

Sintesis *Micro-Fibrillated Cellulose* dari Serat Tandan Kosong Sawit dengan Hidrolisis Asam Oksalat

Rizka Karima, Evana Yuanita, Bunda Amalia, Agustina Arianita, Tiara Mailisa, Bumiarto Nugroho
Balai Besar Kimia Kemas, Jl. Balai Kimia No. 1 Pasar Rebo, Jakarta Timur, Indonesia

Diterima : 12 Februari 2020, Revisi akhir : 8 Mei 2020, Disetujui terbit : 30 Juni 2020

Synthesis of Micro-Fibrillated Cellulose from Oil Palm Empty Fruit Bunches Fiber with Oxalic Acid Hydrolysis

Abstract

Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB), which is a solid waste from the palm oil processing industry, has a high availability in Indonesia, and it contains a lot of cellulose. Microfibrillated cellulose (MFC) can be produced from OPEFB fiber. This work's objective was to synthesize MFC from fibers of OPEFB through the process of alkalization, bleaching process, and the hydrolysis process using an oxalic acid solution. The procedure began chopped fiber until 60 mesh, and alkalization process of pulping OPEFB in the reactor using 4% NaOH at the temperature of 90 °C for 2 hours. It continued with the addition of 20% H₂O₂ at room temperature for 2 hours. The hydrolysis process is carried out using an oxalic acid 5 % at temperature of 80°C for 1 hour. MFC was analyzed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), Thermal Gravimetric Analysis (TGA), and Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM). The FTIR analysis showed that the quantitative result also confirmed a decrease in lignocellulose content. XRD result showed an increase in the value of crystallinity. TGA results showed that hydrolysis using oxalic acid can increase the area of thermal degradation, and FESEM results showed there is a decreasing diameter of fiber from 400 μm to 10 μm. From the results of this study, when viewed from the results of crystallinity, thermal properties, and size of the fiber diameter; the hydrolysis process using 5% oxalic acid is a good process for making MFCs from TKS fibers.

Keywords: micro-fibrillated cellulose, OPEFB, oxalic acid

Abstrak

Tandan Kosong Sawit (TKS) merupakan limbah padat dari industri pengolahan kelapa sawit yang melimpah di Indonesia dan mengandung banyak selulosa. *Microfibrillated cellulose* (MFC) dapat diproduksi dari serat TKS. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensintesis MFC dari serat TKS melalui proses alkalisasi, pemutihan dan hidrolisis. TKS dicacah dan dihaluskan hingga berukuran 60 *mesh* untuk proses pembuatan pulp TKS. Proses alkalisasi dilakukan dalam reaktor menggunakan 4% NaOH pada suhu 90 °C selama 2 jam dan dilanjutkan dengan proses pemutihan menggunakan 20% H₂O₂ pada suhu kamar selama 2 jam. Kemudian proses hidrolisis dilakukan menggunakan asam oksalat 5% pada suhu 80°C selama 1 jam. MFC yang dihasilkan dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Thermal Gravimetric Analysis* (TGA) dan *Field Emission Scanning Electron Microscopy* (FESEM). Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa adanya penurunan kadar lignoselulosa yang dikonfirmasi juga oleh hasil uji kuantitatif kadar lignin. Hasil uji XRD menunjukkan peningkatan nilai kristalinitas. Hasil uji TGA menunjukkan hidrolisis menggunakan asam oksalat 5% dapat meningkatkan area degradasi termal dan hasil FESEM menunjukkan telah terjadi proses fibrilisasi serat dan penurunan diameter ukuran serat dari 400 μm menjadi 10 μm. Dari hasil penelitian ini, jika dilihat dari hasil kristalinitas, sifat termal dan ukuran diameter serat, proses hidrolisis menggunakan asam oksalat 5% adalah proses yang baik untuk pembuatan MFC dari serat TKS.

Kata kunci: *micro-fibrillated cellulose*, TKS, asam oksalat

Pendahuluan

Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah, salah satu potensinya ada di sektor kelapa sawit. Tandan Kosong Sawit (TKS) adalah limbah padat dari industri pengolahan kelapa sawit yang memiliki ketersediaan tinggi. TKS adalah produk sampingan dari perkebunan kelapa sawit yang persentasenya sekitar 23% dari berat tandan kelapa sawit segar. Sejauh ini, hanya 10% dari TKS yang telah diaplikasikan. Beberapa pengembangan telah dilakukan untuk meningkatkan aplikasi dan nilai ekonomi TKS, salah satu caranya adalah dengan mengaplikasikan serat TKS untuk kebutuhan industri. Selulosa adalah salah satu kandungan serat dari TKS dengan persentasenya sekitar 30-40% (Dewanti, 2018). Selulosa TKS dapat digunakan untuk berbagai keperluan. *Micro-fibrillated Cellulose* (MFC) adalah salah satu bentuk selulosa yang dapat diaplikasikan sebagai bahan pengisi dalam industri pembuatan plastik.

MFC adalah subkelompok serat selulosa skala mikro yang berpotensi digunakan sebagai bahan penguat dan meningkatkan kekuatan ikatan antar serat (Rezayati Charani *et al.*, 2013). Pembuatan MFC relatif mudah dan berpeluang untuk diteliti lebih dalam. Selain itu, penggunaan MFC telah ditemukan sebagai lapisan permukaan pada lembaran kertas untuk mengurangi permeabilitas oksigen (Yasa *et al.*, 2020). Beberapa publikasi akhir-akhir ini menunjukkan bagaimana MFC dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, misalnya untuk nanokomposit (Syverud and Stenius, 2009). MFC memiliki banyak daerah kristal karena struktur fibrilarnya dan memiliki banyak ikatan hidrogen yang membentuk struktur kristal tiga dimensi. Namun, MFC tidak dapat terdispersi secara homogen dalam media non-polar seperti pelarut organik karena sifat selulosa yang hidrofilik. Beberapa upaya telah dilakukan untuk membuat selulosa kompatibel dengan matriks polimer non-polar (Lavoine *et al.*, 2012).

Beberapa metode dapat digunakan untuk preparasi MFC, seperti perlakuan mekanik, perlakuan kimia, dan perlakuan enzimatik. Preparasi MFC dengan perlakuan kimia dapat meningkatkan sifat fisik dan penampakan MFC. Perlakuan kimia bertujuan untuk menghasilkan selulosa murni, seperti pulp selulosa yang diputihkan, yang dapat diproses lebih lanjut. Sebuah penelitian mengisolasi MFC dari serat *Arenga pinnata* “ijuk” telah dilakukan dengan

metode *multistage*. Serat diperoleh melalui tahapan proses alkalisasi dengan NaOH, oksidasi dengan natrium hipoklorit (NaClO), dan hidrolisis dengan asam sulfat. Hasilnya menunjukkan bahwa lignin dan hemiselulosa dapat dihilangkan. Setelah perlakuan, dimensi MFC yang diekstraksi menjadi lebih kecil dan kristalinitasnya lebih tinggi daripada tanpa perlakuan (Yuanita *et al.*, 2015).

Hidrolisis asam kuat adalah metode yang umum digunakan dan dapat menghemat waktu, akan tetapi memiliki masalah lingkungan dan hasil produksi yang rendah. Hidrolisis dalam *less harsh condition* menggunakan asam padat dan asam organik dapat memperoleh hasil yang lebih tinggi. Asam oksalat adalah asam organik lemah. Asam oksalat memiliki nilai pKa yang lebih tinggi dan dengan demikian memberikan kondisi asam yang lebih ringan daripada asam mineral seperti asam sulfat (Xu *et al.*, 2017). Dalam penelitian ini, MFC diisolasi dari serat TKS menggunakan asam oksalat 5% pada suhu 80°C selama 1 jam, konsentrasi asam oksalat yang digunakan hanya 5% karena telah dilakukan penelitian pendahuluan yang menunjukkan bahwa konsentrasi lebih dari 5% menyebabkan kondensasi lignin. Kemudian serat yang dihasilkan dikarakterisasi dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) mengetahui, *X-Ray Diffraction* (XRD), *Thermal Gravimetric Analysis* (TGA) dan *Field Emission Scanning Electron Microscopy* (FESEM) untuk mengetahui perbedaan karakter serat sebelum dan setelah diberikan perlakuan hidrolisis asam. Penelitian ini bertujuan mensintesis MFC dari serat TKS melalui proses alkalisasi dan hidrolisis asam oksalat.

Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan adalah serat TKS yang diperoleh dari limbah industri minyak kelapa sawit, bahan-bahan kimia diantaranya NaOH 4%, H₂O₂ 20% dan asam oksalat 5%.

Proses Alkalisasi

Serat TKS dicacah dan dihaluskan hingga ukuran 60 *mesh*. Serat dan larutan NaOH 40% kemudian dimasukkan ke dalam reaktor dengan perbandingan 5% berat serat/volume larutan. Reaktor dipanaskan hingga suhu 90°C selama 2 jam.

Proses Pemutihan (*Bleaching*)

Setelah proses alkalisasi selesai, dilakukan penyaringan, pencucian dan penetralan serat dengan menggunakan air suling. Serat selanjutnya direndam dalam larutan H₂O₂ dengan perbandingan 5% berat serat/volume larutan selama 2 jam.

Proses Hidrolisis

Serat putih selanjutnya dihidrolisis menggunakan asam oksalat 5% dan dipanaskan pada suhu 80°C selama 1 jam. Setelah itu, serat disaring, dicuci, dan dinetralkan dengan air suling.

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Spektra FTIR diuji pada alat FTIR merek Nicolet Is5 pada panjang gelombang 400-4000 cm⁻¹.

Thermo Gravimetric Analisis (TGA)

Analisis TGA dilakukan menggunakan Linseis TG-HDSC. Analisis termal dilakukan dalam atmosfer nitrogen di bawah laju aliran 4 ml/jam menggunakan wadah alumina. Massa rata-rata 10 mg sampel dengan laju pemanasan 10 K/menit dengan suhu analisis antara 20°C hingga 500°C.

X – Ray Diffraction (X-RD)

Profil difraksi ekuator X-Ray dari serat dikumpulkan oleh XRD D8 Advance Bruker (Jerman) menggunakan radiasi CuK α pada tegangan operasi dan arus masing-masing 40 kV dan 20 mA. Intensitas difraksi dicatat antara 5 dan 80° (rentang 2θ angle).

Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM)

Analisis morfologi serat dilakukan menggunakan alat FE-SEM FEI Inspect F50 dengan lensa WD 12,5 mm dan pembesaran pada 100, 250, 500, 1000, dan 5000 kali.

Hasil dan Pembahasan

Proses Preparasi dan Hidrolisis Serat

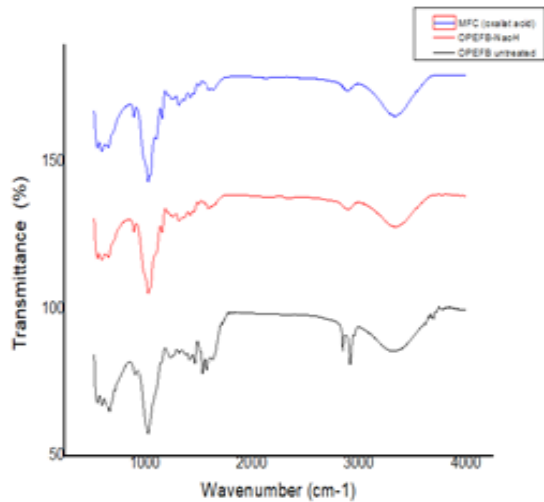
Serat TKS dalam penelitian ini diekstraksi dengan menggunakan NaOH dan diikuti oleh tahap kedua menggunakan asam oksalat 5%.

Serat TKS direaksikan dengan NaOH untuk menghasilkan serat selulosa coklat, warna serat berubah menjadi coklat atau disebut dekolorasi. Dekolorasi disebabkan oleh proses reaksi oksidasi yang terjadi antara gugus fenolik dan udara atau disebut reaksi delignifikasi (Tristantini, Dewanti and Sandra, 2017). Proses pemutihan menggunakan H₂O₂ diperlukan untuk menghilangkan warna coklat, dan juga dapat menghilangkan kotoran yang tidak diinginkan (Abraham *et al.*, 2011). Untuk meningkatkan kemurnian selulosa dan penghilangan gugus OH, dilakukan ekstraksi tahap kedua atau proses hidrolisis dengan asam oksalat. Keuntungan dari proses hidrolisis dengan asam lemah adalah proses netralisasi yang cepat, sedangkan kekurangannya adalah proses hidrolisis kemungkinan tidak sempurna dan dikhawatirkan akan terjadi produk samping yang tidak diinginkan (Osvaldo, Panca Putra and Faizal, 2012). Proses hidrolisis asam dapat terjadi karena dua faktor: konsentrasi atau bobot jenis asam dan suhu (Burhani *et al.*, 2017). Kebanyakan serat alam adalah polimer yang memiliki amorf dan kristalin. Lignin dan hemiselulosa merupakan bagian amorf. Oleh karena, itu hidrolisis asam dilakukan untuk menurunkan bagian amorf (Ismojo *et al.*, 2017).

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Spektrum serapan antara 3400-2400 cm⁻¹ merupakan spektrum gugus atau ikatan -OH (Abraham *et al.*, 2013). **Gambar 1** menunjukkan bahwa puncak di area *stretching* -OH masih terlihat. Hal ini menunjukkan bahwa proses hidrolisis tidak sempurna. Karena asam oksalat adalah asam lemah sehingga OH⁻ hanya sedikit yang ditarik oleh H⁺. Karena proses hidrolisis yang terjadi masih belum sempurna maka masih dapat dimungkinkan penyerapan uap air di udara oleh serat yang dihasilkan, oleh karena itu untuk mencegah penyerapan uap air tersebut, perlu dilakukan pengeringan dengan oven vakum.

Serapan -OH juga menunjukkan keberadaan lignin karena spektrum FTIR untuk lignoselulosa dibagi menjadi dua bagian, yaitu pada area getaran peregangan -CH dan -OH (4000-2700 cm⁻¹) dan sidik jari (1800-800 cm⁻¹) (Abraham *et al.*, 2013). Hasil FTIR pada **Gambar 1** menunjukkan puncak ketajaman pada daerah lignoselulosa menurun. Hal ini menunjukkan bahwa lignin dapat larut dalam asam oksalat dan proses penghilangan atau delignifikasi lignoselulosa



Gambar 1. Spektrum FTIR dari Serat TKS tanpa Perlakuan, Perlakuan NaOH, dan Hidrolisis Asam Oksalat (MFC)

telah terjadi. Hal ini juga diperkuat oleh hasil uji kuantitatif yang ditunjukkan pada **Tabel 1** yang menunjukkan terjadi penurunan kadar lignin dari 32,45 % menjadi 10,67 %. Area spektrum pada kisaran 2900 cm⁻¹ adalah *stretching* area C-H dalam molekul selulosa, puncak ketajaman pada area ini berkurang yang mengindikasikan bahwa ikatan glikosidik telah dipecah menjadi metil atau metil selulosa (Barlianti *et al.*, 2015). Struktur kristal selulosa dicirikan oleh penampilan puncak absorpsi pada bilangan gelombang 1430 cm⁻¹ dan penyerapan struktur amorf pada 898 cm⁻¹ (Ahmad *et al.*, 2015). Dalam penelitian ini, puncak serapan pada 1430 cm⁻¹ meningkat dengan proses hidrolisis oleh asam oksalat dan penyerapan pada 898 cm⁻¹ cenderung stabil yang menunjukkan peningkatan tingkat kristalinitas yang dapat dikonfirmasi melalui pengujian XRD.

Thermo Gravimetric Analysis (TGA)

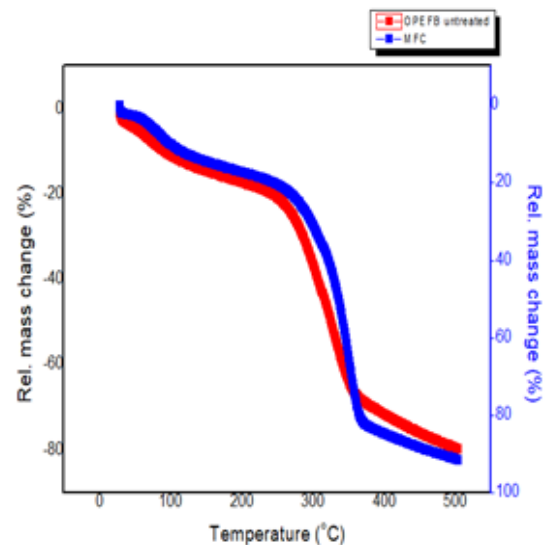
Hasil analisis TGA (**Gambar 2**) menunjukkan telah terjadi beberapa tahap degradasi dan penyusutan bobot dari sampel TKS tanpa perlakuan dan TKS yang dihidrolisis dengan asam oksalat (MFC). Pada penelitian ini dilakukan pada suhu 20°C-500°C dan telah terjadi beberapa tahap degradasi komponen atau penurunan bobot sampel dari TKS dan MFC. Degradasi pertama terjadi penurunan berat molekul yang kecil pada kisaran suhu analisis 20-110°C, merupakan proses kehilangan uap

Tabel 1. Hasil Analisis Kadar Lignin dan Total Selulosa

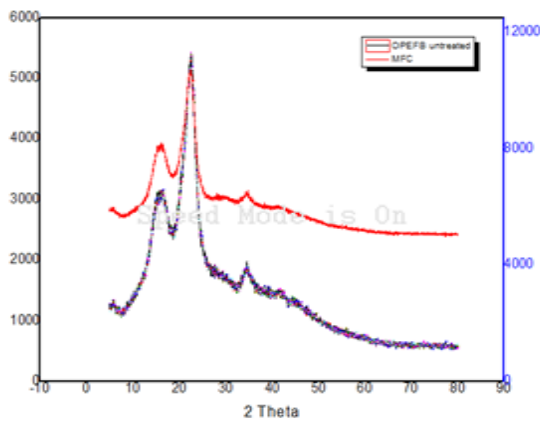
No	Parameter	Satuan	Sampel	
			TKS (sebelum preparasi)	MFC (Hidrolisis As. Oksalat 5%)
1	Lignin	%	32,45	10,67
2	Total Selulosa	%	49,74	81,20

air atau senyawa lainnya dengan berat molekul rendah (Abraham *et al.*, 2013). Hal ini sejalan dengan hasil analisis FTIR yang masih memiliki banyak komponen -OH. Degradasi tahap kedua adalah serat TKS mengalami penurunan berat secara dramatis pada suhu 260°C hingga 360°C. Sementara berat MFC menurun secara dramatis terjadi pada suhu 280°C hingga 370°C seperti yang terlihat pada **Gambar 2**.

Penurunan berat MFC ini lebih lama karena polimer selulosa diklasifikasikan sebagai tahan terhadap panas. Kerusakan serat oleh panas dimulai dengan oksiselulosa yang berlanjut dengan degradasi, pembentukan karbon dioksida dan air yang menguap dan akhirnya hanya abu yang tersisa (Syahbanu, Anugraini and Melati, 2018). Hal ini juga menunjukkan bahwa MFC memiliki tingkat kristalinitas, orientasi polimer, dan bentuk fibril yang lebih tinggi dari pada serat TKS tanpa perlakuan (Chen *et al.*, 2011). MFC yang terbuat dari serat TKS dengan proses hidrolisis asam



Gambar 2. Kurva TGA Serat TKS dan MFC



Gambar 3. Pola Difraksi Serat TKS tanpa Perlakuan dan MFC

oksalat memiliki sifat termal yang hampir mirip dengan serat rami karena pada pengujian TGA beratnya menurun secara dramatis pada suhu 310°C hingga 350°C dan dapat digunakan untuk pembuatan komposit termoseting (Mulyawan, Wibi Sana and Kaelani, 2015).

X – Ray Diffraction (X-RD)

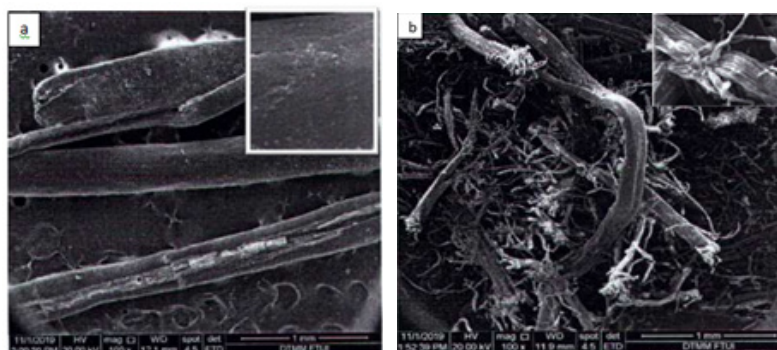
TKS yang tidak diberi perlakuan dan TKS yang dihidrolisis oleh asam oksalat (MFC) dianalisis dengan difraksi sinar-X untuk mengevaluasi indeks kristalinitasnya. **Gambar 3** menunjukkan pola difraksi x-ray yang berbeda dari antara serat TKS tanpa perlakuan dengan MFC. Puncak MFC lebih tajam dari puncak serat TKS tanpa perlakuan, yang menunjukkan peningkatan kekakuan struktur kristal dan kekuatan tarik yang lebih tinggi (Haafiz *et al.*, 2014). Pada **Gambar 3** pengamatan puncak terendah dan tertinggi serat TKS sebelum hidrolisis di $2E = 15,5^\circ$ dan $2E =$

$22,5^\circ$. Untuk pengamatan terendah dan tertinggi puncak serat TKS setelah hidrolisis asam terdapat pada $2E = 15,4^\circ$ dan $2E = 22,4^\circ$. Berdasarkan persamaan Segal's empirics, I002 adalah maksimum difraksi *lattice* untuk bidang (002) berada pada sudut difraksi sekitar $2E = 200 - 220$, sedangkan Intensitas terendah dari bagian amorfus terjadi pada kisaran $2E = 18$. Puncak selulosa yang khas muncul dalam kisaran $2E$ yaitu 15° dan 22° (Chandra, Goerge and Narayankutty, 2016). Dalam penelitian ini, nilai indeks kristal serat TKS tanpa perlakuan adalah 36,3% dan nilai indeks kristal MFC adalah 41,2%. Kristalinitas tinggi menunjukkan proses pengurangan lignin dan hemiselulosa telah berhasil terjadi dan juga terjadi pengurangan area amorf pada selulosa (Burhani *et al.*, 2017).

Hasil uji XRD ini juga sesuai dengan hasil analisis FTIR dan dapat disimpulkan bahwa pengurangan lignin, hemiselulosa, dan berbagai karakteristik kristal bersama-sama mempengaruhi aksesibilitas enzimatik ke selulosa dan kemudian indeks kristalinitas meningkat (Wang *et al.*, 2016). Meskipun asam oksalat adalah asam lemah, tetapi dapat meningkatkan nilai kristalisasi karena proses hidrolisis dilakukan pada 80°C membantu memaksimalkan proses hidrolisis.

Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM)

Pengujian FESEM dilakukan untuk melihat perubahan morfologi dari serat yang dihasilkan pada proses pembuatan serat. Hasil morfologi serat dari uji FESEM dapat dilihat pada **Gambar 4**. Setelah dilakukan pengukuran diameter serat, dihasilkan ukuran diameter serat TKS tanpa perlakuan adalah $400\ \mu\text{m}$ dan MFC adalah $10\ \mu\text{m}$. Penurunan ukuran diameter serat ini



Gambar 4. Morfologi Serat (a) TKS, (b) MFC

Tabel 2. Perbandingan Ukuran Serat MFC dari TKS dengan Proses Hidrolisis Asam Oksalat (Yuanita *et al.*, 2015).

Serat	Metode	Diameter MFC (μm)
Ijuk	Hidrolisis asam sulfat	5 – 6
Sisal	Alkali peroksida	12,8 - 31
Jerami gandum	Hidrolisis NaOH	10 – 15
Tebu	Hidrolisis asam nitrat	5 – 10
Batang jagung	Hidrolisis asam sulfat	5,8 – 7,5
Tandan Kosong Sawit (TKS)	Hidrolisis asam oksalat	10

menunjukkan bahwa penambahan basa dan H_2O_2 pada proses *bleaching* dan perlakuan hidrolisis asam oksalat dapat menghilangkan komponen-komponen yang terikat pada serat sehingga ukuran serat menjadi lebih kecil. Dari **Gambar 4** juga dapat dilihat bahwa serat yang dihasilkan semakin terbentuk sempurna dibandingkan serat TKS tanpa perlakuan karena pada serat TKS yang tanpa perlakuan masih banyak mengandung pengotor dan paraffin yang tidak bisa dihilangkan oleh air dan hal ini sebanding dengan hasil uji nilai kristalinitas yang semakin tinggi. Nilai kristalinitas yang tinggi menunjukkan pembentukan serat semakin sempurna.

Perbandingan ukuran diameter serat MFC TKS dengan serat lainnya yang dibuat dari metode hidrolisis yang berbeda dapat dilihat pada **Tabel 2**. Pada **Tabel 2** dapat dilihat bahwa serat MFC dari TKS dengan proses hidrolisis asam oksalat ukurannya sama dengan serat MFC dari jerami melalui proses hidrolisis NaOH atau serat MFC dari tebu melalui proses hidrolisis asam nitrat. Karena hal tersebut maka proses pembentukan MFC menggunakan asam oksalat dapat menghasilkan ukuran diameter serat yang setara dengan pembentukan MFC dengan proses hidrolisis basa NaOH dan proses hidrolisis asam nitrat.

Kesimpulan

Hasil analisis FTIR mengonfirmasi bahwa hidrolisis dengan asam oksalat dapat menurunkan kadar lignin. Proses hidrolisis dengan asam oksalat 5% juga dapat menaikkan nilai kristalinitas dari 36,3 % menjadi 41,2 %. Hasil TGA menunjukkan hidrolisis menggunakan asam oksalat 5% dapat meningkatkan area degradasi termal, sehingga MFC hasil hidrolisis

nya memiliki sifat termal sehingga yang baik dengan peningkatan area degradasi dari 280°C menjadi 370°C. Hasil uji morfologi serat dengan FESEM menunjukkan bahwa serat yang dihasilkan dengan proses hidrolisis asam oksalat semakin terbentuk sempurna (*fibrillated*) dan ukuran diameternya pun mengecil dari 400 μm menjadi 10 μm . Berdasarkan hasil penelitian ini, proses sintesis MFC dari serat TKS dengan hidrolisis menggunakan asam oksalat 5% adalah proses yang baik untuk pembuatan MFC dan memberikan pendekatan baru sebagai sumber MFC untuk beberapa aplikasi.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Ibu Wiwik Pudjiastuti selaku kepala Balai Besar Kimia dan Kemasan atas dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini, dan kepada pihak Institut Teknologi Indonesia atas kerja sama dalam pelaksanaan penelitian ini dan juga seluruh tim yang terlibat dalam penelitian.

Daftar Pustaka

- Abraham, E., Deepa, B., Pothan, L. A., Jacob, M., Thomas, S., Cvelbar, U. and Anandjiwala, R. (2011) 'Extraction of nanocellulose fibrils from lignocellulosic fibers: A novel approach', *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 86(4), pp. 1468–1475. doi: 10.1016/j.carbpol.2011.06.034.
- Abraham, E., Deepa, B., Pothan, L. A., Cintil, J., Thomas, S., John, M. J., Anandjiwala, R. and Narine, S. S. (2013) 'Environmental friendly method for the extraction of coir fibre and isolation of nanofibre', *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 92(2), pp. 1477–1483. doi: 10.1016/j.carbpol.2012.10.056.

- Ahmad, Y., Laksmi, M., Heny, P. and Lingga, A. (2015) 'Uji Karakterisasi Mikrokristalin Selulosa dari Nata De Soya Sebagai Eksipien Tablet', *Farmasains*, 6(2), p. 269 : 274.
- Barlianti, V., Dahnum, D., Hendarsyah, H. and Abimanyu, H. (2015) 'Effect of Alkaline Pretreatment on Properties of Lignocellulosic Oil Palm Waste', *Procedia Chemistry*, 16, pp. 195–201. doi: 10.1016/j.proche.2015.12.036.
- Burhani, D., Putri, A. M. H., Waluyo, J., Nofiana, Y. and Sudiyani, Y. (2017) 'The effect of two-stage pretreatment on the physical and chemical characteristic of oil palm empty fruit bunch for bioethanol production', *AIP Conference Proceedings*, 1904. doi: 10.1063/1.5011873.
- Chandra, J., Goerge, C. and Narayankutty, S. K. (2016) 'Isolation and Characterization of Cellulose Nanofibrils from Arecanut Husk Fibre', *Carbohydrate Polymers*, 142, pp. 158–166. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.carbpor.2016.01.05>.
- Chen, W., Yu, H., Liu, Y., Hai, Y., Zhang, M. and Chen, P. (2011) 'Isolation and characterization of cellulose nanofibers from four plant cellulose fibers using a chemical-ultrasonic process', *Cellulose*, 18(2), pp. 433–442. doi: 10.1007/s10570-011-9497-z.
- Dewanti, D. P. (2018) 'Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), p. 81. doi: 10.29122/jtl.v19i1.2644.
- Haafiz, M., Hassan, A., Zakaria, Z. and Inuwa, I. M. (2014) 'Isolation and Characterization of Cellulose Nanowhiskers from Oil Palm Biomass Microcrystalline Cellulose', *Carbohydrate Polymers*, 1(103), pp. 119–125.
- Ismojo, Simanulang, P. H., Zulfia, A. and Chalid, M. (2017) 'Preparation of micro-fibrillated cellulose from sorghum fibre through alkalization and acetylation treatments', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 223(1). doi: 10.1088/1757-899X/223/1/012057.
- Lavoine, N., Desloges, I., Dufresne, A. and Bras, J. (2012) 'Microfibrillated cellulose - Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review', *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 90(2), pp. 735–764. doi: 10.1016/j.carbpol.2012.05.026.
- Mulyawan, A. S., Wibi Sana, A. and Kaelani, Z. (2015) 'Identification of Physical and Thermal Properties of', *Arena Tekstil*, 30(1), pp. 75–82.
- Osvaldo, Z. S., Panca Putra, S. and Faizal, M. (2012) 'Pengaruh Konsentrasi Asam dan Waktu pada Proses Hidrolisis dan Fermentasi Pembuatan Biotenaol dari Alang-alang', *Jurnal Teknik Kimia*, 18(2), pp. 52–62.
- Rezayati Charani, P., Dehghani-Firouzabadi, M., Afra, E., Blademo, Å., Naderi, A. and Lindström, T. (2013) 'Production of microfibrillated cellulose from unbleached kraft pulp of Kenaf and Scotch Pine and its effect on the properties of hardwood kraft: Microfibrillated cellulose paper', *Cellulose*, 20(5), pp. 2559–2567. doi: 10.1007/s10570-013-9998-z.
- Syahbanu, I., Anugraini, A. and Melati, H. A. (2018) 'Kinetika Degradasi Selulosa Asetat dari Sabut Pinang', *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 1(1), pp. 24–29.
- Syverud, K. and Stenius, P. (2009) 'Strength and barrier properties of MFC films', *Cellulose*, 16(1), pp. 75–85. doi: 10.1007/s10570-008-9244-2.
- Tristantini, D., Dewanti, D. P. and Sandra, C. (2017) 'Isolation and characterization of α -cellulose from blank bunches of palm oil and dry jackfruit leaves with alkaline process NaOH continued with bleaching process H₂O₂', *AIP Conference Proceedings*, 1904. doi: 10.1063/1.5011858.
- Wang, W., Zhuang, X., Yuan, Z., Qi, W. and Wang, Q. (2016) 'Structural Changes of Lignin after Liquid Hot Water Pretreatment and Its Effect on the Enzymatic Hydrolysis', *BioMed Research International*, 3(21), pp. 23–31. Available at: <https://doi.org/10.1155/2016/8568604>.
- Xu, W., Grénman, H., Liu, J., Kronlund, D., Li, B., Backman, P., Peltonen, J., Willför, S., Sundberg, A. and Xu, C. (2017) 'Mild Oxalic-Acid-Catalyzed Hydrolysis as a Novel Approach to Prepare Cellulose Nanocrystals', *ChemNanoMat*, 3(2), pp. 109–119. doi: 10.1002/cnma.201600347.
- Yasa, I. W. S. et al. (2020) 'Sifat Fisik Dan Mekanis Lembaran Kering Selulosa Bakteri Berbahan Dasar Limbah Hasil Pertanian', *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 8(1), pp. 89–99. doi: 10.29303/jrpb.v8i1.170.
- Yuanita, E., Pratama, J. N., Mustafa, J. H. and Chalid, M. (2015) 'Multistages Preparation for Microfibrillated Celluloses Based on *Arenga Pinnata* "ijuk" fiber', *Procedia Chemistry*, 16, pp. 608–615. doi: 10.1016/j.proche.2015.12.099.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -