Jurnal Sains dan Kesehatan (J. Sains Kes.)

Journal homepage: https://jsk.farmasi.unmul.ac.id

# Karakterisasi Nanoselulosa dari Tandan Kosong Aren (*Arenga pinnata*) sebagai *Filler* dalam Pembuatan Tisu

# Characterization of Nanocellulose from Empty Bunches of Aren (*Arenga pinnata*) as Filler in Tissue Manufacturing

**Widhi Mulya Nurdin, Irmawati, La Ode Muhamad Alwan, Haeruddin***

Jurusan Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Halu Oleo, Indonesia
*Email Korespondensi: haeruddin.fkip@uho.ac.id

## Abstrak

Tingginya permintaan tisu yang terbuat dari kayu sebagai bahan baku utamanya telah menyebabkan penyusutan hutan Indonesia. Nanoselulosa tandan kosong aren dibuat dalam penelitian ini melalui proses delignifikasi, hidrolisis dan ultrasonifiasi dengan tujuan untu mendapatkan waktu ultrasonifikasi yang optimum. Metode penelitian yang digunakan meliputi proses delignifikasi, hidrolisis asam serta ultrasonifikasi. Variasi waktu yang dilakukan 15 menit, 30 menit dan 45 menit pada suhu 50$^{o}$C. Hasil analisis FTIR menunjukkan panjang gelombang untuk gugus fungsi α-selulosa tandan kosong aren yaitu gugus O-H pada daerah 3042,43 cm$^{-1}$, C-H pada 2900,94 cm$^{-1}$ dan C-O 1049,28cm$^{-1}$ . Hasil analisis FE-SEM menunjukkan bahwa nanoselulosa dengan lama waktu ultrasonifikasi 45 menit memiliki ukuran partikel yang memenuhi kriteria nanopartikel. Penambahan nanoselulosa dalam tisu napkins meningkatkan ketebalan dan daya serap air, dengan penambahan 6 gr nanoselulosa memberikan hasil yang paling signifikan. Dengan penelitian lebih lanjut, pemanfaatan TKA dalam industri tisu dapat membantu mengurangi tekanan terhadap hutan dan menyediakan alternatif yang berkelanjutan untuk produksi tisu.

**Kata Kunci:** Nanoselulosa, Tandan Kosong Aren, *Filler*

## Abstract

The high demand for tissue made from wood as the main raw material has led to the shrinkage of Indonesian forests. Nanocellulose from empty palm bunches was prepared in this study by delignification, hydrolysis and ultrasonication in order to obtain the optimum ultrasonification time. Time variations were 15 min, 30 min and 45 min at 50°C. FTIR analysis showed wavelengths for α-cellulose functional groups of empty palm bunches, namely O-H groups at 3042.43 cm$^{-1}$, C-H at 2900.94 cm$^{-1}$ and C-O at 1049.28cm$^{-1}$. FE-SEM analysis showed that nanocellulose with 45 min ultrasonification

time has a particle size that meets the criteria of nanoparticles. The addition of nanocellulose in napkins increased the thickness and water absorption, with the addition of 6 g of nanocellulose giving the most significant results. With further research, the utilization of TKA in the tissue industry can help to reduce pressure on forests and provide a sustainable alternative for tissue production.

**Keywords:** Nanocellulose, Aren Empty Bunch, Filler

**Diterima**: 03 November 2023 **Disetujui**: 27 Februari 2024

**DOI**: https://doi.org/10.25026/jsk.v6i1.2156

Copyright (c) 2024, Jurnal Sains dan Kesehatan (J. Sains Kes.). Published by Faculty of Pharmacy, University of Mulawarman, Samarinda, Indonesia. This is an Open Access article under the CC-BY-NC License.

**Cara Sitasi:**

Nurdin, W. M., Irmawati, I., Alwan, L. O. M., Haeruddin, H., 2024. Karakterisasi Nanoselulosa dari Tandan Kosong Aren (*Arenga pinnata*) sebagai *Filler* dalam Pembuatan Tisu. *J. Sains Kes.*, **6**(1). 31-37. **DOI**: https://doi.org/10.25026/jsk.v6i1.2156

## 1 Pendahuluan

Tisu merupakan benda yang sangat dibutuhkan oleh orang-orang diseluruh dunia. Tisu digunakan oleh seluruh kalangan masyarakat, mulai dari anak-anak hingga dewasa membutuhkan tisu dalam kehidupan sehari-hari. Begitu juga masyarakat Indonesia, jika 200 juta penduduk Indonesia menggunakan setengah gulung tisu per hari, maka minimal diperlukan 3 milyar gulung tisu per bulan. Padahl bahan baku pembuatan tisu adalah kayu [1]. Hal inilah yang menjadi penyebab utama hutan di Indonesia terus menyusut dalam jumlah fantastis tiap tahunnya. Tingginya permintaan manusia akan tisu harus diimbangi dengan ketersediaan bahan baku. Kurangnya bahan baku akan menimbulkan dampak negatif yaitu beberapa perusahaan industri skala besar berupaya melakukan *illegal logging* yang sangat berpotensi merusak hutan. Oleh karena itu, perlu ditemukan kertas tisu alternatif yang tidak hanya ramah lingkungan namun juga berkualitas. Tisu dapat dibuat dari pulp, baik dari bubur kertas asli (*virgin pulp*) ataupun bubur kertas yang telah di daur ulang (*recycled pulp)* [2]. Untuk menghasilkan tisu ramah lingkungan, maka salah satu alternatif yang dapat digunakan yaitu *waste paper* yang berasal dari sisa-sisa proses produksi yang tidak sesuai dengan *grade* produk dan dapat dimanfaatkan kembali kandungan seratnya [3]. Adanya penambahan bahan penguat yang ditambahkan kedalam pulp dapat berfungsi sebagai *filler* dalam pembuatan tisu yang memiliki daya serap air yang baik.

Kualitas serat hasil daur ulang pada umumnya mengalami penurunan terutama dalam hal kekuatannya dikarenakan berkurangnya kemampuan serat untuk membentuk ikatan antar serat [4]. Salah satu cara untuk memodifikasi kualitas serat dari proses daur ulang yaitu dengan menggunakan bahan aditif seperti nanoselulosa. Nanoselulosa merupakan selulosa berukuran nano yang memiliki sifat-sifat khas seperti sangat kuat , rasio permukaan terhadap volume yang besar, kemampuan mengikat air yang tinggi, kekuatan tarik yang tinggi, serta jaringan yang halus. Dari sifat tersebut, nanoselulosa dapat digunakan sebagai bahan penguat polimer dan membran,

bahan pengental untuk dispersi serta bahan tambahan untuk produk *biodegradable.* Sintesis nanoselulosa dapat dilakukan dengan proses hidrolisis asam dengan menambahkan larutan asam. Hidrolisis asam yang digunakan dalam pembuatan pulp yang paling efektif ialah $H_2SO_4$ karena dapat menghilangkan daerah amorf dalam proses isolasi nanoselulosa [5].

Nanoselulosa dapat diperoleh dari selulosa yang ketersediaanya melimpah di alam, hampir 40% bahan organik di bumi adalah selulosa yaitu sebanyak 75-100 juta ton per tahun. Selulosa dapat diisolasi dari banyak tanaman termasuk dari kayu, kapas, rami, biji rami dan tanaman kelapa bahkan banyak bersumber dari limbah contohnya limbah tandan kosong sawit [6]. Seperti halnya limbah tandan kosong sawit yang kaya akan kandungan lignoselulosa. Tandan kosong aren yang juga merupakan jenis tumbuhan *palmae* memiliki kandungan yang sama dengan tandan kosong kelapa sawit. Tandan aren sangat potensial untuk dijadikan nanoselulosa karena memiliki kandungan serat yang tinggi diantaranya 43,38% selulosa, 51,12% holoselulosa, 7,24% hemiselulosa, 33,24% lignin dan 2,73% ekstraktif [7]. Sehingga dengan kandungan ini, tandan kosong aren sangat berpotensi untuk dijadikan nanoselulosa sebagai *filler* atau bahan pengisi dalam pembuatan tisu.

Salah satu negara penghasil pohon aren terbesar didunia adalah Indonesia, sehingga dapat meningkatkan produksi limbah tandan kosong buah aren. Sulawesi Tenggara merupakan salah satu provinsi dengan jumlah pohon aren yang banyak di Indonesia dengan luas 3524 ha dengan jumlah produksi 2638 ton yang tersebar dihampir seluruh Kabupaten/Kota (BPS, 2017). Menurut data (BPS, 2014) Kabupaten yang memiliki populasi tanaman aren terbanyak di Sulawesi Tenggara yakni Muna 39.802 pohon, Kolaka Timur 4.782 pohon dan Bombana 7.032 pohon [8]. Secara umum hampir semua bagian dari pohon aren dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam kebutuhan seperti bagian fisik (akar, batang, daun, ijuk dan lain-lain) maupun hasil produksinya (nira, pati/tepung dan buah) yang memiliki nilai ekonomi dipasaran. akan tetapi salah satu bagian dari pohon aren yaitu tandan kosong kosong buah aren (TKBA) terbuang secara percuma dan dianggap menjadi limbah [9]. Dewasa ini, masih sangat kurang referensi yang mengkaji tentang pemanfaatan limbah tandan kosong aren.

Sepanjang penelusuran yang telah dilakukan, hingga saat ini belum ditemukan hasil riset yang mengkaji kemampuan tandan kosong aren untuk dijadikan nanoselulosa sebagai bahan pengisi kertas tisu. Berdasarkan permasalahan diatas, maka sangat penting untuk dilakukan riset tentang Karakterisasi Nanoselulosa dari Limbah Tandan kosong Aren (*Arenga pinnata*) sebagai *Filler* Pembuatan Tisu.

## 2 Metode Penelitian

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam riset ini adalah erlenmeyer, gelas beker, gelas ukur, magnetic stirrer, oven, panci infusa, ember, kompor gas portabe, parang, pisau, blender, ayakan, kertas saring whatmann No.42, pipet tetes, pipet volume, mortar, kaca arloji, corong kaca, sentrifugasi, *filler*, pengaduk, *water bath*, mesh 200, hotplate, kondensor, neraca analitik, *freeze drying oven*, *Fourier-Transform Infra Red (FTIR) dan Scanning Electron Miscroscope* (FE-SEM). Bahan yang digunakan diantaranya yaitu tandan kosong aren dari perkebunan aren, Kabupaten Bombana dan kertas bekas. Bahan kimia yang digunakan yaitu NaOH 17,5% (b/v), $H_2O_2$ 10%, $CH_3COOH$ 10%, $H_2SO_4$, dan aquades.

### 2.2 Preparasi Sampel

Pada tahap persiapan, tandan kosong aren dicuci bersih menggunakan aquades untuk menghilangkan kotoran yang masih menempel. Kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari selama 48 jam. Serat tandan kosong aren dicacah dan diayak hingga ukuran 200 *mesh*.

### 2.3 Isolasi α-selulosa dari tandan kosong aren

Sebanyak 75 g serbuk tandan kosong aren di delignifikasi menggunakan NaOH. Delignifikasi bertujuan untuk menghilangkan lignin, hemiselulosa dan pengotor yang terdapat pada permukaan serat. Delignifikasi dilakukan dengan cara perendaman dalam 500 mL NaOH 17,5% (b/v) pada suhu 70-80°C selama 30 menit untuk meningkatkan kemurnian α-selulosa yang tidak larut dalam NaOH 17,5%. Sebelum di*bleaching* TKA dicuci dan difiltrasi menggunakan $CH_3COOH$ 10% hingga pH netral. Tahap kedua yaitu *bleaching* yang bertujuan untuk menghilangkan lignin sisa alkali. Proses

*bleaching* menggunakan hidrogen peroksida ($H_2O_2$) 10% pada suhu 70-80°C selama 60 menit dan selanjutnya dicuci dengan aquades hingga filtrat menjadi jernih dan pH netral. Bahan selulosa disaring dan dikeringkan pada suhu 60°C dalam oven selama 1 jam. A-selulosa yang dihasilkan kemudian dihitung persen *yield* nya [10].

### 2.4 Isolasi dari tandan kosong aren

α-selulosa yang diperoleh dari proses sebelumnya dihidrolisis dengan menggunakan $H_2SO_4$ dengan variasi konsentrasi 50, 55, 60 dan 65% selama 45 menit dan diaduk dengan *magnetic stirrer* 1200 pm pada suhu 45°C. Sampel selulosa yang terhidrolisis dicuci empat kali dengan aquades hingga pH netral. A-selulosa kemudian disentrifugasi (4500 rpm, 20 menit dan 25°C) untuk menghilangkan $H_2SO_4$ yang tersisa. Dari proses sentrifugasi akan diperoleh filtrate dengan pH netral dan residu. Terakhir residu dikeringkan dengan metode *freeze-drying* pada suhu 53°C selama 7 jam [10].

### 2.5 Karakterisasi Nanoselulosa

Sampel nanoselulosa dianalisis menggunakan instrumen FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam nanoselulosa tersebut. Kemudian dua sampel nanoselulosa hasil isolasi kemudian di karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (FE-SEM) untuk mengetahui komposisi dan morfologi sampel serta menemukan nanoselulosa yang optimal untuk digunakan sebagai *filler* dalam pembuatan tisu.

### 2.6 Penambahan nanoselulosa sebagai filler dalam pembuatan tisu

*Waste paper* yang terdiri dari kertas bekas dikumpulkan lalu dicuci bersih dan diblender untuk menghasilkan pulp. Pulp dimasukkan kedalam keempat Erlenmeyer kemudian ditambahkan nanoselulosa 5, 10 dan 15% ketiga Erlenmeyer tersebut dan sisanya tanpa penambahan nanoselulosa sebagai pembanding. Sampel kertas dikeringkan pada suhu 90°C. Setelah kering kertas tisu diaklamatisasi pada suhu 23°C dan kelembaban relative 50% sebelum dilakukan uji fisik kertas tisu [11].

### 2.7 Analisis Data, Penafsiran dan Penyimpulan

Berdasarkan FE-SEM data parameter yang diperoleh selama proses isolasi α-selulosa dari tandan kosong aren dapat dihitung persen yield nya dan hasil karakterisasi dua sampel nanoselulosa dari tandan kosong aren menggunakan FTIR dan FE-SEM dapat dilihat gugus fungsi dan analisis komposisi serta morfologinya. Selanjutnya dilakukan penafsiran berdasarkan karakteristik sampel yang optimum sehingga diperoleh nanoselulosa yang terbaik. Berdasarkan hasil penafsiran, dapat disimpulkan nanoselulosa yang akan digunakan sebagai *filler* dalam pembuatan tisu.

## 3 Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Rendemen α-selulosa dari tandan kosong aren

| Sampel | Berat awal (g) | Berat akhir (g) | Konsentrasi NaOH (%) | Rendemen |
|---|---|---|---|---|
| Serbuk tandan kosong aren | 75 | 23,0775 | 17,5 | 30,77% |

α-Selulosa diperoleh dari beberapa tahap yaitu preparasi dan delignifikasi. Tahapan tersebut bertujuan untuk menghilangkan kadar lignin pada serat tandan kosong aren. Rendemen (Tabel 1) hasil isolasi α-selulosa dari tandan kosong aren dengan NaOH 17,5% sebesar 30,77%. Penelitian tahun 2019 melaporkan bahwa rendemen α-selulosa dari pelepah kelapa sawit yang diperoleh dengan menggunakan NaOH sebesar 6% yaitu sebesar 28,93% [6]. Semakin tinggi kosentrasi NaOH yang digunakan maka semakin tinggi rendemen α-selulosa yang didapatkan disebabkan karena semakin banyak kosentrasi NaOH yang digunakan maka semakin besar kemampuan NaOH untuk mengikat lignin yang ada pada serat karena NaOH berfungsi memisahkan lignin dari selulosa.

Hasil yang diperoleh dari riset ini yaitu berupa serat berwarna kuning kecoklatan dari proses delignifikasi menggunakan NaOH 17,5% yang menyebabkan β, dan γ-selulosa akan larut, sedangkan α-selulosa akan mengendap [6]. Dari proses ini α-selulosa yang dihasilkan berwarna kuning kecoklatan, oleh karena itu perlu dilakukan pemutihan dengan menggunakan

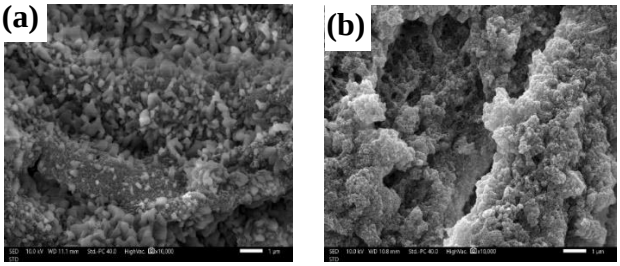
$H_2O_2$ 10%, α-selulosa yang dihasilkan dikeringkan di dalam oven pada suhu 60°C,

Tabel 2 Spektrum FTIR α-selulosa tandan kosong aren

| Sampel | Gugus Fungsi | Bilangan Gelombang ($cm^{-1}$) | |
|---|---|---|---|
| | | Sampel | Pustaka [12] |
| α-selulosa tandan kosong aren | O-H | 3042,43 | 3000-4000 |
| | H-C-H | 2900,94 | 2841-2967 |
| | C=O | 1635,64 | 1600-1850 |
| | C-H | 1373,32 | 1300-1470 |
| | C-O-C | 1049,28 | 800-1300 |

Hasil analisa spektroskopi FTIR menunjukan bahwa α-selulosa memberikan spektrum yang menggambarkan struktur sellulosa. Pada Spektrum FTIR (Tabel 2) diperoleh puncak pada bilangan gelombang 3042,43 $cm^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus OH dari α-selulosa. Gugus H-C-H berada pada bilangan gelombang 2900,94 $cm^{-1}$, sedangkan gugus C=O berada pada bilangan gelombang 1635,64 $cm^{-1}$. Spektrum pada bilangan gelombang 1373,32 $cm^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-H dan spektrum pada bilangan gelombang 1049,28 $cm^{-1}$ menunjukkan adanyan gugus C-O-C dari α-selulosa [12]. Selanjutnya α-selulosa dihidrolisis dengan $H_2SO_4$ 64% untuk menghasilkan nanoselulosa. Pada proses hidrolisis, asam sulfat biasanya memotong daerah amorf mikrofibril dari serat selulosa secara melintang sehingga menghasilkan pengurangan diameter serat dari mikron ke nanometer [13].

Selain itu, asam sulfat meningkatkan dispersi air dari nanopartikel, sehingga menghindari agregasi emulsi dengan pembentukan gugus ester sulfat yang bermuatan negatif pada rantai selulosa. Sifat asam sangat berperan dalam menghasilkan nanoselulosa. Konsentrasi asam sulfat sebaiknya berkisar 60-64% [14], karena keberadaan gugus sulfat yang bermuatan akan memiliki pengaruh yang tidak baik bagi karakteristik termostabilitas nanoselulosa. Dimensi dari nanopartikel selulosa akan bervariasi sesuai dengan bahan baku dan konsentrasi asam yang digunakan, juga berpengaruh pada pemutusan rantai selulosa selama hidrolisis asam [15]. Hidrolisis dengan asam sulfat tidak mengubah gugus fungsional selulosa, tetapi hanya diskontiniu pada cincin glukosa [15]. Setelah proses hidrolisis, selanjutnya dilakukan proses ultrasonifikasi dengan variasi waktu 15, 30 dan 45 menit untuk memecah agregat nanopartikel yang terbentuk, dengan demikian akan memperkecil ukuran nanopartikel.



Gambar 1. Perbandingan Hasil FE-SEM Nanoselulosa dengan variasi waktu (a) 15 menit (b) 45 menit perbesaran 10000×

Nanoselulosa yang diperoleh dengan variasi lama waktu ultrasonifikasi kemudian akan dianalisis menggunakan FE-SEM (*Scanning Electronic Microscope*) untuk mengetahui morfologi permukaan nanoselulosa (Gambar 1) serta ukuran permukaan nanoselulosa tandan kosong aren. Hasil analisis distribusi ukuran partikel diukur dengan menggunakan aplikasi imageJ dan diperoleh nanoselulosa dengan waktu ultrasonifikasi 15 menit memiliki ukuran 230-266 nm. Sedangkan distribusi ukuran partikel nanoselulosa dengan waktu ultrasonifikasi 45 menit yaitu 78-104 nm. Waktu saat proses ultrasonifikasi mempengaruhi nanosalulosa yang dihasilkan Semakin lama waktu yang digunakan pada ultrasonifikasi menyebabkan ukuran nanoselulosa yang dihasilkan semakin menurun. Peristiwa ini akibat banyaknya ikatan hidrogen yang putus pada nanoselulosa. Suatu material dapat dikatakan nanopartikel bila ukuran partikelnya dibawah 100 nm [16], maka waktu ultrasonifikasi optimum untuk menghasilkan nanoselulosa yaitu 45 menit.

Tabel 3 Uji Daya Serap Air Kertas Tisu Napkins

| Tisu | Sebelum (g) | Setelah (g) | Daya serap (%) |
|---|---|---|---|
| Blanko | 0,1444 | 0,5457 | 2,78 |
| 3 gram | 0,1181 | 0,5232 | 3,43 |
| 4,5 gram | 0,0802 | 0,4036 | 4,03 |
| 6 gram | 0,1234 | 0,7650 | 5,21 |

Uji daya serap air kertas tisu napkins dilakukan dengan metode ABNT NBR ISO 535 (1999) dan mengacu pada SNI 1969:2008 dengan prosedur [17]. Uji fisik kertas tisu Napkins dengan penambahan nanoselulosa dengan variasi 3 g, 4,5 g, dan 6 g menunjukkan bahwa kertas tisu dengan penambahan nanoselulosa 6 g memiliki ketebalan dan daya serap air yang lebih tinggi dibandingkan yang lainnya (Tabel 3). Hal ini menunjukkan nanoselulosa tandan kosong aren memiliki kemampuan mengikat air yang tinggi sehingga dapat memperkuat struktur kertas tisu.

Tabel 4 Uji Ketebalan Kertas Tisu Napkins

| Tisu | Ketebalan (rata-rata) (mm) |
|---|---|
| Blanko | 0,130 |
| Nanoselulosa 3 gram | 0,152 |
| Nanoselulosa 4,5 gram | 0,156 |
| Nanoselulosa 6 gram | 0,218 |

Uji ketebalan kertas tisu napkins dilakukan dengan menggunakan metode SNI 14-0435-1998. Pengukuran dilakukan sebanyak 5 bagian dengan ukuran 10×10 cm dan dipilih bagian kertas yang terbaik, dimana setiap bagian dilakukan pengukuran tebal sebanyak 1 kali. Tisu napkins adalah jenis tisu yang memiliki dimensi lebih tebal dibandingkan dengan jenis tisu yang lainya. Berdasarkan data pada Tabel 4, dapat disimpulkan semakin besar penambahan nanoselulosa maka semakin tebal pula kertas tisu yang dihasilkan. Nilai rerata ketebalan kertas tertinggi 0,218 mm, yaitu pada kertas tisu dengan penambahan 6 g nanoselulosa dengan lama waktu ultrasonifikasi 60 menit. Sedangkan nilai rerata ketebalan kertas terendah 0, 48 mm pada kertas tisu tanpa penambahan nanoselulosa (blanko). Adapun untuk tisu napkins dengan penambahan 3 g dan 4,5 g nanoselulosa tidak memiliki perbedaan yang signifikan karena pembuatan tisu dilakukan secara manual bukan dengan penggilingan pabrik. Serta pada pembuatan kertas tisu, kurang adanya penekanan pada pulp tersebut, sehingga kertas mengalami ketebalan yang tidak merata.

## 4 Kesimpulan

Berdasarkan riset yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa variasi waktu ultrrasonifikasi dapat mempengaruhi distribusi ukuran partikel nanoselulosa. Hasil nanoselulosa dengan ukuran paling kecil adalah pada nanoselulosa dengan waktu ultrasonifikasi 45 menit pada suhu 50°C menggunakan $H_2SO_4$ dengan konsentrasi 64% dan menghasilkan nanoselulosa dengan ukuran 60-100 nm. Nanoselulosa dapat digunakan sebagai filler dalam pembuatan *Napkin tissue* karena dapat menghasilkan rongga yang dapat menyerap molekul air sehingga akan meningkatkan kemampuan tisu dalam menyerap air juga meningkatkan kekuatan lapisan kertas, dengan memperhatikan komposisi nanoselulosa yang ditambahkan berupa kertas bekas sehingga berpotensi menghasilkan tisu ramah lingkungan.

## 5 Pernyataan

### 5.1 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DIKTI atas dana penelitian yang diberikan.

### 5.2 Penyandang Dana

Penelitian ini didanai oleh DIKTI melalui kegiatan PKM-RE.

### 5.3 Kontribusi Penulis

Semua penulis berkontribusi dalam penulisan artikel ini.

### 5.4 Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan.

## 6 Daftar Pustaka

[1] Grieser, F., Ashokkumar, M., and Sostric, J. Z. 1999. Sonochemistry and Sonoluminescence. (Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

[2] Yanti, H. and Tang, M. (2021) 'Pemanfaatan Limbah Padat Tahu Sebagai Bahan Baku Pembuatan Tisu dengan Metode Acetosolv', *SAINTIS*, 2(1): 28-33.

[3] Sijabat, E. K., Sakti, S. A., & Prijadi, B. T. (2022). Aplikasi Nanocrystalline Cellulose dari Proses Hidrolisis Asam sebagai Reinforced Material pada Kertas Facial Tissue. *Fluida*, *15*(2), 73-81.

[4] Wirawan, S.K. et al. (2015) 'Peningkatan Mutu Serat Daur Ulang Kotak Karton Gelombang

Bekas Menggunakan CMC', *Jurnal Selulosa*, 5(1): 33-57.
[5] Hidayatullah, I. et al. (2022). 'Kajian Pustaka Sintesis Nanoselulosa Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Filler Pembuatan Tisu Toilet', *Jurnal Fluida*, 15(1): 51-59.
[6] Silitonga, N., Tarigan, N., & Saragih, G. (2019). Pengaruh kosentrasi naoh pada karakterisasi α-selulosa dari pelepah kelapa sawit. *Ready Star*, *2*(1), 103-108.
[7] Wirjosentono, B. (2014). Preparation and characterization of nanocrystalline cellulose from sugar palm bunch (Arenga pinnata (Wurmb) Merr.). *International Journal of PharmTech Research*, *6*(2), 814-820.
[8] Fatsan, A. et al. (2020) 'Potensi Hasil dan Keragaman Fenotipik Aren (Arenga Pinnata (Wurmb) Merr.) Sulawesi Tenggara Potential Yield and Diversity of Phenotypic of Palm Sugar (Arenga Pinnata (Wurmb) Merr.) in Southeast Sulawesi', *J. Berkala Penelitian Agronomi*, 8(2): 7-15.
[9] Apriyani, I. dan Rahmawati, F. (2021) 'Pembuatan Elektroda Karbon Aktif dari Tandan Kosong Buah Aren Dengan Variasi Suhu Karbonisasi', *Komunikasi Fisika Indonesia*, 18(1): 58-63.
[10] Maria, E. W. et al. (2019) 'Production Nanocellulose from Raw Materials for Oil Palm Empty Bunches (Tkks) with Hydrolysis and Freeze Drying Methods', *In Iop Conference Series: Materials Science and Engineering. Institute of Physics Publishing*. 1(2): 1-8.
[11] Viana, L.C. et al. (2018) 'Nanofibrillated Cellulose as an Additive for Recycled Paper', *Cerne*, 24(2): 140–148.
[12] Fessenden, *Kimia Organik. Edisi ketiga*. (Jakarta: Erlangga, 1986).
[13] Farma, R. et al. (2022) 'Hemicellulosa-Derived Arenga Pinnata Bunches as Free Standing Carbon Nanofiber Membranes for Electrode Material Supercapacitors', *Scientific Reports*, 12(1): 1-11.
[14] Chen, L., Wang, Q., Hirth, K., Baez, C., Agarwal, U. P., & Zhu, J. Y. (2015). Tailoring the yield and characteristics of wood cellulose nanocrystals (CNC) using concentrated acid hydrolysis. Cellulose, 22(3), 1753–1762.
[15] Fatah, I. Y. A., Abdul Khalil, H. P. S., Hossain, M. S., Aziz, A. A., Davoudpour, Y., Dungani, R., & Bhat, A. (2014). Exploration of a chemomechanical technique for the isolation of nanofibrillated cellulosic fiber from oil palm empty fruit bunch as a reinforcing agent in composites materials. *Polymers*, 6(10), 2611–2624.
[16] Hu, Z., Zhai, R., Li, J., Zhang, Y., & Lin, J. (2017). Preparation and characterization of nanofibrillated cellulose from bamboo fiber via ultrasonication assisted by repulsive effect. *International Journal of Polymer Science*, *2017*.
[17] Hendrawati, N., Dewi, E. N., & Santosa, S. (2019). Karakterisasi Biodegradable Foam dari Pati Sagu Termodifikasi dengan Kitosan Sebagai Aditif. Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan, 3(1), 47