

# Perbandingan Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Kertas Saring Praktikum Menggunakan Hidrolisis Asam Anorganik dan Organik sebagai Upaya Pengelolaan Limbah Laboratorium

**Zahrotul Istiqomah, Agus Rahmantiyoko, Sri Sunarmi**

Laboratorium Fundamental Kimia, Fakultas Sains dan Analitika Data,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Jawa Timur, 60111,  
Corresponding Author : istiqomahzahrotul@gmail.com

Received: 28<sup>th</sup> May 2025; Revised: 10<sup>th</sup> June 2025; Accepted: 12<sup>th</sup> June 2025;  
Available online: 15<sup>th</sup> Juny 2025; Published regularly: July 2025

## Abstract

Nanocellulose is one of the nanoparticles that is widely used in various applications such as the base material of bioplastics and nanocomposites. Because nanocellulose has several properties including high mechanical and high thermal properties, transparency and lightness. Nanocellulose is generally isolated from lignocellulosic biomass, which contains high cellulose, is abundant and relatively cheap. This study aims to synthesize nanocellulose from filter paper practicum waste in the Fundamental Chemistry Laboratory of ITS, which has not been optimally used. The synthesis method used is acid hydrolysis, namely inorganic and organic acids. The results of the nanocellulose synthesis in this study are as follows: hydrolysis with inorganic acid hydrochloric acid and sulfuric acid is round like a ball with an average diameter size below 100 nm, for hydrochloric acid the average diameter is 53,14 nm and sulfuric acid 42,08 nm, while hydrolysis with organic acid, formic acid and citric acid, nanocellulose is shaped like a rod with an average diameter of 36,80 nm for formic acid and 46,23 nm for citric acid.

**Key Words** : filter paper waste, nanocellulose, acid hydrolysis.

## Abstrak

Nanoselulosa merupakan salah satu nanopartikel yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi seperti bahan dasar bioplastik dan nanokomposit. Hal ini dikarenakan nanoselulosa memiliki beberapa sifat diantaranya mekanik yang tinggi, sifat termal tinggi, transparan dan ringan. Nanoselulosa pada umumnya diisolasi dari lignoselulosa biomassa yang mengandung selulosa tinggi, melimpah dan relatif murah. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanoselulosa dari limbah kertas saring sisa praktikum di Laboratorium Fundamental Kimia ITS yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Metode sintesis yang digunakan adalah dengan hidrolisis asam yaitu asam anorganik dan organik. Hasil sintesis nanoselulosa pada penelitian ini adalah : hidrolisis dengan asam anorganik asam klorida dan asam sulfat berbentuk bulat seperti bola dengan ukuran diameter rata-rata dibawah 100 nm, untuk asam klorida diameter rata-rata 53,14 nm dan asam sulfat 42,08 nm, Sedangkan hidrolisis dengan asam organik asam format dan asam sitrat, nanoselulosa berbentuk seperti batang dengan diameter rata-rata asam format 36,80 nm dan asam sitrat 46,23 nm.

**Kata Kunci** : limbah kertas saring, nanoselulosa, hidrolisis asam.

## PENDAHULUAN

Nanoselulosa merupakan salah satu nanopartikel yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi seperti bahan dasar bioplastik dan nanokomposit. Hal ini dikarenakan nanoselulosa memiliki beberapa sifat diantaranya mekanik yang tinggi, sifat termal tinggi, transparan dan ringan. Salah satu

faktor yang berpengaruh pemanfaatan nanopartikel adalah karena ukurannya, biodegradable dan non toksik. Pada umumnya nanoselulosa diisolasi dari lignoselulosa biomassa yang mengandung selulosa tinggi, melimpah dan relatif murah (Djalal, 2020). Banyak penelitian yang telah mencoba untuk mensintesis nanoselulosa dari bahan baku sumber serat lain selain kayu, misalnya limbah pertanian seperti jerami gandum, tongkol jagung, daun nanas, kulit kacang kedelai, ampas tebu dan sebagainya. Pada Penelitian ini nanoselulosa disintesis dari limbah kertas saring sisa praktikum. Selama ini kertas saring yang dipakai praktikum limbahnya dibuang begitu saja tanpa ada pengelolaan lebih lanjut. Di sisi lain, penggunaan limbah laboratorium seperti kertas saring sebagai sumber selulosa belum banyak dieksplorasi secara mendalam. Padahal, kertas saring yang umumnya terbuat dari selulosa murni memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku nanoselulosa. Salah satu solusi untuk menanggulangi limbah tersebut adalah dengan cara *reduce* (*mengurangi*), *reuse* (*menggunakan kembali*) dan *recycle* (*memanfaatkan kembali*) agar mempunyai nilai ekonomis.

Pemanfaatan limbah kertas saring sisa praktikum untuk sintesis nanoselulosa selama ini belum pernah dikaji. Berdasarkan penelitian sebelumnya, ada beberapa metode yang dilakukan dalam sintesis nanoselulosa dan umumnya menggunakan asam anorganik. Roi (2019) mensintesis nanoselulosa menggunakan asam maleat. Sedangkan Holilah (2022) mensintesis nanoselulosa menggunakan asam-asam organik, seperti asam format, asam laktat dan asam oksalat. Bin (2015) mensintesis nanoselulosa dengan asam format. Ioelovich (2012) menggunakan metode hidrolisis dengan asam kuat, yaitu asam sulfat ( $H_2SO_4$ ), dari berbagai variasi suhu reaksi dan rasio asam terhadap selulosa, nanoselulosa yang dihasilkan berukuran 150-200 x 10-20 nm. Brito, Pereira and Jean, (2012) menggunakan metode hidrolisis dengan asam kuat, yaitu asam sulfat 64% berat. Nanoselulosa yang dihasilkan berukuran 100-130 x 5-8 nm. Sebelum hidrolisis, tahap preparasi dilakukan dengan merendam serat bambu dalam 2% w/w larutan NaOH pada 90<sup>0</sup> C selama empat jam dan *bleaching* pada 80°C selama tiga jam menggunakan *aqueous chlorite*. Selanjutnya, pulp yang telah di-*bleaching* dihidrolisis menggunakan asam sulfat 64% berat dengan berbagai parameter reaksi, seperti rasio asam terhadap selulosa, suhu dan waktu hidrolisis. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanoselulosa dari limbah kertas saring sisa praktikum di Laboratorium Fundamental Kimia Fakultas Sains dan Analitika Data ITS dan menganalisis karakteristik nanoselulosa yang dihasilkan (seperti ukuran partikel dan morfologi) berdasarkan jenis asam yang digunakan.

## **BAHAN DAN METODE**

### **Alat**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas, neraca analitik (*sartorius*), hotplate, oven (*Thermo scientific*), sonikator, sentrifuge (Hettich). Sedangkan instrumen yang digunakan meliputi *X-Ray Diffraction* (XRD) (XRD JOEL JDX-3530 *X-Ray Diffractometer*), *Fourier Transformer Infrared* (FTIR) (Shimadzu), *Transmission Electron Microscopy* (TEM) (TEM HT7700), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), (Hitachi Flexsem 1000), *Particle Size Analyzer* (Malvern).

### **Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah limbah kertas saring, natrium hidroksida (merck), asam klorida, asam sulfat, asam oksalat, asam sitrat dan hidrogen peroksida.

### **Preparasi Awal**

Preparasi limbah kertas saring diawali dengan perendaman dalam akuades, dikeringkan dan digiling menjadi bubuk. Setelah itu, serbuk biomassa ditambahkan hidrogen peroksida 10 % kemudian ditetesi 5% NaOH dan disaring. Endapannya dipake untuk proses selanjutnya.

### Sintesis Nanoselulosa dengan hidrolisis asam

± 2 gram limbah kertas saring (yang sudah menjadi bubuk) dicampur dengan HCL 6 M 100 mL\* (rasio 1:50), ditempatkan dalam wadah botol duran dan ditutup, distirer selama 3 jam pada suhu 90 °C, kemudian disentrifuse untuk memisahkan padatan dan filtrat. Padatan yang diperoleh kemudian ditambah aquades, kemudian direndam dalam plastik membrane dialisis selama 5 hari, cek pH nya sampai netral, jika pH belum netral perendaman dilanjutkan hingga mencapai pH netral. Setelah tercapai pH netral campuran dipisahkan dengan cara disentrifus. Padatan yang diperoleh disonikasi kemudian dikarakterisasi dengan FTIR, particle size, XRD, dan TEM

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis nanoselulosa dari limbah kertas saring praktikum dilakukan melalui beberapa tahapan, pertama limbah kertas praktikum di gunting-gunting menjadi kecil untuk memudahkan dalam proses blender, kemudian direndam menggunakan aquades, setelah perendaman limbah kertas saring di blender sampai menjadi bubuk. Tahapan selanjutnya bubuk yang sudah terbentuk menjadi bubuk dilakukan *bleaching* menggunakan hidrogen peroksida 10% dengan perbandingan 1:20 (limbah kertas saring : hidrogen peroksida) sambil ditetesi dengan larutan NaOH 5 % hingga terbentuk gelembung-gelembung yang banyak. Tujuan dari *bleaching* adalah untuk memutihkan limbah setelah dilakukan pencucian dengan aquades dan meningkatkan kecerahan. Sedangkan penambahan NaOH atau alkalisasi adalah untuk menghancurkan ikatan lignin dan struktur makromolekul, selama proses alkalisasi akan terjadi saponifikasi ikatan ester yang mengikat lignin dalam fragmen selulosa, penambahan NaOH juga akan terjadi pemutusan ikatan eseter sehingga membentuk garam karboksilat dan alcohol (Lee dkk, 2014). Tahapan berikutnya campuran disaring sehingga diperoleh limbah kertas saring yang lebih putih dibandingkan sebelumnya. Limbah kertas saring dan yang sudah dilakukan *bleaching* dianalisis dengan FTIR dan dikarakterisasi menggunakan XRD.



Gambar 1. Limbah kertas saring praktikum

### Sintesis nanoselulosa dengan hidrolisis asam

Tahapan selanjutan pada sintesis nanoselulosa dari limbah kertas saring praktikum adalah hidrolisis. Pada proses hidrolisis ini limbah kertas yang saring sudah dilakukan *bleaching* dihidrolisis menggunakan variasi asam. Tujuan hidrolisis ini adalah untuk memecah struktur selulosa menjadi fragmen nanoselulosa yang lebih kecil. Asam yang digunakan dalam penelitian ini adalah asam organik dan asam anorganik. Asam organik terdiri atas asam format dan asam sitrat, sedangkan asam anorganik adalah asam klorida dan asam sulfat. Pemilihan asam-asam ini berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Holilah 2022, dalam penelitiannya melaporkan bahwa hidrolisis menggunakan asam anorganik ini sangat efisien dan cepat, hasil nanoselulosa yang diperoleh memiliki ukuran dan morfologi

yang konsisten, sebagai perbandingan, pada hidrolisis juga menggunakan asam organik dengan konsentrasi yang sama, namun asam yang digunakan merupakan asam yang bersifat lemah, kekurangan dari hidrolisis menggunakan asam organik lemah, proses hidrolisisnya berjalan lambat, namun asam organik ini lebih ramah lingkungan.



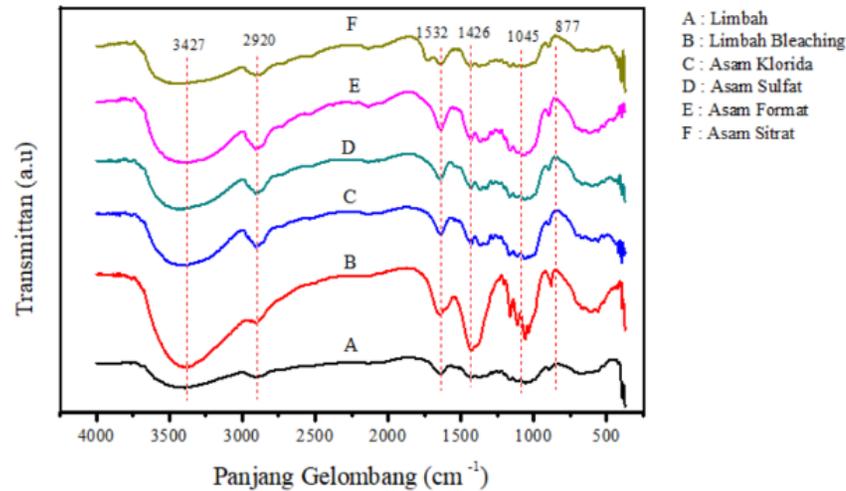
Gambar 2 Hasil hidrolisis

Proses hidrolisis dengan variasi asam masing-masing Asam klorida, asam sulfat, asam format dan asam sitrat menggunakan konsentrasi 6 M dilakukan pada suhu 80 °C sambil diaduk selama 6 jam, hasil hidrolisis dilakukan *aging* sampai memperoleh pH netral, dengan mengganti aquades, atau bisa dilakukan menggunakan sentrifuse. Setelah diperoleh pH netral, sampel dilakukan sonikasi hingga diperoleh sampel dalam bentuk semi gel. Tujuan dari sonikasi adalah untuk memecah sel-sel di dalam sampel menjadi ukuran yang lebih kecil, sehingga ketika pengukuran menggunakan TEM partikel-partikel nano morfologinya nampak lebih jelas. Pada masing-masing sampel setelah dilakukan sonikasi kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C, kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD, TEM dan dianalisis menggunakan FTIR.

### Analisis FTIR

Limbah kertas saring yang menjadi bubur, dilakukan analisis dengan FTIR, pada analisis FTIR ini akan mencerminkan perubahan gugus-gugus fungsi, beberapa pita serapan molekul dapat diamati dalam spektrum FTIR sesuai gambar 3 adalah pada panjang gelombang 3427  $\text{cm}^{-1}$  Puncak ini biasanya terkait dengan gugus O-H (hidroksil), yang sering muncul dalam senyawa seperti alkohol dan fenol, gugus ini adalah hasil dari ikatan hidrogen pada molekul selulosa, 2920  $\text{cm}^{-1}$  merupakan puncak ini terkait dengan gugus C-H (karbon-hidrogen) alifatik, yang sering ditemukan dalam rantai hidrokarbon alifatik. Gugus ini berasal dari ikatan karbon-hidrogen dalam rantai alkil pada molekul selulosa. Panjang gelombang 1532  $\text{cm}^{-1}$  adalah puncak yang dapat mengindikasikan keberadaan gugus amida. Gugus amida adalah unsur yang terkait dengan ikatan amida, yang umumnya ditemukan dalam molekul protein dan peptida. Namun, dalam konteks selulosa, puncak ini bisa mengindikasikan adanya kandungan protein dalam sampel selulosa, Kehadiran puncak pada 1532  $\text{cm}^{-1}$  pada spektrum FTIR selulosa bisa mengisyaratkan bahwa sampel mengandung sejumlah kecil protein.

Pada panjang gelombang 1426  $\text{cm}^{-1}$  ini dalam analisis FTIR selulosa biasanya mengindikasikan adanya gugus gugus  $\text{CH}_2$  dan/atau  $\text{CH}_3$ . Puncak ini seringkali muncul karena getaran ikatan C-H dalam gugus metilen ( $\text{CH}_2$ ) atau metil ( $\text{CH}_3$ ) yang ada dalam rantai selulosa. Gugus-gugus ini hadir dalam struktur selulosa karena selulosa terdiri dari rantai polimer glukosa yang mengandung gugus-gugus metilen dalam ikatan C-C dan C-O-C. 1045  $\text{cm}^{-1}$ : Puncak ini sering terkait dengan gugus C-O (ikatan oksigen-karbon) dalam senyawa eter atau alkoksi. Gugus ini merupakan tanda karakteristik ikatan C-O dalam rantai selulosa dan 877  $\text{cm}^{-1}$  merupakan panjang gelombang yang merujuk terhadap terjadinya getaran ikatan C-O-C pada ikatan glikosidik dalam selulosa. Ini adalah getaran yang khas untuk selulosa.



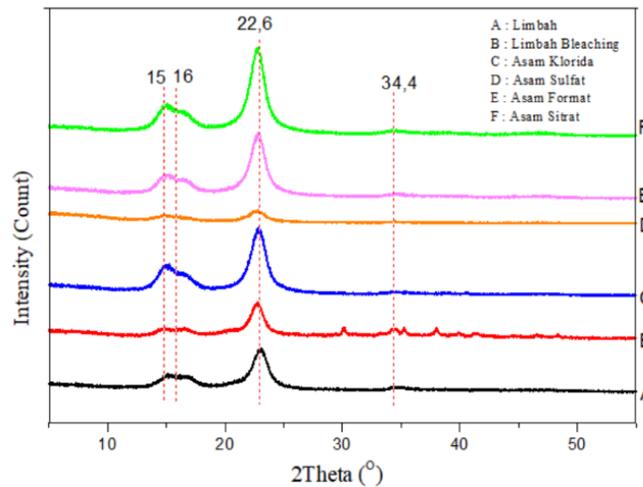
Gambar 3. FTIR limbah kertas saring dan variasi asam

### Karakterisasi XRD

Gambar 1.5 menunjukkan hasil XRD dari limbah kertas saring, limbah setelah *bleaching* dan sampel hasil hidrolisis dengan variasi asam. Semua sampel menunjukkan puncak yang karakteristik pada  $2\theta$ :  $14,9^\circ$ ;  $16,7^\circ$ ;  $22,8^\circ$ ;  $34,4^\circ$ . pada sampel limbah kertas saring, puncak pada  $2\theta$   $23,1$  mengalami pergeseran setelah dilakukan *bleaching* yakni pada  $2\theta$   $22,8$ . Puncak utama pada sampel hasil hidrolisis ada pada  $2\theta$ :  $22,8^\circ$ . Setelah hidrolisis dengan asam muncul 2 puncak yang lebar yakni pada  $2\theta$ :  $14,9^\circ$ ;  $16,7^\circ$ , dan pada  $2\theta$ :  $22,8^\circ$ , pada proses ini menunjukkan pembentukan kristal selulosa setelah penghilangan fragmen lignin. untuk asam anorganik asam klorida mengalami peningkatan puncak dibandingkan dengan sampel asam sulfat. Pada asam anorganik asam sulfat puncak pada  $2\theta$ :  $22,8^\circ$  mengalami penurunan, hal ini mengindikasikan bahwa asam anorganik asam klorida mempunyai indeks kristalinitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan asam sulfat. Tingkat kristalinitas asam anorganik HCl lebih tinggi dibandingkan  $H_2SO_4$  ini dikarenakan beberapa hal yaitu: Struktur molekul, Asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) memiliki struktur molekuler yang lebih kompleks daripada asam klorida (HCl). Asam sulfat memiliki dua gugus hidroksil (OH) dan dua gugus sulfonat ( $SO_3H$ ), yang dapat berinteraksi secara lebih kompleks dalam kristal. Interaksi antarmolekul ini bisa menghasilkan susunan atom yang lebih kompleks dalam kristal asam sulfat, yang mungkin mengurangi kristalinitasnya. Interaksi Antar Molekul, Asam sulfat memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan hidrogen yang lebih kuat dan interaksi antarmolekul yang kompleks. Interaksi ini dapat menghasilkan tata letak atom yang lebih tidak teratur dalam kristal, yang mengurangi tingkat kristalinitas seperti terlihat pada gambar 4 dan di tabel 1

Sampel hasil hidrolisis yang menggunakan asam format, intensitas di  $2\theta$ :  $22,8^\circ$  lebih rendah daripada asam sitrat, hal menunjukkan bahwa kristalinitas asam sitrat lebih tinggi jika dibandingkan dengan asam format. Hal ini dikarenakan oleh struktur molekul Asam format ( $HCOOH$ ) dan asam sitrat ( $C_6H_8O_7$ ) memiliki struktur molekuler yang berbeda. Asam format adalah senyawa yang lebih sederhana dengan satu gugus karboksilat ( $COOH$ ), sedangkan asam sitrat lebih kompleks dengan tiga gugus karboksilat. Struktur molekuler yang lebih kompleks dalam asam sitrat dapat menghasilkan susunan atom yang lebih teratur dalam kristalnya, yang mungkin menghasilkan tingkat kristalinitas yang lebih tinggi dalam analisis XRD. Interaksi Antar Molekul, asam format dan asam sitrat memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan hidrogen, tetapi interaksi antarmolekul dalam asam sitrat bisa lebih beragam dan

kompleks. Interaksi antarmolekul yang lebih kuat dan kompleks dalam asam sitrat dapat menghasilkan susunan atom yang lebih teratur dalam kristal, meningkatkan kristalinitasnya seperti terlihat pada gambar 4 dan di tabel 1



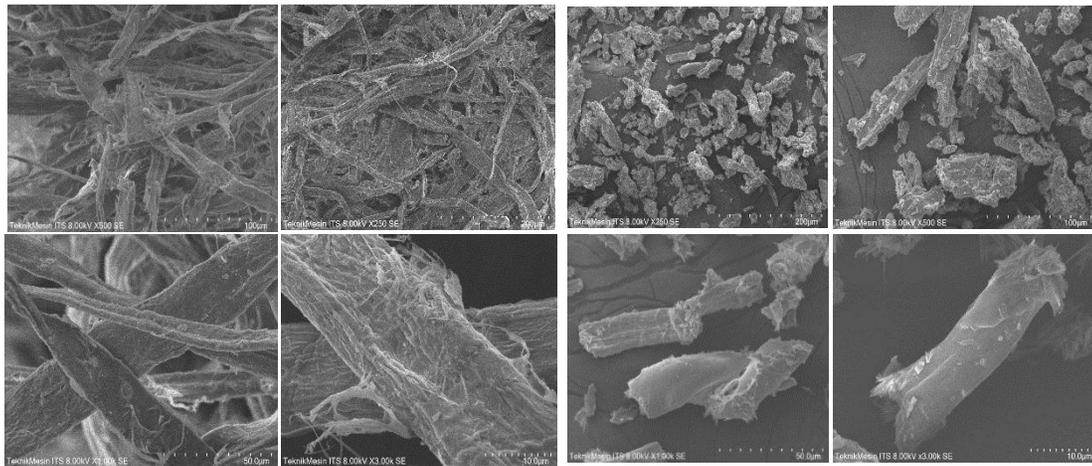
Gambar 4. XRD Sampel hasil hidrolisis, limbah dan limbah bleaching

Tabel 1. Indeks kristalinitas sampel hasil hidrolisis

Sampel	Kristalinitas (%)
Asam Klorida	87,3982
Asam Sulfat	67,3759
Asam Format	85,2325
Asam Sitrat	87,4431

### Analisis Morfologi

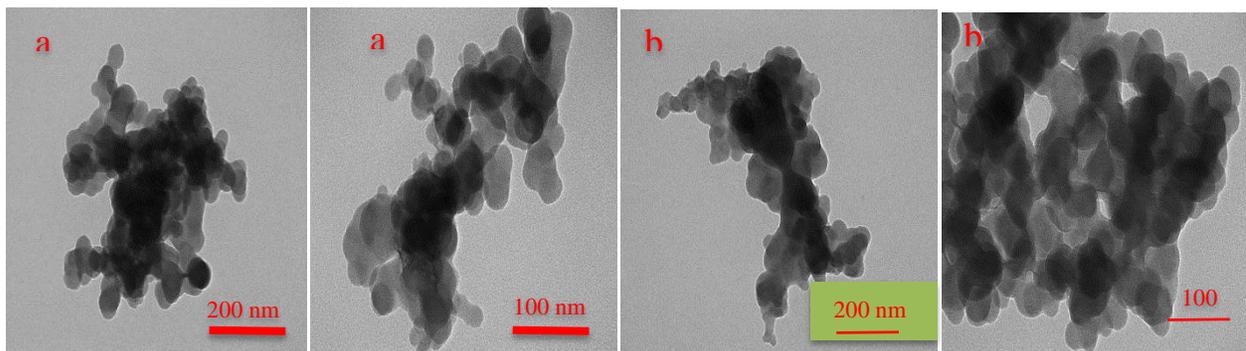
Analisis morfologi memberikan informasi bentuk dari limbah kertas saring, baik yang sudah dilakukan *bleaching* maupun belum. Selain itu juga terdapa sampel hasil hidrolisis yang menggunakan variasi asam dengan perbesaran tertentu. Limbah kertas saring yang sudah menjadi bubur dan dikeringkan dianalisis morfologinya dengan SEM, hasil SEM limbah kertas saring menunjukkan bentuknya seperti batang dan tidak beraturan seperti ditunjukkan pada gambar 5, namun sampel limbah kertas saring setelah dilakukan *bleaching* menunjukkan perubahan, bentuknya seperti batang dan strukturnya lebih rapi, meski ukurannya masih dalam ukuran mikrometer, morfologinya tampak bahwa fragmen-fragmen menjadi terpisah dan tidak bergerombol seperti ditunjukkan pada gambar 6. Pada proses alkalisasi dan *bleaching* terjadi proses penghilangan lignin dan melarutkan konstituen non selulosa yang mengurangi ukuran dan morfologi selulosa (Holilah dkk, 2021; Mandal 2014).



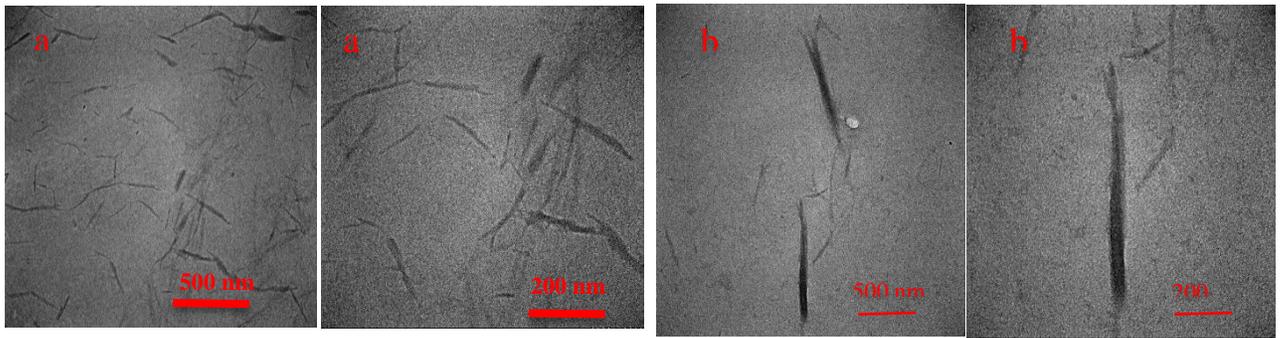
**a.**  
Gambar 5. SEM a) Limbah Kertas Saring b) Limbah Kertas Saring Bleaching

Analisis TEM digunakan untuk mengetahui morfologi dan distribusi partikel nanoselulosa. Sampel hasil hidrolisis yang menggunakan variasi asam setelah dilakukan sonikasi dikarakterisasi morfologinya dan distribusi ukuran partikelnya. Morfologi untuk nanoselulosa yang menggunakan asam anorganik yakni asam klorida dan asam sulfat bentuknya bulat seperti bola yang ditunjukkan pada gambar 7 dan 8 nanoselulosa berbentuk bola saling berhubungan untuk membentuk jaringan rantai, dimungkinkan melalui pembentukan ikatan hidrogen antar muka. Distribusi ukuran partikel yang menggunakan asam anorganik menunjukkan hasil diameternya dibawah 100 nm. Ukuran distribusi partikel nanoselulosa yang dihidrolisis dengan asam klorida adalah 53,14 nm, dan distribusi ukuran partikel naoselulosa yang menggunakan asam sulfat adalah 42,08 nm.

Sedangkan ketika asam organik yang digunakan untuk hidrolisis bentuk dari nanoselulosa adalah seperti batang, berserat. Distribusi ukuran partikelnya tidak jauh berbeda dengan asam anorganik dengan diameter dibawah 100 nm, untuk asam format dengan diameter rata-rata 36,80 nm dan yang menggunakan asam sitrat distribusi ukuran partikel diameter rata-rata 46,23 nm. Hasil TEM untuk yang menggunakan asam organik bentuk batangnya tidak begitu terang dimungkinkan konsentrasi selulosa yang digunakan terlalu encer pada saat perlakuan sonikasi.



Gambar 6. TEM sampel hidrolisis dengan asam anorganik (a. HCl b. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)



Gambar 7. TEM sampel hidrolisis dengan asam organik (a. asam format, b. asam sitrat)

## KESIMPULAN

Nanoselulosa berhasil disintesis dari limbah kertas saring praktikum dengan menggunakan hidrolisis asam anorganik dan asam organik. Berdasarkan hasil sintesis diperoleh distribusi ukuran partikel untuk asam anorganik masing-masing asam klorida 53,14 nm dan asam sulfat 42,08 nm berbentuk bulat seperti bola, sedangkan untuk asam organik masing-masing untuk asam format 36,80 nm dan asam sitrat 46,23 nm berbentuk seperti batang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRPM) Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah mendanai penelitian ini untuk skema Penelitian Tendik tahun 2023 dengan Nomor Kontrak: 1644/PKS/ITS/2023.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bin Li, Wenyang Xu, Dennis Kronlund, Anni Maattanen, Jun Liu, Jan-Henrik Smatt, Jouko Peltonen, Stefan Willfor, Xindong Mu, Chunlin Xu, (2015), Cellulose Nanocrystals Prepared via Formic Acid Hydrolysis Followed by TEMPO-Mediated Oxidation, *Carbohydrate Polymers* 133, 605-62.
- Djalal Trache, Ahmed Fouzi Tarchoun, Mehdi Derradji, Tuan Sherwyn Hamidon, Nanang Masruchin, Nicolas Brosse and M. Hazwan Hussin, (2020), Nanocellulose: From Fundamentals to Advanced Applications, *Frontiers in Chemistry*, 4, 38.
- Devi Bentia Effendi, Nurul Huda Rosyid, Asep Bayu Dani Nandiyanto, Ahmad Mudzakir, (2015), Review: Sintesis Nanoselulosa, *Jurnal Integrasi Proses* Vol. 5, No. 2, 61 – 74.
- Dini Viandi Ramadhani, Holilah Holilah, Hasliza Bahruji, Nurul Jadid, Titie Prapti Oetami, Aishah Abdul Jalil, Asranudin Asranudin, Ratna Ediati, Nanang Masruchin, Lisman Suryanegara, Didik Prasetyoko (2022) Effect of lignocellulosic Composition of *Reutealis trisperma* waste on Nanocrystalline Cellulose Properties, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 45,102516
- Filson, P. B., Benjamin, E., Dawson A. Diane S. B., (2009), Enzymatic-Mediated Production of Cellulose Nanocrystals from Recycled Pulp. *Green Chemistry* 11, 1808–1814
- Han, J., Chengjun, Z., Alfred, D. F. Guangping, H. Qinglin, W., (2013), Characterization of Cellulose II Nanoparticles Regenerated from 1-butyl-3-methylimidazolium chloride. *Carbohydrate Polymers*, 773-781.
- Holilah Holilah, Didik Prasetyoko, Ratna Ediati, Hasliza Bahruji, Aishah Abdul Jalil, Asranudin Asranudin, Susanti Dhini Anggraini, (2011), Hydrothermal Assisted Isolation of Microcrystalline Cellulose from Pepper (*Piper Nigrum* L.) Processing Waste for Making Sustainable Bio-Composite, *Journal of Cleaner Production* 305, 127229

- Holilah Holilah, Hasliza Bahruji, Ratna Ediati, Asranudin Asranudin, Aishah Abdul Jalil, Bambang Piluharto, Reva Edra Nugraha, Didik Prasetyoko, (2022), Uniform Rod and Spherical Nanocrystalline Celluloses from Hydrolysis of Industrial Pepper Waste (*Piper Nigrum L.*) using Organic Acid and Inorganic Acid, *International Journal of Biological Macromolecules* 204, 593-605.
- Ioelovich, (2012), Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles, *Nanoscience and Nanotechnology* (2), 9-13
- Isdin O., (2010), Nanoscience in nature : cellulose nanocrystals. *Surg*, 3(2)
- Kurnia Rimadhanti Ningtyas, M. Muslihudin, Ira Novita Sari, (2020), Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Hasil Pertanian dengan Menggunakan Variasi Konsentrasi Asam, *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan Vol. 20 (2)*: 142-147.
- Li, W., Yue, J. Liu, S., (2012), Preparation of Nanocrystalline Cellulose via Ultrasound and its Reinforcement Capability for . *Ultrasonics Sonochemistry* 19, 479-485
- Moon, R.J., (2011), Cellulose Nanomaterials Review: Structure, Properties and Nanocomposites. *Chemical Society* 40, 3941-3994.
- Nafa Fujiama Ragesta, (2020), Karakteristik Celluloce Nanofiber (CNF) dari Limbah Tandan Kelapa Sawit Hasil Hidrolisis Asam Fosfat, Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Putra, N. E., et al. (2021), Pembuatan Nanokristalin Selulosa Dari Ampas Tebu Menggunakan Hidrolisis Asam Sulfat, *Jurnal Rekayasa Proses*, 15(1), 39–47
- Roi Peretza, Elizaveta Sterenzona, Yoram Gerchmanb, Vinod Kumar Vadivela, Thomas Luxbacher, Hadas Mamanea, (2019), Nanocellulose Production from Recycled Paper Mill Sludge Using Ozonation Pretreatment Followed by Recyclable Maleic Acid Hydrolysis, *Carbohydrate Polymers Volume 216*, 15 July 2019, Pages 343-35.
- Sadeghifar, H. Ilari, F. Sarah, P. C. Dermot F. B. Dimitris S. A., (2011), Production of cellulose nanocrystals using hydrobromic acid and click reactions on their surface. Springer. *Journal Material Science*.
- Taokaew, Sutasinee, Pongpun, Muenduen Phisalaphong., (2013), Biosynthesis and Characterization of Nanocellulose- Gelatin Films. *Materials*, 6, 782-794
- West, A.R. (1989), *Solid State Chemistry and Its Applications*, Handbook, John Wiley & Sons, Singapore
- Xiong, R.; Xinxing, Z.; Dong, T.; Zehang, Z.; Canhui, L., (2012), Comparing Microcrystalline with Spherical Nanocrystalline Cellulose from Waste Cotton Fabrics. *Cellulose*, 19, 1189–1198.