

# PENGARUH PROSES PEMUTIHAN MULTI TAHAP SERAT SELULOSA DARI LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Athanasia A. Septevani, Dian Burhani, dan Sudyarmanto

Pusat Penelitian Kimia LIPI  
Kawasan PUSPIPTEK Serpong Tangerang Selatan 15314

E-mail : atha001@lipi.go.id

Received : 28 November 2017; revised : 13 Maret 2018; accepted : 30 Agustus 2018

## ABSTRAK

**PENGARUH PROSES PEMUTIHAN MULTI TAHAP SERAT SELULOSA DARI LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT.** Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kandungan selulosa limbah tandan kosong kelapa sawit melalui proses bertahap delignifikasi NaOH dilanjutkan dengan pemutihan menggunakan NaClO<sub>2</sub>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan selulosa limbah tandan kosong kelapa sawit berhasil ditingkatkan hingga hampir dua kali dari 37,6 ± 0,3% menjadi 84,2 ± 0,3%. Lebih lanjut, proses pemutihan multi tahap menggunakan NaClO<sub>2</sub> dapat menurunkan kandungan lignin tandan kosong kelapa sawit menjadi sebesar 3,1 ± 0,2% hampir sama dengan standar selulosa, yaitu 2,6%. Penggunaan NaClO<sub>2</sub> juga mampu menurunkan kadar hemiselulosa hingga 12,6%, lebih rendah dibandingkan standar selulosa, yaitu 16,6%. Dari hasil FTIR, gugus puncak serapan selulosa meningkat secara signifikan, sedangkan hemiselulosa dan lignin mengalami penurunan intensitas. Analisa SEM menunjukkan bahwa proses delignifikasi basa dan pemutihan menyebabkan permukaan serat TKS berpori dan bersih yang mengindikasikan berkurangnya lignin dan hemiselulosa. Berdasarkan hasil penelitian ini, proses delignifikasi NaOH dan pemutihan NaClO<sub>2</sub> memiliki selektivitas tinggi yang dapat secara simultan mengurangi kadar hemiselulosa dan lignin tanpa merusak struktur selulosa.

Kata kunci : Tandan kosong kelapa sawit, Delignifikasi, Pemutihan, Selulosa

## ABSTRACT

**THE EFFECT OF MULTI STAGE BLEACHING PROCESS ON CELLULOSIC FIBRE BASED ON OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCHES.** This study aims to increase the cellulose content of oil palm empty fruit bunch by sequential delignification using NaOH followed by bleaching process using NaClO<sub>2</sub>. Results showed that the cellulose content increased twice than the initial content, from 37.6 ± 0.3% to 84.2 ± 0.3%. Moreover, after the bleaching process using NaClO<sub>2</sub> and two times of washing, the lignin content can be reduced to 3.1 ± 0.2 %, which was almost similar with cellulose standard (2.6%). Correspondingly, the utilization of NaClO<sub>2</sub> also reduced the hemicellulose content to 12.6%, even lower than the cellulose standard (16.6%). FTIR spectrum showed that the peak absorption of cellulose increased significantly after the sequential process of delignification-bleaching. SEM analysis showed an increased in the porosity of the fiber. The bleached OPEFB was cleaner which indicated the removal of lignin and hemicellulose along with other extractives. From this result, it can be concluded that delignification using NaOH and bleaching using NaClO<sub>2</sub> offered high selectivity which simultaneously reduced the hemicellulose and lignin content without disrupting the structure of cellulose.

Keywords : Oil palm empty fruit bunches, Delignification, Bleaching, Cellulose

## PENDAHULUAN

Selulosa adalah salah satu polimer alam polisakarida dengan rantai linear yang tersusun dari dua unit anhidroglukosida yang berulang mencapai 10.000 hingga 15.000 unit. Selulosa merupakan sumber alam sangat amat melimpah di bumi yang dapat diperbaharui dan tersedia tidak hanya dari tumbuhan (kayu, kapas, gandum, rumput, dsb) bahkan dari non-tumbuhan (seperti alga dan bakteri). Saat ini pemanfaatan serat selulosa tidak hanya untuk pemenuhan produksi konvensional pulp kertas

saja, akan tetapi telah banyak digunakan sebagai material pengisi (*filler*) pada komposit berbagai polimer seperti termoplastik, *coating* dan foam (Utomo, Farid, dan Nurdiansah 2017; Hermawan 2017; Athanasia Amanda Septevani, Evans, *et al.* 2017; Athanasia A. Septevani *et al.* 2018).

Bahkan baru-baru ini, serat selulosa mulai diproses dan dimanipulasi dengan nanoteknologi untuk dapat digunakan sebagai matriks biopolimer pada produk optik transparan (Wang,

Zhu, dan Considine 2013; H. Xu, Li, dan Mu 2016; Z. Xu dan Huang 2014; X. Xu *et al.* 2016) yang dapat dimanfaatkan menjadi perangkat layar optoelektronika transparan seperti produk layar fleksibel, layar sentuh, dan bahkan perangkat energi matahari. Dalam kaitannya sebagai matriks biopolimer transparan ini, serat selulosa yang digunakan diharuskan memiliki kemurnian selulosa yang tinggi (kandungan hemiselulosa dan lignin yang serendah mungkin) dan berwarna putih cerah.

Tandan kosong kelapa sawit (TKS) merupakan serat kelapa produk samping perkebunan kelapa sawit yang jumlahnya sangat besar yaitu sekitar 23% dari pengelolaan tandan buah segar. Sekitar 35,36 juta ton *crude palm oil* (CPO) diproduksi di tahun 2017 baik dari perusahaan swasta, pemerintah dan perkebunan rakyat (Hendaryati dan Arianto 2016), dan tentunya angka ini akan terus meningkat dengan seiring peningkatan produksi CPO di Indonesia setiap tahunnya.

Secara konvensional berbagai produk alternatif dari limbah TKS telah ditujukan untuk menghasilkan media tanam, pupuk kompos dan berbagai furnitur serta perabotan rumah tangga. Akan tetapi pemanfaatan ini masih terbatas. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk lebih memanfaatkan limbah TKS menjadi produk energi alternatif, sebagai contoh bioetanol generasi ke-2 (Dahnum *et al.* 2015; Sudiyani, Styarini, dan Triwahyuni 2013; Triwahyuni *et al.* 2015), akan tetapi nilai teknoekonomi dari penelitian ini juga masih perlu dikaji pada tahap komersialisasi. Proses *biorefinery* yang memanfaatkan semua komponen lignoselulosa pada tandan kosong kelapa sawit menjadi salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan ini.

Dari kandungan dan komposisi kimia, TKS memiliki kandungan selulosa sekitar 40% sampai dengan 43%, hemiselulosa 22% sampai 25% dan lignin sebesar 19% sampai 21% (Ramli *et al.* 2015). Cukup tingginya kandungan selulosa pada TKS merupakan potensi besar untuk dimanfaatkan menjadi serat selulosa sebagai matriks berbasis biopolimer untuk optik transparan. Akan tetapi untuk dapat memanfaatkan serat lignoselulosa TKS ini, pemilihan proses perlakuan awal (*pretreatment*) dan pemutihan yang tepat, harus seoptimal mungkin dilakukan agar tercapai selulosa berwarna putih cerah dengan kemurnian tinggi.

Lignin berikatan kuat dengan selulosa dan hemiselulosa melalui ikatan hidrogen dan kovalen membentuk lignoselulosa (H. Xu, Li, dan Mu 2016). Proses *pretreatment* menggunakan NaOH telah menunjukkan dapat menghilangkan komponen lignin (delignifikasi) dan dapat meningkatkan porositas komponen selulosa (Burhani *et al.* 2017) serta merupakan salah satu metoda yang efektif dan murah (Muryanto,

Sudiyani, dan Abimanyu 2016; Sudiyani *et al.* 2016). Reaksi antara NaOH dengan lignoselulosa menghasilkan reaksi saponifikasi ikatan ester intermolekuler yang menghubungkan hemiselulosa dan lignin secara tautan silang. Reaksi saponifikasi ini menyebabkan putusannya ikatan kompleks antara lignin dan karbohidrat (LCC). Penggunaan NaOH tidak hanya mempengaruhi lignin, tetapi juga hemiselulosa dan selulosa. Degradasi parsial dan hilangnya gugus asetil dan asam uronat pada hemiselulosa menyebabkan turunnya kandungan hemiselulosa. Pada selulosa, terjadinya penggelembungan (*swelling*) dan berkurangnya kristalinitas menjadi dampak penggunaan NaOH yang mengakibatkan bertambahnya ukuran pori selulosa (Z. Xu dan Huang 2014; Harmsen *et al.* 2010; Ta, Wu, dan Jahim 2016)

Akan tetapi untuk mendapatkan kemurnian selulosa yang tinggi (lebih dari 80%) dibutuhkan proses pemutihan. Pengembangan teknologi pemutihan serat lignoselulosa telah dimulai dengan penggunaan klorin yang telah menunjukkan hasil pulp yang putih dengan kandungan selulosa yang tinggi, akan tetapi limbah cair yang dihasilkan akan mengandung *chlorinated organic compounds* yang diketahui sangat berbahaya terhadap lingkungan (Arita 2006). Untuk menjaga kelestarian ekosistem, maka teknologi pemutihan mulai beralih ke konsep *ECF* (*Elementally Chlorine Free*) yaitu menggunakan senyawa lain dalam bentuk ClO<sub>2</sub>. Penelitian isolasi selulosa menggunakan NaClO<sub>2</sub> telah dilakukan pada limbah serbuk kayu (Irawati *et al.* 2013) dan kulit jagung (Rahmidar, Nurilah, and Sudiarty 2018) yang menunjukkan pengurangan kadar lignin secara signifikan mencapai 30 % serta menghasilkan serat selulosa yang berwarna putih.

Pada penelitian ini proses pengolahan TKS secara simultan yaitu meliputi proses delignifikasi dengan NaOH (*pretreatment*) dan dilanjutkan dengan proses pemutihan (*bleaching*) dengan senyawa NaClO<sub>2</sub> yang ramah lingkungan. Pengaruh pemutihan bertahap terhadap kandungan selulosa, struktur kimia dan morfologi serat tandan kosong sawit di investigasi untuk menghasilkan produk serat TKS yang optimal yaitu berwarna putih dan memiliki kandungan selulosa yang tinggi (diatas 80%) sehingga dapat digunakan sebagai matriks berbasis biopolimer untuk optik transparan.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Tandan kosong kelapa sawit diperoleh dari PT Perkebunan Nusantara I (PTPN 1), Medan Sumatera Utara. NaOH, asam asetat glasial (Merck), -selulosa (standar selulosa) dan NaClO<sub>2</sub> (80%) diperoleh dari Sigma Aldrich.

### Metode

#### Delignifikasi dengan Metode Chemical Explosion

Proses *pretreatment* atau sering disebut sebagai delignifikasi, dilakukan dengan pemotongan, pencacahan, pembentukan serbuk kasar dari limbah TKS hingga berukuran 30 sampai 40 mesh dan pengeringan dengan kadar air maksimal 10 %(w/w). Selanjutnya, delignifikasi dilakukan untuk menghilangkan dan mengurangi kandungan lignin dengan menambahkan larutan NaOH 10 %(w/w) sebanyak 2,5 Liter pada reaktor tangki berpengaduk pada suhu 150 °C dan tekanan 4 bar selama 30 menit. TKS yang sudah terdelignifikasi kemudian dicuci dengan air hingga pH netral dan diuji kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin. Uji dilakukan sebelum dan sesudah proses delignifikasi untuk mengetahui keefektifan proses delignifikasi tersebut.

#### Pemutihan (Bleaching)

Sebanyak 1 %w/v NaClO<sub>2</sub> encer ditambahkan pada TKS yang telah didelignifikasi. Campuran kemudian dipanaskan sambil diaduk sampai suhu 80 °C. Setelah suhu 80 °C tercapai, asam asetat glasial ditambahkan hingga pH 4. Temperatur reaksi dijaga 80 °C sampai 85 °C selama 1 jam. Setelah proses pemutihan selesai, *cake* TKS disaring untuk dipisahkan dari filtrat dan kemudian dicuci dengan air panas sampai pH netral. Untuk variasi proses pemutihan, dilakukan pengulangan proses sebanyak 1 kali, 2 kali dan 3 kali. Sampel kemudian diuji komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin.

#### Analisis

Analisis kadar lignin, hemiselulosa dan selulosa dilakukan dengan menggunakan metoda *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*. Analisa selulosa dan hemiselulosa dilakukan menggunakan *HPLC* dengan kolom Aminex HPX 87H (300 x 7,8 mm) pada temperatur 65 °C dengan fasa gerak 5 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan laju alir sebesar 0,6 mL min<sup>-2</sup> dan detektor *refractory index* (WATER 2414). Perhitungan kadar lignin terbagi atas dua jenis, lignin terlarut (*acid soluble lignin*) yang dianalisa dengan menggunakan *UV-Vis* pada panjang gelombang 250 nm. Lignin tidak terlarut (*acid insoluble lignin*) dihitung dengan menggunakan

metode gravimetri. Perhitungan kadar lignin total dilakukan dengan menggunakan Persamaan 1-3 (Sluiter *et al.* 2012).

$$\%AIL = \frac{W_{KS} - W_K - A}{W_S} \times 100\% \quad (1)$$

$$\%ASL = \frac{ABS \times df / 110 \times 87 / 1000}{W_S} \times 100\% \quad (2)$$

$$kadar\ lignin\ total = \%AIL + \%ASL \quad (3)$$

%AIL merupakan *acid insoluble lignin* (lignin yang tidak larut asam); %ASL merupakan *acid soluble lignin* (lignin yang larut asam); *W<sub>KS</sub>* adalah berat kertas saring; *A* adalah Berat Abu, *Abs* adalah Absorbansi; *df* adalah Faktor pengenceran; dan *W<sub>S</sub>* adalah berat sampel kering.

Analisis struktur kimia dari TKS sebelum dan sesudah proses delignifikasi dan pemutihan dilakukan dengan *Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR)* Thermo Scientific iS10 sedangkan untuk mempelajari morfologi dari TKS dilakukan analisa *Scanning Electron Microscopy (SEM)* Hitachi SU3500.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Delignifikasi dengan Metode Chemical Explosion

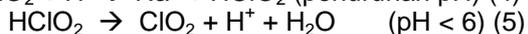
Hasil proses delignifikasi menunjukkan bahwa kemurnian selulosa meningkat secara signifikan dari 37,6 ± 0,3% menjadi 73,01 ± 0,2%. Peningkatan ini seiring dengan penurunan kadar lignin yang sangat signifikan (lihat Tabel 1) yaitu dari 38,5% menjadi 12,1 ± 0,5%, begitu pula hemiselulosa dari 23,9 ± 0,3% menjadi 14,9 ± 0,2%. Proses *pretreatment* dengan menggunakan larutan alkali (NaOH) mampu melarutkan komponen lignin dan sebagian komponen hemiselulosa serta menaikkan aksesibilitas pada permukaan lignoselulosa sehingga dapat meningkatkan jumlah kadar selulosa (Burhani *et al.* 2017). Proses pemutihan (*bleaching*) lebih lanjut dilakukan untuk memutihkan dan meningkatkan kemurnian kadar selulosa.

#### Pemutihan dengan NaClO<sub>2</sub>

Prinsip dasar dalam proses manipulasi dan konversi material lignoselulosa menjadi produk kertas dengan kualitas tinggi adalah selektifitas penghilangan lignin dan hemiselulosa tanpa menghancurkan struktur dari selulosa. Hal ini dikarenakan lignin pada proses manufaktur kertas akan menurunkan tingkat kecerahan (*brightness*) sehingga harus dihilangkan secara maksimal, sedangkan hemiselulosa pada kandungan tinggi dapat menurunkan sifat mekanik paper karena adanya penurunan resistensi individu seratnya. Selain itu, adanya hemiselulosa juga menurunkan sifat optik

(transparansi) karena sifatnya yang keruh (*opacity*) (Mussatto, Rocha, dan Roberto 2008).

NaOCl<sub>2</sub>, berbentuk kristal putih adalah bahan pemutih serat selulosa yang lembut yang tidak akan merusak secara destruktif bahkan jika diproses pada temperatur yang tinggi 100 °C selama beberapa jam (Rahmidar, Nurilah, dan Sudiarty 2018; Putera 2012) dengan mekanisme sebagai berikut :



Ketika pH turun, ion klorit berubah menjadi asam klorous (HClO<sub>2</sub>). Asam lemah ini akan tetap tidak terdisosiasi dalam larutan asam. Akan tetapi pada saat pH dibawah 6, akan terbentuk

ClO<sub>2</sub> yang merupakan senyawa korosif. Senyawa inilah yang bertanggung jawab pada proses pemutihan substrat selulosa. Pada pH dibawah 2, laju pemutihan sangat cepat dan dapat merusak substrat (Rahmidar, Nurilah, dan Sudiarty 2018). Oleh karena itu, kondisi yang sesuai untuk proses pemutihan adalah pada pH 3,5 sampai pH 4. Penyesuaian pH dilakukan dengan penambahan asam asetat glasial. Analisa komponen serat setelah delignifikasi dan pemutihan disajikan pada Tabel 1.

Penggunaan NaClO<sub>2</sub> pada proses *bleaching* akan meningkatkan kecerahan dan tingkat keputihan TKS. Perbedaan tingkat kecerahan dan keputihan diperlihatkan secara visual pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil proses pemutihan TKS

Proses	Bentuk Fisik	Analisis komponen		
		Selulosa (%w/w)	Hemiselulosa (%w/w)	Lignin (%w/w)
TKS ( <i>raw</i> )		37,6 ± 0,3	23,9 ± 0,3	38,5 ± 0,0
TKS delignifikasi NaOH		73,0 ± 0,2	14,9 ± 0,2	12,1 ± 0,5
TKS hasil pemutihan NaClO <sub>2</sub> 1x pemutihan		81,5 ± 2,1	12,7 ± 0,0	5,8 ± 2,1
NaClO <sub>2</sub> 2x pemutihan		84,1 ± 0,0	12,7 ± 0,1	3,2 ± 0,1
NaClO <sub>2</sub> 3x pemutihan		84,3 ± 0,3	12,6 ± 0,1	3,1 ± 0,2
Selulosa Standar		80,8	16,6	2,6

Tingkat kemurnian selulosa yang sangat tinggi, yaitu  $84,2 \pm 0,3\%$  bahkan melebihi selulosa standar (80,8%). Hal ini menunjukkan bahwa  $\text{NaClO}_2$  merupakan agen pemutih dengan selektivitas tinggi yang dapat secara simultan mengurangi kadar hemiselulosa dan lignin tanpa merusak struktur dari selulosa.

#### Morfologi Selulosa Delignifikasi dan Pemutihan

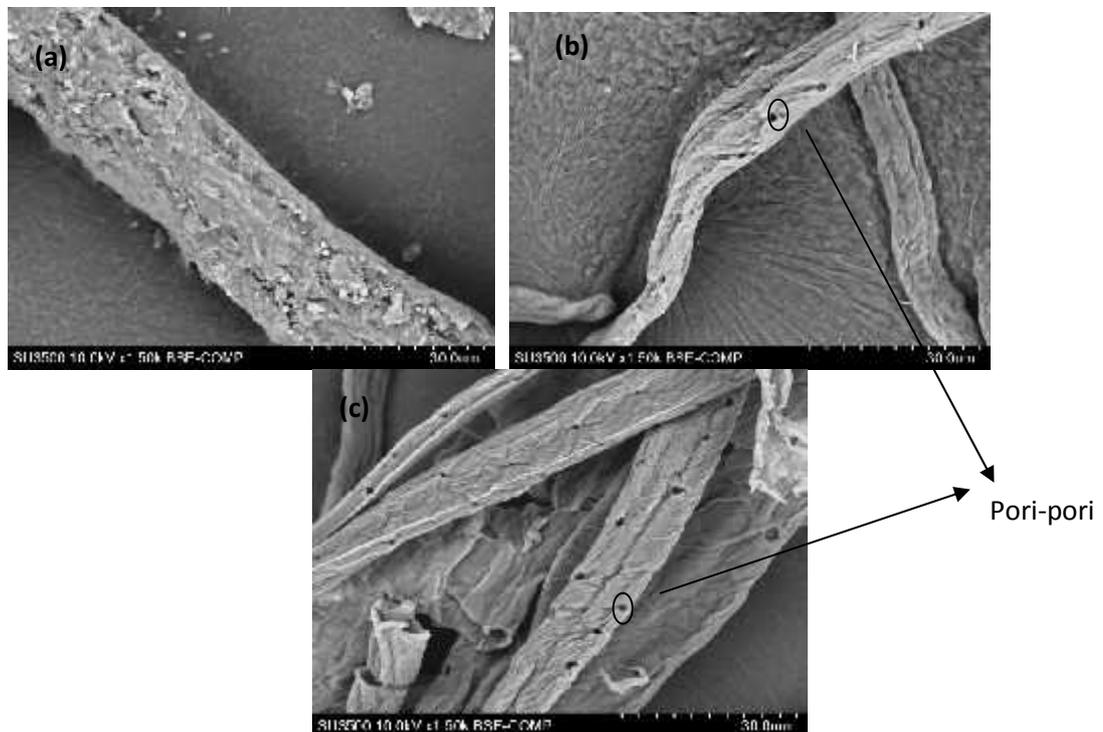
Perubahan morfologi dari serat tandan kosong kelapa sawit (TKS) sebelum dan sesudah *pretreatment* (*delignifikasi*) diamati dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) perbesaran 1500 kali. Perbedaan yang signifikan terlihat dari ukuran pori. Pada gambar (a) bahkan pori sama sekali tidak terlihat. Gambar (b) (TKS setelah *pretreatment* dengan basa) memperlihatkan peningkatan ukuran pori yang disebabkan oleh delignifikasi (Rezende *et al.* 2011) oleh karena berkurangnya komponen hemiselulosa dan lignin dari struktur TKS. Gambar (c) menunjukkan bertambahnya ukuran pori yang mengindikasikan berkurangnya lignin dan hemiselulosa pada sampel yang telah diproses secara simultan melalui delignifikasi dan pemutihan.

Berdasarkan hasil pengukuran dengan menggunakan *software* ImageJ, terjadi peningkatan ukuran pori dari  $122 \pm 186 \mu\text{m}$  (Gambar b) menjadi  $180 \pm 210 \mu\text{m}$  pada

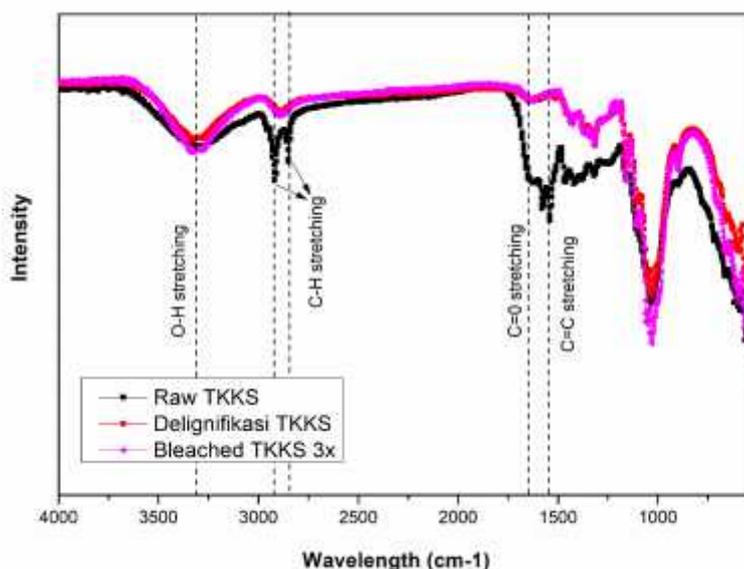
Gambar c. Hasil pengukuran ini mendukung pernyataan sebelumnya bahwa proses *bleaching* dapat lebih lanjut akan menurunkan lignin dan hemiselulosa lebih banyak dibandingkan hanya dengan menggunakan *pretreatment* basa (Tabel 1). Perbedaan morfologi juga terlihat dari kekakuan serat TKS. Perlakuan dengan NaOH menyebabkan TKS menggelembung yang berhubungan erat dengan berkurangnya kristalinitas TKS (Burhani *et al.* 2017).

#### Struktur Kimia TKS

Gambar 2 adalah spektrum *FTIR-ATR* dari *raw* TKS (sebelum proses *pretreatment*) dan TKS hasil proses *pretreatment* (setelah proses delignifikasi alkali dan proses pemutihan bertahap). Seperti pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa semua sampel baik *raw* TKS maupun TKS hasil *pretreatment* secara simultan menunjukkan gugus puncak pada  $3303 \text{ cm}^{-1}$  (untuk O-H *stretching*),  $1308 \text{ cm}^{-1}$  (untuk serapan O-H *bending*) dan pada  $1175 \text{ cm}^{-1}$  (menunjukkan serapan C-O *stretching*). Hal ini merupakan indikasi adanya serapan dari gugus fungsi selulosa (Septevani, Annamalai, et al. 2017) yang pada dasarnya merupakan rantai linear mekul glukosa yang terdiri dari 10,000 sampai 15,000 unit berulang dua rantai anhidroglukosa (Gambar 2).



Gambar 1. Hasil SEM (a) TKS sebelum *pretreatment* (b) TKS setelah *pretreatment* (c) TKS setelah *pretreatment-bleaching* dengan perbesaran 1500 kali



Gambar 2. FTIR-ATR sampel TKS sebelum dan sesudah proses *pretreatment* dan pemutihan

Perbedaan paling signifikan dari spektrum FTIR pada Gambar 2 adalah terdapat pengurangan intensitas serapan yang sangat signifikan dari *raw* TKS (sebelum proses *pretreatment* bertahap) dengan setelah proses *pretreatment* baik delignifikasi menggunakan alkali maupun proses pemutihan yaitu pada serapan  $2930\text{ cm}^{-1}$  dan  $2850\text{ cm}^{-1}$ . Harun *et al.* (2013) menunjukkan bahwa pengurangan intensitas kedua puncak antara  $3000\text{ cm}^{-1}$  dan  $2850\text{ cm}^{-1}$  adalah berasal dari C-H *stretching* pada gugus fungsi lignin dan hemiselulosa yang berkurang setelah alkalisasi dan proses pemutihan. Selain itu dapat dilihat juga pada Gambar 2 bahwa pengurangan secara signifikan intensitas serapan juga ditemukan pada puncak antara  $1600\text{ cm}^{-1}$ .

Menurut Ngadi dan Lani (2014), puncak  $1614\text{ cm}^{-1}$  pada spektrum *raw* TKKS merupakan vibrasi ikatan C=C rantai benzena pada lignin. Selain itu serapan puncak yang terlihat pada  $1600\text{ cm}^{-1}$  pada spektrum *raw* TKS kemungkinan juga menunjukkan C=C *stretching* pada karbonil pada vibrasi cincin aromatik (Ngadi dan Lani 2014). Lebih lanjut, puncak pada  $1680\text{ cm}^{-1}$  pada *raw* TKS sebelum *pretreatment* kemungkinan merupakan absorpsi karbonil di gugus aldehida pada hemiselulosa dan berkurang intensitasnya setelah proses pemutihan dan delignifikasi alkali. Dari uraian diatas, menunjukkan bahwa penggunaan  $\text{NaClO}_2$  sebagai agen pemutih mampu menghasilkan selektivitas yang tinggi yang dapat secara simultan mengurangi kadar hemiselulosa dan lignin tanpa merusak struktur dari selulosa

## KESIMPULAN

Delignifikasi basa dan *bleaching*  $\text{NaClO}_2$  berhasil meningkatkan kandungan selulosa tandan kosong kelapa sawit sampai hampir dua kali kandungan semula, yaitu  $84,2 \pm 0,3\%$  dari  $38,5 \pm 0,0\%$ . Penggunaan  $\text{NaClO}_2$  juga menurunkan kandungan lignin hingga  $3,1 \pm 0,2\%$  setelah 2 kali pencucian. Jumlah yang hampir sama dengan kandungan lignin pada selulosa standar komersial ( $2,6\%$ ). Kadar hemiselulosa setelah pencucian dengan  $\text{NaClO}_2$  turun hingga  $12,6\%$ , bahkan lebih rendah dari selulosa standar, yaitu  $16,6\%$ . Dari hasil FTIR terlihat bahwa gugus puncak serapan selulosa meningkat secara signifikan setelah proses delignifikasi-pemutihan bertahap, sedangkan hemiselulosa dan lignin berkurang intensitasnya. Analisa SEM menunjukkan bahwa proses delignifikasi basa dan pemutihan menyebabkan permukaan serat TKS berpori dan bersih yang sesuai dengan hasil analisa komponen kuantitatif selulosa, hemiselulosa dan lignin. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses delignifikasi yang dikombinasikan dengan penggunaan  $\text{NaClO}_2$  sebagai agen pemutih memberikan selektivitas tinggi yang dapat secara simultan mengurangi kadar hemiselulosa dan lignin tanpa merusak struktur dari selulosa.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pemberi dana kegiatan penelitian ini melalui

program INSINAS-RISTEK No. 048/P/RPL-LIPI/INSINAS-2/VI/2017 dan No. 003/P/RPL/INSINAS-1/III/2018. Penulis juga mengucapkan terimakasih atas fasilitas pengujian *Microscopy* di Pusat Penelitian Fisika LIPI.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arita, S. 2006. "Proses Pemutihan Bertingkat Pada Pulp Dari TKKS Hasil Proses Alkali-Methanol Dengan Katalis MgSO<sub>4</sub>." In *Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo Dan Petrokimia Indonesia*, 7–8.
- Burhani, D., A. Mauliva, H. Putri, J. Waluyo, Y. Nofiana, dan Y. Sudyani. 2017. "The Effect of Two-Stage Pretreatment on the Physical and Chemical Characteristic of Oil Palm Empty Fruit Bunch for Bioethanol Production." In *The 3rd International Symposium of Applied Chemistry 2017*, edited by Sylvester Tursiloadi and Nino Rinaldi, 1904:20016. American Institute of Physics. doi:https://doi.org/10.1063/1.5011873.
- Dahnum, D., S.O. Tasum, E. Triwahyuni, M. Nurdin, dan H. Abimanyu. 2015. "Comparison of SHF and SSF Processes Using Enzyme and Dry Yeast for Optimization of Bioethanol Production from Empty Fruit Bunch." *Energy Procedia* 68 (October): 107–16. doi:10.1016/j.egypro.2015.03.238.
- Harmsen, P., W. Huijgen, L. López, dan R. Bakker. 2010. "Literature Review of Physical and Chemical Pretreatment Processes for Lignocellulosic Biomass." *Food and Biobased Research*, no. September: 1–49.
- Harun, N.A. F., A.S. Baharuddin, M.H.M. Zainudin, E.K Bahrin, M.N. Naim, dan R. Zakaria. 2013. "Cellulase Production from Treated Oil Palm Empty Fruit Bunch Degradation by Locally Isolated Thermobifida Fusca." *BioResources* 8 (1): 676–87.
- Hendaryati, D.D., dan Y. Arianto, eds. 2016. "Tree Crop Estate Statistic of Indonesia." Directorate General of Estate Crops.
- Hermawan, E. 2017. "Pembuatan Partikel Selulosa Menggunakan Larutan Alkalin." *Jurnal Teknik Mesin* 6 (1): 56–61.
- Irawati, D., J.P.G. Sutapa, A.B. Firmansyah, M.P. Arief, N.F. Wijanarko, dan S.N. Marsoem. 2013. "Peningkatan Produksi Etanol Secara Enzimatis Dua Jenis Limbah Serbuk Kayu Dengan Pretreatment Kalsium Hidroksida." In *Seminar Nasional MAPEKI XV*, 223–28.
- Muryanto, M., Y. Sudyani, dan H. Abimanyu. 2016. "Optimasi Proses Perlakuan Awal NaOH Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Menjadi Bioetanol Optimization of NaOH Alkali Pretreatment of Oil Palm Empty Fruit Bunch for Bioethanol." *Indonesia Jurnal App. Chem* 18 (June): 27–35.
- Mussatto, S.I., J.M.S. Rocha, dan I. Roberto. 2008. "Hydrogen Peroxide Bleaching of Cellulose Pulps Obtained from Brewer ' S Spent Grain." *Cellulose* 15: 641–49. doi:10.1007/s10570-008-9198-4.
- Ngadi, N., dan N.S. Lani. 2014. "Extraction and Characterization of Cellulose from Empty Fruit Bunch ( EFB )." *Jurnal Teknologi* 5: 35–39. doi:10.11113/jt.v68.3028.
- Putera, R.D.H. 2012. "Ekstraksi Serat Selulosa Dari Tanaman Eceng Gondok ( Eichornia Crassipes ) Dengan Variasi Pelarut Ekstraksi Serat Selulosa Dari Tanaman Eceng Gondok ( Eichornia Crassipes ) Dengan Variasi Pelarut." Universitas Indonesia.
- Rahmidar, L., I. Nurilah, dan T. Sudiarty. 2018. "Karakterisasi Metil Selulosa Yang Disintesis Dari Kulit Jagung." *Journal of Science Education* 2 (1): 117–22.
- Ramli, R., N. Junadi, M.D.H. Beg, dan R.M. Yunus. 2015. "Microcrystalline Cellulose ( MCC ) From Oil Palm Empty Fruit Bunch ( EFB ) Fiber via Simultaneous Ultrasonic and Alkali Treatment." *Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering* 9 (1): 8–11.
- Rezende, C., M. de Lima, P. Maziero, E. DeAzevedo, W. Garcia, dan I. Polikarpov. 2011. "Chemical and Morphological Characterization of Sugarcane Bagasse Submitted to a Delignification Process for Enhanced Enzymatic Digestibility." *Biotechnology for Biofuels* 4 (1). BioMed Central Ltd: 54. doi:10.1186/1754-6834-4-54.
- Septevani, A.A., P.K. Annamalai, D.J. Martin, A.A. Septevani, P.K. Annamalai, dan D.J. Martin. 2017. "Synthesis and Characterization of Cellulose Nanocrystals as Reinforcing Agent in Solely Palm Based Polyurethane Foam" 20042.
- Septevani, A.A., D.A.C. Evans, D.J. Martin, dan P.K. Annamalai. 2018. "Hybrid Polyether-Palm Oil Polyester Polyol Based Rigid Polyurethane Foam Reinforced with Cellulose Nanocrystal." *Industrial Crops and Products* 112 (December 2017). Elsevier: 378–88. doi:10.1016/j.indcrop.2017.12.032.
- Septevani, A.A., D.A.C. Evans, P.K. Annamalai, dan D.J. Martin. 2017. "The Use of Cellulose Nanocrystals to Enhance the Thermal Insulation Properties and Sustainability of Rigid Polyurethane Foam." *Industrial Crops & Products* 107 (December 2016). Elsevier: 114–21.

- doi:10.1016/j.indcrop.2017.05.039.
- Sluiter, A., B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, D. Templeton, dan D. Crocker. 2012. "NREL/TP-510-42618 Analytical Procedure - Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass." *Laboratory Analytical Procedure (LAP)*, no. April 2008: 17. doi:NREL/TP-510-42618.
- Sudiyani, Y., D. Styarini, dan E. Triwahyuni. 2013. "Utilization of Biomass Waste Empty Fruit Bunch Fiber of Palm Oil for Bioethanol Production Using Pilot – Scale Unit." *Physics Procedia* 32. Elsevier B.V.: 31–38. doi:10.1016/j.egypro.2013.05.005.
- Sudiyani, Y., E. Triwahyuni, D. Burhani, J. Waluyo, A. Sulaswatty, dan H. Abimanyu. 2016. "Alkaline Pretreatment of Sweet Sorghum Bagasse for Bioethanol Production." *Int Journal of Renewable Energy Development* 5 (2): 113–18. doi:http://dx.doi.org/10.14710/ijred.5.2.113-118.
- Ta, Y.L., Y. Wu, dan J. Jahim. 2016. "Typical Conversion of Lignocellulosic Biomass into Reducing Sugars Using Dilute Acid Hydrolysis and Alkaline Pretreatment." *Cellulose*. Springer Netherlands. doi:10.1007/s10570-016-0936-8.
- Triwahyuni, E., M. Muryato, Y. Sudiyani, dan H. Abimanyu. 2015. "The Effect of Substrate Loading on Simultaneous Saccharification and Fermentation Process for Bioethanol Production from Oil Palm Empty Fruit Bunches." *Energy Procedia* 68. Elsevier B.V.: 138–46. doi:10.1016/j.egypro.2015.03.242.
- Utomo, S.B., M. Farid, dan H. Nurdiansah. 2017. "Analisis Proses Pengikisan ( Bleaching ) Dari Hasil Untuk Penguat Bahan Komposit Absorpsi Suara" 6 (2): 4–8.
- Wang, Q., J. Y. Zhu, dan J.M. Considine. 2013. "Strong and Optically Transparent Films Prepared Using Cellulosic Solid Residue Recovered from Cellulose Nanocrystals Production Waste Stream." *ACS Applied Materials and Interfaces* 5 (7): 2527–34. doi:10.1021/am302967m.
- Xu, H., B. Li, dan X. Mu. 2016. "Review of Alkali-Based Pretreatment to Enhance Enzymatic Saccharification for Lignocellulosic Biomass Conversion." *Industrial and Engineering Chemistry Research* 55 (32): 8691–8705. doi:10.1021/acs.iecr.6b01907.
- Xu, X., J. Zhou, L. Jiang, G. Lubineau, T. Ng, B.S. Ooi, H. Liao, Chao Shen, Long Chen, dan J.Y. Zhu. 2016. "Highly Transparent, Low-Haze, Hybrid Cellulose Nanopaper as Electrodes for Flexible Electronics." *Nanoscale* 8. Royal Society of Chemistry: 12294–306. doi:10.1039/c6nr02245f.
- Xu, Z., dan F. Huang. 2014. "Pretreatment Methods for Bioethanol Production." *Applied Biochemistry and Biotechnology* 174 (1): 43–62. doi:10.1007/s12010-014-1015-y.