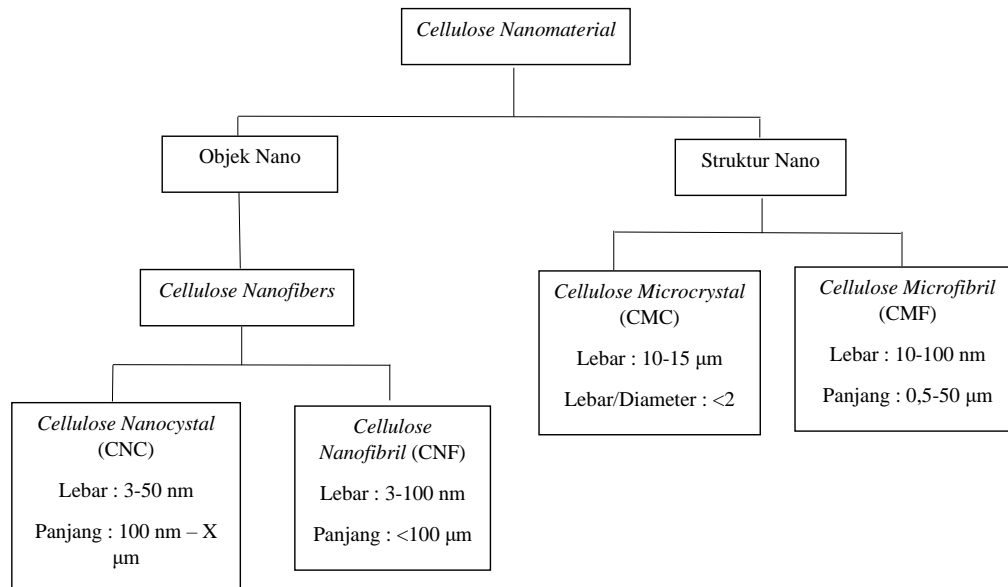
Kata kunci: Nanoselulosa; Pemanfaatan; Metode; Preparasi; Ekstraksi

## PENDAHULUAN

Penggunaan serat selulosa sebagai matriks polimer telah mengalami perkembangan yang signifikan dalam dekade terakhir. Hal ini disebabkan oleh berbagai keunggulan yang dimilikinya, seperti sifat mekanik yang baik, densitas rendah, ramah lingkungan, ketersediaan yang melimpah, biaya yang terjangkau, tidak beracun, mudah terdegradasi, serta merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui (Fonseca et al., 2020). Serat selulosa dapat

diperoleh dari berbagai sumber, termasuk tanaman, hewan laut, bakteri serta beberapa limbah pertanian (Amrillah et al., 2022). Namun, penggunaan berkelanjutan tanaman hutan untuk memperoleh serat selulosa telah menyebabkan penurunan signifikan dalam luas dan kuantitas sumber daya hutan di Indonesia. Dampaknya termasuk deforestasi, erosi tanah, banjir, tanah longsor, dan pemanasan global. Dalam konteks ini, daur ulang limbah menjadi salah satu metode untuk memperoleh bahan selulosa yang dapat diandalkan (Ningtyas et al., 2020).





Gambar 1. Terminologi Standar Bahan Nanoselulosa (Zhou et al., 2021)

Selulosa merupakan komponen penyusun dinding sel tumbuhan yang dominan dan dapat diperoleh melalui proses ekstraksi dari berbagai sumber, seperti limbah pertanian, kayu, serat, tumbuhan, dan sebagainya. Proses ekstraksi selulosa dilakukan untuk memisahkan komponen dari komponen lain dalam suatu bahan menggunakan asam atau basa, melibatkan proses delignifikasi yang bertujuan untuk melarutkan kandungan lignin yang terdapat pada serat (Rahayu et al., 2022).

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, selulosa dimodifikasi menjadi bahan yang bernilai ekonomis lebih tinggi seperti nanoselulosa (Suopajarvi et al., 2020). Material berukuran nano menjadi salah satu pondasi dalam pengembangan sains dan teknologi. Nanoselulosa adalah material jenis baru yang memiliki diameter sekitar 2-20 nm dan panjang mencapai ribuan nanometer (Hertiwi et al., 2020). Penggunaan nanoselulosa telah meluas ke berbagai sektor, termasuk farmasi, kedokteran, perkakas rumah tangga, elektronik, dan bidang lainnya. Oleh karena itu, studi mengenai produksi nanoselulosa telah melibatkan beragam bahan baku, seperti serbuk kayu, ampas tebu, serat nanas, dan lain-lain. Dengan kata lain, bahan alami yang mengandung selulosa telah menjadi sumber yang umum digunakan untuk mendapatkan nanoselulosa (Widiastuti & Marlina, 2020).

Berdasarkan morfologi dan kristalinitasnya, nanoselulosa dapat dibagi menjadi dua kategori besar seperti pada Gambar 1. Gambar 1

merupakan gambaran ukuran dan klasifikasi nanoselulosa yang menentukan terminologi standar dan klasifikasi nanoselulosa, serta penjelasan rinci tentang berbagai karakteristik nanoselulosa. Jenis dan karakteristik tersebut, dipengaruhi oleh sumber selulosa. Seperti pada *Cellulose Nanocrystal* (CNC), dimensi panjang dari nanoselulosa berkisar antara 100 nm hingga X  $\mu\text{m}$ . Pada beberapa sumber selulosa dapat menghasilkan CNC mencapai ukuran dengan satuan mikro. Sejauh ini, nanoselulosa memiliki sifat mekanik yang lebih baik daripada selulosa biasa. Sifat mekanik nanoselulosa harus memiliki rasio permukaan yang besar, kemampuan mengikat udara yang tinggi, kekuatan tarik yang tinggi, dan sangat berpori (Trache et al., 2020). Sifat-sifat ini menjadikan nanoselulosa sebagai bahan pengisi yang sangat baik untuk produk komposit. Menurut Dufresne (2017), menambahkan nanoselulosa dasar kayu ke dalam matriks polimer secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik komposit (Dufresne, 2017).

Dalam beberapa tahun terakhir, nanoselulosa telah dieksplorasi untuk digunakan dalam banyak aplikasi seperti film, fotonik, fungsionalisasi permukaan, komposit nano, optoelektronik yang dapat disesuaikan, dan ilmu kedokteran, untuk perancah dalam regenerasi jaringan ion (Ago et al., 2012; Liu et al., 2014). Artikel ini direview berdasarkan perkembangan eksperimen-eksperimen terbaru dari beberapa peneliti yang dapat memberikan informasi kepada pembaca mengenai pemanfaatan nanoselulosa, serta

metode yang digunakan untuk mendapatkan ekstrak nanoselulosa tersebut.

## PEMANFAATAN NANOSELULOSA

Sejak Tahun 1999, penelitian tentang pemanfaatan nanoselulosa dari bioselulosa mulai mengalami perkembangan yang pesat. Pengembangan nanoselulosa dengan menambahkan polimer ramah lingkungan ke dalam nanoselulosa akan mengubah karakteristik nanokomposit yang dihasilkan menjadi lebih elastis dan fleksibel, sehingga berpotensi sebagai kemasan ramah lingkungan (Yudianti, 2022). Berbagai penelitian tentang pemanfaatan nanoselulosa yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa beberapa penelitian terkait dengan pemanfaatan nanoselulosa yang diperoleh dari bahan alam dilakukan dengan beberapa metode, sehingga didapatkan material maju yang berfungsi di berbagai industri. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa modifikasi selulosa menjadi nanoselulosa dapat meningkatkan nilai ekonomi, tidak hanya terbatas pada penggunaan sebagai bahan baku pembuatan kertas, komposit, dan filter, tetapi juga sebagai komponen penting dalam industri farmasi dan kedokteran. Pemanfaatan nanoselulosa ini menjadi faktor utama yang mendorong para peneliti untuk terus mengembangkan metode ekstraksi nanoselulosa, terutama dari limbah pertanian, dengan tujuan untuk memanfaatkan potensi alam secara maksimal dan memberikan kontribusi positif terhadap lingkungan.

## METODE EKSTRAKSI NANOSELULOSA

Pembuatan nanoselulosa merupakan inovasi baru dalam menciptakan material berukuran nano sebagai salah satu pengembangan sains dan teknologi (Xue et al., 2021). Berat molekul nanoselulosa yang kecil, material ini disintesis secara efektif dengan zat lain selama proses aplikasi, yang memiliki keunggulan aplikasi dan prospek pengembangan tertentu. Metode pembuatan nanoselulosa yang umum digunakan meliputi hidrolisis asam, oksidasi TEMPO (*2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl*), dan perlakuan mekanis. Dalam proses pembuatannya, metode persiapan dapat diadopsi dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya

sesuai dengan tujuan pemanfaatan spesifiknya (Zhu et al., 2021).

### Metode Persiapan Mekanis

Nanoselulosa dibuat dengan perlakuan mekanis geser tinggi yang biasa disebut selulosa mikrofibrilasi (MFC). Salah satu bentuk perlakuan mekanis adalah penyulingan dan homogenisasi tekanan tinggi. Dalam *mechanical preparation methods*, metode homogenisasi terfokus pada perlakuan mekanis tekanan tinggi yang konstan dari bahan baku. Pada tekanan tersebut, nanoselulosa dapat dihasilkan melalui pengepresan homogenisasi yang akan menghasilkan nanoselulosa dengan ukuran sekitar 100 nm (Septevani et al., 2019). Meskipun cara mekanis ini efisien dalam menghasilkan bahan nanofibrilasi yang diinginkan, beberapa strategi *pretreatment* telah digunakan untuk memfasilitasi fibrilasi bahan baku (yaitu, serat selulosa) dan menurunkan kebutuhan energi dari proses fibrilasi (Levanič et al., 2020).

### Metode Preparasi Kimia

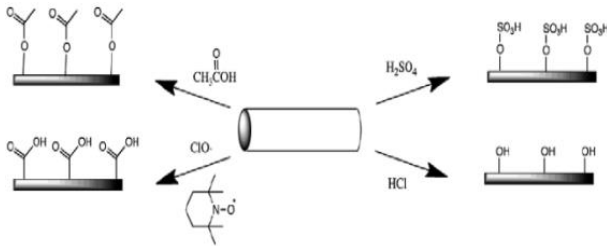
#### 1. Metode Hidrolisis Asam

Metode hidrolisis asam pada umumnya menggunakan asam kuat seperti  $H_2SO_4$ . Asam kuat dapat menghilangkan bagian amorf dari suatu rantai selulosa, sehingga isolasi pada bagian kristalin selulosa dapat dilakukan (Effendi et al., 2015). Ukuran partikel nanoselulosa yang dibuat dengan hidrolisis asam berhubungan dengan waktu asidolisis, suhu asidolisis, fraksi massa asam, dan ukuran bubuk selulosa murni. Waktu asidolisis umumnya dikontrol dalam 30-120 menit pada suhu sekitar 40-90 °C, dan kemurnian asam sulfat sebesar 64 % (Hidayatulloh et al., 2021).

Nanoselulosa yang dibuat dengan hidrolisis asam memiliki hasil tinggi dan proses persiapan yang sederhana. Sebagian besar jenis nanoselulosa yang dibuat melalui metode ini adalah CNC. Namun, pada proses hidrolisis asam akan beresiko menghasilkan limbah asam yang perlu didaur ulang. Dalam penelitian tersebut, Julianto, et al (2017) melakukan eksperimen menggunakan proses hidrolisis asam pada tandan sawit kosong dengan tujuan menghasilkan selulosa dalam ukuran nano. Hasil analisis SEM menunjukkan variasi diameter serat antara 291,4  $\mu m$  hingga 8242  $\mu m$ . Gugus fungsi selulosa akan bereaksi dengan asam sulfat seperti pada Gambar 2.

Tabel 1. Berbagai Pemanfaatan Nanoselulosa

Judul Artikel	Sumber	Pemanfaatan	Metode	Referensi
Aplikasi enkapsulasi selulosa nanopartikel pada <i>nanomedicine</i>	Jerami padi, kelapa sawit, serat sekam padi, dan serat pisang	Enkapsulasi pada <i>nanomedicine</i>	Hidrolisis asam	(Guniawaty et al., 2021)
Nanokomposit ramah lingkungan melalui isolasi nanofibril selulosa (Nfs) dari tandan kosong sawit dan <i>poly lactid acid</i> (Pla) sebagai matrik	Tandan kosong kelapa sawit	Nanokomposit	Hidrolisis asam dan mekanik	(Handayani, 2021)
Studi awal penggunaan nanoselulosa sebagai bahan baku pembuatan kertas	LBKP ( <i>Leaf Bleached Kraft Pulp</i> ) yaitu pulp yang berasal dari kayu serat pendek ( <i>hardwood</i> )	Bahan baku produksi kertas	Biologis	(Sijabat et al., 2017)
Ekstraksi nanoselulosa dengan metode hidrolisis asam sebagai penguat komposit absorpsi suara	Tandan kosong kelapa sawit	Penguat komposit absorpsi suara	Hidrolisis asam	(Julianto et al., 2017)
Pengaruh nanoselulosa dari pelepah nipah sebagai <i>filler</i> terhadap sifat bioplastik polivinil alkohol	Pelepah nipah	<i>Filler</i> pada pembuatan bioplastik polivinil alkohol	Hidrolisis asam	(Sunardi et al., 2020)
Aplikasi serat nanoselulosa dari kulit ubi kayu sebagai bahan pengisi dan pengaruhnya terhadap sifat fisik bioplastik tapioka dengan penambahan sorbitol	Kulit ubi kayu	Bahan pengisi bioplastik	Hidrolisis asam	(Wicaksono et al., 2020)
Optimalisasi filtrasi masker kain dengan <i>filter cartridge</i> dari limbah sabut kelapa untuk mewujudkan <i>sustainable development goals</i> 2030	Limbah sabut kelapa	<i>Filter cartridge</i> sebagai filtrasi masker kain		(Rohmawati et al., 2020)
Penambahan nanoselulosa sekam padi terhadap kekuatan fleksural basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas	Sekam padi	Penambah kekuatan basis gigi tiruan	Hidrolisis asam	(Riyadi et al., 2020)
<i>On the mechanical and thermal properties of poly (vinyl alcohol) – alginate composite yarn reinforced with nanocellulose from oil palm empty fruit bunches</i>	Tandan kosong kelapa sawit	Komposit alginat pada benang polivinil alkohol	Mekanik	(Maghfirah et al., 2022)



Gambar 2. Reaksi Kimia Gugus Permukaan Selulosa pada Perlakuan Asam (Ago et al., 2012)

## 2. Metode Oksidasi TEMPO

Metode oksidasi TEMPO mengadopsi sistem oksidasi katalitik 2,2,6,6-tetrametilpiperidin, nitrogen oksida untuk mengoksidasi gugus -OH pada selulosa C6 menjadi gugus -CHO atau -COOH. Umumnya, proses ini akan dilakukan dengan ultrasonik selama 30 menit untuk menyiapkan fibril nanoselulosa yang menempatkan fraksi massa tertentu dari selulosa murni dalam sistem oksidasi TEMPO-NaBr-NaClO. Sistem ini nantinya akan mengontrol pH sekitar 10, bereaksi selama 3-4 jam, dan secara ultrasonik akan menghasilkan CNF, setelah proses dialisis (Jonasson et al., 2021).

Oksidasi TEMPO dari selulosa asli telah banyak dilakukan dan dipelajari. Beberapa studi telah berfokus pada bagaimana proses oksidasi TEMPO dapat mempengaruhi morfologi serat (Levanič et al., 2020). Misalnya, menggunakan penganalisis serat otomatis untuk mempelajari hal-hal paling dasar mengenai serat, yaitu morfologi, lebar, dan panjangnya (Besbes et al., 2011). Selain itu, beberapa peneliti melakukan eksperimen dengan tujuan untuk menyelidiki pengaruh kinetika perlakuan TEMPO terhadap parameter kualitas serat selulosa teroksidasi dalam hal kandungan gugus karboksil, karakteristik serat, dan tingkat fibrilasi pulp (Levanič et al., 2020; Pönni et al., 2014).

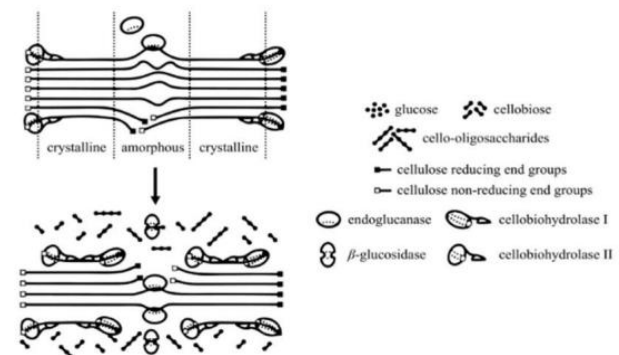
## Metode Persiapan Biologis

Hidrolisis enzimatik adalah proses pengolahan biologis, enzim digunakan untuk mencerna atau memodifikasi serat selulosa (Lavoine et al., 2012). Umumnya, perlakuan biologis dengan enzim dapat dilakukan dalam kondisi operasi yang cukup lama (Lavoine et al., 2012; Moniruzzaman & Ono, 2013). Untuk mengatasi masalah ini, hidrolisis enzimatik biasanya digabungkan dengan metode lain. Moniruzzaman et al. (2013) mempelajari pemisahan serat selulosa dari serpihan kayu dengan *pretreatment* dengan cairan ionik untuk

meningkatkan luas permukaan yang dapat diakses, diikuti dengan hidrolisis enzimatik dengan lakase. Nanoselulosa yang diperoleh dari proses tersebut menunjukkan kristalinitas dan termal yang lebih tinggi stabilitasnya dibandingkan serat kayu asli.

Dalam proses hidrolisis enzimatik, bahan baku terutama dikatalisis oleh enzim katalitik, dan selulosa diproduksi setelah katalisis (Joshi et al., 2018). Setelah kristalisasi, kristal selulosa diproduksi untuk mencapai tujuan pembuatan selulosa seperti pada Gambar 3. Peralatan yang digunakan dalam penerapan hidrolisis enzimatik harus peralatan profesional. Seluruh proses persiapan ini membutuhkan selulosa dengan kadar cukup tinggi dan enzim kimia yang digunakan harus memenuhi persyaratan reaksi, dan karakteristik pembuatan selulosa dalam reaksi.

Selain menggunakan hidrolisis enzimatik, metode biologis juga dapat dilakukan dengan memanfaatkan bakteri, seperti eksperimen yang dilakukan oleh Taokaew, et al. (2013), yang telah membuat nanoselulosa menggunakan bakteri *Acetobacter xylinum*, yang memiliki diameter 50-80 nm atau jika dikonversikan sama dengan dengan  $50 \text{ atau } 80 \times 10^{-12} \text{ mm}$  (Taokaew et al., 2013).



Gambar 3. Diagram Mekanisme Perlakuan Enzimatis Serat Selulosa (Lynd et al., 2002)

Berbagai metode pembuatan nanoselulosa yang telah dilakukan oleh para peneliti memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Dalam pengembangan nanoselulosa, penting bagi para peneliti untuk mempertimbangkan kapasitas peralatan dan bahan yang tersedia, serta tujuan penelitian yang ingin dicapai. Misalnya, beberapa metode ekstraksi nanoselulosa dari bahan alam membutuhkan peralatan yang mahal dan kompleks, serta proses yang rumit. Namun, metode ini mungkin menghasilkan nanoselulosa dengan ukuran dan sifat yang lebih terkontrol.

Peneliti juga harus mempertimbangkan sumber bahan baku yang tersedia, seperti limbah pertanian, agar dapat memaksimalkan potensi alam dan berkontribusi pada pengelolaan lingkungan (Sena et al., 2021).

Selain itu, penting untuk memperhatikan aplikasi yang diinginkan untuk nanoselulosa tersebut, apakah itu dalam industri kertas, komposit, filter, farmasi, atau kedokteran. Dengan demikian, peneliti dapat memilih metode ekstraksi nanoselulosa yang paling cocok untuk memenuhi kebutuhan dan tujuan penelitian mereka. Dengan memperhatikan faktor-faktor ini, peneliti dapat memilih metode pembuatan nanoselulosa yang paling sesuai dan memungkinkan untuk dilakukan dalam eksperimen mereka. Dengan terus mengembangkan penelitian nanoselulosa dan memilih metode pembuatan yang tepat, para peneliti dapat memperluas pemahaman kita tentang nanoselulosa dan memanfaatkannya secara lebih efektif dalam berbagai industri.

## KESIMPULAN

Berdasarkan studi dan diskusi mengenai pemanfaatan dan metode ekstraksi nanoselulosa, dapat disimpulkan bahwa nanoselulosa yang diperoleh dari berbagai jenis biomassa memiliki potensi yang sangat tinggi untuk berbagai aplikasi, seperti dalam komposit, bahan pengisi, enkapsulasi, dan bioplastik. Pada umumnya nanoselulosa tersebut dapat dimanfaatkan dengan melakukan ekstraksi dari biomassa menggunakan metode perlakuan kimia berupa hidrolisis asam. Namun, pada beberapa eksperimen, telah dikembangkan dan dimodifikasi beberapa metode lainnya untuk mendapatkan hasil nanoselulosa yang lebih baik. Metode-metode yang tengah dikembangkan tersebut meliputi *mechanical* dan *biological method*. Pemanfaatan material maju seperti nanoselulosa ini merupakan arah penelitian yang berpotensi untuk dikembangkan juga kedepannya, sehingga perlu dikembangkan terus metode ekstraksi nanoselulosa yang efektif sesuai dengan peruntukan dari nanoselulosa tersebut nantinya.

## DAFTAR PUSTAKA

Ago, M., Jakes, J. E., Johansson, L. S., Park, S., & Rojas, O. J. (2012). Interfacial properties of lignin-based electrospun nanofibers and

films reinforced with cellulose nanocrystals. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 4(12), 6849–6856. <https://doi.org/10.1021/am302008p>

Amrillah, Z., Hanum, F. F., & Rahayu, A. (2022). Studi Efektivitas Metode Ekstraksi Selulosa dari Agricultural Waste. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 8. <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit%0AE-ISSN:2745-6080>

Besbes, I., Alila, S., & Boufi, S. (2011). Nanofibrillated cellulose from TEMPO-oxidized eucalyptus fibres: Effect of the carboxyl content. *Carbohydrate Polymers*, 84(3), 975–983. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.052>

Dufresne, A. (2017). Cellulose nanomaterial reinforced polymer nanocomposites. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 29, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2017.01.004>

Effendi, D. B., Rosyid, N. H. R., Nandiyanto, A. B. D., & Mudzakir, A. (2015). Review : Sintesis Nanoselulosa. *Jurnal Integrasi Proses*, 5(2), 61–74.

Fonseca, D. F. S., Carvalho, J. P. F., Bastos, V., Oliveira, H., Moreirinha, C., Almeida, A., Silvestre, A. J. D., Vilela, C., & Freire, C. S. R. (2020). Antibacterial multi-layered nanocellulose-based patches loaded with dexpantenol for wound healing applications. *Nanomaterials*, 10(12), 1–16. <https://doi.org/10.3390/nano10122469>

Guniawaty, Y., Sardjono, R. E., Khoerunnisa, F., & Anonim. (2021). *Chemica Isola Aplikasi Enkapsulasi Selulosa Nanopartikel pada Nanomedicine*. 1(2), 58–64.

Handayani, N. (2021). Nanokomposit Ramah Lingkungan Melalui Isolasi Nanofibril Selulosa (Nfs) Dari Tandan Kosong Sawit Dan Poly Lactid Acid (Pla) Sebagai Matrik. *Jurnal Sains Dan Teknologi Reaksi*, 18(02). <https://doi.org/10.30811/jstr.v18i02.2254>

Hidayatulloh, I., Widyanti, E. M., Kusumawati, E., & Elizabeth, L. (2021). Nanocellulose production from empty palm oil fruit bunches (Epopfb) using hydrolysis followed by freeze drying. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 21(1), 52–61. <https://doi.org/10.22146/ajche.61093>

- Jonasson, S., Bänder, A., Berglund, L., Hertzberg, M., Niittylä, T., & Oksman, K. (2021). *The Effect of High Lignin Content on Oxidative Nanofibrillation of Wood Cell Wall*. 1–13.
- Joshi, P. V., Mandot, A. A., & Patel, B. H. (2018). Enzymatic Extraction of Nano Cellulose from Banana Stem: Morphological, Structural and Thermal Characterization. *J. Nat. Prod. Plant Resour*, 8(1), 1–11.
- Julianto, H., Farid, M., & Rasyida, A. (2017). Ekstraksi Nanoselulosa dengan Metode Hidrolisis Asam sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 242–245.  
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24259>
- Lavoine, N., Desloges, I., Dufresne, A., & Bras, J. (2012). Microfibrillated cellulose - Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review. *Carbohydrate Polymers*, 90(2), 735–764.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.05.026>
- Levanič, J., Šenk, V. P., Nadrah, P., Poljanšek, I., Oven, P., & Haapala, A. (2020). Analyzing TEMPO-Oxidized Cellulose Fiber Morphology: New Insights into Optimization of the Oxidation Process and Nanocellulose Dispersion Quality. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8(48), 17752–17762.  
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c05989>
- Liu, J., Korpinen, R., Mikkonen, K. S., Willför, S., & Xu, C. (2014). Nanofibrillated cellulose originated from birch sawdust after sequential extractions: A promising polymeric material from waste to films. *Cellulose*, 21(4).  
<https://doi.org/10.1007/s10570-014-0321-4>
- Lynd, L. R., Weimer, P. J., Zyl, W. H. Van, & Isak, S. (2002). Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology. Downloaded from <http://mmbbr.asm.org/> on February 6, 2013 by INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY MADRAS. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 66(3), 506–577.  
<https://doi.org/10.1128/MMBR.66.3.506>
- Maghfirah, A., Fahma, F., Lisdayana, N., Yunus, M., Kusumaatmaja, A., & Kadja, G. T. M. (2022). On the Mechanical and Thermal Properties of Poly(Vinyl Alcohol) – Alginate Composite Yarn Reinforced with Nanocellulose from Oil Palm Empty Fruit Bunches. *Indonesian Journal of Chemistry*, 22(1), 114–125.  
<https://doi.org/10.22146/ijc.67881>
- Moniruzzaman, M., & Ono, T. (2013). Separation and characterization of cellulose fibers from cypress wood treated with ionic liquid prior to laccase treatment. *Bioresource Technology*, 127, 132–137.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.09.113>
- Ningtyas, K. R., Muslihudin, M., Sari, I. N., Produk, P., Politeknik, A. /, Lampung, N., Studi, P., Pangan, T., & Politeknik, /. (2020). Synthesis of nanoselulosa from agricultural waste using variation acid concentration. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 20(2), 142–147.  
<http://www.jurnal.polinela.ac.id/JPPTEISSN2047-1781>
- Pönni, R., Pääkkönen, T., Nuopponen, M., Pere, J., & Vuorinen, T. (2014). Alkali treatment of birch kraft pulp to enhance its TEMPO catalyzed oxidation with hypochlorite. *Cellulose*, 21(4), 2859–2869.  
<https://doi.org/10.1007/s10570-014-0278-3>
- Rahayu, A., Hanum, F. F., Amrillah, N. A. Z., Lim, L. W., & Salamah, S. (2022). Cellulose Extraction from Coconut Coir with Alkaline Delignification Process. *Journal of Fibers and Polymer Composites*, 1(2), 106–116.  
<https://doi.org/10.55043/jfpc.v1i2.51>
- Rezty Hertiwi, L., Afni, A. N., Lailiyah, N., & Sanjaya, G. M. (2020). Ekstraksi dan karakterisasi nanoselulosa dari limbah kulit bawang merah. *Journal Education and Chemistry*, 2(1), 77–81.
- Riyadi, W., Purwasasmita, B., & Imam, D. (2020). Penambahan nanoselulosa sekam padi terhadap kekuatan fleksural basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas. *Journal of Dentistry*, 4(2), 336–342.
- Rohmawati, U., Rimasani, A., Pamungkas, A. J.

- I., & Fillaeli, A. (2020). Optimalisasi Filtrasi Masker Kain Dengan Filter Cartridge Dari Limbah Sabut Kelapa Untuk Mewujudkan Sustainable Development Goals 2030. *Jurnal UIN Alauddin*, 2(September), 441–448.
- Sena, P. W., Ganda Putra, G. P., & Suhendra, L. (2021). *Characterization of Cellulose from Cocoa Pod Husk (Theobroma cacao L.) on various concentration of Hydrogen Peroxide and Bleaching Temperature*. 9(3), 288–299.
- Septevani, A. A., Burhani, D., Sampora, Y., Devy, Y. A., Ariani, G. N., Sudirman, S., Sondari, D., & Mohd Amin, K. N. (2019). The Effect of Acid Hydrolysis Treatment on the Production of Nanocellulose Based on Oil Palm Empty Fruit Bunches. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 21(1), 31–37. <https://doi.org/10.14203/jkti.v21i1.416>
- Sijabat, E. K., Avelina, Y. N., & Permatasari, A. (2017). *Sijabat 2017*. 9(2), 21–29.
- Sunardi, S., Firda Trianda, N., & Irawati, U. (2020). Pengaruh Nanoselulosa dari Pelepah Nipah sebagai Filler terhadap Sifat Bioplastik Polivinil Alkohol. *Justek : Jurnal Sains Dan Teknologi*, 3(2), 69. <https://doi.org/10.31764/justek.v3i2.3704>
- Suopajarvi, T., Ricci, P., Karvonen, V., Ottolina, G., & Liimatainen, H. (2020). Acidic and alkaline deep eutectic solvents in delignification and nanofibrillation of corn stalk, wheat straw, and rapeseed stem residues. *Industrial Crops and Products*, 145(October 2019), 111956. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111956>
- Taokaew, S., Seetabhawang, S., Siripong, P., & Phisalaphong, M. (2013). Biosynthesis and characterization of nanocellulose-gelatin films. *Materials*, 6(3), 782–794. <https://doi.org/10.3390/ma6030782>
- Trache, D., Tarchoun, A. F., Derradji, M., & Hamidon, T. S. (2020). *Nanocellulose : From Fundamentals to Advanced Applications* (Vol. 8, Issue May). <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00392>
- Wicaksono, R., Wibowo, C., & Fajar, R. (2020). Bioplastik Tapioka Dengan Penambahan Sorbitol. *Prosiding Seminar Nasional Dan Call for Papers*, 18–28.
- Widiastuti, E., & Marlina, A. (2020). Optimasi Pembuatan Nanoselulosa dari Rumput Alang-Alang. *Fluida*, 13(2), 59–64. <https://doi.org/10.35313/fluida.v13i2.2249>
- Xue, Y., Qi, L., Lin, Z., Yang, G., & He, M. (2021). *High-Strength Regenerated Cellulose Fiber Reinforced with Cellulose Nanofibril and Nanosilica*.
- Yudianti, Rike. (2022). Pengembangan Nanokomposit Berbasis Nanoselulosa dan Nanokarbon sebagai Material Fungsional. In *Pengembangan Nanokomposit Berbasis Nanoselulosa dan Nanokarbon sebagai Material Fungsional*. <https://doi.org/10.55981/brin.431>
- Zhou, Z., Li, Y., & Zhou, W. (2021). The progress of nanocellulose in types and preparation methods. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2021/1/012042>
- Zhu, Q., Zhou, R., Liu, J., & Sun, J. (2021). *Recent Progress on the Characterization of Cellulose Nanomaterials by Nanoscale Infrared Spectroscopy*. 1–18.