



Pengaruh Konsentrasi H_2SO_4 Terhadap Ukuran Partikel Nanoselulosa Berbasis Limbah Kertas Konvensional

Firza Roehafi^{1,*}, Flourenchia Charollyne Latupapua¹, Zundia¹, Herman Aldila¹

¹Program Studi Fisika, Universitas Bangka Belitung

Balunijuk, Merawang, Kabupaten Bangka, 33172, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia

*E-mail korespondensi: sman1pkp.firzaroeahafi@gmail.com

Info Artikel:

Dikirim:

31 Oktober 2024

Revisi:

14 Desember 2024

Diterima:

23 Desember 2024

Kata Kunci:

Acid hydrolysis;
Waste paper;
Cellulose
nanoparticles

Abstract

Basically, paper waste has the potential to be used as a source of cellulose with a fairly high content of 64.84%. The synthesis of cellulose nanoparticles can be carried out using an acid hydrolysis process by adding H_2SO_4 solution to produce nanocellulose measuring $150-200 \times 10-20$ nm. This research aims to determine the characteristics of paper waste cellulose nanoparticles on the effect of varying H_2SO_4 concentration treatments. The best variety of cellulose nanoparticle samples promises many benefits in the development of material technology as an environmentally friendly material. Cellulose is extracted using the delignification method which is then carried out by an acid hydrolysis process with varying H_2SO_4 concentrations of 1 M, 3 M, 5 M, and 7 M to reduce the size of the cellulose particles into cellulose nanoparticles. Sample variations were tested using FTIR, PSA and SEM to determine the particle content and size including the morphology of the cellulose nanoparticle samples. Based on the results of this research, cellulose extraction based on paper waste using the delignification method achieved cellulose purity of up to 96.5%. Nanocellulose is synthesized using sulfuric acid (H_2SO_4) with a trend showing that the higher the acid concentration, the smaller the fiber particle size will be. The best paper waste nanocellulose samples were shown at varying 5M acid concentrations with nanocellulose particle sizes reaching 223.43 nm.

PENDAHULUAN

Kertas merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi manusia. Kertas mempunyai peran sentral untuk mendukung aktivitas pekerjaan manusia. Hal ini berimplikasi pada meningkatnya limbah kertas di dunia [1]. Tingkat konsumsi kertas di Indonesia sangatlah tinggi. Menurut Indonesian Pulp & Paper Association Directory konsumsi kertas di Indonesia mencapai 5,96 juta ton pada tahun 2006. Limbah kertas merupakan salah satu jenis sampah yang menyumbang jumlah sampah organik terbesar dari jumlah total sampah keseluruhan [2]. Oleh karena itu, sampah kertas perlu dilakukan penanganan secara intensif.

Upaya pengolahan limbah kertas telah banyak dilakukan oleh masyarakat, pemerintah dan beberapa peneliti lainnya, tetapi usaha tersebut masih belum optimal. Salah satu penanganannya yaitu dengan teknik pembakaran. Namun proses pembakaran dapat menghasilkan gas pembakaran yang tidak sempurna berupa karbon monoksida yang beresiko mencemari

lingkungan. Adapun usaha pengolahan lainnya yaitu mendaur ulang sampah kertas menjadi bioetanol. Namun teknik tersebut juga mempunyai kelemahan yaitu membutuhkan teknologi tinggi dan biaya yang mahal. Alternatif yang lebih murah dan sederhana diperlukan untuk menanggulangi permasalahan tersebut.

Metode lain yang berkembang hingga saat ini yaitu metode pengolahan limbah organik dengan mengolahnya menjadi material nanoselulosa yang memiliki banyak manfaat dalam dunia material. Limbah kertas pada dasarnya memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber selulosa. Limbah kertas konvensional, khususnya kertas HVS bekas memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi yaitu, sebesar 64,84% ([3]. 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. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, selulosa dimodifikasi menjadi bahan yang bernilai ekonomis lebih tinggi seperti nanoselulosa.

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 [4]. Dari sifat tersebut, nanoselulosa dapat digunakan sebagai bahan penguat polimer dan membran, bahan pengental untuk dispersi serta bahan tambahan untuk produk biodegradable. Telah banyak penelitian yang dikembangkan untuk mendapatkan ekstrak selulosa. Dari bermacam-macam metode yang dilakukan mempunyai kesamaan proses utama yaitu delignifikasi yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan lignin dari bahan yang akan diekstraks [5].

Isolasi nanofibril dapat dilakukan melalui proses hidrolisis asam menggunakan asam sulfat dan proses homogenisasi. Metode pretreatment komponen lignoselulosa seperti penggunaan metode kimia dan enzimatis merupakan pilihan terbaik karena terbukti efektif dan efisien. Hidrolisis asam yang digunakan dalam pembuatan pulp yang paling efektif ialah H_2SO_4 karena dapat menghilangkan daerah amorf dalam proses isolasi nanoselulosa. Ilolevich (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 × 10-20 nm. Zhou (2009) menggunakan metode hidrolisis dengan asam kuat, yaitu asam sulfat (H_2SO_4) 64%berat. Pada suhu reaksi 45°C dengan pengadukan 500 rpm selama 120 menit, nanoselulosa yang dihasilkan berukuran 115±35 nm. Penelitian ini menggunakan metode delignifikasi selulosa pada limbah kertas dan metode hidrolisis asam H_2SO_4 dalam mensintesis selulosa menjadi nanopartikel selulosa. Penelitian bertujuan Untuk mengetahui karakteristik nanopartikel selulosa terhadap pengaruh dari perlakuan variasi konsentrasi Asam Sulfat (H_2SO_4).

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas kimia, gelas ukur, magnetic stirrer, oven, blender, dan ayakan 100 mesh. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah kertas. Bahan-bahan lainnya meliputi larutan NaOH 12%, Larutan H_2O_2 30%, Larutan H_2SO_4 Pekat, bubuk kitosan, dan Gliserol pekat.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Preparasi Alat dan Bahan

Limbah kertas kering direndam hingga 3 x 24 jam. Setelah kertas menjadi bubur kertas (pulp) selanjutnya dikeringkan hingga kadar air menghilang. Bubur kertas yang telah kering kemudian dihaluskan menggunakan blender hingga menjadi serbuk limbah kertas.

3.3.1 Ekstraksi Selulosa dengan Metode Delignifikasi Serbuk Limbah Kertas

Sampel serbuk limbah kertas dilarutkan dalam NaOH dengan konsentrasi 12%. Kemudian dipanaskan pada temperatur 100 °C selama 120 menit. Langkah selanjutnya dilakukan pencucian menggunakan aquades sampel hingga mencapai pH netral. Setelah itu, refluks di filtrasi untuk mendapatkan padatan. Padatan refluks serbuk kertas kemudian dikeringkan hingga kandungan air menghilang. Selanjutnya refluks serbuk kertas dicampur larutan H₂O₂ dengan konsentrasi 30%. Kemudian dipanaskan hingga suhu 100 °C selama 120 menit, dilanjutkan penyaringan, pencucian hingga pH netral, pengeringan hingga kadar air menghilang, dan pengayakan hingga mendapatkan serbuk selulosa.

3.3.2 Sintesis Nanopartikel Selulosa Limbah Kertas

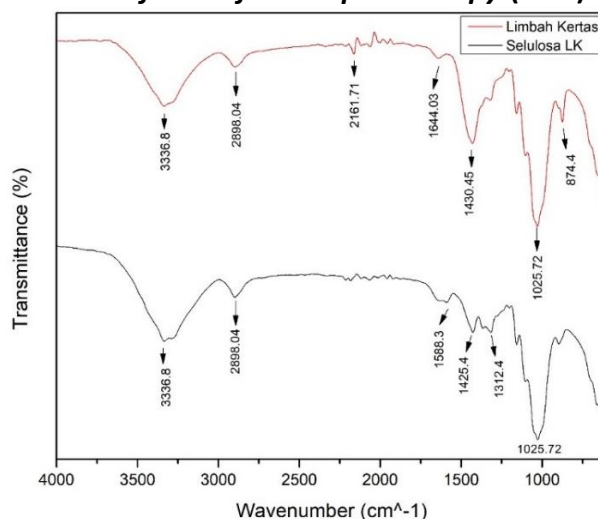
Serbuk selulosa dihidrolisis dengan asam sulfat (60%berat) dengan variasi konsentrasi: 1 M, 3 M, 5 M, dan 7 M selama 4 jam pada suhu 50°C dengan pengadukan terus menerus. Hidrolisis didinginkan dengan menambahkan air dalam jumlah besar (250 ml) dan disentrifugasi (1500 rpm) selama 40 menit pada suhu kamar. Setelah itu, air (250 ml) ditambahkan ke dalam endapan dan campuran selanjutnya disonikasi selama 15 menit untuk membentuk suspensi baru. Proses sentrifugasi dan sonikasi ini diulangi lebih lanjut beberapa kali hingga terdapat suspensi dengan dispersi dan stabilitas yang baik. Selanjutnya serbuk nanoselulosa baru didialisis dalam air mengalir hingga pH mencapai nilai konstan.

3.3.3 Pengujian dan Analisis Data Pengujian Nanopartikel Selulosa

Pengujian yang dilakukan berupa pengujian FTIR, Chesson-Datta, PSA, dan SEM. Uji FTIR dilakukan untuk menganalisis gugus fungsional dan kandungan senyawa yang terdapat pada sampel nanopartikel selulosa. Pengujian kuantitatif kandungan selulosa dilakukan dengan metode Chesson-datta. Parameter keberhasilan uji ini adalah kadar selulosa pada sampel nanopartikel selulosa sangat tinggi dengan impuritas yang rendah. Untuk mengetahui ukuran dari sampel nanoselulosa perlu diuji menggunakan PSA. Hal ini bertujuan agar dapat dipastikan bahwa sampel nanoselulosa telah mencapai ukuran nanopartikel. Uji SEM digunakan untuk mengetahui morfologi dari struktur permukaan sampel nanopartikel selulosa. Sampel dimasukkan pada chamber peralatan SEM untuk untuk setting posisi dan merekam gambar. Foto SEM diambil dengan magnifikasi 500-1000 kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)



Gambar 4.1 Spektrum Inframerah Limbah Kertas dan Selulosa Limbah Kertas

Gambar 4.1 menunjukkan spektrum inframerah dari selulosa batang pisang hasil *bleaching* dengan absis berupa bilangan gelombang (cm^{-1}) dan ordinat berupa transmitansi (%). Berdasarkan hasil analisis spektrum inframerah, limbah kertas diidentifikasi memiliki gugus fungsi selulosa berupa O-H, C-H, C-N, dan C-O. Gugus fungsi O-H tekuk teridentifikasi pada bilangan gelombang $3336,8\text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsi C-H ulur, C-H ulur, dan C-H tekuk teridentifikasi pada bilangan gelombang $2898,04\text{ cm}^{-1}$, $1430,45\text{ cm}^{-1}$ dan $874,4\text{ cm}^{-1}$. Adapun untuk gugus fungsi C-O ulur teridentifikasi pada bilangan gelombang $1025,72\text{ cm}^{-1}$. Selain itu, adanya gugus fungsi lain berupa $C\equiv C$ tekuk dan $C=C$ ulur yang teridentifikasi pada bilangan gelombang $2161,71\text{ cm}^{-1}$ dan $1644,03\text{ cm}^{-1}$ menandakan limbah kertas masih memiliki senyawa lain yaitu lignin [6].

Selain itu, berdasarkan hasil analisis spektrum inframerah, selulosa limbah kertas hasil ekstraksi diidentifikasi memiliki gugus fungsi selulosa berupa O-H, C-H, dan C-O. Gugus fungsi O-H tekuk teridentifikasi pada bilangan gelombang $3336,8\text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsi C-H ulur, C-H ulur, dan C-H tekuk teridentifikasi pada bilangan gelombang $2898,04\text{ cm}^{-1}$, $1425,4\text{ cm}^{-1}$ dan $1312,4\text{ cm}^{-1}$. Adapun untuk gugus fungsi C-O ulur teridentifikasi pada bilangan gelombang $1025,72\text{ cm}^{-1}$. Selain itu, adanya gugus fungsi lain berupa $C=C$ ulur yang teridentifikasi pada bilangan gelombang $1588,3\text{ cm}^{-1}$ menandakan selulosa hasil ekstraksi gugus fungsi dengan selulosa standar dari penelitian [6]. Bilangan gelombang pada selulosa batang pisang yang dihasilkan dengan selulosa standar memiliki sedikit perbedaan namun masih memiliki senyawa lain yaitu lignin [6].

Hasil analisis spektrum limbah kertas dan selulosa limbah kertas menunjukkan adanya kemiripan masih berada pada rentang bilangan gelombang yang sama untuk masing-masing gugus fungsi. Selulosa standar memiliki gugus fungsi O-H ulur yang teridentifikasi pada bilangan gelombang $3328,19\text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsi C-H ulur dan C-H tekuk teridentifikasi pada bilangan gelombang $2886,04\text{ cm}^{-1}$ dan $1322,80\text{ cm}^{-1}$. Adapun untuk Gugus fungsi C-O ulur teridentifikasi pada bilangan gelombang $1021,72\text{ cm}^{-1}$. Tabel 4.1 menunjukkan perbandingan gugus fungsi limbah kertas, selulosa limbah kertas yang dihasilkan dengan selulosa standar dari penelitian Akbar, et al. (2023) [6].

Tabel 4.1 Perbandingan Gugus Fungsi Limbah Kertas dan Selulosa Limbah Kertas

Gugus Fungsi	Rentang Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Bilangan Gelombang (cm^{-1})		
	(Dachriyanus, 2004)	Limbah kertas	Selulosa limbah kertas yang Dihasilkan	Selulosa Standar (Akbar, et al., 2023) [6]
O-H tekuk	3750-3000	3336,8	3336,8	3328,19
C-H ulur	3000-2700	2898,04	2898,04	2886,04
C-H ulur	3000-2700	1430,45	1425,4	
C-H tekuk	1475-1300	874,4	1312,4	1322,80
C-O ulur	1200-900	1025,72	1025,72	1021,72

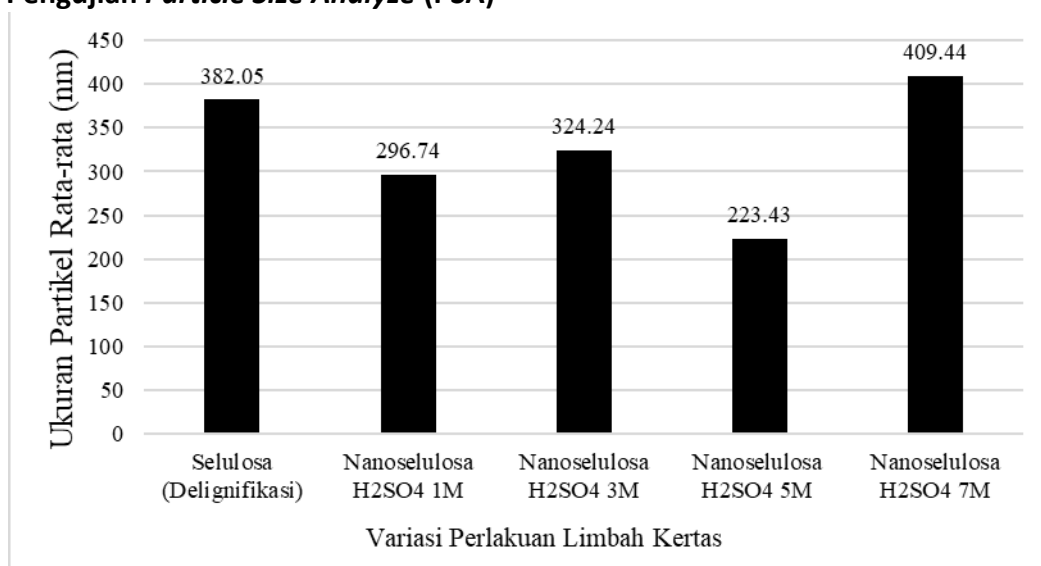
4.2 Hasil Pengujian Kandungan Selulosa Metode Chesson-Datta

Tabel 4.2 Perbandingan Kandungan Selulosa Limbah Kertas

Komposisi Kimia	Jumlah(%)
Selulosa	96,5
Hemiselulosa	3,5

Serbuk selulosa hasil ekstraksi dianalisa kandungan selulosa menggunakan metode chesson dengan alat refluks. Hasil analisa tersebut didapatkan kandungan selulosa limbah kertas sebesar 96,5%. Analisa kandungan selulosa ini telah memenuhi standar kualitas selulosa terbaik yaitu >85% . Pada penelitian ini didapatkan hemiselulosa 3,5% dan lignin 0%. Sebagai perbandingan, penelitian Diana, et al., 2023 menggunakan limbah batang pisang, sebagian besar kandungannya terdiri dari selulosa (85%), lignin (5%), dan hemiselulosa (8%).

4.3 Hasil Pengujian *Particle Size Analyze* (PSA)

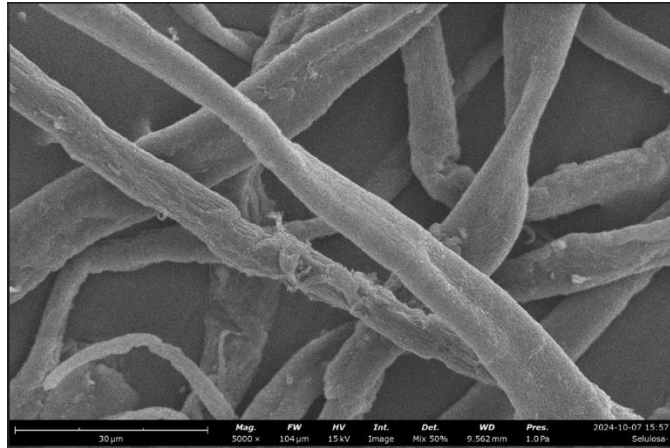


Gambar 4.2 Hasil Pengujian *Particle Size Analyze*(PSA)

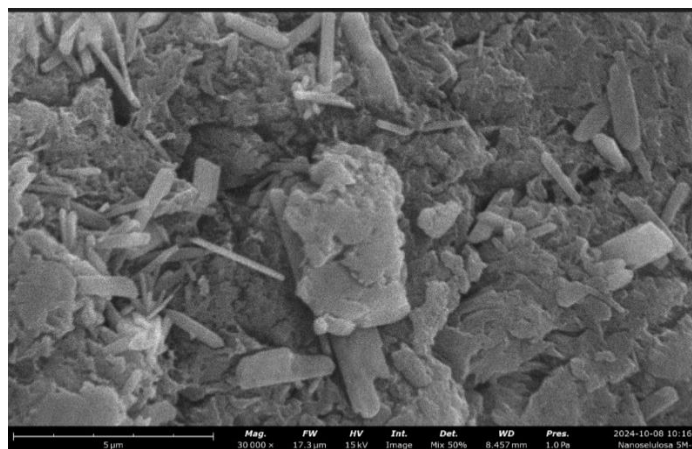
Gambar 4.2 menunjukkan ukuran partikel dari masing-masing perlakuan pada limbah kertas. Selulosa limbah kertas sebelum dilakukan proses hidrolisis asam memiliki ukuran serat 382,5 nm. Sedangkan setelah dilakukan hidrolisis asam, ukuran serat menjadi lebih kecil dengan ukuran partikel hingga mencapai 223,43 nm. Tren menunjukkan pengaruh konsentrasi asam sulfat (H₂SO₄) yang semakin tinggi maka nanoselulosa yang dihasilkan akan memiliki ukuran yang semakin kecil. Pada perlakuan H₂SO₄ 7M, terdapat anomali pada ukuran partikel nanoselulosa yang memiliki ukuran yang paling besar diantara yang lain. Hal ini disebabkan karena sampel mengalami aglomerasi (penggumpalan) dan kurangnya kemampuan pelarut (alkohol) dalam mendispersikan sampel sebelum dilakukan pengujian PSA. Hasil hidrolisis dengan ukuran partikel paling kecil terdapat pada sampel nanoselulosa H₂SO₄ 5M dengan ukuran serat 223,43 nm. Berdasarkan hasil ukuran partikel diatas, maka sampel nanoselulosa diatas dapat dipastikan sebagai nanopartikel serat (*nanofiber*). Hal ini sesuai dengan definisi nanoserat selulosa menurut Marno dkk., 2018 memiliki ukuran serat dengan diameter antara 100-500 nm [6].

Sebagai perbandingan, penelitian sebelumnya melakukan sintesis nanoselulosa limbah tandan kosong kelapa sawit diperoleh ukuran serat sekitar 400-700 nm [7]. Rosa dkk. (2010) menggunakan metode hidrolisis asam menggunakan asam sulfat pada potongan kelapa yang telah mengalami proses delignifikasi terlebih dahulu. Nanoselulosa yang dihasilkan berukuran 5-6 x 58-515 nm. Penelitian selanjutnya mendapatkan ukuran nanoselulosa berkisar antara 356,5 nm – 764,2 nm untuk limbah jerami padi, dan 422,6 nm – 634,0 nm untuk limbah kulit jagung (Ningtyas, Muslihudin, & Sari, 2020).

4.4 Hasil Analisis Foto SEM (Scanning Electron Microscopy)



Gambar 4.3 Fotoskopi SEM Selulosa Limbah Kertas (Delignifikasi)



Gambar 4.4 Hasil Foto SEM Nanoselulosa H_2SO_4 5M

Hasil fotoskopi SEM selulosa limbah kertas perlakuan delignifikasi pada perbesaran 5000 kali, morfologi serat selulosa terlihat seperti gambar 4.3 memiliki struktur granular seperti rambut. Hal ini dikarenakan selulosa merupakan material jenis polimer rantai panjang sehingga memiliki morfologi seperti serabut. Selanjutnya Foto SEM dilakukan pada sampel dengan hasil ukuran partikel paling kecil, yakni Asam Sulfat (H_2SO_4) 5M. Setelah dilakukan hidrolisis asam H_2SO_4 5M, morfologi permukaan nanoselulosa pada perbesaran 30.000 kali terlihat bahwa granular-granular nanoserat memiliki struktur seperti jarum-jarum kecil menandakan bahwa serat selulosa terhidrolisis menjadi partikel serat yang memiliki ukuran lebih kecil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, hasil ekstraksi selulosa berbasis limbah kertas dengan metode delignifikasi mencapai kemurnian selulosa hingga 96,5%. Nanoselulosa disintesis menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) dengan tren menunjukkan semakin tinggi konsentrasi asam akan memberikan hasil ukuran partikel serat yang semakin kecil. Berdasarkan pengujian PSA, sampel nanoselulosa limbah kertas terbaik ditunjukkan pada variasi konsentrasi asam 5M dengan ukuran partikel nanoselulosa mencapai 223,43 nm. Analisis terhadap kandungan selulosa setelah hidrolisis asam perlu dilakukan untuk mengetahui kandungan selulosa yang rusak akibat

perlakuan asam kuat. Analisis lain yang mendukung penelitian ini berupa pegujian kristalinitas perlu ditambahkan untuk mengetahui sifat-sifat kristalin pada nanoselulosa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini, rasa terima kasih dihaturkan kepada Bapak Herman Aldila, S.Pd., M.Si. selaku dosen pembimbing yang membimbing jalannya penelitian ini hingga akhir. Terimakasih kepada Prodi Fisika, Universitas Bangka Belitung yang telah memberikan fasilitas untuk mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. K. Sijabat, Y. N. Avelina and A. Permatasari, "Studi Awal Penggunaan Nanoselulosa Sebagai Bahan Baku Pembuatan Kertas," *Majalah Teknologi Agro Industri (TEGI)*, pp. 21-29, 2017.
- [2] A. Kadir, H. Sjahraddin and S. H.Purnomo, "Pengaruh Karakteristik Pekerjaan dan Kompensasi Terhadap Kepuasan Kerja," *Jurnal Ekonomi dan Manajemen*, p. 14, 2017.
- [3] Z. Sholikhah, T. J. Kartana and W. B. Utami, "Efektivitas Model Pembelajaran Openended Terhadap Prestasi Belajar Matematika Ditinjau Dari Kreativitas Siswa," *Jurnal Edukasi Dan Sains Matematika*, 2018.
- [4] H. Hertiwi, "Penerapan Sistem Informasi Manajemen Untuk Peningkatan Produktivitas Kerja Pada Dinas Komunikasi Dan Informatika(Diskominfo) Kabu[aten Lombok Utara," 2020.
- [5] N. A. Z. Amrillah, F. F. Hanum and A. Rahayu, "Studi Efektivitas Metode Ekstraksi Selulosa dari Agricultural Waste," *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, vol. 19, no. 3, pp. 1-8, 2022.
- [6] F. A. Akbar, E. Nasra, D. Kurniawati, D. Beri and H. Sanjaya, "Isolasi dan Karakterisasi α -Selulosa Dari Kulit Buah Matoa (*Pometia pinnata*)," *Periodic*, vol. 12, no. 2, pp. 78-82, 2023.
- [7] M. Marno, E. Widiyanto, J. Sumarjo and A. Santoso, "Perancangan dan Pengembangan Sistem Electrospinning sebagai Teknologi dalam Pembuatan Nanofiber," *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional*, p. 101–108, 2018.
- [8] A. R. Nafisah, D. Rahmawati and F. M. Tarmidzi, "Synthesis of Cellulose Nanofiber from Palm Oil Empty Fruit Bunches Using Acid Hydrolysis Method," *Indonesian Journal of Chemical Science*, pp. 233-240, 2022.
- [9] Y. Tiandho, W. Sunanda, F. Afriani, A. Indriawati and T. Handayani, "Accurate model for temperature dependence of solar cell performance according to phonon energy," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 55, no. 5, pp. 15-25, 2018.
- [10] E. Apriani and H. D. Kurniasari, "PEMBUATAN KERTAS DAUR ULANG DARI LIMBAH SERAT KELAPA MUDA DAN KERTAS BEKAS SEBAGAI ALTERNATIF KERTAS SENI UNTUK INDUSTRI," *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*, pp. A309-A316, 2018.
- [11] D. Hasriani, Adriana and Zulkifli, " Sintesis Selulosa Sintesis Selulosa Asetat Dari Limbah Kertas HVS Dengan Variasi Temperatur dan Waktu Hidrolisis," *Jurnal Riset, Inovasi, Teknologi dan Terapan*, 2022.
- [12] F. Dhiniati, "Penggunaan Limbah Kertas sebagai Bahan Pembuatan Brickwall untuk Meningkatkan Pendapatan Produsen Bata di Kota Pagar Alam," *Jurnal Solma*, 2023.

- [13] M. A. Kamaluddin, "PENGARUH PENAMBAHAN PLASTICIZER TERHADAP KARAKTERISTIK BIOPLASTIK DARI SELULOSA LIMBAH KERTAS," *Journal Analytical and Environmental Chemistry*, pp. 197-208, 2022.
- [14] R. Apriani and P. Novianto, "Pengaruh pencampuran bahan baku acacia crassicaarpa, acacia mangium dan eucalyptus terhadap kualitas pulp," *Jurnal Vokasi Teknologi Industri*, 2020.
- [15] Amrillah, "Studi Efektivitas Metode Ekstraksi Selulosa dari Agricultural Waste," *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 2022.
- [16] F. F. Hanum, "UTILIZATION AND EXTRACTION METHOD OF NANOCELLULOSE: A REVIEW," *Jurnal Sains Natural*, pp. 107-114, 2023.
- [17] A. Poulose, "Nanocellulose: Basic Materials for Applications of Science and Technology," *Journal Molecules*, 2022.
- [18] K. R. Ningtyas, M. Muslihudin and I. N. Sari, "Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Hasil Pertanian dengan Menggunakan Variasi Konsentrasi Asam," *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, pp. 142-147, 2020.
- [19] S. Das, "Nanocellulose as sustainable biomaterials for drug delivery," *Journal Sensors International*, 2022.
- [20] E. D. Veptiyan, "Pengaruh Waktu Delignifikasi terhadap Karakteristik Selulosa dari Daun Nanas dan Jerami," *National Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, pp. 59-64, 2018.
- [21] P. W. Sena, "Karakterisasi Selulosa dari Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) pada Berbagai Konsentrasi Hidrogen Peroksida dan Suhu Proses Bleaching," *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 2021.
- [22] M. R. Priatna, "PENGARUH TEMPERATUR HIDROLISIS DAN KONSENTRASI LARUTAN ASAM PADA HIDROLISIS ECENG GONDOK," *Diseminasi FTI-2*, 2021.
- [23] A. L. Salsabilla and I. Fahrurroji, "HIDROLISIS PADA SINTESIS GULA BERBASIS PATI JAGUNG," *JURNAL EDUFORTECH*, pp. 33-38, 2021.
- [24]
- [25] y. n. a. a. p. edwin k.sijabat, "Studi Awal Penggunaan Nanoselulosa Sebagai Bahan Baku Pembuatan Kertas," *majalah teknologi agro industri*, p. 9, 2017.
- [26] D. S. Prayogi, "Sintesis Carbon Nanodots(C-Dots) Dari Limbah Kertas," *J FTEKNIK*, 2020.
- [27] S. A. Putri, R. Febrianti and Sumardi, "Potensi Nanoselulosa Untuk Agen Slow Release Bahan Alam," *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, pp. 56-60, 2020.
- [28] L. Fitriana, M. Hidayatul and W. Astuti, "Sintesis Nanoselulosa dari Batang Bambu Menggunakan Hidrolisis Asam dan Gelombang Ultrasonik Sebagai Absorben Logam Kadmium (II) dalam Limbah Industri Elektroplating," *ECO SMART*, pp. 212-219, 2018.
- [29] Ratnawati, K. Gabryelle, M. F. A. Ramadhan, Wahyudin and A. S. Handayani, "Sintesis Nanokomposit Berbasis Nanoselulosa/ TiO_2 untuk Pengolahan Limbah Red Base 218," *Jurnal IPTEK*, pp. 51-57, 2023.
- [30] Lusiana and S. Eva, Pengembangan Metode Sintesis Nanoselulosa Menggunakan Selulosa Dari residu Bunga Pinus Merkusii Jungh & De Vriese, Malang: Skripsi. Universitas Brawijaya, 2019.
- [31] M. loelovich, "Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles. Nanoscience and Nanotechnology," pp. 9-13, 2012.
- [32] X. Zhao, K. Cheng and D. Liu, " Organosolv pretreatment of lignocellulosic biomass for enzymatic hydrolysis, Applied Microbiology and Biotechnology," pp. 815-827, 2009.

- [33] K. R. Ningtyas, M. Muslihudin dan I. N. Sari, "Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Hasil Pertanian dengan Menggunakan Variasi Konsentrasi Asam," *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, pp. 142-147, 2020.