

---

**BIODELIGNIFIKASI KULIT BUAH KAPUK (*CEIBA PENTANDRA* (L.) GAERTN)  
MENGUNAKAN *TRAMETES VERSICOLOR***

Oleh

Mi'rajunnisa<sup>1)</sup>, Yulianita Pratiwi Indah Lestari<sup>2)</sup>

Fakultas Farmasi Universitas Muhammadiyah Banjarmasin

E-mail: [1mirajunnisa@umbjm.ac.id](mailto:mirajunnisa@umbjm.ac.id)**Abstract**

This study aims to obtain alpha-cellulose from kapok pericarpium using biodelignification of *Trametes versicolor*. Alpha cellulose was obtained by combination delignification. The biodelignification using *Trametes versicolor* at 30°C and 40°C. To obtained the optimum result, the next procedure was chemical delignification using the Kraft process using 10% NaOH followed by the addition of HNO<sub>3</sub> and bleaching using sodium hypochlorite. The purity of the kapok pericarpium alpha-cellulose obtained was determined by dissolving alpha-cellulose kapok rind with 17.5% NaOH, 8.3% NaOH, and 10% acetic acid. Biodelignification carried out at a temperature of 40°C produced 14.88%  $\alpha$ -cellulose, Qualitative analysis using ZnCl<sub>2</sub> was showed positive alpha-cellulose from the blue-violet reaction, while the FTIR spectrogram showed that the resulting alpha-cellulose did not contain lignin.

**Keywords: Alpha Cellulose, Biodelignification, Kapok Pericarpium, Trametes Versicolor****PENDAHULUAN**

Indonesia merupakan salah satu penghasil serat kapuk (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn) terbesar di dunia. Tahun 2014, Indonesia memiliki perkebunan kapuk seluas 144,3 hektar (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2019). Kapuk merupakan salah satu jenis tanaman dan banyak dibudayakan di daerah tropis. Bagian dari tanaman kapuk paling sering dimanfaatkan adalah serat di dalam buahnya umumnya digunakan sebagai bahan pengisi pada bantal, guling, atau kasur. Akan tetapi penggunaan serat buah kapuk meninggalkan limbah yang tidak digunakan yaitu kulit buah kapuk. Handayani, Tanuwijaya, & Karsono (2012) sebelumnya telah melaporkan bahwa kulit buah kapuk mengandung  $\alpha$ -selulosa sekitar 94,04%. Kandungan  $\alpha$ -selulosa cukup tinggi pada kulit buah kapuk menunjukkan potensinya sebagai sumber bahan selulosa mikrokristal.

Proses delignifikasi menggunakan bahan kimia yang kurang ramah lingkungan. Berdasarkan penelitian tersebut maka dilakukan penelitian pembuatan selulosa

mikrokristal dari kulit buah kapuk randu yang jarang digunakan di perkebunan sebagai salah satu sumber selulosa mikrokristal alternatif. Pembuatan  $\alpha$ -selulosa dilakukan secara mikrobiologi menggunakan suspensi kapang *Trametes versicolor*. Hasil rendemen dari  $\alpha$ -selulosa yang didapatkan akan dibandingkan dengan hasil secara kimia, sedangkan untuk pembuatan selulosa mikrokristal digunakan enzim selulase dari galur kapang terpilih.

**METODE PENELITIAN**

## a. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Air shaking incubator* (Heidolph, Jerman), *analytical scales* (Acculab, USA), Autoklaf (Tomy, Japan), *hotplate stirrer* (Corning, USA), sentrifugator (Hanil, South Korea), *Laminar air flow* (Faster Bio48, Italia), dan *pipette controller* (Eppendorf, Germany).

Bahan kimia yang digunakan pada penelitian Avicel PH 101, nitric acid (Merck), HNO<sub>3</sub> (Merck), NaOH (Merck), Natrium hipoklorit (Merck), NaNO<sub>2</sub> (Merck), KBr (Merck), PDA (DifcoTM), *yeast extract*

(Himedia), *peptone* (Difco™), *glucose* (Merck), *zinc chloride* (Merck), aquadestillata (Merck), aquabidestillata (Otsuka).

b. Persiapan Kulit Buah Kapuk (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn)

Kulit buah kapuk yang didapatkan dibersihkan menggunakan air mengalir, kemudian kulit tersebut dipotong kecil dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C di Balitro. Kulit buah kapuk yang telah dikeringkan kemudian dihaluskan menggunakan mesin penggiling hingga dihasilkan serbuk kulit buah kapuk berukuran 60 mesh.

c. Persiapan  $\alpha$ -selulosa Kulit Buah Kapuk (Cara Mikrobiologi)

1) Persiapan Inokulum Kapang Pelapuk Putih

Kapang *Trametes versicolor* dibiakkan (kultur stok) dan dikultur pada medium PDA diinkubasi selama 7 hari pada suhu ruang, dikultur dalam medium JIS (dalam 200 mL aquades ditambahkan 0,6 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,4 g MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 25 g glukosa, 5 g pepton, dan 10 g malt extract). Selanjutnya diinokulasi dalam PDA diinkubasi selama 7 hari pada suhu 28°C. Kapang dari media PDA dipindah setelah masa inkubasi selama 7 hari ke dalam media PDB dan diinkubasi selama 7 hari dalam keadaan terus digoyang dengan kecepatan 120 rpm pada suhu ruang. Miselium dipisahkan dari PDB setelah 7 hari masa inkubasi dengan cara disaring menggunakan kertas saring yang telah disterilkan sebelumnya. Miselium ditambahkan air dan larutan kaldu nutrisi hingga diperoleh 100 mL. Campuran larutan dan miselium diaduk dengan kecepatan tinggi 5000 rpm selama 20 menit menggunakan waring blender sehingga suspensi kapang pelapuk putih untuk proses biodelignifikasi (Ardhiyana, 2010).

2) Biodelignifikasi

Sampel kulit buah kapuk randu sebanyak 30 g di rebus dalam 150 mL aquadestilata dan dipanaskan dengan suhu 100°C dalam waktu 1 jam kemudian di saring. Sampel serbuk kulit kapuk randu disaring dan dimasukkan dalam Erlenmayer 200 mL kemudian ditambahkan

larutan kaldu nutrisi sebanyak 45 mL. Erlenmayer 200 mL yang berisi sampel disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Erlenmayer 200 mL didinginkan kemudian diinokulasikan suspensi kapang *Trametes versicolor* sebanyak 5,42 mL dan diinkubasi pada suhu 30°C selama 30 hari dan 40°C selama 21 hari (Ardhiyana, 2010 dengan modifikasi).

d. Delignifikasi Kimia

Serbuk kulit buah kapuk yang telah diinkubasi selanjutnya dimasak selama 1 jam dengan proses Kraft dengan kondisi sebagai berikut: perbandingan larutan NaOH 10% terhadap 30 g berat kering oven (BKO), L:W = 1:5 (L=berat serbuk kulit kapuk randu, W=larutan pemasak), kemudian direndam dalam air dingin 1 L selama 24 jam untuk mengoptimalkan sisa-sisa bahan pemasak dalam melunakkan serbuk. Serbuk kulit buah kapuk kemudian dicuci menggunakan aquadestilata sampai pH 6,0-7,0 (Rahayu, Asngad, & Suparti, 2017 dengan modifikasi). Kulit buah kapuk yang telah melalui proses biodelignifikasi kemudian dilanjutkan ketahapan berikutnya yaitu penambahan bahan kimia. Kulit buah kapuk dimasukkan dalam 402 mL HNO<sub>3</sub> 3,5% dan dipanaskan pada suhu 90°C selama 2 jam, kemudian dicuci menggunakan aquadestillata hingga pH 6-7, selanjutnya ditambahkan 198 mL natrium hipoklorit dan dipanaskan hingga mendidih selama 30 menit untuk mendapatkan  $\alpha$ -selulosa dari kulit buah kapuk dan dicuci menggunakan aquadestillata hingga pH 6,0-7,0. Alfa-selulosa yang didapatkan kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 50°C selama 48 jam dan diblender (Handayani, Tanuwijaya, & Karsono, 2012 dengan modifikasi).

e. Identifikasi Alfa-Selulosa

1) Uji Identifikasi Selulosa pada Alfa-selulosa Kulit Buah Kapuk (Analisis Kualitatif)

Larutan zinc iodinat disiapkan dengan melarutkan 20 g seng klorida dan 6,5 g potasium iodida dalam 10,5 mL air, kemudian ditambahkan yodium sebanyak 0,5 g

selanjutnya kocok selama 15 menit. Selulosa mikrokristal sebanyak 10 mg ditimbang menggunakan gelas arloji dan dilarutkan dalam 2 mL larutan zinc iodinat (National Formularium 30, 2007).

2) Pembuatan Spektrum Inframerah (IR) Serbuk KBr yang telah dikeringkan pada suhu 105°C selama 24 jam ditimbang seksama  $\pm$  99 mg lalu ditambahkan serbuk selulosa mikrokristal  $\pm$  1 mg. Campuran digerus dan dicampur hingga homogen, lalu dimasukkan kedalam cetakan berbentuk disk atau cakram. KBr 100 mg ditimbang dengan seksama untuk blangko dan membuat baseline. KBr dan sampel di scanning pada daerah bilangan gelombang 400 per cm sampai 4000 percm (Harmita, 2006). Spektrum IR selulosa mikrokristal dari kulit buah kapuk dibanding dengan dengan spektrum IR Avicel PH 101

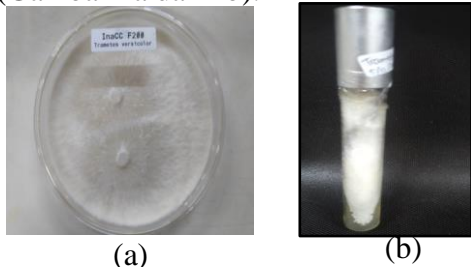
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Preparasi $\alpha$ -selulosa

Kulit buah kapuk yang telah didapatkan dan telah dideterminasi di BALITRO selanjutnya dibersihkan menggunakan air yang mengalir, selanjutnya kulit buah kapuk dipotong kecil dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 48 jam di Balitro. Kulit buah kapuk yang telah dikeringkan kemudian dihaluskan menggunakan mesin penggiling dengan ukuran 60 mesh.

### b. Preparasi Suspensi Kapang Pelapuk Putih

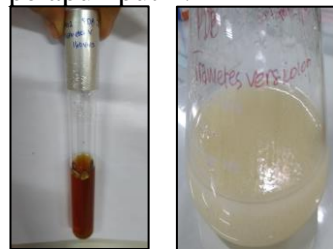
Induk kapang *Trametes versicolor* (Gambar 4.12a) didapatkan dari IPB CC diremajakan kedalam media PDA dan diinkubasi pada suhu kamar selama 7 hari (Gambar 1a dan 1b).



Gambar 1. Biakan stok kapang *Trametes versicolor* (a) dan *Trametes versicolor* yang telah diremajakan pada medium PDA umur 7 hari pada suhu ruang (b).

Biakan kapang yang telah diremajakan selanjutnya diinokulasikan pada medium PDA dan diinkubasi pada suhu ruang selama 7 hari (Gambar 1a), kapang yang telah diinokulasikan selanjutnya dikultur ke medium JIS selama 7 hari pada suhu ruang dan kemudian dipindahkan kedalam medium PDB dan diinkubasi selama 7 hari dalam keadaan terus digoyang, penggoyangan ini bertujuan agar miselium yang dihasilkan selama masa inkubasi tidak menempel satu sama lain, selain itu karena kapang dimasukkan dalam medium tertutup dapat menyebabkan terhentinya aliran oksigen dalam medium, sehingga penggojokan wadah medium dapat meningkatkan munculnya oksigen dalam medium dan aliran oksigen dalam medium tidak terhenti. Penggojokan (*rotating shaker*) juga digunakan untuk mendistribusikan mikroorganisme secara merata (Burkholder & Sinnott, 1945).

Miselium yang telah dihasilkan selama 7 hari (Gambar 1b) selanjutnya dipisahkan dari medium PDB dan dimasukkan kedalam campuran larutan air dan kaldu nutrisi sebanyak 100 mL, campuran miselium dalam larutan selanjutnya diaduk dengan kecepatan 5000 rpm selama 2 menit hingga didapatkan suspensi kapang pelapuk putih.



Gambar 2. Hasil pra kultur kapang *Trametes versicolor* dalam medium JIS (a) dan PDB (b)

### c. Biodelignifikasi

Preparasi  $\alpha$ -selulosa dari kulit buah kapuk diperoleh menggunakan cara biodelignifikasi,

yaitu dengan cara menambahkan miselium kapang pelapuk putih *Trametes versicolor* kedalam serbuk kulit buah kapuk yang sebelumnya telah dicuci, direbus selama 15 menit (Gambar 3b), dan disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit (Gambar 3c). Menurut Balat, Balat, & Oz (2008) biodelignifikasi merupakan *pre-treatment* bertujuan untuk menghilangkan bahan/senyawa yang dapat menghambat laju hidrolisis selulosa (lignin). Selanjutnya dilakukan inkubasi kulit buah kapuk dan miselium kapang pelapuk putih *Trametes versicolor* selama 30 hari pada suhu 30°C dan 21 hari pada suhu 40°C dengan penambahan larutan nutrisi sebagai sumber nutrisi untuk kapang pelapuk putih. Pada proses biodelignifikasi *Trametes versicolor* menghasilkan enzim ligninolitik yang dapat mendegradasi lignin (Moreira, Vclava, & Vidal, 2004), penurunan lignin oleh *Trametes versicolor* disebabkan karena adanya Mn peroksidase (MnP) dan lakase (Knezevic, *et al.*, 2016). Enzim lakase berperan menguraikan lignin sehingga kapang mampu menjangkau sumber karbohidrat, yaitu selulosa dan hemiselulosa (Solomon, Sundaram, & Mochonkim, 1996), katalisis lakase terjadi dengan mereduksi (mengurangi) satu molekul oksigen menjadi air (H<sub>2</sub>O) disertai dengan satu elektron oksidasi dari berbagai senyawa aromatik yang mencakup polifenol, monofenol tersubstitusi metoksi, dan amina aromatik, sedangkan enzim MnP adalah protein heme yang mengoksidasi Mn<sup>2+</sup> menjadi Mn<sup>3+</sup>, kelat Mn<sup>3+</sup> juga berfungsi sebagai oksidan difus dan mengurangi gugus fenolat lignin serta sangat berperan dalam dekomposisi lignin dan mempercepat terjadinya proses depolimerisasi seperti pemecahan ikatan rantai panjang pada lignin (Hofrichter, Lundell, & Hattaka, 2001). Lignin peroksidase (LiP) merupakan enzim mengandung heme yang mengkatalisis degradasi lignin oksidatif yang bergantung pada hydrogen peroksida. LiP mengoksidasi lignin non fenolik, sifat oksidatif LiP

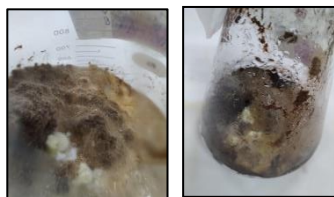
melibatkan pembentukan kation radikal melalui satu oksidasi elektron dan mengarah pada pembelahan rantai samping lignin (Ayodeji, *et al.*, 2016)



(a) (b) (c)  
 Gambar 3. Proses awal persiapan biodelignifikasi

Keterangan: (a) Serbuk kulit buah kapuk; (b) pembasahan serbuk kulit buah kapuk; (c) sterilisasi serbuk kulit buah kapuk menggunakan autoklaf.

Biodelignifikasi kulit buah kapuk menggunakan suhu optimum (40°C) dengan masa inkubasi 21 hari lebih cepat ditumbuhi oleh jamur sehingga mempercepat proses biodelignifikasi. Setelah masa inkubasi selama 21 hari (Gambar 4a) berakhir dilakukan dekontaminasi menggunakan autoklaf untuk mematikan kapang pelapuk putih (Gambar 4b), selanjutnya ditambahkan larutan NaOH 10% untuk meningkatkan degradasi lignin. Beberapa metode digunakan untuk menghilangkan lignin untuk menghasilkan selulosa. Di antara metode tersebut salah satunya adalah *pre-treatment* alkali, terutama oleh natrium hidroksida (NaOH) yang memiliki keunggulan dibandingkan *pre-treatment* asam. Senyawa NaOH akan menyebabkan pembengkakan biomassa yang mengarah pada degradasi lignin, selama proses delignifikasi menggunakan NaOH, ion hidroksida dari NaOH menyerang ikatan ester karbon yang ada diantara lignin dan hemiselulosa atau selulosa (Sun & Cheng, 2002). Hassan & Badri (2015) sebelumnya telah melaporkan penggunaan NaOH 10% untuk delignifikasi yang menghasilkan berkurangnya 13% lignin dari tandan buah sawit.



(a) (b)

Gambar 4. Proses biodelignifikasi

Keterangan: (a) Serbuk kulit buah kapuk telah diinkubasi selama 21 hari dan (b) kulit buah kapuk telah didekontaminasi

Penambahan larutan natrium hidroksida (Gambar 5a) dengan konsentrasi tersebut masih belum dapat mendegradasi lignin sepenuhnya, karena kulit buah kapuk masih berwarna coklat muda, sehingga ditambahkan 402 mL  $\text{HNO}_3$  3,5% (Gambar 5b) dan dipanaskan pada suhu  $90^\circ\text{C}$  selama 2 jam, selanjutnya ditambahkan 198 mL natrium hipoklorit (Gambar 5c) dan dipanaskan hingga mendidih selama 30 menit untuk mendapatkan  $\alpha$ -selulosa dari kulit buah kapuk. Menurut Chandel, Goncalves, Strap, & da Silva (2013) mikroba masih memiliki sedikit kemampuan untuk mendegradasi lignin dibandingkan biopolimer lainnya, selain itu Balat & Oz (2008) melaporkan bahwa biodelignifikasi merupakan pra-treatment yang sederhana namun memerlukan waktu yang lama dan lignin yang dilarutkan masih rendah, sehingga perlu dilakukan penambahan bahan kimia untuk mendegradasi lignin dan mendapatkan  $\alpha$ -selulosa.



(a) (b) (c)

Gambar 5. Delignifikasi kimia kulit buah kapuk

Keterangan: Proses biodelignifikasi ditambahkan NaOH 10% (a), penambahan

$\text{HNO}_3$  3,5% (b), dan penambahan natrium hipoklorit 1,75% (c)

Berdasarkan hasil delignifikasi yang telah dilakukan, didapatkan bahwa serbuk kulit buah kapuk telah diinkubasi pada suhu  $30^\circ\text{C}$  memiliki rendemen  $\alpha$ -selulosa sebesar 14,67%, serbuk kulit buah kapuk diinkubasi pada suhu  $40^\circ\text{C}$  memiliki rendemen  $\alpha$ -selulosa sebesar 14,88%. Jika dibandingkan dengan hasil delignifikasi serbuk kulit buah kapuk secara kimia hasil  $\alpha$ -selulosa melalui cara biodelignifikasi dengan delignifikasi lanjutan jauh lebih sedikit dibandingkan  $\alpha$ -selulosa dihasilkan melalui cara kimia, sebelumnya Handayani, Tanuwijaya, & Karsono (2012) melaporkan  $\alpha$ -selulosa dengan sumber selulosa dari kulit buah kapuk randu melalui delignifikasi secara kimia menghasilkan  $\alpha$ -selulosa sebesar 20,06%, sedangkan Suryadi, *et al.*, (2018) melaporkan delignifikasi secara kimia dari sumber selulosa eceng gondok menghasilkan  $\alpha$ -selulosa sebesar 13,55%. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya proses pencucian serta penyaringan mengakibatkan sebagian partikel tertinggal pada perangkat penyaring dan ikut terbuang bersama filtrat.

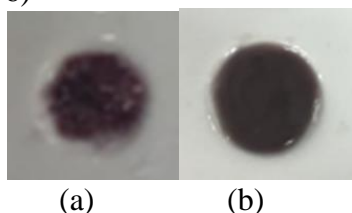
#### d. Penentuan Kadar Kemurnian $\alpha$ -Selulosa

Selanjutnya  $\alpha$ -selulosa yang diperoleh dari biodelignifikasi, diuji kadar kemurnian  $\alpha$ -selulosanya menggunakan metode purifikasi oleh Rosewell (2005). Perbedaan yang signifikan antara  $\alpha$ -selulosa dengan 2 jenis selulosa yang lain ( $\beta$  dan  $\gamma$ -selulosa) adalah kelarutannya dalam NaOH 17,5%, dimana hanya  $\alpha$ -selulosa yang tidak larut dalam NaOH 17,5% sehingga dapat dilakukan karakterisasi  $\alpha$ -selulosa yang telah didapatkan (sampel). Setelah perhitungan rendemennya didapatkan hasil sebesar 94,63% terhadap  $\alpha$ -selulosa awal sehingga dapat dipastikan bahwa sampel  $\alpha$ -selulosa yang didapat telah murni (Bahri, 2015).

e. Identifikasi Alfa-Selulosa

1) Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif menggunakan larutan *zinc iodinat iodide* untuk identifikasi selulosa mikrokristal dari kulit buah kapuk dan Avicel PH 101 sebagai pembanding, hasil reaksi menunjukkan kedua larutan berwarna ungu (Gambar 6)

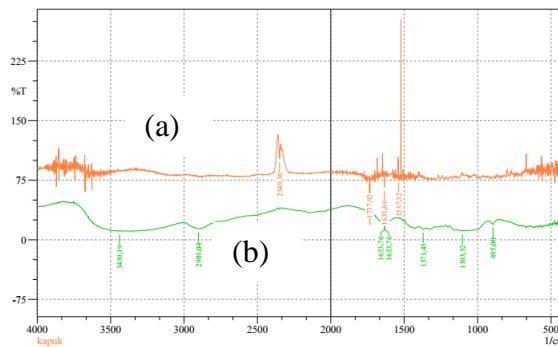


Gambar 6. Analisis Kualitatif menggunakan larutan ZnCl  
Keterangan: Alfa-selulosa dari kulit buah kapuk (a) dan Avicel PH 101 (b).

Ketika masing-masing ditambahkan larutan *zinc chloro iodida*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa selulosa mikrokristal yang dihasilkan memiliki sifat kimia serupa dengan pembanding (Avicel PH 101) (Gambar 6). ZnCl<sub>2</sub> oleh De almeida, *et al.*, (2010) digunakan untuk menghidrolisis selulosa menjadi glukosa, dimana penggunaan ZnCl<sub>2</sub> tersebut dapat meningkatkan laju pelarutan dan hidrolisis, sedangkan yodium membentuk kompleks dan bereaksi dengan 5-hidroksi pada selulosa hingga menimbulkan warna ungu (Sen, Losey, Gordon, Argyropoulos, & Martin, 2012)

2) Spektrofotometri *Infra Merah* (FTIR)

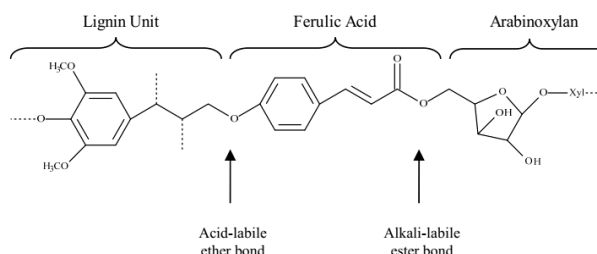
Karakterisasi α-selulosa menggunakan spektrofotometer inframerah yang dibandingkan dengan serbuk kulit buah kapuk yang belum delignifikasi (Gambar 7).



Gambar 7. Hasil FTIR α-selulosa kulit buah kapuk

Keterangan: Spektrum serbuk kulit buah kapuk yang belum delignifikasi (a) dan α-selulosa kulit buah kapuk (b)

Lignin berikatan dengan hemiselulosa (Gambar 8) melalui unit fenolik lignin dan berikatan dengan arabinosil (hemiselulosa) oleh asam ferulat. Asam ferulat membentuk ikatan ester dengan karbon posisi 2 pada cabang arabinosa (Modenbach, 2014).



Gambar 8. Ikatan lignin dan hemiselulosa  
Sumber: Modenbach, 2014

Ikatan ester antara asam ferulat dan hemiselulosa sangat rentan dengan degradasi alkali, ion hidroksida (dari NaOH) yang akan menyerang karbon dari ikatan ester. Pemutusan ikatan tersebut menyebabkan hidrolisis irreversibel ikatan ester, melemahkan keutuhan struktur lignoselulosa. Oleh karena itu, hasil delignifikasi menunjukkan hilangnya gugus fungsi C=O dan C-O dari gugus aril. Puncak pada 1201 per cm terkait dengan gugus C-O dari gugus aril dalam lignin, sedangkan puncak 1600 per cm menandakan C=O yaitu ikatan ester antara gugus karboksil ferulat dan p-koumarin dari lignin/dan atau hemiselulosa. Kedua puncak tersebut menghilang pada

spektrum  $\alpha$ -selulosa kulit buah kapuk (Rosli, Ahmad, & Abdullah).

Tabel 1. Hasil Karakterisasi  $\alpha$ -Selulosa Kulit Buah Kapuk

| Gugus Fungsi | Bilangan gelombang (per cm) |                                     |
|--------------|-----------------------------|-------------------------------------|
|              | Serbuk Kulit Buah Kapuk     | $\alpha$ -Selulosa Kulit Buah Kapuk |
| O-H          | 3851,97                     | 3576,14                             |
| C=O          | 1647,68                     | 1647,26                             |
| C-O          | 1371,43                     | -                                   |

## PENUTUP

### Kesimpulan

Suhu inkubasi 30°C memiliki rendemen  $\alpha$ -selulosa sebesar 14,67% sedangkan serbuk kulit buah kapuk diinkubasi pada suhu 40°C memiliki rendemen alfa-selulosa sebesar 14,88%. Kadar kemurnian alfa-selulosa dari kulit buah kapuk dari biodelignifikasi suhu inkubasi 40°C sebesar 94,63% terhadap alfa-selulosa awal. Hasil identifikasi analisis kualitatif menunjukkan bahwa alfa-selulosa dari kulit buah kapuk positif mengandung alfa-selulosa yang ditunjukkan oleh hasil reaksi yang berwarna biru violet, sedangkan melalui spektrogram FTIR diketahui bahwa alfa-selulosa yang dihasilkan tidak mengandung lignin.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardhiyana, R. (2010). Kapang pelapuk putih *Trametes versicolor* untuk proses biodelignifikasi limbah tanaman jagung. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, 12-14
- [2] Ayodeji, O. F., Nwodo, U. U., Iweriebor, B. C., Green, E., Mabinya, L. V., & Okoh, A. I. (2016). Lignin peroxidase functionalities and prospective applications. *Microbiology Open*. 1-14.
- [3] Badan Pusat Statistik. (24 Mei 2019). *Luas Areal Tanaman Perkebunan Rakyat Menurut Jenis Tanaman*. November 24, 2019. <https://www.bps.go.id/statistictable/2013/12/31/1669/luas-areal-tanamanperkebunan-rakyat-menurut-jenis-tanaman-2000-2018-.html>
- [4] Balat, M., Balat, H., & Oz, C. (2008). Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, (34), 551-573.
- [5] British Pharmacopoeia Commission. (2002). *British Pharmacopoeia*, Volume I. London: The Stationary Office, 216, 213-217.
- [6] Burkholder, P. B., & Sinnott, E. W. (1945). Morphogenesis of fungus colonies in submerged shaken cultures. *American Journal of Botany*, 7(32), 424-431.
- [7] Chandel, A. K., Goncalves, B. C. M., Strap, J. L., & da Silva, S. S. (2013). Biodelignification of lignocellulose substrates: An intrinsic and sustainable pretreatment strategy for clean energy production. *Critical Reviews in Biology*, 1-13.
- [8] R. Menegassi de Almeida, J. Li, C. Nederlof, P. O'Connor, M. Makkee and J. A. Moulijn. (2010). Cellulose Conversion to Isosorbide in Molten Salt hydrate *Media ChemSusChem*, 3, 325-328.
- [9] Handayani, P., Tanuwijaya, J., & Karsono. (2012). Pengaruh selulosa mikrokristal kulit buah kapuk terhadap laju disolusi tablet furosemda. *Journal of Pharmaceutics and Pharmacology*, 56-59.
- [10] Harmita. (2006). *Analisis Fisikokimia*. Depok: Departemen Farmasi FMIPA Universitas Indonesia. 57
- [11] Hassan, N. S., & Badri, K. H. (2015). Lignin recovery from alkaline hydrolysis and glycerolysis of oil palm fiber. *AIP conference proceedings 2014*. 433-444.
- [12] Hofrichter, M., Lundell, T., & Hattaka, A. (2001). Conversion of milled pine wood by manganese peroxidase from *Phlebia*

- radiata. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(11), 4588-4593.
- [13] Knezevic, A., Stajic, M., Jovanovic, V. M., Kovacevic, V., Cilerdzic, J., Milovanovic, I., & Vukojevic. (2016). Induction of wheat straw delignification by *Trametes* species. *Scientific Reports*, (6), 1-12.
- [14] Modenbach, A. A., & Nokes, S. E. (2014). Effect of sodium hydroxide pretreatment on structural components of biomass. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 57(4), 1187-1198.
- [15] Moreira, M. T., Vlacava, C., & Vidal, G. (2004). Fed-batch decolorization of poly R-478 by *Trametes versicolor*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47(2), 179-183.
- [16] Rahayu, T., Asngad, A., & Suparti (2017). Biopulping pelepah tanaman salak menggunakan jamur pelapuk putih *Phanerichaeete chrysosporium*. *Bioeksperimen*, (3), 58-63.
- [17] Rowell, R. M. (2005). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. United States of America: Taylor & Francis, 45-46.
- [18] Sen, S., Losey, B. P., Gordon, E. E., Argyropoulos, D. S., & Martin, J. D. Ionic liquid character of zinc chloride hydrates define solvent characteristic that afford the solubility of cellulose. *The Journal of Physical Chemistry*, A-H.
- [19] Solomon, E. I., Sundaram, U. M., & Manchonkin, T. E. (1996). Multicopper oxidases and oxygenases. *Chemical Reviews*, 96 (7), 2563-2606.
- [20] Sun, Y., & Cheng, Y. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresource Technology*, 83, 1-11.
- [21] Suryadi, H., Sutriyo., Angeline, M., & Murti, M. W. (2018). Characterization of microcrystalline cellulose obtained from enzymatic hydrolysis of alphacellulose and its application. *Journal of Young Pharmacists*, (10) , S87-S92.