

PRODUKSI DAN KARAKTERISASI SELULOSA MIKROKRISTALIN DARI LIMBAH BATANG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) HASIL REPLANTING PERKEBUNAN

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF MICROCRYSTALLINE CELLULOSE FROM OIL PALM TRUNK WASTE (*Elaeis guineensis* Jacq.) FROM PLANTATION REPLANTING

Chandra Gunawan¹, Alfi Asben¹, Tuty Anggraini¹, dan Athanasia Amanda Septevani^{2*}

Abstrak Selulosa mikrokristalin merupakan turunan dari selulosa atau selulosa yang dimodifikasi dalam skala mikro dengan ukuran panjang sekitar 10-200 μm yang bersifat kristalin. Batang kelapa sawit dapat digunakan sebagai salah satu alternatif produksi selulosa mikrokristalin. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan selulosa mikrokristalin dari batang kelapa sawit dan mengetahui karakteristik setiap tahapan perlakuannya. Diperoleh selulosa mikrokristalin dengan kandungan selulosa yang berhasil ditingkatkan dari $31,11 \pm 2,01\%$ menjadi $84,35 \pm 1,04\%$, hal ini sesuai dengan gugus puncak serapan FTIR dan seiring dengan penurunan kandungan lignin dan hemiselulosa. Analisa XRD menunjukkan terjadinya peningkatan kristalinitas dari MCC hingga 78% setelah melalui tahapan perlakuan kimia. Hasil SEM didapatkan MCC dengan panjang dan lebar sebesar $43,2 \pm 19,6 \mu\text{m}$ dan $11,4 \pm 8,1 \mu\text{m}$ dan menunjukkan terjadinya pemecahan komponen kompleks pada serat Raw batang kelapa sawit yang digambarkan dengan struktur dari permukaan yang menjadi lebih halus dan berbentuk fibril yang teratur. Berdasarkan hasil penelitian ini, proses delignifikasi, pemutihan, dan hidrolisis asam secara bertahap

berhasil memproduksi selulosa mikrokristalin dari batang kelapa sawit.

Kata kunci: Selulosa mikrokristalin, Batang kelapa sawit, kristalinitas, Hidrolisis asam

Abstract Microcrystalline cellulose is a derivative of cellulose or cellulose that is modified on a micro scale with a length of about 10-200 μm which is crystalline. Oil palm trunks can be used as an alternative for the production of microcrystalline cellulose. This study aims to obtain microcrystalline cellulose from oil palm trunks and determine the characteristics of each stage of treatment. The obtained microcrystalline cellulose with cellulose content was successfully increased from $31.11 \pm 2.01\%$ to $84.35 \pm 1.04\%$, this was in accordance with the FTIR absorption peak group and along with the decrease in lignin and hemicellulose content. XRD analysis showed an increase in the crystallinity of MCC up to 78% after going through the chemical treatment stage. The SEM results obtained MCC with a length and width of $43.2 \pm 19.6 \mu\text{m}$ and $11.4 \pm 8.1 \mu\text{m}$ and showed the breakdown of complex components in the raw fiber of oil palm trunk which was described by the structure of the surface becoming smoother and shaped. regular fibrils. Based on the results of this study, the process of delignification, bleaching, and acid hydrolysis gradually succeeded in producing microcrystalline cellulose from oil palm trunks.

Keywords: Microcrystalline cellulose, Oil palm trunk, Crystallinity, Acid hydrolysis

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Athanasia Amanda Septevani^{2*} (✉)

¹Teknologi Industri Pertanian, Universitas Andalas, Limau Manis, Sumatera Barat

Email: athanasia.amanda.septevani@lipi.co.id

²Pusat Penelitian Kimia LIPI, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan tanaman industri penghasil minyak masak, minyak industri, dan bahan bakar. Perkebunan kelapa sawit mengalami peningkatan setiap tahunnya, khususnya di Indonesia. Hal tersebut dapat dilihat dari luas lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia yang mencapai luas 14,3 juta Ha (Ditjenbun, 2018). Luasnya lahan kelapa sawit ini harus dikendalikan dengan baik agar tanaman dapat menghasilkan hasil yang optimal. Salah satu cara mengontrol produktivitas tanaman ini adalah melakukan penanaman kembali atau peremajaan (*replanting*) pada tanaman yang sudah tidak menghasilkan (TTM), dimana tanaman kelapa sawit masuk kategori TTM pada umur 25–30 tahun berdasarkan pertimbangan segi ekonomis.

Berdasarkan data Ditjenbun (2018) diperkirakan tanaman kelapa sawit dengan kriteria TTM yang akan dilakukan *replanting* adalah seluas 172.549 Ha. Besarnya limbah biomassa yang dihasilkan dari proses *replanting* ini harus dimanfaatkan dengan baik. Kegunaan biomassa ini masih terbatas sebagai produksi pupuk dan kayu laminasi (Uke *et al.*, 2021). Selain itu, limbah batang kelapa sawit yang dibiarkan membusuk akan menjadi sarang kumbang *oryctes rhinoceros* dan jamur *ganoderma* yang mengganggu tanaman muda (Susanto *et al.*, 2013). Batang kelapa sawit jika dibakar mengakibatkan dampak negatif bagi lingkungan berupa pencemaran aliran sungai, memicu pemanasan global akibat pelepasan emisi karbon ke atmosfer, dan dapat memicu kebakaran hutan. (Hambali dan Rivai, 2017).

Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah limbah biomassa ini adalah pemanfaatan limbah batang kelapa sawit sebagai sumber selulosa. Batang kelapa sawit merupakan bahan lignoselulosa atau komponen polisakarida yang terdiri dari polimer seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selulosa adalah polimer alami paling melimpah yang tersedia di bumi dan merupakan komponen struktural penting dari dinding sel tanaman. Selain dari tanaman, selulosa juga ada dalam berbagai spesies makhluk hidup, seperti alga, jamur, bakteri, dan bahkan pada beberapa hewan laut seperti tunicate (Zinge dan Kandasubramanian, 2020).

Pada umumnya, selulosa dimanfaatkan sebagai bahan baku pada industri tekstil dan kertas. Berkembangnya pengkajian mengenai selulosa yang

menghasilkan modifikasi struktur dan karakteristik selulosa salah satunya adalah selulosa mikrokristalin (MCC). MCC merupakan turunan dari selulosa atau selulosa yang dimurnikan dengan ukuran panjang sekitar 10-200 μm yang bersifat kristalin dengan indeks kristalinitas sekitar 55-80% (Kargarzadeh *et al.*, 2017). Secara alami, selulosa terdiri dari dua daerah utama yaitu daerah amorf dan daerah kristalin. Produksi MCC menggunakan alkali dan asam kuat dapat mengakses daerah kristalin dengan menghilangkan daerah amorf. Selulosa mikrokristalin banyak diminati dan dikembangkan karena sifat mekanik, optik, kimia, reologi, bersifat biodegradable dan dapat diperbaharui atau terbarukan. Berdasarkan sifatnya tersebut MCC banyak diaplikasikan di berbagai bidang seperti teknik biomedis, ilmu material, elektronik, bahan tambahan pangan, katalis, biokomposit, *packaging* dan lainnya (Trache *et al.*, 2016).

Penelitian terdahulu pada produksi MCC sudah dilakukan dari berbagai sumber bahan baku pertanian seperti kulit jeruk, rosela, tongkol jagung, eceng gondok (Liu *et al.*, 2018; Kian *et al.*, 2017; Azubuike dan Okhamafe, 2012; Asrofi *et al.*, 2018). Pada kelapa sawit juga telah dilakukan produksi MCC dari bagian seperti tandan kosong, pelepah, *mesocarp*, dan kernel (Burhani dan Septevani, 2018; Owolabi *et al.*, 2017; Haafiz *et al.*, 2013). Pada batang kelapa sawit Lamaming *et al.*, (2017) berhasil melakukan produksi MCC dengan perlakuan pengaruh perendaman air panas.

Penelitian mengenai selulosa mikrokristalin dan aplikasinya masih sangat baru dan diperlukan penelitian lebih lanjut baik dari bahan baku, metode, perlakuan, dan aplikasi yang berbeda. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan MCC dari batang kelapa sawit dan mengetahui karakteristik serat pada setiap tahapan proses produksinya dari *raw material*, tahap delignifikasi, tahap pemutihan, dan tahap hidrolisis asam.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Batang kelapa sawit (BKS) yang digunakan diperoleh dari PT. AMP Plantation, Wilmar International Group, Agam, Indonesia, natrium

hidroksida (NaOH) diperoleh dari Merck, hidrogen peroksida 50% (H_2O_2) diperoleh dari Taekwang, asam sulfat (H_2SO_4) teknis, aquadest, dan membran dialisis.

Metode

Preparasi Sampel

Batang kelapa sawit yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah dari hasil penanaman kembali atau *replanting* perkebunan kelapa sawit dengan tahun tanam pada tahun 1995 (25 Tahun). Batang kelapa sawit hasil *replanting* yang berbentuk chip ukuran 1-2 cm terlebih dahulu dihaluskan menggunakan grinder, kemudian dicuci menggunakan air dan dikeringkan pada suhu 50°C dalam oven hingga kadar air kecil dari 10%, lalu dihaluskan menggunakan grinder hingga didapatkan serat yang lolos ayakan 30 mesh.

Delignifikasi

Proses delignifikasi atau *pretreatment* bertujuan mengurangi dan menghilangkan kandungan lignin dengan menggunakan larutan alkali (Septevani, Burhani dan Sudiyarmanto, 2018). Serat batang kelapa sawit 500 gr ditambahkan larutan NaOH 17,5% sebanyak 2,5 liter dimasukkan ke dalam tangki reaktor berpengaduk pada suhu 150°C dan tekanan 4 bar selama 30 menit. Batang kelapa sawit berupa pulp yang telah terdelignifikasi dicuci dengan air hingga pH netral. Kemudian dilakukan analisis komponen sebelum dan sesudah delignifikasi untuk mengetahui efektifitas proses delignifikasi.

Pemutihan (*Bleaching*)

Proses pemutihan akan menghilangkan residu lignin yang tersisa dan kotoran lainnya tanpa perubahan kristalinitas atau *polimorfisme* selulosa. Proses ini akan menghasilkan selulosa putih dengan resistensi penuaan yang lebih baik atau pucat (Wu *et al.*, 2019). Pemutihan dilakukan dengan melarutkan pulp hasil delignifikasi dalam larutan H_2O_2 50% dengan perbandingan 1:100 pada suhu 80°C selama 1 jam sambil diaduk. Kemudian hasil pemutihan yang berupa cake dibilas menggunakan air hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven selama 1 malam pada suhu 50°C. Pemutihan dilakukan sebanyak 2 tahap dengan

prosedur yang sama dan dilakukan uji komponen kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

Produksi MCC Menggunakan Asam

Salah satu cara produksi selulosa yang digunakan adalah dengan menggunakan hidrolisis asam kuat. Asam kuat dapat menghilangkan bagian amorf dari suatu rantai selulosa sehingga bagian kristalin dapat diproduksi dari selulosa (Kargarzadeh *et al.*, 2017). Hidrolisis asam dilakukan dengan selulosa BKS ditambahkan larutan H_2SO_4 36% dengan perbandingan 1:80 dan diaduk menggunakan *stirrer* pada suhu 50°C selama 3,5 jam. Kemudian hasil hidrolisis di *centrifuge* untuk memisahkan MCC dari filtrat dan dibilas dengan aquadest hingga bersih, lalu lakukan dialisis hingga didapatkan pH yang netral. MCC yang telah netral kemudian dikeringkan dengan metode pengeringan beku menggunakan *freeze dry* selama + 27 jam hingga didapatkan MCC dalam bentuk bubuk atau *powder*.

Analisa Komponen

Analisa komponen menggunakan HPLC kolom Aminex HPX 87H (300x7,8 mm) (Water 2414) dan Spektrofotometri uv-vis dilakukan mengikuti metode NREL (Sluiter *et al.*, 2012). Langkah awal adalah melakukan preparasi sampel dengan menimbang sampel sebanyak 0,3 gram (kadar air <10%) ke dalam *test tube*, kemudian dihidrolisis dengan menambahkan H_2SO_4 72% 3 ml dan diamkan selama 2 jam dalam *heating block* pada suhu 30°C (divortex setiap 30 menit). Setelah hidrolisis pertama selesai, pindahkan sampel ke dalam botol *schoot* yang berisi 42 ml aquadest dan bilas *test tube* dengan 42 ml aquadest (total vol. 87 ml). Kemudian dilanjutkan hidrolisis kedua dengan masukkan sampel ke dalam *autoklave* suhu 121°C selama 1 jam. Setelah itu, sampel didinginkan dalam desikator. Setelah dingin, dilakukan filtrasi sistem vakum dengan menggunakan kertas saring 0,45 μm yang telah ditimbang sebelumnya. Hasil penyaringan berupa endapan yang tersisa dan kertas saring dikeringkan dan ditimbang beratnya dalam cawan porselen untuk dilakukan pengujian kadar abu dan %lignin tak larut. Sementara filtrat hasil penyaringan diambil 10 ml untuk analisa kadar gula dengan 3 ml sampel dinetralkan dengan penambahan $CaCO_3$, setelah netral larutan disaring dengan

membran untuk dilakukan pengukuran kadar gula menggunakan HPLC (glucose, xylose). Filtrat hasil penyaringan lainnya dilakukan pengukuran lignin terlarut dengan menambahkan 0,1 ml filtrat ke dalam tes tube dan tambahkan 3ml H₂SO₄ 4%, kemudian

dilakukan pengenceran 10x (tergantung kepekatan filtrat) agar dapat terdeteksi oleh spektrofotometer UV-Vis untuk mengukur absorbannya pada panjang gelombang lignin $\lambda = 205$ nm. Adapun rumus perhitungan kadar lignin adalah:

$$\% \text{Lignin terlarut} = \frac{((\text{Absorban UV} \times F.\text{Pengencer}) \times 87/1000)}{\text{Berat kering biomass}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\% \text{Lignin tidak terlarut} = \frac{\text{Berat kering endapan biomass} - \text{Abu}}{\text{Berat kering biomass}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\% \text{Lignin total} = \% \text{Lignin terlarut} + \% \text{Lignin tidak terlarut} \quad (3)$$

ATR-FTIR

Analisis struktur kimia menggunakan *Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (ATR-FTIR) Thermo-Nicolet 5700, USA (Thermo Scientific iS10) untuk menentukan perubahan kimia pada setiap tahapan proses produksi. Pemindaian dilakukan pada bilangan gelombang 500 – 4000 cm⁻¹.

X-ray diffraction (XRD)

Analisis kristalinitas yang dilakukan menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) Rigaku/SMART Lab dengan radiasi Cu-K α ($\lambda = 1.5406$ A, tegangan= 40 kV, arus = 30 mA) yang diukur pada rentang sudut $2\theta = 2^\circ - 60^\circ$. Indeks kristalinitas (CI) digunakan untuk mengetahui kuantitatif dari kristalinitas, yang menunjukkan jumlah relatif daerah kristalin dan amorf dari struktur selulosa. Indeks kristalinitas (%) dihitung menggunakan persamaan Segal *et al.*, (1959), yang dinyatakan dalam Persamaan (4)

$$CI (\%) = \left(\frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \right) \times 100. \quad (4)$$

Dimana, I_{002} adalah intensitas maksimum difraksi pada 2θ antara $22^\circ - 23^\circ$ untuk selulosa I dan antara $18^\circ - 22^\circ$ untuk selulosa II yang dikaitkan dengan daerah kristal sedangkan I_{am} adalah intensitas minimum difraksi yang dikaitkan dengan daerah amorf pada 2θ antara $18-19$ untuk selulosa I dan antara $13-15$ untuk selulosa II (Xiang *et al.*, 2016)

Scanning Electron Microscopy (SEM)

Struktur morfologi Raw BKS, D-eMC, B-eMC 1x, dan B-eMC 2x diamati melalui mikroskop elektron SEM (Hitachi SU3500, Japan). Sampel padatan kering dengan ukuran pada kisaran 2-5 mm dilapisi dengan emas (40-50 nm) untuk meningkatkan konduktivitas dan diamati pada tegangan 5 kV. Sampel diamati pada perbesaran 100 μm untuk mengamati morfologi permukaan sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Komponen

Komposisi kimia dan penampakan dari visual dari Raw BKS, tahap delignifikasi, pemutihan, dan selulosa mikrokristalin disajikan pada tabel 1.

Pada tahapan proses delignifikasi menghasilkan serat yang berbentuk bubuk yang biasa disebut pulp. Pada tahap delignifikasi ini menunjukkan kehilangan lignin yang signifikan dari 30,18% menjadi 4,66% dan kandungan hemiselulosa dari 6,24% menjadi 3,51%, kehilangan lignin dan hemiselulosa tersebut diiringi dengan peningkatan selulosa secara signifikan dari 31,11% menjadi 80,85%. Penurunan kandungan lignin tersebut terjadi akibat larutan alkali (NaOH) yang mampu melarutkan lignin dan juga sebagian hemiselulosa (Septevani *et al.*, 2018). Proses delignifikasi dapat meningkatkan aksesibilitas permukaan lignoselulosa, mengubah kristalinitas, memutus ikatan hidrogen, serta meningkatkan reaktivitas selulosa sehingga dapat mengurangi energi

yang dibutuhkan untuk proses produksi MCC (Septevani *et al.*, 2020).

Pada tahap pemutihan B-eMC 1x menggunakan larutan hidrogen peroksida secara fisik didapatkan serat yang putih tetapi masih terlihat sedikit kekuningan. Kemudian pada pemutihan B-eMC 2x

serat sudah terlihat putih seperti kapas. Terjadi penurunan lignin seiring dengan pemutihan serat. Hal tersebut disebabkan oleh hidrogen peroksida mengoksidasi unit non-fenolik lignin melalui pelepasan satu elektron dan membentuk radikal kation yang kemudian terurai secara kimiawi (Wu *et al.*, 2019).

Tabel 1. Hasil analisis komponen
Table 1. Component analysis result

| Proses | Bentuk Fisik | Analisis Komponen | | | | |
|-------------------------------|---|-------------------|------------------|--------------|---------------|---------------|
| | | Selulosa (%) | Hemiselulosa (%) | Lignin (%) | Kadar Abu (%) | Kadar air (%) |
| Raw BKS |  | 31.11 ± 2.01 | 6.24 ± 0.28 | 30.18 ± 0.35 | 1.62 ± 0.07 | 7.34 ± 0.02 |
| Delignifikasi D-eMC |  | 80.85 ± 0.31 | 3.51 ± 0.06 | 4.66 ± 0.56 | 0.35 ± 0.08 | 8.61 ± 0.03 |
| Bleaching 1x (B-eMC 1x) |  | 81.75 ± 0.12 | 2.32 ± 0.07 | 2.31 ± 0.29 | 0.61 ± 0.04 | 8.43 ± 0.03 |
| Bleaching 2x (B-eMC 2x) |  | 84.28 ± 0.58 | 1.74 ± 0.06 | 2.02 ± 0.24 | 0.71 ± 0.04 | 7.35 ± 0.04 |
| Selulosa Mikrokristalin (MCC) |  | 84.35 ± 1.04 | 1.39 ± 0.07 | 1.19 ± 0.25 | 0.7 ± 0.02 | 6.97 ± 0.05 |

± Nilai standar deviasi
± standard deviation value

Selain degradasi terhadap lignin juga terjadi degradasi terhadap hemiselulosa dan seiring dengan peningkatan terhadap kandungan selulosa. Hidrogen peroksida sebagai bahan pemutih pulp ini antara lain tidak menghasilkan endapan, larutan hidrogen

peroksida menghasilkan produk yang putih bersih dan bahan organik yang diputihkan tidak mengalami kerusakan. Selain itu OOH yang berperan dalam oksidasi bersifat yang ramah terhadap lingkungan. Hidrogen peroksida didalam air akan terurai menjadi

ion H⁺ dan OOH⁻. Ion OOH ini merupakan oksidator kuat yang berperan pada proses pemutihan pulp karena zat warna lama atau pigmen alam yang merupakan senyawa organik yang mempunyai ikatan rangkap dapat dioksidasi menjadi senyawa yang lebih sederhana atau dapat direduksi menjadi senyawa yang mempunyai ikatan tunggal, sehingga dihasilkan pulp putih.

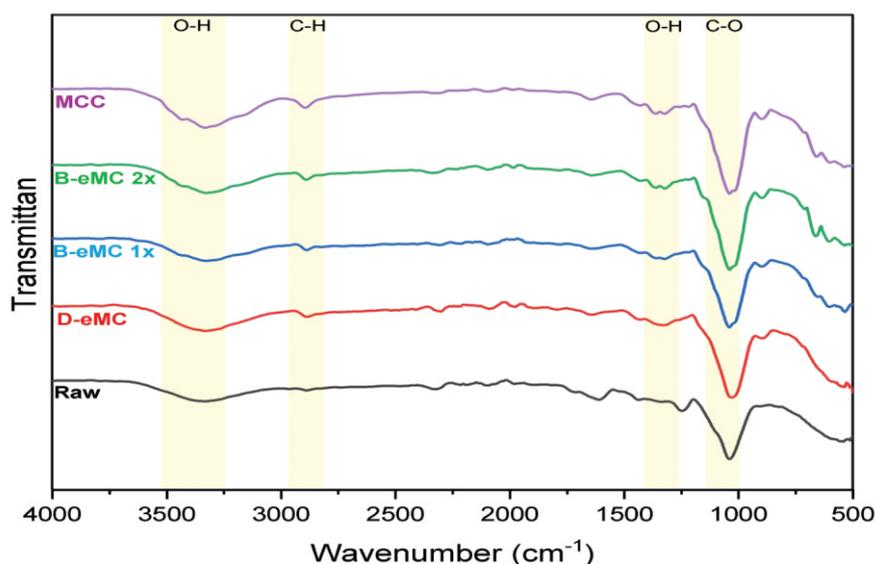
Pada tahap produksi MCC didapatkan kandungan selulosa sebesar 84,5%. Pada penelitian sebelumnya, Septevani *et al.*, (2018) mendapatkan kemurnian selulosa standar sebesar 80,8%. Hal ini menunjukkan bahwa proses produksi MCC yang dilakukan secara bertahap ini mampu mendegradasi lignin dan hemiselulosa tanpa merusak struktur selulosa.

ATR-FTIR

Analisis menggunakan FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan perubahan kimia yang terjadi pada tahapan yang dilakukan. Spektrum FTIR dari Raw, D-eMC, B-eMC 1x, B-eMC 2x, dan MCC dapat dilihat pada gambar 1. Dapat diamati, setiap sampel pada umumnya menunjukkan spektrum FTIR yang sama dan terlihat ada perbedaan ketajaman pada beberapa titik spektrum. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan beberapa karakteristik kimia, akan tetapi struktur kimia pada tiap tahapan tidak mengalami perubahan

struktur. Pada gambar 1 dapat diamati terdapat puncak absorpsi yang luas terletak pada kisaran bilangan gelombang 3550-3200 cm⁻¹ (O-H stretching), bilangan gelombang 1420-1330 cm⁻¹ (O-H bending), dan bilangan gelombang 1124-1050 cm⁻¹ (C-O stretching). Hal ini menandakan adanya indikasi serapan dari gugus fungsi selulosa yang pada dasarnya merupakan rantai linear molekul glukosa yang terdiri dari 10.000-15.000 unit berulang dua rantai anhidroglukosa (Septevani *et al.*, 2018).

Pada spektrum FTIR MCC terdapat dua perengangan bilangan gelombang (3428 dan 3331 cm⁻¹) dan terdapat perbedaan perengangan yang lebih tajam bila dibandingkan dari perlakuan sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan hidrolisis asam dapat menyerang ikatan hidrogen antarmolekul antara molekul selulosa dan lignin yang mengarah pada pembentukan gugus hidroksil aktif pada permukaan struktur MCC. Selain itu, pada bilangan gelombang 3000-2850 cm⁻¹ juga mengalami perubahan pada intensitas serapan C-H. Dimana menurut Harun *et al.*, (2012), intensitas pada wilayah tersebut terkait perengangan C-H selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang disebabkan oleh perlakuan kimia maupun mekanis. Dari uraian diatas menunjukkan bahwa tahapan delignifikasi, bleaching, dan hidrolisis asam pada pembuatan MCC BKS ini mampu mengurangi kadar lignin dan hemiselulosa tanpa merusak struktur selulosa.

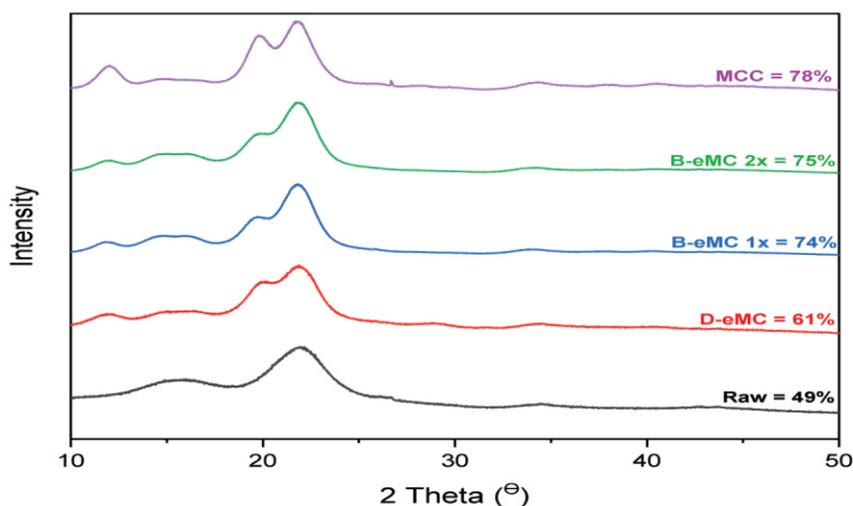


Gambar 1. FTIR-ATR sampel Batang Kelapa Sawit setiap tahapan
 Figure 1. FTIR-ATR samples of Oil Palm Trunk at each stage

X-ray diffraction (XRD)

Mengkarakterisasi struktur kristal suatu bahan padatan menggunakan XRD. Pada gambar 2 menunjukkan nilai puncak (intensity) dan nilai 2^θ dari sampel BKS pada setiap tahapan perlakuan produksi MCC. Semua intensitas menunjukkan

puncak daerah amorf pada area $2^\theta = 18^\circ$ dan struktur kristal pada area $2^\theta = 22-23^\circ$. Indeks kristalinitas dihitung dengan persamaan 1 menggunakan metode Segal's, dimana didapatkan %CI dari Raw, D-eMC, B-eMC 1x, B-eMC 2x, dan MCC masing-masing sebesar 49, 61, 74, 75, 78%.



Gambar 2. Kurva intensitas XRD sampel BKS
Figure 2. The XRD intensity curve of the BKS sample

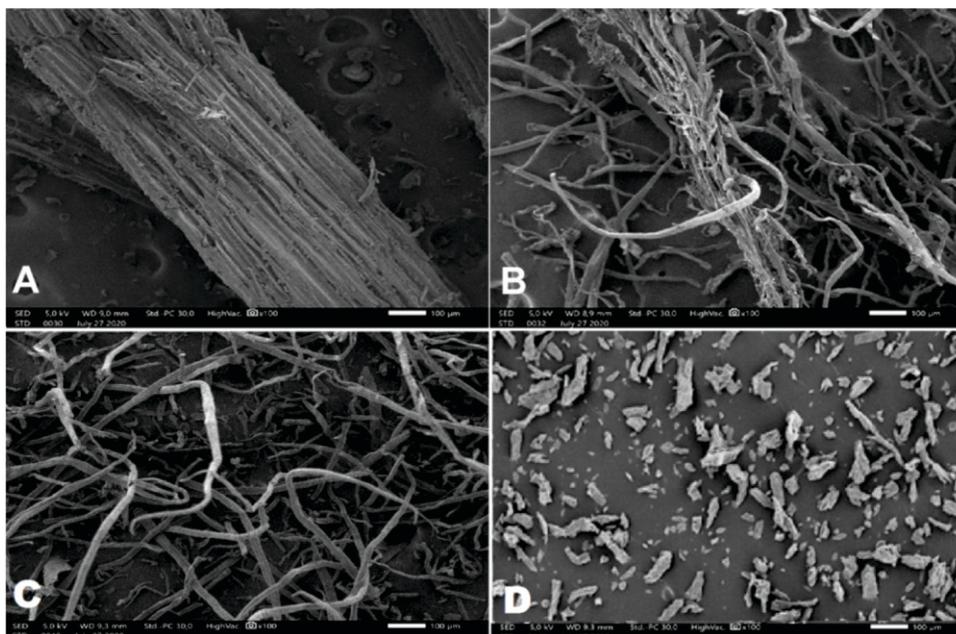
Peningkatan indeks kristalinitas ini terjadi secara signifikan setiap tahapan proses ekstraksi MCC, hal ini disebabkan oleh perlakuan kimia berupa delignifikasi, bleaching, dan hidrolisis asam. Perlakuan kimia tersebut secara selektif berhasil mendegradasi bagian daerah amorf dan mempertahankan integritas struktur kristal. Penelitian serupa pada batang kelapa sawit sebelumnya menghasilkan indeks kristalinitas sebesar 69,61% Lamaming *et al.*, (2015), sedangkan pada tandan kosong kelapa sawit didapatkan nilai kristalinitas sebesar 82,5% dan dibandingkan dengan MCC komersial dengan nilai kristalinitas sebesar 81,9% (Xiang *et al.*, 2016). Perbedaan tingkat kristalinitas tersebut dipengaruhi oleh berbagai perlakuan baik kimia maupun mekanis, selain itu bahan baku dari produksi MCC juga sangat berpengaruh.

Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pemindaian dengan elektron mikroskop digunakan untuk melihat gambaran dari bentuk, struktur, dan morfologi permukaan dari setiap tahapan proses produksi MCC batang kelapa sawit yang ditampilkan pada gambar 3.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada penelitian ini, MCC berhasil diproduksi dari batang kelapa sawit menggunakan delignifikasi basa, pemutihan bertahap, dan hidrolisis asam kuat. Hasil penelitian didapatkan MCC dengan kemurnian selulosa sebesar 84,35%. Spektrum FTIR, dan analisis komponen menggunakan HPLC menunjukkan terjadinya degradasi terhadap lignin dan hemiselulosa pada setiap tahapan secara simultan terhadap peningkatan kandungan selulosa. Analisis XRD menunjukkan kristalinitas meningkat pada setiap tahapan dengan hilangnya daerah amorf sehingga meningkatnya kristalinitas. Indeks kristalinitas yang tinggi sangat cocok digunakan sebagai bahan *filler* pada biokomposit. Mikrograf SEM didapatkan MCC dengan panjang dan lebar sebesar $43,2 \pm 19,6 \mu\text{m}$ dan $11,4 \pm 8,1 \mu\text{m}$ dan menunjukkan adanya pemecahan molekul kompleks dari serat BKS sehingga selulosa dapat diakses dengan perlakuan kimia bertahap.



Gambar 3. Hasil SEM (a) Raw BKS, (b) D-eMC, (c) B-eMC, (d) MCC (100µm)
 Figure 3. SEM result (a) Raw BKS, (b) D-eMC, (c) B-eMC, (d) MCC (100µm)

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan rasa terimakasih kepada Pusat Penelitian Kimia LIPI atas fasilitas penelitian dan pengujian dan kepada Gita Novi Ariani atas bantuan teknis pada proses produksi MCC dan analisa.

DAFTAR PUSTAKA

- Asrofi, M., Abral, H., Kasim, A., Pratoto, A., Mahardika, M., Park, J. W., & Kim, H. J. (2018). Isolation of Nanocellulose from Water Hyacinth Fiber (WHF) Produced via Digester-Sonication and Its Characterization. *Fibers and Polymers*, 19(8), 1618–1625.
<https://doi.org/10.1007/s12221-018-7953-1>
- Azubuike, C. P., & Okhamafe, A. O. (2012). Physicochemical, spectroscopic and thermal properties of microcrystalline cellulose derived from corn cobs. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 1(1).
<https://doi.org/10.1186/2251-7715-1-9>
- Burhani, D., & Septevani, A. A. (2018). Isolation of

nanocellulose from oil palm empty fruit bunches using strong acid hydrolysis. *AIP Conference Proceedings*, 2024.

<https://doi.org/10.1063/1.5064291>

Ditjenbun. (2018). *Statistik Perkebunan Kelapa Sawit*. ditjenbun.pertanian.go.id

Haafiz, M. K. M., Hassan, A., Zakaria, Z., Inuwa, I. M., Islam, M. S., & Jawaid, M. (2013). Properties of polylactic acid composites reinforced with oil palm biomass microcrystalline cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 139–145.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.069>

Hambali, E., & Rivai, M. (2017). The Potential of Palm Oil Waste Biomass in Indonesia in 2020 and 2030. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 65(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/65/1/012050>

Harun, N. A. F., Baharuddin, A. S., Zainudin, M. H. M., Bahrin, E. K., Naim, M. N., & Zakaria, R. (2013). Cellulase production from treated oil palm empty fruit bunch degradation by locally isolated *Thermobifida fusca*. *BioResources*, 8(1), 676–687.

- <https://doi.org/10.15376/biores.8.1.676-687>
- Kargarzadeh, H., Ioelovich, M., Ahmad, I., Thomas, S., & Dufresne, A. (2017). Methods for Extraction of Nanocellulose from Various Sources. In *Handbook of Nanocellulose and Cellulose Nanocomposites* (pp. 1–49). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- <https://doi.org/10.1002/9783527689972.ch1>
- Kian, L. K., Jawaid, M., Ariffin, H., & Alothman, O. Y. (2017). Isolation and characterization of microcrystalline cellulose from roselle fibers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 931–940. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.135>
- Lamaming, J., Chai Chew, S., Hashim, R., Sulaiman, O., & Sugimoto, T. (2017). Extraction of Microcrystalline Cellulose from Oil Palm Trunk. *Journal of the Japan Institute of Energy*, 96(11), 513–518. <https://doi.org/10.3775/jie.96.513>
- Lamaming, J., Hashim, R., Sulaiman, O., Leh, C. P., Sugimoto, T., & Nordin, N. A. (2015). Cellulose nanocrystals isolated from oil palm trunk. *Carbohydrate Polymers*, 127, 202–208. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.043>
- Liu, Y., Liu, A., Ibrahim, S. A., Yang, H., & Huang, W. (2018). Isolation and characterization of microcrystalline cellulose from pomelo peel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 111, 717–721. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.098>
- Owolabi, A. F., Haafiz, M. K. M., Hossain, M. S., Hussin, M. H., & Fazita, M. R. N. (2017). Influence of alkaline hydrogen peroxide pre-hydrolysis on the isolation of microcrystalline cellulose from oil palm fronds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95, 1228–1234. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.016>
- Segal, L., Creely, J. J., Martin, A. E., & Conrad, C. M. (1959). An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer. *Textile Research Journal*, 29(10), 786–794. <https://doi.org/10.1177/004051755902901003>
- Septevani, A. A., Burhani, D., & Sudiyarmanto, S. (2018). Pengaruh Proses Pemutihan Multi Tahap Serat Selulosa Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 40(2), 71. <https://doi.org/10.24817/jkk.v40i2.3508>
- Septevani, A. A., Rifathin, A., Sari, A. A., Sampora, Y., Ariani, G. N., Sudiyarmanto, & Sondari, D. (2020). Oil palm empty fruit bunch-based nanocellulose as a super-adsorbent for water remediation. *Carbohydrate Polymers*, 229(May 2019), 115433. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115433>
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., & Crocker, D. (2012). Determination of structural carbohydrates and lignin in Biomass - NREL/TP-510-42618. *Laboratory Analytical Procedure (LAP)*, April 2008, 17. <http://www.nrel.gov/docs/gen/fy13/42618.pdf>
- Susanto, A., Prasetyo, A., Priwiratama, H., Wening, S., & Suriyanto, S. (2013). Ganoderma boninense Penyebab Penyakit Busuk Batang Atas Kelapa Sawit. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 9(4), 123–126. <https://doi.org/10.14692/jfi.9.4.123>
- Trache, D., Hussin, M. H., Hui Chuin, C. T., Sabar, S., Fazita, M. R. N., Taiwo, O. F. A., Hassan, T. M., & Haafiz, M. K. M. (2016). Microcrystalline cellulose: Isolation, characterization and bio-composites application—A review. In *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.09.056>
- Uke, A., Nakazono-Nagaoka, E., Chuah, J.-A., Zain, N.-A. A., Amir, H.-G., Sudesh, K., Abidin, N. Z. H. A. Z., Hashim, Z., & Kosugi, A. (2021). Effect of decomposing oil palm trunk fibers on plant growth and soil microbial community composition. *Journal of Environmental Management*, 295(March), 113050. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113050>
- Wu, Y., Wu, J., Yang, F., Tang, C., & Huang, Q. (2019). Effect of H₂O₂ Bleaching Treatment on the Properties of Finished Transparent Wood. *Polymers*, 11(5), 776. <https://doi.org/10.3390/polym11050776>

Xiang, L. Y., P. Mohammed, M. A., & Samsu Baharuddin, A. (2016). Characterisation of microcrystalline cellulose from oil palm fibres for food applications. *Carbohydrate Polymers*, 148, 11–20.

<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.055>

Zinge, C., & Kandasubramanian, B. (2020). Nanocellulose based Biodegradable Polymers. *European Polymer Journal*, 109758. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109758>