

Pengaruh hidrolisis menggunakan asam sulfat pada karakteristik *micro-fibrillated cellulose* (MFC) dari serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai agen nukleasi

The effect of hydrolysis using sulphuric acid on the characteristics of micro-fibrillated cellulose (MFC) based on oil palm empty fruit bunch (OPEFB) fiber as a nucleating agent

Agustina Arianita Cahyaningtyas*, Bunda Amalia, Evana Yuanita, Rizka Karima, Tiara Mailisa, dan Bumiarto Nugroho Jati

Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Kementerian Perindustrian
Jalan Jenderal Gatot Subroto Kav. 52-53, Jakarta Selatan, Indonesia

* agustinaarianita@gmail.com



INFO ARTIKEL

Sejarah artikel:

Diterima:
17 Februari 2020
Direvisi:
4 Juni 2020
Diterbitkan:
29 Juni 2020

Kata kunci:

serat tandan kosong
kelapa sawit (TKKS);
*micro-fibrillated
cellulose* (MFC);
agen nukleasi;
hidrolisis asam

Keywords:

*palm oil empty fruit
bunch fiber* (OPEFB);
*micro-fibrillated
cellulose* (MFC);
nucleating agents;
acid hydrolysis

ABSTRAK

Micro-fibrillated cellulose (MFC) dapat diproduksi dari ekstraksi serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) melalui proses alalinisasi, oksidasi H_2O_2 , dan hidrolisis asam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu reaksi terhadap proses hidrolisis H_2SO_4 . *MFC* dibuat dengan proses alalinisasi menggunakan natrium hidroksida (NaOH) 4% pada suhu $90\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam, oksidasi H_2O_2 20% pada suhu kamar selama 2 jam, dan hidrolisis H_2SO_4 pada suhu kamar. Hidrolisis asam dilakukan menggunakan H_2SO_4 20% dengan variasi waktu reaksi 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. *MFC* dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Thermal Gravimetric Analysis* (TGA). Analisis FTIR menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi lignin dan selulosa, analisis TGA menunjukkan stabilitas termal pada waktu reaksi 3 jam lebih tinggi dibandingkan waktu reaksi lainnya, dan analisis XRD menunjukkan bahwa semakin lama waktu hidrolisis H_2SO_4 terjadi kecenderungan persentase kristalisasi meningkat. Dari hasil yang diperoleh, *MFC* dari serat TKKS memiliki potensi untuk digunakan sebagai agen nukleasi dalam polimer.

ABSTRACT

Micro-fibrillated cellulose (MFC) can be produced from Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) fiber extraction through the process of alkalization, H_2O_2 oxidation, and acid hydrolysis. The purpose of this study was to determine the effect of reaction time on the H_2SO_4 hydrolysis process. *MFC* prepared by an alkalization process with 4% sodium hydroxide (NaOH) at $90\text{ }^\circ\text{C}$ for 2 hours, oxidation of 20% H_2O_2 at room temperature for 2 hours, and hydrolysis with H_2SO_4 at room temperature. Acid hydrolysis was carried out using 20% H_2SO_4 with variations in reaction time of 1 hour, 2 hours, and 3 hours. The *MFC* were analyzed using *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), and *Thermal Gravimetric Analysis* (TGA). FTIR analysis showed that there was a decrease in lignin and cellulose concentrations, TGA analysis showed thermal stability at the reaction time 3 hours higher than other reaction times, and XRD analysis showed that the longer the hydrolysis time of H_2SO_4 there was a tendency for the percentage of crystallization to increase. From the results obtained, *MFC* from OPEFB had a potential to be used as nucleation agents in polymers.

1. Pendahuluan

TKKS dari hasil pengolahan minyak kelapa sawit merupakan salah satu biomassa yang sangat berlimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal. TKKS dimanfaatkan untuk bahan bakar boiler, kompos, dan sisanya menjadi limbah. Komponen penyusun TKKS antara lain selulosa, lignin, holoselulosa, hemiselulosa, air, dan ekstraktif lain. Selulosa yang terkandung dalam TKKS sebesar 38,76% atau sekitar 37,50% dengan kandungan serat mencapai 72,67%. Oleh karena itu TKKS potensial untuk menjadi raw material yang diambil selulosanya (Dewanti, 2018).

Selulosa merupakan substansi yang tidak larut di dalam air, terdapat di dalam dinding sel tumbuhan terutama pada bagian batang, tangkai, dan semua bagian yang mengandung kayu. Selulosa merupakan homopolisakarida yang mempunyai molekul berbentuk linear. Struktur linear ini menyebabkan selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut. Selulosa tidak mudah terdegradasi secara kimia maupun mekanis. Di alam, biasanya selulosa berasosiasi dengan polisakarida lain seperti hemiselulosa atau lignin membentuk rangka utama dinding sel tumbuhan (Pradana et al., 2017). *MFC* (*microcrystalline cellulose*) merupakan derivat selulosa. Energi yang dibutuhkan untuk memproduksi *MFC* lebih sedikit dibandingkan derivat selulosa yang lain. Ekstraksi *MFC* dari serat TKKS dapat meningkatkan nilai tambah serat TKKS. *MFC* memiliki struktur fibrillar dan ikatan hidrogen dalam jumlah besar yang membentuk struktur kristal tiga dimensi, sehingga *MFC* memiliki banyak wilayah kristal. Wilayah kristal ini terkait dengan sifat fisik *MFC* (Yuanita et al., 2015).

Nucleating agents pada proses nukleasi bertindak sebagai *seed* dan meningkatkan kecepatan kristalisasi. *Nucleating agents* juga dapat meningkatkan kinetika kristalisasi dan mengurangi waktu siklus *injection molding*, sehingga dapat mengurangi biaya produksi polimer. Efisiensi *nucleating agents* berdasarkan pada ukuran partikel, morfologi, struktur kimia, dan perilaku ketika digabungkan dengan polimer (Simanke et al., 2016).

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan dan menunjukkan bahwa serat alam dapat dijadikan *nucleating agents* antara lain preparasi *MFC* dari serat *Arenga Pinnata* “Ijuk” untuk *nucleating agent* pada polipropilena, *MFC* sebagai *nucleating agent* pada foam polivinil alkohol, *MFC* sebagai *nucleating agent* untuk polipropilena, dan *nanofibrillated cellulose (NFC)* sebagai *nucleating agent* untuk polivinil alkohol (Gentile et al., 2018; Thanomchat et al., 2014; Yuanita et al., 2017; Yuwawech et al., 2015). *MFC* memiliki karakteristik berupa fibril, memiliki banyak ikatan hidrogen yang membentuk struktur kristal tigadimensi, dan memiliki keunggulan atas kristalinitasnya (Mustafa et al., 2015). Oleh karena itu, *MFC* dari serat TKKS berpotensi sebagai *nucleating agent* untuk meningkatkan kecepatan kristalisasi.

Komposisi struktur serat alam yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin menyebabkan terjadinya penyerapan kelembaban dari lingkungan, sehingga kompatibilitas serat dengan matriks material non polar rendah (Kabir et al., 2012). Oleh karena itu

diperlukan perlakuan tertentu pada permukaan serat untuk meningkatkan kompatibilitas *MFC* dengan matrik. Beberapa metode untuk meningkatkan kompatibilitas *MFC* antara lain dengan asetilasi (Lepetit et al., 2017), proses alkalinisasi dilanjutkan dengan asetilasi dengan penambahan H_2SO_4 (Ismojo et al., 2017), metode *multistages* (alkalinisasi, oksidasi, dan hidrolisis asam sulfat) (Yuanita et al., 2015), hidrolisis asam sulfat parsial (Saputro et al., 2017), alkalinisasi dilanjutkan dengan *bleaching* (Ismojo et al., 2019), dan *Fenton pre-treatment* (Hellström et al., 2014). Alkalinisasi adalah proses untuk melarutkan lignin dan pengotor yang terdapat pada permukaan serat, oksidasi adalah proses penghilangan lapisan pengikat antara selulosa untuk membentuk mikrofibril, sedangkan hidrolisis asam digunakan untuk mendegradasi selulosa amorph dan menurunkan konsentrasi $-OH$ (Ching and Ng, 2014; Lismeri and Darni, 2017; Mustafa et al., 2015; Nasution et al., 2017; Pradana et al., 2017; Tristantini et al., 2017).

Asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida umumnya digunakan pada proses hidrolisis asam untuk menghilangkan bagian amorph selulosa. Kondisi proses seperti rasio asam-serat, waktu reaksi, suhu, konsentrasi asam, dan tipe asam mempengaruhi hasil hidrolisis asam. Asam sulfat mengakibatkan suspensi yang sangat stabil dengan masuknya permukaan aktif gugus kristalit sulfat (Khalil et al., 2011; Wulandari et al., 2016a). Salah satu faktor penting pada proses hidrolisis selulosa menggunakan asam adalah waktu reaksi (Al-Dulaimi and Wanrosli, 2017).

Saat ini banyak penelitian yang berfokus pada hidrolisis selulosa menggunakan asam, antara lain hidrolisis asam menggunakan H_2SO_4 64% pada suhu 60 °C selama 45 menit (Aditama and Ardhyana, 2017); hidrolisis pada suhu tetap 45 °C dan variasi konsentrasi asam sulfat 54%, 56%, 58%, dan 60%, sedangkan untuk waktu hidrolisis menggunakan empat periode reaksi 40 menit, 60 menit, 80 menit, dan 100 menit (Al-Dulaimi and Wanrosli, 2017); hidrolisis menggunakan asam sulfat 50% pada suhu 40 °C selama 10 menit (Wulandari et al., 2016b); hidrolisis menggunakan asam sulfat 64 %berat pada 45 °C selama 60 menit (Musa et al., 2017); dan hidrolisis dengan asam sulfat 32 %berat selama 24 jam (Huntley et al., 2014).

Sebagian besar proses hidrolisis asam dilakukan pada suhu pemanasan 40–60 °C dan konsentrasi asam yang cukup tinggi yaitu 50–65%, namun Yuanita et al., 2017 telah melakukan penelitian pembuatan *MFC* dari serat *Arenga Pinnata* “Ijuk” menggunakan hidrolisis asam sulfat 20% tanpa pemanasan. Hidrolisis menggunakan asam sulfat 20% dan tanpa pemanasan diharapkan sudah cukup untuk menghilangkan bagian amorph dari *MFC* dengan tetap menjaga bagian kristalinitasnya karena telah didahului dengan proses alkalinisasi dan oksidasi, dimana lignin dan hemiselulosa telah hilang melalui alkalinisasi serta telah terbentuk mikrofibril melalui oksidasi. Kedua proses tersebut meningkatkan luas area kontak antara mikrofibril dan asam sulfat, sehingga tidak diperlukan pemanasan dan konsentrasi asam sulfat yang tinggi. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan pembuatan *MFC* dari TKKS melalui proses hidrolisis menggunakan

asam sulfat 20% tanpa pemanasan (suhu ruang) dan dengan variasi waktu reaksi (1 jam, 2 jam, dan 3 jam). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi waktu reaksi pada proses hidrolisis H₂SO₄ tanpa menggunakan pemanasan.

2. Metode

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain TKKS diperoleh dari supplier serat di Tangerang, Indonesia, NaOH teknis 98% diperoleh dari PT Asahimas Chemical, H₂O₂ teknis kemurnian 50% diperoleh dari Taekwang, dan H₂SO₄ pro analisis diperoleh dari Mallinckrodt Baker.

2.1. Preparasi MFC

Preparasi MFC dari serat TKKS terdiri dari dua proses, yaitu alkalinisasi dan oksidasi hidrogen peroksida. TKKS pertama kali dicacah dan dipotong menggunakan mesin *crusher* dan diayak untuk mendapatkan ukuran yang seragam (60 mesh). Serat TKKS sebanyak 5 gram direndam di dalam NaOH 4% sebanyak 100 mL dan diaduk di atas *hotplate stirrer* pada suhu 90 °C selama 2 jam. Serat kemudian dipisahkan dan disaring dari larutan NaOH menggunakan kertas saring. Setelah itu serat dicuci menggunakan air sampai pH serat menjadi netral. Sebanyak 5 gram serat TKKS hasil alkalinisasi kemudian direndam di dalam H₂O₂ 20% sebanyak 100 mL dan diaduk di atas *hotplate stirrer* selama 2 jam. Setelah itu serat dipisahkan dari larutan H₂O₂ menggunakan kertas saring dan dicuci menggunakan air sampai pH netral (Mustafa et al., 2015).

2.2. Hidrolisis asam

Sebanyak 5 gram serat direndam di dalam H₂SO₄ sebanyak 100 mL dan diaduk di atas *hotplate stirrer* dengan berbagai variasi waktu reaksi (1 jam, 2 jam, dan

3 jam). Konsentrasi H₂SO₄ yang digunakan 20% (Yuanita et al., 2017). Hidrolisis dihentikan dengan menambahkan air dingin sebanyak 500 mL. Serat kemudian dipisahkan dari larutan H₂SO₄ menggunakan kertas saring dan dinetralkan dengan cara dicuci menggunakan air sampai pH netral. Setelah itu, serat dikeringkan pada suhu ruang selama 2×24 jam.

2.3. Karakterisasi

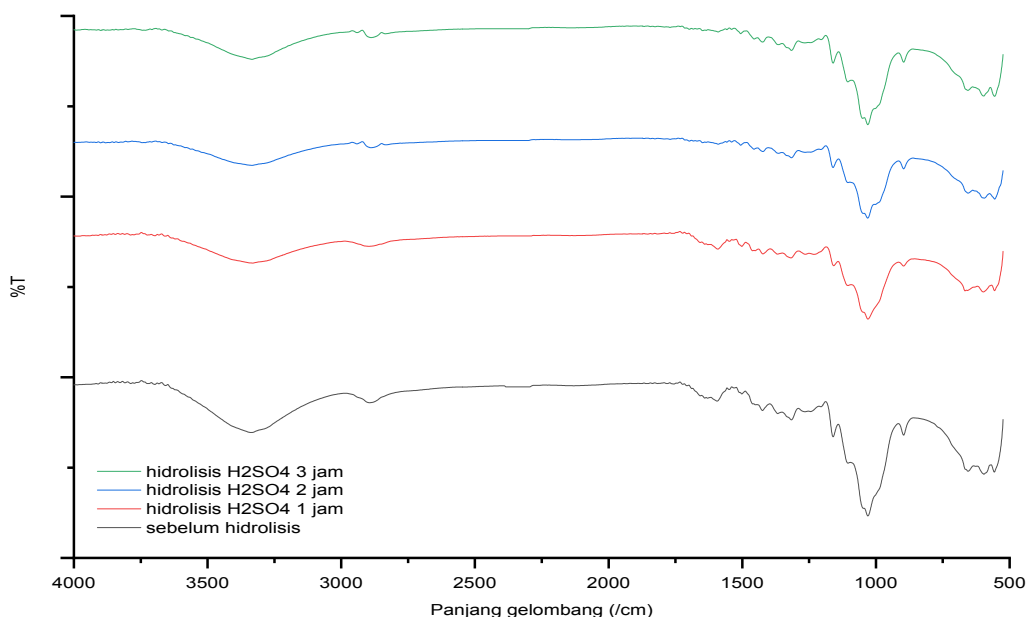
Gugus fungsi MFC dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared (FTIR)* seri Nicolet iS5 FTIR spectrometer. Semua spektrum menggunakan panjang gelombang 400 cm⁻¹ sampai dengan 4000 cm⁻¹. Kristalinitas MFC dikarakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction (XRD)* D8 Advance Bruker Germany. Stabilitas termal MFC dianalisis menggunakan *Thermal Gravimetric Analysis (TGA)*, The LINSEIS STA Platinum Series (*simultaneous thermal analysis*).

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Gugus fungsi

Perlakuan terhadap MFC melalui proses hidrolisis asam dengan berbagai variasi waktu reaksi menyebabkan perubahan gugus fungsi pada serat. Gambar 1 menyajikan gugus fungsi dari MFC sebelum dan setelah proses hidrolisis asam pada berbagai variasi waktu reaksi.

Pada MFC sebelum perlakuan hidrolisis asam, masih terdapat lignin dan hemiselulosa, hal ini terlihat dari puncak lignin dan hemiselulosa yang masih terlihat pada Gambar 1, puncak antara 1300 cm⁻¹–1000 cm⁻¹ menunjukkan C–O *stretch* yang merupakan bagian dari hemiselulosa, pektin, dan lignin. *Peak* diantara 1500 cm⁻¹–1400 cm⁻¹ adalah C–C *stretch* bagian cincin lignin (Yuanita et al., 2017), sedangkan puncak pada 1635 cm⁻¹ merupakan –OH *bending* menunjukkan penyerapan air oleh selulosa. Puncak ini terjadi karena adanya sejumlah kecil hemiselulosa (Nasution et al., 2017).



Gambar 1. Grafik spektrum MFC hasil proses hidrolisis asam.

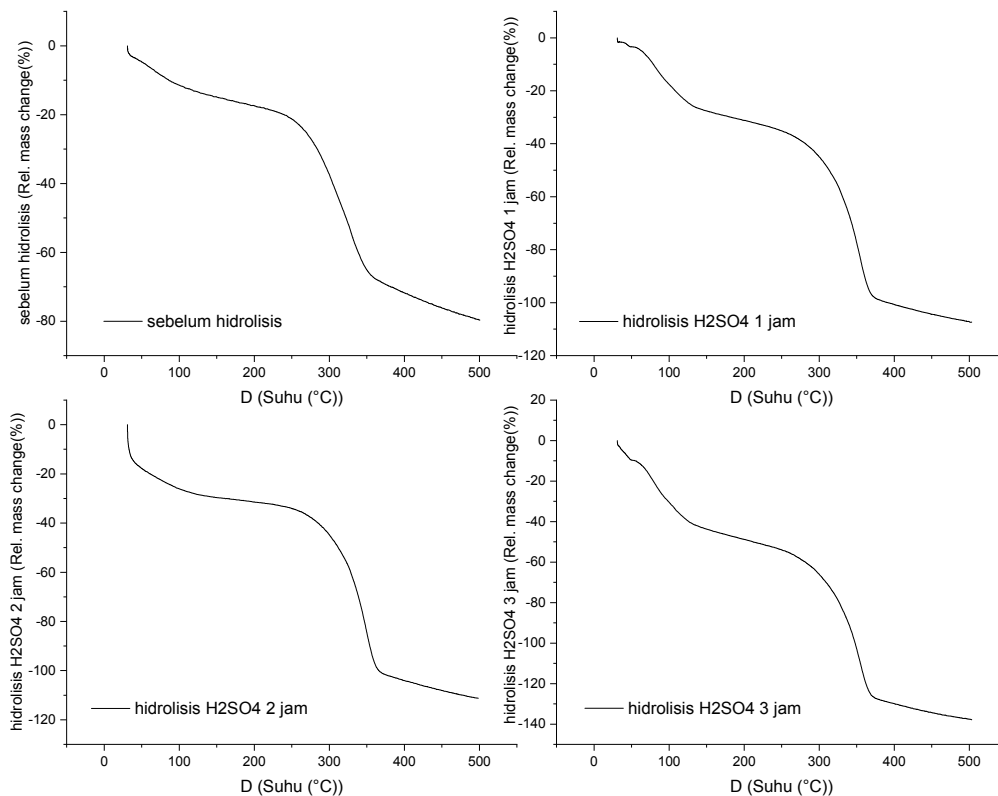
Berdasarkan Gambar 1, setelah dilakukan hidrolisis menggunakan asam H₂SO₄ 20% dengan berbagai variasi waktu reaksi dari 1 jam, 2 jam, dan 3 jam terlihat penurunan konsentrasi lignin dan hemiselulosa. Hal ini ditunjukkan dari penurunan intensitas puncak C-O stretch (1300 cm⁻¹–1000 cm⁻¹), C-C stretch (1500 cm⁻¹–1400 cm⁻¹), dan –OH bending (1635 cm⁻¹) dibandingkan dengan *MFC* sebelum hidrolisis H₂SO₄. Sebagian besar serat alam adalah polimer yang memiliki bagian amorph dan kristalin, lignin dan hemiselulosa merupakan bagian amorph. Oleh karena itu hidrolisis asam dilakukan untuk menurunkan bagian amorph (Ismojo et al., 2017).

Daerah serapan antara 3000 cm⁻¹ dan 3355 cm⁻¹ menunjukkan ikatan hidrogen (O–H) (Khalil et al., 2011; Yuanita et al., 2015). Berdasarkan grafik, menunjukkan penurunan konsentrasi –OH, dibuktikan dari penurunan intensitas puncak antara 3000 cm⁻¹ dan 3355 cm⁻¹. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh

(Nasution et al., 2017), dimana pada proses hidrolisis asam terjadi penurunan konsentrasi –OH. Proses hidrolisis menggunakan asam sulfat 20% dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, dan 3 jam belum optimal, karena gugus –OH belum hilang sepenuhnya, hanya terjadi penurunan. Dengan masih adanya gugus –OH ini, dimungkinkan dapat menyerap uap air dari lingkungan lagi sehingga dapat mengganggu kompatibilitas *MFC* dengan matrik jika diaplikasikan sebagai *nucleating agen* (Kabir et al., 2012).

3.2. Stabilitas termal

Stabilitas termal *MFC* sebelum proses hidrolisis asam dan setelah proses hidrolisis asam dianalisis menggunakan *TGA*. Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 2.



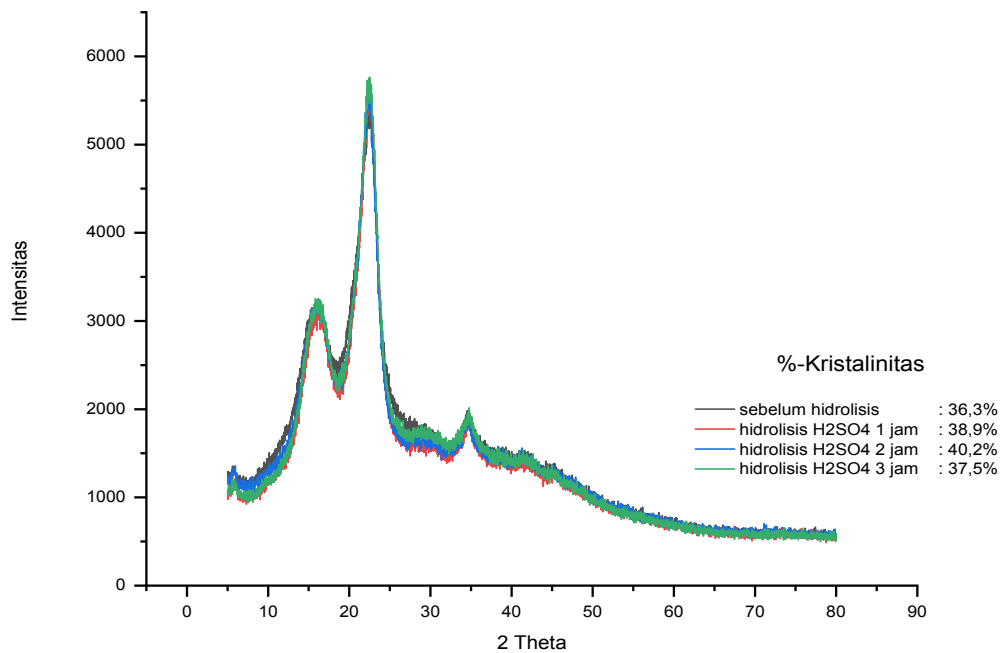
Gambar 2. Grafik analisis *TGA* pada *MFC* hasil proses hidrolisis asam.

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa uap air dan senyawa dengan berat molekul rendah hilang pada suhu sekitar 100 °C. Degradasi terjadi pada suhu 30 °C sampai dengan 130 °C yang disebabkan oleh penguapan uap air dan ikatan hidrogen air yang diserap secara kimia antar molekul (Musa et al., 2017). Hal ini sesuai dengan hasil dari analisis *FTIR* dimana masih terdapat gugus –OH setelah hidrolisis dengan asam sulfat dilakukan. Pada *MFC* sebelum hidrolisis asam sulfat, pada suhu 260 °C sampai dengan 360 °C merupakan dekomposisi termal dari hemiselulosa dan lignin, sedangkan pada suhu 360 °C sampai dengan 500 °C merupakan dekomposisi termal dari selulosa dan lignin (Maheswari et al., 2012). Pada *MFC* setelah proses hidrolisis dengan asam H₂SO₄ dengan waktu reaksi 1 jam, 2 jam, dan

3 jam berturut-turut terjadi degradasi pada suhu 260 °C sampai dengan 365 °C, 270 °C sampai dengan 366 °C, 273 °C dan 370 °C merupakan dekomposisi termal dari hemiselulosa, lignin, dan selulosa. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa stabilitas termal proses hidrolisis menggunakan asam H₂SO₄ dengan waktu reaksi 3 jam lebih tinggi dibandingkan dengan waktu reaksi lainnya.

3.3. Kristalinitas

Kristalinitas *MFC* dianalisis menggunakan *XRD*. Pola *XRD* dari *MFC* sebelum dan setelah proses hidrolisis menggunakan asam H₂SO₄ pada berbagai waktu reaksi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik analisis XRD pada MFC hasil proses hidrolisis asam

Gambar 3 menunjukkan pola XRD dari MFC sebelum dan setelah proses hidrolisis asam. Pada Gambar 3 terlihat 3 puncak yaitu disekitar $2\theta=18^\circ$ dimana menunjukkan daerah amorph, $2\theta=22^\circ$ menunjukkan daerah kristalin, dan $2\theta=35^\circ$ menunjukkan daerah kristalin. Puncak kristalin pada $2\theta=35^\circ$ menunjukkan perlakuan terhadap MFC memberikan hasil yang bagus dimana terjadi peningkatan kristalinitas selulosa. Puncak ini semakin tajam, yang menunjukkan tingkat kristalinitas (French and Cintrón, 2013; Yuanita et al., 2017). Persen kristalinitas untuk MFC sebelum hidrolisis asam H₂SO₄, MFC setelah proses hidrolisis asam H₂SO₄ selama 1 jam, MFC setelah proses hidrolisis asam H₂SO₄ selama 2 jam, dan MFC setelah proses hidrolisis asam H₂SO₄ selama 3 jam yaitu 36,3%, 38,9%, 40,2%, dan 37,5%. Semakin lama waktu reaksi pada saat proses hidrolisis H₂SO₄ menunjukkan kecenderungan persen kristalinitas meningkat. Namun, persen kristalinitas mengalami penurunan pada saat waktu reaksi hidrolisis H₂SO₄ selama 3 jam. Hal ini karena daerah amorph dihilangkan melalui proses hidrolisis asam, namun dengan hidrolisis yang berkepanjangan, ion hidrogen tidak hanya menghilangkan bagian amorph, tetapi juga menembus daerah kristal selulosa untuk meningkatkan pembelahan hidrolitik lebih lanjut dari ikatan glikosidik sehingga menghasilkan persen kristalinitas yang berkurang (Al-Dulaimi and Wanrosli, 2017).

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini dilakukan hidrolisis menggunakan asam H₂SO₄ 20% terhadap MFC dengan variasi waktu reaksi. Dari hasil analisis FTIR, TGA, dan XRD menunjukkan bahwa terjadi penurunan lignin, hemiselulosa, dan ikatan -OH, stabilitas termal proses hidrolisis pada waktu reaksi 3 jam lebih tinggi dibandingkan dengan waktu reaksi lainnya, serta kecenderungan peningkatan persen kristalinitas.

Berdasarkan dari hasil analisis tersebut, MFC dari serat TKKS yang diproses hidrolisis menggunakan asam H₂SO₄ 20% pada suhu kamar berpotensi digunakan sebagai *nucleating agent*.

Daftar pustaka

- Aditama, A.G., Ardhyana, H., 2017. Isolasi Selulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Nano Filler Komposit Absorpsi Suara: Analisis FTIR. *J. Tek. ITS* 6, 228–231. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24098>
- Al-Dulaimi, A.A., Wanrosli, W.D., 2017. Isolation and Characterization of Nanocrystalline Cellulose from Totally Chlorine Free Oil Palm Empty Fruit Bunch Pulp. *J. Polym. Environ.* 25, 192–202. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0798-z>
- Ching, Y.C., Ng, T.S., 2014. Effect of preparation conditions on cellulose from oil palm empty fruit bunch fiber. *BioResources* 9, 6373–6385. <https://doi.org/10.15376/biores.9.4.6373-6385>
- Dewanti, D.P., 2018. Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan. *J. Teknol. Lingkung.* 19, 81–88.
- French, A.D., Cintrón, M.S., 2013. Cellulose polymorphy, crystallite size, and the Segal Crystallinity Index. *Cellulose* 20, 583–588. <https://doi.org/10.1007/s10570-012-9833-y>
- Gentile, G., Cocca, M., Avolio, R., Errico, M.E., Avella, M., 2018. Effect of microfibrillated cellulose on microstructure and properties of poly(vinyl alcohol) foams. *Polymers (Basel)*. 10. <https://doi.org/10.3390/polym10080813>
- Hellström, P., Heijnesson-Hultén, A., Paulsson, M., Haˆkansson, H., Germgåˆrd, U., 2014. Fenton pre-treated microfibrillated cellulose evaluated as a strength enhancer in the middle ply of paperboard. *Nord. Pulp Pap. Res. J.* 29, 732–740.

- Huntley, C.J., Crews, K.D., Curry, M.L., 2014. Chemical functionalization and characterization of cellulose extracted from wheat straw using acid hydrolysis methodologies. *Int. J. Polym. Sci.* 2015, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2015/293981>
- Ismojo, Novovic, A., Lazwardi, D.R., Zulfia, A., Chalid, M., 2019. Microfibrillated cellulose (MFC) isolation based on stalk sweet sorghum through alkalization-bleaching treatment: Effect of soaking temperature. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 509. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/509/1/012079>
- Ismojo, Simanulang, P.H., Zulfia, A., Chalid, M., 2017. Preparation of micro-fibrillated cellulose from sorghum fibre through alkalization and acetylation treatments. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 223. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/223/1/012057>
- Kabir, M.M., Wang, H., Lau, K.T., Cardona, F., 2012. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Compos. Part B Eng.* 43, 2883–2892. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.04.053>
- Khalil, H.P.S.A., Marliana, M.M., Alshammari, T., 2011. Material properties of epoxy-reinforced biocomposites with lignin from empty fruit bunch as curing agent. *BioResources* 6, 5206–5223. <https://doi.org/10.15376/biores.6.4.5206-5223>
- Lepetit, A., Drolet, R., Tolnai, B., Zerrouki, R., Montplaisir, D., 2017. Effect of acetylation on the properties of microfibrillated cellulose-LDPE composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 134, 1–8. <https://doi.org/10.1002/app.44933>
- Lismeri, L., Darni, Y., 2017. Isolasi Mikrofilbril Selulosa Dengan Pretreatment Alkali Dari Limbah Batang Pisang (Mikrofilbril Cellulose Isolation With Alkaline Pretreatment From Banana Stem Waste), in: *Prosiding Dalam Rangka Seminar Nasional Riset Industri Ke 3*. pp. 40–45.
- Maheswari, C.U., Reddy, K.O., Muzenda, E., Guduri, B.R., Rajulu, A. V., 2012. Extraction and characterization of cellulose microfibrils from agricultural residue - *Cocos nucifera* L. *Biomass and Bioenergy* 46, 555–563. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.06.039>
- Musa, A., Ahmad, M.B., Hussein, M.Z., Izham, S.M., 2017. Acid Hydrolysis-Mediated preparation of Nanocrystalline Cellulose from Rice Straw. *Int. J. Nanomater. Nanotechnol. Nanomedicine* 3, 051–056. <https://doi.org/10.17352/2455-3492.000021>
- Mustafa, J.H., Yuanita, E., Pratama, J.N., Chalid, M., 2015. Pembuatan dan karakterisasi selulosa mikrofilbril dari serat ijuk dengan perlakuan kimia alkali dan oksidasi peroksida. pp. 4–5.
- Nasution, H., Yurnaliza, Y., Veronicha, V., Irmadani, I., Sitompul, S., 2017. Preparation and Characterization of Cellulose Microcrystalline (MCC) from Fiber of Empty Fruit Bunch Palm Oil, in: *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering* 180. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>
- Pradana, M.A., Ardhyanta, H., Farid, M., 2017. Pemisahan Selulosa dari Lignin Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Proses Alkalisasi untuk Penguat Bahan Komposit Penyerap Suara. *J. Tek. ITS* 6, 413–416. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24559>
- Saputro, A., Verawati, I., Ramahdita, G., Chalid, M., 2017. Preparation of micro-fibrillated cellulose based on sugar palm ijuk (*Arenga pinnata*) fibres through partial acid hydrolysis. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 223. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/223/1/012042>
- Simanke, A.G., De Azeredo, A.P., De Lemos, C., Mauler, R.S., 2016. Influence of nucleating agent on the crystallization kinetics and morphology of polypropylene. *Polimeros* 26, 152–160. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2053>
- Thanomchat, S., Srikulkit, K., Suksut, B., Karl Schlarb, A., 2014. Morphology and Crystallization of Polypropylene/Microfibrillated Cellulose Composites. *KMUTNB Int. J. Appl. Sci. Technol.* 7, 23–34. <https://doi.org/10.14416/j.ijast.2014.09.002>
- Tristantini, D., Dewanti, D.P., Sandra, C., Tristantini, D., Purwitasari, D., 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, in: *Proceedings of the 3rd International Symposium on Applied Chemistry 2017*. pp. 1–6.
- Wulandari, W.T., Rochliadi, A., Arcana, I.M., 2016a. Nanocellulose prepared by acid hydrolysis of isolated cellulose from sugarcane bagasse. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 107. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/107/1/012045>
- Wulandari, W.T., Rochliadi, A., Arcana, I.M., 2016b. Nanocellulose prepared by acid hydrolysis of isolated cellulose from sugarcane bagasse. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 107. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/107/1/012045>
- Yuanita, E., Pratama, J.N., Chalid, M., 2017. Preparation of Micro Fibrillated Cellulose Based on Arenga Pinnata “Ijuk” Fibre for Nucleating Agent of Polypropylene: Characterization, Optimization, and Feasibility Study, in: *Macromolecular Symposia*. pp. 61–68.
- Yuanita, E., Pratama, J.N., Mustafa, J.H., Chalid, M., 2015. Multistages preparation for microfibrillated cellulose based on Arenga Pinnata “ijuk” fiber. *Procedia Chem.* 16, 608–615. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.12.099>
- Yuwawech, K., Wootthikanokkhan, J., Tanpichai, S., 2015. Effects of two different cellulose nanofiber types on properties of poly(vinyl alcohol) composite films. *J. Nanomater.* 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/908689>