



Isolasi Mikroselulosa dari Limbah Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan Metode *Bleaching*-Alkalinasi

Jeesica Hermayanti Pratama^a, Rizka Lailatul Rohmah^b, Amalia Amalia^a, Teguh Endah Saraswati^{a*}

^a Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A, Ketingan Surakarta 57126

^b Program Studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kedokteran, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A, Ketingan Surakarta 57126

* Corresponding author

E-mail: teguh@mipa.uns.ac.id

DOI: 10.20961/alchemy.15.2.30862.239-250

Received 22 Juni 2019, Accepted 20 September 2019, Published 30 September 2019

ABSTRAK

Isolasi selulosa dari tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) berhasil dilakukan dengan menggunakan metode *bleaching* diikuti dengan alkalinasi. Metode *bleaching* dilakukan menggunakan NaOCl dengan pengadukan dan pemanasan suhu rendah yaitu 80 °C selama 4 jam, diikuti dengan metode alkalinasi menggunakan NaOH dengan pemanasan pada suhu rendah yaitu 45 °C selama 3 jam. Penerapan metode *bleaching* dan alkalinasi ini bertujuan untuk delignifikasi dengan memutuskan rantai polimerik diantara selulosa dengan lignin atau hemiselulosa. Selain itu, proses oksidasi lanjut juga terjadi karena keberadaan HOCl dan OH⁻ sebagai hasil peruraian NaOCl dan NaOH. Setelah pencucian hingga pH netral, hasil isolasi yang didapatkan adalah berupa serbuk putih yang secara fisis berbeda dari material awal sebelum perlakuan. Hasil rendemen berkisar 6 – 20% dengan penyusutan massa sebesar 80%. Analisa gugus fungsi hasil isolat dengan spektrometer Fourier Transform Infrared (FTIR) menunjukkan keberadaan serapan dari gugus hidroksil –OH, –C–H, =C–H, –OH dan C=O (gugus karboksilat), C–H dan C–O, dan C–O–C pada cincin piranosa yang menguatkan keberhasilan isolasi selulosa. Berdasarkan observasi morfologi dan struktur dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM), selulosa hasil isolasi berbentuk butiran kristal dengan ukuran mikrometer yang secara signifikan berbeda dari penampakan fisis serat awal sebelum perlakuan.

Kata kunci: alkalinasi, *bleaching*, Eceng gondok, isolasi, selulosa

ABSTRACT

Isolation of Cellulose Microfiber from Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Waste by Bleaching-Alkalinization Method. Cellulose isolation from water hyacinth plants (*Eichhornia crassipes*) was successfully performed using bleaching followed by alkalinization methods. The bleaching method was carried out using NaOCl with stirring and heating at a low temperature of 80 °C for 4 hours. This method was then followed by an alkalinization method using NaOH with heating at a low temperature of 45 °C for 3 hours. The application of the bleaching followed by alkalinization method aimed to proceed the delignification by breaking the polymeric chain between cellulose and lignin or hemicellulose. In addition, the process of advanced oxidation also occurred due to the presence of HOCl and OH⁻ decomposed from NaOCl and NaOH. The solid was then washed until the pH of the solution was neutral. As results, the white powder solid was obtained which was physically different from the initial material before treatment. The yield obtained was around 6 – 20% with a mass shrinkage of 80%. Analysis of the functional groups of the isolates using Fourier transform infrared (FTIR) spectrometers showed the presence of the hydroxyl groups –OH, –C–H, =C–H, –OH and C=O (carboxylic groups), CH and C–O, and C–O–C on the pyranose ring that reinforces the success of the

cellulose isolation. Based on morphological dan structural observations under a scanning electron microscope (SEM), the cellulose isolated was in crystalline granules in micrometer size which was significantly different compared to the physical appearance of the initial fiber before treatment.

Keywords: *alkalization, bleaching, isolation, cellulose, water hyacinth*

PENDAHULUAN

Selulosa merupakan komponen struktural yang tergolong sebagai karbohidrat dan utama terkandung dalam biomassa sebesar 40 – 50% dari berat (Chatterjee *et al.*, 2015). Struktur dasar selulosa adalah polimer linier dari untaian β -glukosa yang tidak bercabang. Tidak seperti pati, unit – unit glukosa dalam selulosa tergabung bersama melalui ikatan beta-1,4 glikosidik, yang memungkinkan rantai selulosa erat dan membentuk ikatan hidrogen inter- dan antar-rantai yang kuat. Keberadaan untaian-untaian selulosa dalam biomassa berkayu terjalin kuat dengan lignin yang merupakan matrik kedap air dan dihubungkan dengan hemiselulosa. Oleh karena itu, selulosa umumnya bersifat kaku, kristal, tidak larut dalam air, dan sulit dihidrolisis dengan asam ringan maupun secara enzimatik (Chatterjee *et al.*, 2015).

Selulosa dapat ditemukan di semua bagian tumbuhan dan menjadi struktur dinding sel tumbuhan, misalnya pada tangkai, batang, dahan, dan semua bagian berkayu dari jaringan tumbuhan. Salah satu tanaman yang berpotensi untuk diambil kandungan selulosanya dengan mudah adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Eceng gondok (EG) merupakan salah satu tanaman yang keberadaannya melimpah di berbagai daerah di Indonesia. Tanaman ini memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga seringkali dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Tanaman EG dapat menyebar melalui berbagai saluran air dari satu ke yang lain dengan mudah. Perkembangbiakkan EG yang sangat cepat menimbulkan masalah lingkungan dan aktivitas sungai seperti mempercepat pendangkalan sungai atau danau, menurunkan produksi ikan, mempersulit saluran irigasi, dan menyebabkan penguapan air sampai 3 sampai 7 kali lebih besar daripada penguapan air di perairan terbuka (Fachry, 2010).

Beberapa komponen yang terkandung pada EG kering, yaitu selulosa 64,51%; pentosa 15,61%, lignin 7,69%, silika 5,56% dan abu 12% (Aini *and* Kuswytasari, 2013). Keberadaan komponen tersebut menjadikan EG berpotensi untuk dimanfaatkan diberbagai industri. Sebagai contohnya adalah turunan selulosa seperti *carboxymethyl cellulose* (CMC) yang banyak digunakan industri farmasi, pangan, dan kosmetik, atau selulosa asetat yang sebagai bahan pembuat bioplastik dan *packaging*. Selulosa asetat merupakan senyawa turunan selulosa yang diperoleh melalui esterifikasi menggunakan pereaksi asetat anhidrida.

Selulosa asetat merupakan salah satu jenis polimer yang banyak digunakan untuk industri. Selulosa asetat secara umum dibedakan atas dua jenis yaitu selulosa triasetat (selulosa asetat primer) dan selulosa diasetat (selulosa asetat sekunder). Selulosa asetat primer dibuat melalui reaksi esterifikasi (asetilasi) selulosa dengan pereaksi anhidrida asetat, sedangkan selulosa asetat sekunder dibuat dengan cara menghidrolisis selulosa asetat primer (Syamsu dan Kuryani, 2014).

Isolasi selulosa dari biomassa umumnya dapat dilakukan dengan beberapa metode sebagai contoh: perlakuan ultrasonikasi, teknologi enzimatik, metode asam, dan metode alkalinasi. Perlakuan dengan teknologi enzimatik dalam isolasi selulosa dapat dilakukan dengan menggunakan sukrosa dan ekstrak ragi untuk mendukung pertumbuhan jamur menghasilkan serat selulosa. Hasil serat kemudian dibekukan dalam *cryocrushing* menggunakan nitrogen cair, dilanjutkan dengan penggerusan dan pencucian untuk mendapatkan serat dalam ukuran mikro (Janardhnan *and* Sain, 2006).

Metode isolasi dengan perlakuan menggunakan asam dengan pemanasan memiliki kesamaan tujuan dengan metode alkalinasi yaitu untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa (Pingali *et al.*, 2010). Namun begitu penggunaan asam yang terlalu kuat dan suhu yang terlalu tinggi serta waktu reaksi yang terlalu lama dapat mengakibatkan kerusakan struktur selulosa sehingga selulosa gagal untuk diisolasi (Radotic *and* Micic, 2016).

Metode alkalinasi diawali dengan memperlakukan serat dalam sodium hidroksida (NaOH) dan pelarut organik seperti etanol, metanol atau toluena, untuk menghilangkan hemiselulosa dan lignin. Hasil yang diperoleh biasanya masih berwarna kecoklatan, sehingga metode ini kemudian diikuti dengan *bleaching* dan pencucian dengan campuran sodium klorit (NaOCl₂), asam asetat, NaOH dan air untuk menghilangkan residu lignin dan hemiselulosa yang masih tersisa (Bhattacharya *et al.*, 2008). Metode alkalinasi ini dapat dilakukan bersamaan dengan perlakuan mekanik dengan ultrasonikasi untuk mendapatkan serat dalam ukuran nano (Sun *et al.*, 2004). Perlakuan berulang kali dengan NaOH dan pelarut organik dalam beberapa tahapan pada metode alkalin ini dirasa tidak efektif karena dapat merusak struktur selulosa sehingga isolasi selulosa tidak dapat berjalan secara optimal.

Berdasarkan beberapa metode isolasi tersebut, dengan mempertimbangkan kemudahan metode isolasi, metode alkalinasi merupakan metode yang paling mudah untuk diterapkan. Akan tetapi untuk lebih mempercepat waktu proses isolasi, pemotongan perlakuan basa dan pelarutan dengan pelarut organik diawal tahapan diganti dengan metode

bleaching diyakini dapat menghasilkan serat selulosa yang lebih banyak dalam waktu yang lebih singkat.

Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan *bleaching* di awal tahapan yang dapat berfungsi sebagai proses pelarutan lignin dan hemiselulosa secara lebih optimal. Penggunaan sodium hipoklorit (NaOCl) berlebih, menyebabkan proses oksidasi akan terjadi lebih lanjut menghasilkan selulosa yang dapat digunakan sebagai salah satu komponen dalam pembuatan bioplastik.

Proses ini kemudian dapat diikuti dengan pencucian menggunakan NaOH untuk menghasilkan selulosa dengan kemurnian yang tinggi tanpa mengandung lignin dan hemiselulosa, selain juga untuk mengoksidasi lanjut selulosa yang terisolasi menjadi selulosa dengan gugus fungsi aldehid dan karboksilat. Pembalikan dari proses ini diduga dapat lebih efektif untuk mengisolasi selulosa dari EG. Sejauh penelusuran literatur penulis, pembalikan metode ini yang dilakukan tanpa menggunakan pelarut organik non-polar belum pernah dilaporkan sebelumnya sebagai metode isolasi selulosa baik pada EG maupun pada biomassa lainnya (Bhattacharya *et al.*, 2008; Chatterjee *et al.*, 2015; Cherian *et al.*, 2008; Janardhnan and Sain, 2006; Leite *et al.* 2017; Modenbach and Nokes, 2014; Rachmawaty *et al.*, 2013; Radotic and Micic, 2016; Sun *et al.*, 2004; Sundari *et al.*, 2012). Untuk mendapatkan ukuran serat dalam ukuran mikrometer, proses *bleaching* dalam penelitian ini dilakukan bersamaan dengan pengadukan dan pemanasan dengan suhu yang tidak terlalu tinggi dalam waktu kurang dari 5 jam untuk mencegah kerusakan struktur selulosa.

METODE

Tahapan Penelitian

Preparasi awal serbuk EG

EG dikeringkan di bawah sinar matahari selama 7 hari. EG kering dicuci hingga bersih dan dipotong kecil-kecil menggunakan gunting, kemudian dihaluskan menggunakan blender hingga diperoleh sampel berukuran kurang dari 1 mm.

Isolasi Selulosa dari serbuk EG

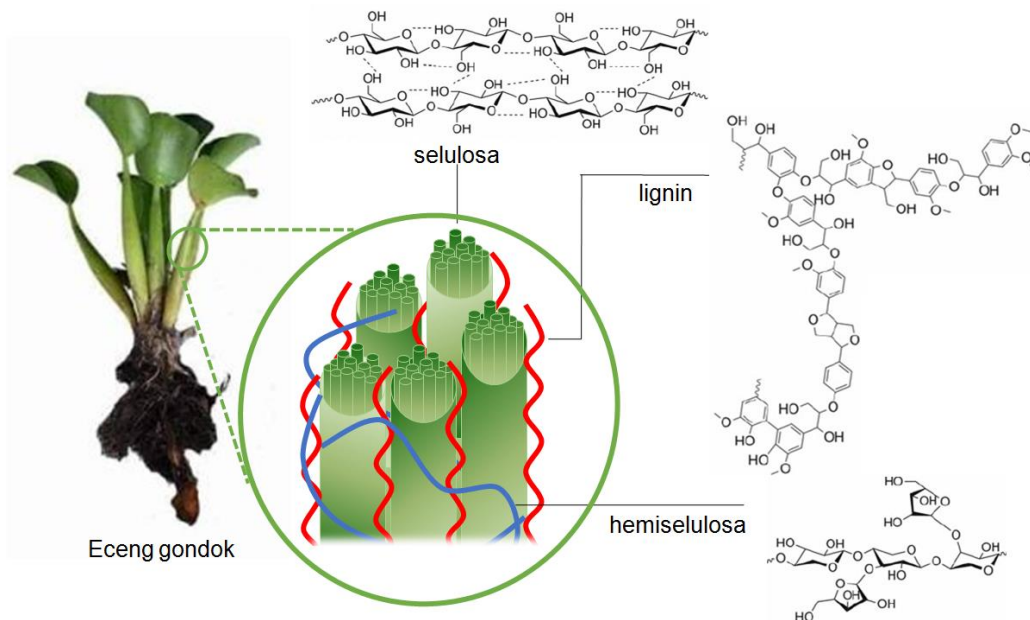
Sampel kering EG yang telah dihaluskan ditimbang. Sampel EG sebanyak 15 gram digunakan untuk proses *bleaching* (pemutihan) dengan menggunakan natrium hipoklorit (NaOCl) 300 mL sesuai perbandingan 1:20 (b/v). Proses *bleaching* dilakukan pada suhu pemanasan 75 – 80 °C dan distirer dengan kecepatan 590 rpm selama 4 jam. Sampel hasil *bleaching* dinetralisasi menggunakan akuades hingga pH mencapai 7. Sampel didekantasi

dan disaring agar terpisah dari filtratnya. Sampel hasil netralisasi, padatan kemudian diekstraksi kembali dengan menggunakan 150 mL natrium hidroksida (NaOH) 17,5% selama 3 jam pada suhu pemanasan 45°C dan distirer konstan dengan kecepatan 500 rpm. Residu hasil refluks dinetralisasi menggunakan akuades hingga pH mencapai 7 kemudian dikeringkan pada suhu ruangan selama 2 – 3 hari dan dikarakterisasi menggunakan spektrometer Fourier Transform Infrared (FTIR) dan scanning electron microscopy (SEM). Rendemen diperoleh dengan perhitungan massa selulosa kering hasil isolasi dibandingkan dengan massa sampel eceng gondok.

HASIL DAN PEMBAHASAN

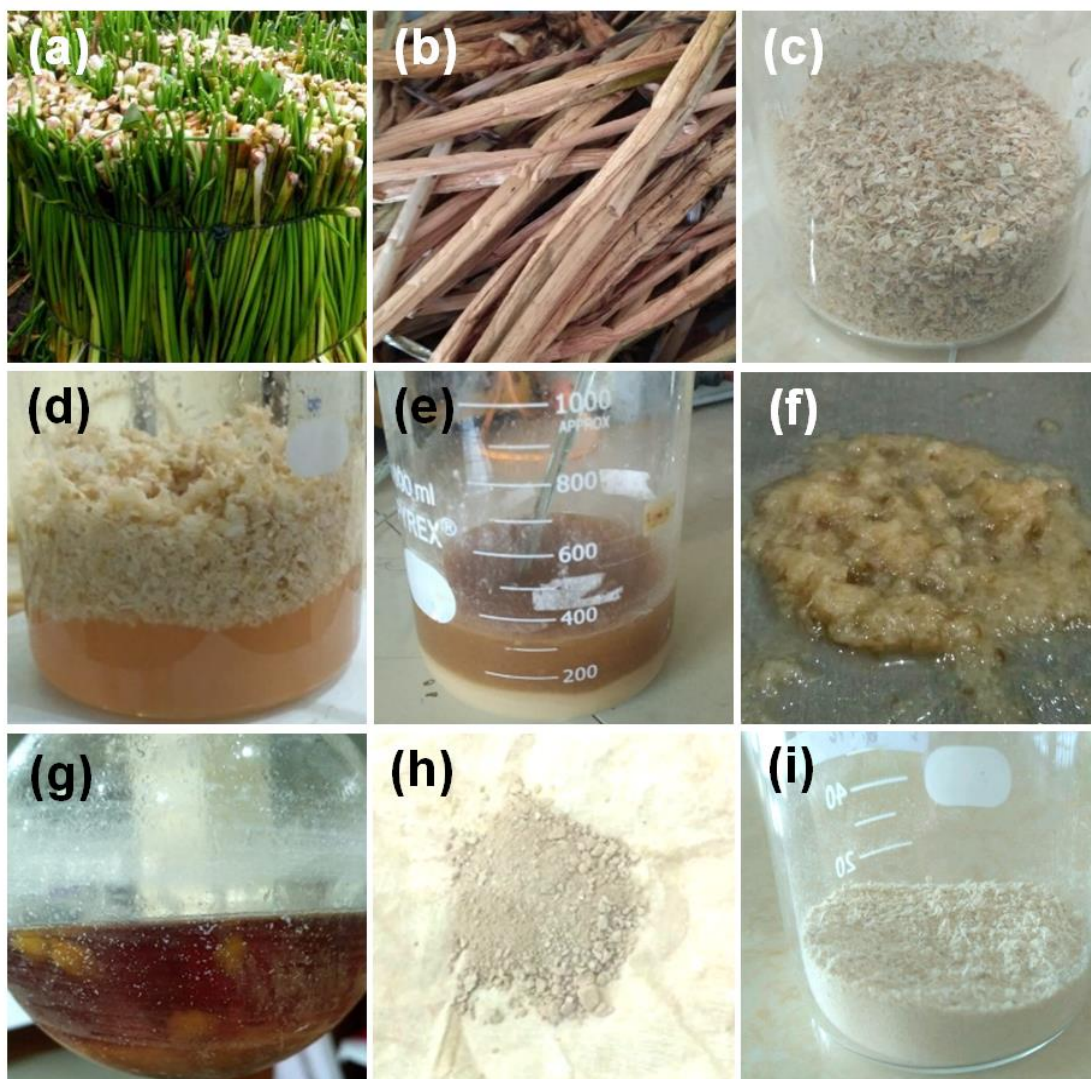
Proses Isolasi Selulosa dari EG (EG)

Selulosa terikat kuat bersama dengan lignin dan hemiselulosa (Bamdad *et al.*, 2018) seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 1, maka untuk mendapatkan selulosa murni dari EG, maka lignin, hemiselulosa dan senyawa pengotor lain harus dipisahkan dengan cara pelarutan. Isolasi selulosa EG pada penelitian ini melewati tiga tahapan utama yaitu proses tahapan perlakuan awal berupa pengeringan, pemotongan dan pelumatan, tahapan *bleaching*, dan tahapan alkalinasi.



Gambar 1. Ilustrasi kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa pada tanaman eceng gondok

Rendemen selulosa yang diperoleh dari EG menunjukkan rentang berkisar 6 – 20%. Rendemen diketahui berdasarkan perhitungan massa sampel awal EG yang dibandingkan dengan produk selulosa kering (serbuk) yang terbentuk.



Gambar 2. Foto hasil perlakuan EG pada beberapa tahapan. Tahapan perlakuan awal: (a) tanaman EG setelah dipanen, (b) setelah pengeringan, (c) serbuk hasil pelumatan kering. Tahapan bleaching: (d) hasil reaksi dengan NaOCl sebelum pemanasan dan pengadukan, (e) hasil bleaching dengan pemanasan dan pengadukan, (f) hasil bleaching setelah penyaringan dan pencucian hingga netral. Tahapan alkalinasi: (g) hasil reaksi dengan NaOH, (h) hasil alkalinasi setelah penyaringan dan pencucian hingga netral, (i) hasil alkalinasi setelah pengeringan.

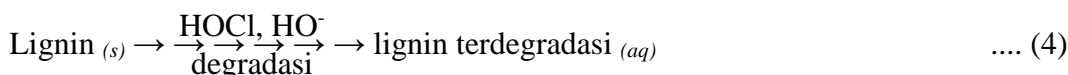
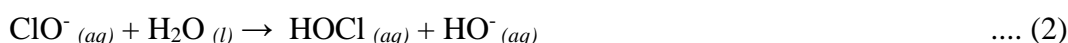
Sampel EG banyak mengalami penyusutan ketika mengalami proses *bleaching* dan alkalinasi, sekitar ~80% massa. Penyusutan ini dikarenakan terputusnya ikatan lignoselulosa, dan selanjutnya memudahkan lignin dan hemiselulosa terdegradasi saat proses isolasi, yang pada akhirnya berhasil memisahkan selulosa. Data perolehan rendemen selulosa dari beberapa kali isolasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kadar Selulosa Hasil Isolasi dari EG

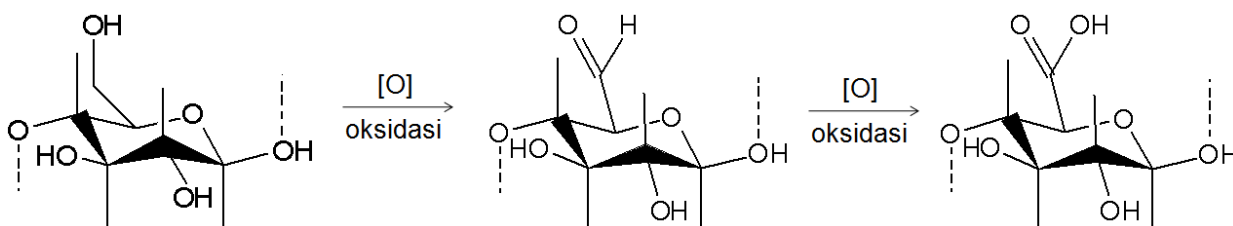
Massa Sampel EG (gram)	Massa Selulosa Hasil Isolasi (gram)	Rendemen (%)
10,02	0,62	6,23
10,03	1,23	12,26
15,02	2,85	18,40
15,14	3,23	21,49

Perubahan fisis EG hasil perlakuan dalam beberapa tahapan dapat dilihat dalam Gambar 2. Pada tahapan awal yang ditunjukkan pada Gambar 2(a) hingga (c), EG berhasil dikeringkan dan dilumat kering menghasilkan serbuk yang terlihat memiliki ukuran dan warna yang heterogen. Pada saat tahapan *bleaching* yang ditunjukkan pada Gambar 2(d) hingga (f), proses *bleaching* memberikan perubahan warna serbuk EG menjadi berwarna putih kekuningan dengan menghasilkan filtrat yang berwarna coklat tua. Selain perubahan warna, perubahan tekstur juga teramati yaitu perubahan dari tekstur kasar menjadi halus. Terlihat dalam proses alkalinasi berhasil dilakukan hingga membentuk serbuk yang setelah pencucian diperoleh padatan serbuk yang berwarna putih, liat, sukar larut dalam air seperti yang tampak dalam Gambar 2(g)-2(i).

Proses isolasi digunakan untuk mengambil dan memisahkan selulosa dari kandungan lain yang terdapat dalam EG. Isolasi diawali dengan proses pemutihan atau *bleaching* yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan lignin dan zat pengotor lain yang terdapat pada serat EG. Pemutihan dilakukan menggunakan larutan natrium hipoklorit (NaOCl). NaOCl di dalam air akan menghasilkan ion hidroksil dan asam *hypochlorous* (HOCl) yang merupakan oksidator kuat dan dapat memutuskan ikatan lignoselulosa (delignifikasi) dan ikatan eter dalam struktur lignin, sehingga derajat keputihan serat EG akan meningkat (Rachmawaty *et al.*, 2013). Reaksi yang terjadi saat proses *bleaching* menggunakan larutan NaOCl ditunjukkan dalam persamaan reaksi (1) hingga (4).



Pemutusan lignoselulosa dan reaksi oksidasi lignin mendandakan bahwa lignin telah dapat dipisahkan dari sampel EG yang diindikasikan dengan terbentuknya material padatan basah berupa bubur berwarna putih kekuningan. Lebih lanjut, keberadaan oksidator ClO^- dan HO^- juga menyebabkan terjadinya reaksi oksidasi pada gugus hidroksil selulosa menjadi gugus aldehid dan oksidasi lanjut menjadi karboksilat (Rachmawaty *et al.*, 2013) seperti yang disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Reaksi oksidasi lanjut dari selulosa dengan oksidator ion hidroksil

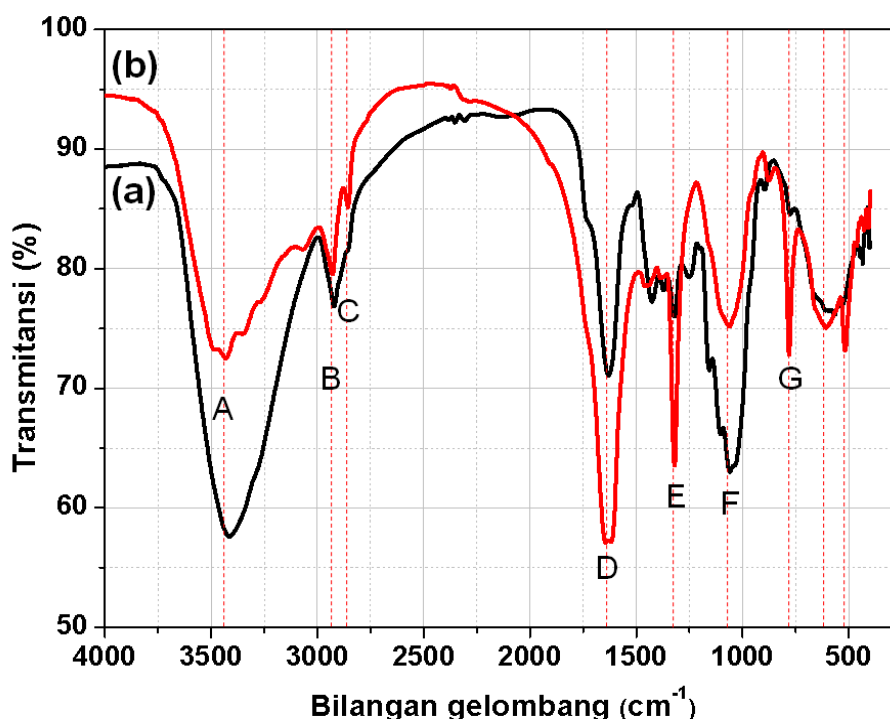
Tahapan berikutnya ialah alkalinasi untuk menghilangkan sisa lignin dan hemiselulosa yang telah terputus. Selulosa terkandung dalam matriks hemiselulosa, yang bertindak sebagai hubungan antara fraksi selulosa dan lignin, serta membantu memberikan kekakuan pada struktur lignoselulosa (Modenbach *and* Nokes, 2014). Proses alkalinasi menyebabkan selulosa teroksidasi (Maryan *and* Gorji, 2016) seperti reaksi dalam Gambar 3. Proses alkalinasi menyebabkan terputusnya ikatan ester yang menghubungkan lignin dengan hemiselulosa dalam jaringan lignin-karbohidrat kompleks. Akibat dari rusaknya ikatan ini, jaringan lignin-karbohidrat kompleks terganggu, memungkinkan komponen lignin untuk larut (Modenbach *and* Nokes, 2014).

Karakterisasi Selulosa EG Hasil Isolasi

Indikator keberhasilan isolasi selulosa EG dipelajari dari analisa gugus fungsi isolat selulosa dengan spektrofotometer FTIR. Profil spektra FTIR yang membandingkan spektrum FTIR sebelum dan sesudah perlakuan *bleaching* dan alkalinasi berturut-turut ditunjukkan dalam Gambar 4(a) dan (b).

Jika dibandingkan dengan sesudah perlakuan, serat EG mempunyai profil FTIR yang berbeda secara signifikan dengan hasil isolat selulosa. Sebagai contoh serapan gugus OH serat EG sebelum isolasi pada bilangan gelombang $\sim 3420 \text{ cm}^{-1}$ (puncak A) sangat lebar menyatakan bahwa serat EG memiliki ikatan hidrogen yang dapat terjalin baik inter maupun intra selulosa, lignin dan hemiselulosa. Setelah proses isolasi, intensitas puncak vibrasi pada

bilangan gelombang tersebut berkurang dan tidak melebar yang mengindikasikan telah terjadinya pemutusan rantai-rantai antarlignin, hemiselulosa dan selulosa.



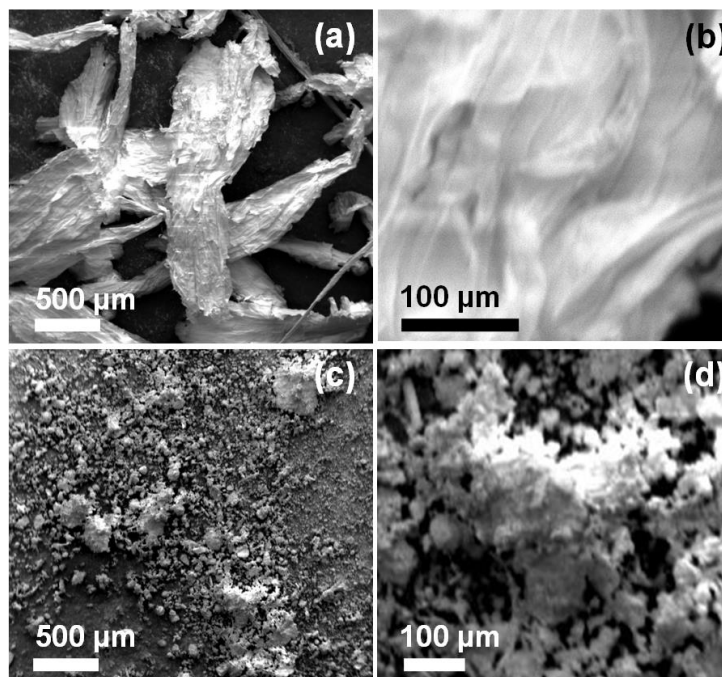
Gambar 4. Profil spektra FTIR EG (a) sebelum dan (b) sesudah perlakuan. Representasi puncak-puncak A – G dijelaskan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Serapan gugus fungsi selulosa dari profil FTIR pada Gambar 4.

Puncak	Vibrasi	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Referensi
A	—OH stretching	~ 3420	Meng <i>et al.</i> , 2013; Mohadi <i>et al.</i> , 2014; Leite <i>et al.</i> , 2017; Sundari <i>et al.</i> , 2012
B	—C—H stretching	~ 2928	Mohadi <i>et al.</i> , 2014, Sundari <i>et al.</i> , 2012
C	=C—H	~ 2850	Mohadi <i>et al.</i> , 2014
D	—OH dan C=O ; C=C vibration	~ 1636	Rachmawaty <i>et al.</i> , 2013; Leite <i>et al.</i> , 2017
E	C-H dan C—O	~1382	Wulandari <i>et al.</i> , 2016
F	C—O—C	~1060	Wulandari <i>et al.</i> , 2016; Sundari <i>et al.</i> , 2012
G	Out of plane C-H bending	~778	Stuart, 2004; Sundari <i>et al.</i> , 2012

Proses oksidasi lanjut juga dikuatkan dengan munculnya serapan pada bilangan gelombang $\sim 1630\text{ cm}^{-1}$ (puncak D) yang merupakan representasi dari gugus C=O. Puncak serapan untuk vibrasi C-H dan C-O yang terkandung pada cincin polisakarida dari selulosa ditunjukkan pada bilangan gelombang 1382 cm^{-1} , sedangkan vibrasi dari C-O-C pada cincin piranosa diindikasikan oleh puncak serapan pada bilangan gelombang 1060 cm^{-1} . Berdasarkan analisis FTIR ini, karena semua serapan gugus fungsi yang teramati dalam spektra FTIR dalam Gambar 4 sesuai dengan struktur selulosa yang dilaporkan dalam beberapa referensi sebelumnya (Meng *et al.*, 2013; Mohadi *et al.*, 2014; Leite *et al.*, 2017; Sundari *et al.*, 2012; Rachmawaty *et al.*, 2013; Wulandari *et al.*, 2016) sebagaimana yang terangkum dalam Tabel 2, maka metode yang dilakukan dalam penelitian ini membuktikan dapat digunakan untuk mengisolasi selulosa dari tanaman EG.

Berdasarkan hasil uji SEM yang ditunjukkan pada Gambar 5, terlihat bahwa struktur morfologis material awal serat EG, terlihat dalam Gambar 5(a) dan (b), berupa serat-serat halus dan tipis, sedangkan selulosa EG, terlihat dalam Gambar 5(c) dan (d) memiliki dimensi lebih kecil menyerupai butiran-butiran kecil kristal. Hal ini menandakan bahwa proses delignifikasi berhasil dilakukan dan berhasil memutuskan ikatan antar lingin, hemiselulosa dan selulosa. Berdasarkan gambar SEM pada Gambar 5(e), butiran kristal selulosa hasil isolasi didapati berukuran micrometer.



Gambar 5. Penampang morfologis serat EG sebelum dan sesudah perlakuan hasil pengamatan dengan *scanning electron microscopy*: (a) material awal serat EG dengan perbesaran $5\times$ dan (b) $500\times$, (c) selulosa EG perbesaran $5\times$ dan (d) $500\times$.

KESIMPULAN

Isolasi selulosa EG berhasil dilakukan melalui proses *bleaching* dengan NaOCl diikuti dengan alkalinasi dengan NaOH. Proses delignifikasi diduga berhasil terjadi berdasarkan pada perbedaan secara fisis hasil isolat yang dihasilkan dengan material awal dengan rendemen berkisar 6 – 20%. Selain itu, keberhasilan proses isolasi juga dikuatkan dari analisa FTIR yang mengindikasikan bahwa isolat memiliki gugus – gugus fungsi selulosa seperti gugus –OH, –C–H, =C–H, –OH dan C=O, C-H dan C–O, dan C–O–C. Pengamatan dengan mikroskop elektron menunjukkan bahwa selulosa hasil isolasi berbentuk butiran – butiran dengan ukuran micrometer.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Belmawa Kemenristekdikti dan yang telah mendanai penelitian ini dengan skim hibah PKM–PE 2019 serta Biro Kemahasiswaan dan Alumni Universitas Sebelas Maret yang telah membantu kelancaran kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, F. N., dan Kuswytasari, N.D. 2013. Pengaruh penambahan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) terhadap pertumbuhan jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*). *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 2 (2): 116-120.
- Bamdad, H., Hawboldt, K. and Macquarrie, S., 2018. A Review on Common Adsorbents for Acid Gases Removal: Focus on Biochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1705-1720. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.261.
- Bhattacharya, D., Germinario, L.T., dan Winter, W.T., 2008. Isolation, Preparation and Characterization of Cellulose Microfibers Obtained from Bagasse. *Carbohydrate Polymers*, 73(3): 371-377. doi: 10.1016/j.carbpol.2007.12.005.
- Chatterjee, C., Pong, F., dan Sen, A. 2015. Chemical conversion pathways for carbohydrates. *Green Chemistry*, 17: 40-71. doi: 10.1039/C4GC01062K.
- Cherian, B. M., Pothan, L. A., Nguyen-Chung, T., Mennig, G., Kottaisamy, M. and Thomas, S., 2008. A Novel Method for the Synthesis of Cellulose Nanofibril Whiskers from Banana Fibers and Characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (14): 5617-5627. doi: 10.1021/jf8003674.
- Fachry, A. R., Sari, T. I., Dipura, A. Y., & Najamudin, J., 2010. Mencari Suhu Optimal Proses Karbonisasi dan Pengaruh Campuran Batubara Terhadap Kualitas Briket Eceng Gondok. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(2): 55-67.
- Janardhnan, S., dan Sain, MM., 2006. Cellulose Microfibril Isolation. *BioResources*, 1(2): 176-188. doi: 10.15376/biores.1.2.176-188

- Leite, A. L. M. P., Zanon, C. D. and Menegalli, F. C., 2017. Isolation and Characterization of Cellulose Nanofibers from Cassava Root Bagasse and Peelings. *Carbohydrate Polymers*, 157, 962-970. doi: 10.1016/j.carbpol.2016.10.048
- Maryan, A.S. dan Gorji, M. 2016. Synthesize of nano silver using cellulose or glucose as a reduction agent: the study of their antibacterial activity on polyurethan fibers. *Bulgarian Chemical Communications*. 47: 151-155.
- Meng, Q., Wan, J., Ma, Y. and Wang, Y., 2013. Effects of Different Deinking Processes on Fiber Morphology, Hydrogen Bond Models, and Cellulose Supramolecular Structure. *BioResources*, 8 (2), 2398-2416. doi: 10.15376/biores.8.2.2398-2416.
- Modenbach, A.A., dan Nokes, S.E., 2014. Effects of Sodium Hydroxide Pretreatment on Structural Components of Biomass. *Special Collection: Advances in Biomass Pretreatment and Conversion*, 57(4): 1187-1198. doi: 10.13031/trans.57.10046
- Mohadi, R., Saputra, A., Hidayati, N., and Lesbani, A., 2014. Studi Interaksi Logam Mn²⁺ dengan Selulosa dari Serbuk Kayu. *Jurnal Kimia*, 8(1): 1-8.
- Pingali, S.V., Urban, V.S., Heller, W.T., McGauhey, J., O'Neill, H., Foston, M., Myles, D.A., Ragauskas, A., and Evans, B.R., 2010. Breakdown of Cell Wall Nanostructure in Dilute Acid Pretreated Biomass. *Biomacromolecules*, 11(9): 2329-2335. doi: 10.1021/bm100455h
- Rachmawaty, R., Meriyani, M., and Priyanto, S. 2013. Sintesis Selulosa Diasetat dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Potensinya untuk Pembuatan Membran. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(3): 8-16.
- Radotić, K. and Mičić, M., 2016. Methods for Extraction and Purification of Lignin And Cellulose from Plant Tissues. In *Sample Preparation Techniques for Soil, Plant, and Animal Samples*. Humana Press, New York.
- Sun, J.X., Sun, X.F., Zhao, H., and Sun, R.C., 2004. Isolation and Characterization of Cellulose from Sugarcane Bagasse. *Polymer Degradation and Stability*, 84(2): 331-339. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2004.02.008.
- Sundari, M. T. and Ramesh, A., 2012. Isolation and Characterization of Cellulose Nanofibers from The Aquatic Weed Water Hyacinth—*Eichhornia crassipes*. *Carbohydrate Polymers*, 87 (2), 1701-1705. doi: 10.1016/j.carbpol.2011.09.076.
- Stuart, B. H. 2004. *Infrared Spectroscopy: Fundamental and Applications*. John Wiley & Sons, Ltd. : New York.
- Syamsu, K. dan Kuryani, T. 2014. Pembuatan Biofilm Selulosa Asetat dari Selulosa Mikrobial Nata de Cassave. *E-Jurnal Agroindustri Indonesia*, 3(1): 126-133.
- Wulandari, W.T., Rochliadi, A., and Arcana, I.M., 2016. Nanocellulose Prepared by Acid Hydrolysis of Isolated Cellulose from Sugarcane Bagasse. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 107: 1-7. doi: 10.1088/1757-899X/107/1/012045