

Isolasi Mikrofibril Selulosa Dengan *Pretreatment* Alkali Dari Limbah Batang Pisang

(Microfibril Cellulose Isolation With Alkaline Pretreatment From Banana Stem Waste)

Lia Lismeri, Yuli Darni, Muh. Iqbal I., dan Dimas Mitra S.
Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
lismeri@yahoo.co.id

Abstrak

Limbah batang pisang merupakan salah satu biomassa terbesar di Indonesia yang memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi yaitu selulosa 46%, lignin 9%, dan hemiselulosa 38,54%. Serat mikro selulosa ialah serat selulosa yang hancur menjadi fibril sub-struktural. Serat mikro selulosa dapat digunakan sebagai pengental, pengemulsi atau aditif dalam makanan, industri komposit, otomotif, cat dan *coating*, serta kosmetik dan produk medis. Pada penelitian ini limbah batang pisang diberi perlakuan *pretreatment* alkali dimana pelarut yang dipakai ialah NaOH, Ca(OH)₂, dan NH₃OH dengan konsentrasi 0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1% pada suhu 50°C selama 60 menit. Tahapan selanjutnya yaitu, delignifikasi dengan menggunakan Na₂SO₃ 20%, yang dilanjutkan dengan *bleaching* menggunakan H₂O₂ 2%. Kemudian dilakukan analisis kadar lignoselulosa dengan metode Chesson-Datta dan dikarakterisasi dengan uji FTIR dan SEM. Dari hasil analisis kadar lignoselulosa setelah *pretreatment* didapatkan yield selulosa terbaik dengan menggunakan pelarut NaOH 1% dengan kadar selulosa sebanyak 52,46%. Berdasarkan hasil analisis FTIR dan SEM dapat diketahui bahwa isolasi selulosa dengan *pretreatment* alkali menggunakan NaOH 1% dapat menghasilkan mikrofibril selulosa dengan panjang 1,1×10³ nm.

Kata Kunci : batang pisang, *pretreatment* alkali, selulosa, mikrofibril

Abstract

Banana stem waste is the largest biomass in Indonesia which have a high lignocellulose composition, cellulose 46%, lignin 9% and hemicellulose 38,54%. Microfibril cellulose is a cellulose which been crush into sub-structural fibril. In this study, banana stem waste was treated with alkaline pretreatment in which the solvent used was NaOH, Ca(OH)₂, and NH₃OH with concentration 0,25%, 0,5%, 0,75%, and 1% at 50°C for 60 minutes. The next stage is delignification using Na₂SO₃, followed by H₂O₂ 2%. The bleached fibers were analyzed by the method of lignocellulose content Chesson-Datta, and characterized by FTIR and SEM. From result of analysis of lignocellulose content after pretreatment got best cellulose yield by using 1% NaOH solvent with cellulose content as much as 52,46%. Based on the results of analysis with FTIR and SEM it can be seen that cellulose isolation with alkali pretreatment using 1% NaOH can produce cellulose microfibril with length of 1.1 × 10³ nm.

Key Words: Alkaline pretreatment, banana stem, cellulose, microfibril

Pendahuluan

Salah satu daerah penghasil pisang terbesar di Indonesia adalah Provinsi Lampung, dengan penghasilan 18,36% untuk Indonesia. Limbah batang pisang adalah salah satu biomassa yang dapat dijadikan sumber alternatif bahan baku utama pembuatan selulosa. Limbah batang pisang mengandung selulosa 46%, lignin 9%, dan hemiselulosa 38,54% [1]. Kandungan selulosa yang cukup tinggi ini membuat batang pisang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan mikrofibril selulosa.

Karakteristik mikrofibril selulosa umumnya memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi, berat yang rendah, luas permukaan yang spesifik serta bersifat biodegradable dan renewable [2] dimana dapat digunakan pada industri komposit, otomotif, pulp dan kertas, elektronik, cat dan *coating*.

Proses isolasi selulosa dari limbah batang pisang meliputi proses *pretreatment*, delignifikasi, dan *bleaching*. *Pretreatment* Alkali dilakukan menggunakan *Auto Clave* dimasak dengan

menggunakan pelarut NaOH, Ca(OH)₂ dan NH₃OH selama 1 jam pada suhu 50°C. *Pretreatment* alkali bertujuan untuk meregangkan (penggembungan) ikatan antar lignoselulosa sehingga memudahkan pelarutan lignin dan hemiselulosa pada tahapan selanjutnya [3]. Delignifikasi merupakan proses pelarutan lignin untuk mempermudah pemisahan lignin dengan kandungan lignoselulosa lainnya. Proses ini dilakukan dengan pelarut Na₂SO₃ 20% selama 2 jam pada suhu 105°C [4]. *Bleaching* atau proses pemutihan merupakan proses penghilangan sisa lignin dengan memutuskan rantai-rantai pendek lignin. Proses ini dilakukan dengan menggunakan pelarut H₂O₂ 2% pada suhu 60°C selama 2 jam.

Irawati et al. [5], meneliti tentang produksi bioetanol dari limbah serbuk kayu meranti merah dengan pra-perlakuan menggunakan Ca(OH)₂. Penelitian dilakukan dengan 100 ml larutan Ca(OH)₂ dalam pelarut air dengan konsentrasi 20%, hasil yang optimal ialah pada temperatur 50°C dengan waktu 4, 6, dan 8 hari menghasilkan holoselulosa masing-masing 76,99%, 78,34%, 78,77% dan alfaselulosa masing-masing 62,93%, 62,35%, dan 59,99%. Menurut Octavia et al. [3],

NH_3OH dapat digunakan untuk menghilangkan lignin dari biomassa dengan reaksi hidrolisis. Dengan melakukan *pretreatment* perendaman dalam larutan amoniak pada temperatur ruang, didapatkan hasil delignifikasi yang baik hingga 80 – 90%.

Penelitian yang dilakukan Han et al. [6] tentang *pretreatment* dengan menggunakan NaOH 1% pada batang gandum selama 1,5 jam dengan suhu 121°C dan tekanan 15 psi memberikan hasil kenaikan kandungan selulosa sebesar 44,52% sementara kandungan hemiselulosa dan lignin berkurang sebesar 44,15% dan 42,52%. Irawan et al. [7], meneliti mengenai batang pisang yang akan dijadikan sebagai bahan baku pembuatan kertas. Dimana pada prosesnya terdapat *pretreatment* berupa proses soda atau disebut juga proses alkali. Larutan alkali yang digunakan ialah NaOH 18%. Hasil rendemen terbaik didapatkan pada suhu pemasakan 120°C dengan rasio volume dan massa limbah 5/1 yakni 76,21%. Sumada et al. [3] dengan menggunakan bahan dasar berlignoselulosa ubi kayu, yaitu pada proses delignifikasi dengan menggunakan NaOH , Na_2SO_3 , dan Na_2SO_4 dengan konsentrasi 5%-25% diperoleh kualitas α -selulosa pada proses delignifikasi jenis bahan yang terbaik adalah Na_2SO_3 dengan konsentrasi 20% ($\text{pH} = 11$) diperoleh kandungan α -selulosa 88,90%. Semakin besar kualitas α -selulosa seiring dengan konsentrasi NaOH , Na_2SO_3 , dan Na_2SO_4 yang semakin besar tetapi pada konsentrasi tertentu besarnya α -selulosa menunjukkan kecenderungan konstan. Hal itu disebabkan, karena semakin besar konsentrasi NaOH , Na_2SO_3 , dan Na_2SO_4 maka kadar lignin yang terlarut semakin besar.

Berdasarkan literatur yang dijabarkan maka dilakukan penelitian mengenai isolasi mikrofibril selulosa dengan *pretreatment* alkali dari limbah batang pisang.

Bahan Dan Metode

Penelitian ini dilakukan dalam 4 tahapan yakni: 1) *Pretreatment* alkali dilakukan menggunakan *Auto Clave* dengan limbah batang pisang dimasak dengan menggunakan pelarut NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dan NH_3OH yang konsentrasinya divariasikan yaitu 0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1%. Rasio bahan terhadap pelarut yaitu 1:10 selama 1 jam pada suhu 100°C . 2) Tahap delignifikasi menggunakan Na_2SO_3 20%, dengan perbandingan berat bahan dan volume larutan 1:10 selama 2 jam pada suhu 105°C . 3) Tahapan *bleaching* atau pemutihan menggunakan H_2O_2 2% dengan perbandingan berat bahan dan volume larutan 1:12 selama 2 jam pada suhu 60°C . 4) Tahap analisis kadar lignoselulosa, FTIR dan SEM.

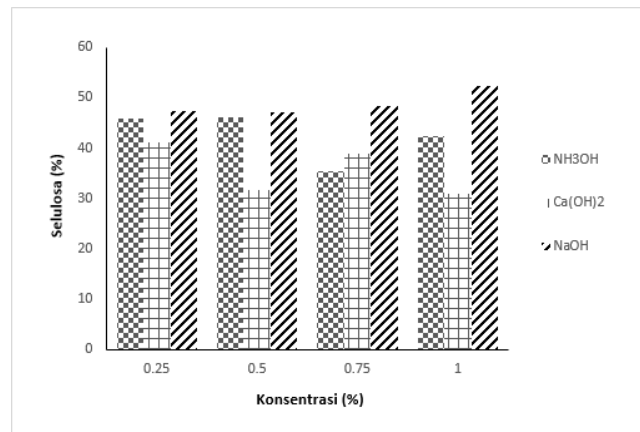
Batang pisang dipotong dan dicacah terlebih dahulu sebelum dikeringkan di bawah sinar matahari kemudian diayak dengan menggunakan ayakan yang berukuran 20 mesh. *Pretreatment* alkali dilakukan menggunakan *Auto Clave* dengan cara kerja sebanyak 30 gr serbuk limbah batang pisang dimasak didalamnya dengan aquadest dan dengan menggunakan pelarut NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dan NH_3OH yang konsentrasinya divariasikan yaitu 0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1%. Rasio bahan terhadap pelarut yaitu 1:10 selama 1 jam pada suhu 50°C .

Kemudian campuran dipisahkan dari pelarut, disaring, dicuci dengan aquades sampai pH netral, dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C . Tahap selanjutnya pada delignifikasi menggunakan Na_2SO_3 20%, dengan perbandingan berat bahan dan volume larutan 1:10 selama 2 jam pada suhu 105°C . Kemudian selulosa yang didapatkan dipisahkan dari pelarut basa dan dicuci dengan aquades hingga bersih. Setelah pencucian, selulosa basah selanjutnya dikeringkan pada suhu 100°C . Pada tahapan selanjutnya, *bleaching* menggunakan H_2O_2 2% dengan perbandingan berat bahan dan volume larutan 1:12 selama 2 jam pada suhu 60°C . Kemudian selulosa yang didapatkan dipisahkan dari pelarut peroksida dan dicuci dengan aquadest hingga bersih. Setelah pencucian, selulosa basah selanjutnya dikeringkan pada suhu 100°C . Kemudian, dianalisis kadar lignoselulosa dengan Chesson-Datta serta karakterisasi dengan menggunakan metode SEM dan FTIR.

Hasil Dan Pembahasan

Efek *Pretreatment* Alkali

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pembuatan mikrofibril selulosa dengan pengaruh *pretreatment* menggunakan larutan alkali didapatkan kadar selulosa hasil *pretreatment* dengan berbagai konsentrasi pelarut seperti pada Gambar 1.

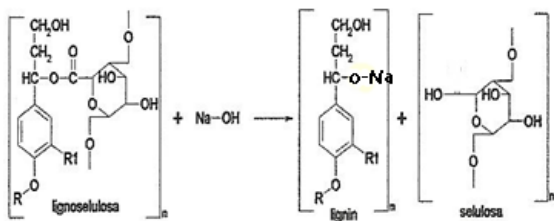


Gambar 1. Grafik hubungan konsentrasi pelarut terhadap kadar selulosa

Berdasarkan Gambar 1 kadar selulosa dengan menggunakan pelarut NH_3OH dan NaOH cenderung naik seiring dengan semakin tingginya konsentrasi pelarut tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi konsentrasi yang digunakan untuk kedua pelarut maka akan semakin banyak selulosa yang terbebas dari ikatan lignoselulosa. Permatasari [8], menjelaskan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi NaOH akan semakin mempermudah pemutusan ikatan lignoselulosa terutama untuk melarutkan lignin. Partikel NaOH akan masuk ke dalam bahan dan memecah struktur lignin [8]. Dimana dengan banyaknya ikatan lignin yang terlarut maka ikatan selulosa yang terbentuk pun semakin banyak. Namun, sebaliknya dengan menggunakan pelarut $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kadar selulosa yang dihasilkan cenderung menurun. Hal ini dapat terjadi dikarenakan suhu yang digunakan terlalu tinggi serta waktu pemasakan yang lama pada pemasakan dengan pelarut $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Seperti

yang dijelaskan oleh Chang et al. [9] bahwa suhu tinggi serta waktu pemasakan yang lama membuat terbentuknya senyawa asam organik yang mengkonsumsi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sehingga membuat *pretreatment* tidak efektif.

Menurut Tarkouw dan Feist [10] lignin pada lignoselulosa dapat dihilangkan atau dimodifikasi dengan *pretreatment* alkali, dengan membuat retakan ikatan ester yang membentuk ikatan silang antara xylan dan lignin, sehingga meningkatkan porositas biomassa. Akan tetapi, prosesnya sangat rumit dimana melibatkan beberapa fenomena reaktif dan nonreaktif seperti pelarutan polisakarida nondegradasi, hidrolisis ikatan glikosidik dan gugus asetil, dan dekomposisi polisakarida terlarut. Menurut Mirahmadi et al. [10], peningkatan kandungan selulosa pada bahan merupakan hasil dari berkurangnya kadar hemiselulosa. Dimana hemiselulosa merupakan polimer yang heterogen dan bercabang dari pentosa dan heksosa yang relatif mudah terhidrolisis menjadi monomer-monomernya. Sedangkan, selulosa merupakan polimer kristalin yang tidak mudah terhidrolisis dengan bahan kimia.



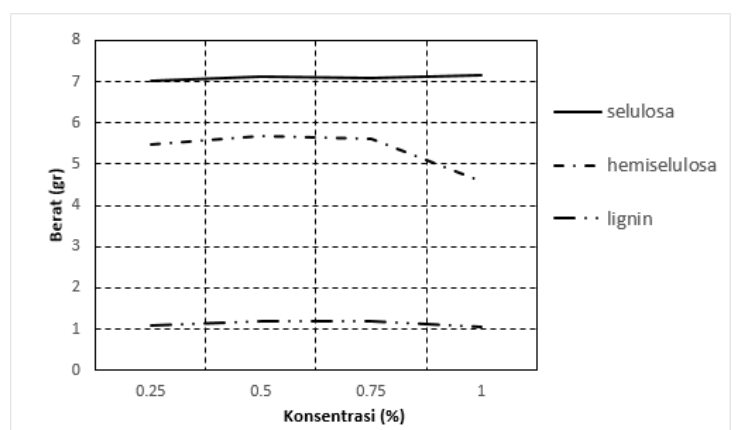
Gambar 2. Reaksi pemutusan ikatan lignoselulosa menggunakan NaOH [8].

Berdasarkan Tabel 1, proses *pretreatment* menggunakan pelarut NH_3OH maupun menggunakan pelarut $\text{Ca}(\text{OH})_2$ memperlihatkan hasil yang cukup baik pada konsentrasi rendah. Menurut Octavia [3], larutan NH_3OH dapat memperlihatkan efek penggembungan lignoselulosa yang signifikan dan memiliki interaksi yang sangat sedikit terhadap hemiselulosa. Sehingga, selama proses *pretreatment* bahan hanya mengalami penggembungan terhadap lignoselulosa yang terkandung didalamnya. Penggembungan ini membuat ikatan dalam lignoselulosa tidak sepenuhnya putus, atau dengan kata lain hanya melonggarkan ikatan lignoselulosa tersebut. Hal ini, sejalan dengan penelitian yang dilakukan Amin [9]. Bahwa *pretreatment* menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dapat mendegradasi lignin dan hemiselulosa dikarenakan keduanya memiliki ikatan kovalen sehingga, apabila lignin terdegradasi maka hemiselulosa akan ikut terdegradasi (Sierra et al., 2009, Hendrik & Zeeman, 2009 [9]).

Berdasarkan Tabel 1 kadar selulosa yang didapatkan pada proses *pretreatment* dengan menggunakan larutan NaOH lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut lainnya. Kadar lignin dan hemiselulosa yang dihasilkan dengan larutan NaOH pun cukup rendah seperti terlihat pada Gambar 3 Hal ini menunjukkan bahwa tujuan dari *pretreatment* dengan menggunakan pelarut NaOH cukup efektif. Permatasari [8] mengatakan bahwa penggunaan larutan NaOH dapat merusak struktur lignin pada bagian kristalin maupun amorf. Dimana suhu yang digunakan untuk merusak struktur lignin berada dibawah 180°C . Untuk

ekstraksi hemiselulosa pelarut NaOH dapat memecah struktur hemiselulosa pada bagian amorf. Komposisi kadar selulosa yang dihasilkan dengan larutan NaOH berdasarkan Tabel 1 merupakan yang tertinggi dibanding pelarut lainnya. Dan juga konsentrasi paling tinggi yang digunakan yang menghasilkan kadar selulosa terbaik yakni 1%.

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi NH_3OH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dan NaOH maka selulosa yang terlepas dari ikatan lignoselulosa semakin besar tetapi pada konsentrasi tertentu besarnya selulosa menunjukkan kecenderungan menurun apabila melebihi konsentrasi terbaiknya. Hal ini dikarenakan semakin besar konsentrasi larutan alkali yang digunakan maka ikatan antara selulosa, hemiselulosa, dan lignin akan lebih mudah putus [11].



Gambar 3. Grafik massa selulosa, hemiselulosa dan lignin dengan pelarut NaOH

Tabel 1. Komposisi lignoselulosa setelah *pretreatment*

Jenis Pelarut	Konsentrasi (%)	Hemi selulosa (%)	Selulosa (%)	Lignin (%)
Bahan baku	-	25,78	27,04	5,79
NH_3OH	0,25	34,53	45,98	8
	0,5	37,72	46,06	7,07
	0,75	47,59	35,41	7,32
	1	39,78	42,41	6,93
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	0,25	40,46	41,21	7,07
	0,5	53,22	31,78	5,44
	0,75	43,32	38,93	8,62
	1	52,54	31,02	5,44
NaOH	0,25	36,88	47,38	7,25
	0,5	37,73	47,23	7,99
	0,75	38,2	48,26	8,05
	1	33,49	52,46	7,74

Komposisi Hasil Delignifikasi dan *Bleaching*

Dari hasil delignifikasi ini, didapatkan perubahan kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin dari bahan baku dan proses *pretreatment* seperti yang ada pada Tabel 2.

Kandungan lignin yang terdapat dalam serat batang pisang setelah delignifikasi terlihat mengalami penurunan berdasarkan Tabel 2. Hal ini menunjukkan bahwa proses delignifikasi

dengan Na_2SO_3 memberikan hasil yang cukup baik dalam mendegradasi lignin. Berdasarkan Sumada [4], tingginya konsentrasi pelarut Na_2SO_3 maka lignin yang larut akan makin besar.

Bleaching merupakan tahap akhir dari isolasi selulosa. Dimana tahapan ini berfungsi untuk melarutkan sisa senyawa lignin yang dapat menyebabkan perubahan warna. Rantai panjang lignin didegradasi oleh bahan-bahan kimia pemutih menjadi rantai-rantai lignin yang pendek, sehingga lignin dapat larut pada saat pencucian dalam air atau alkali [12]. Terlihat seperti pada Tabel 2 bahwa kadar lignin setelah *bleaching* mengalami penurunan yang cukup banyak. Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan *bleaching* dengan H_2O_2 cukup efektif.

Namun, dapat terlihat pula bahwa kandungan hemiselulosa mengalami penurunan meskipun hanya sedikit. Bahan pemutih seperti peroksida (H_2O_2) akan menjadi lebih reaktif apabila waktu pemasakan pada serat lebih lama. Akan tetapi, waktu pemasakan yang terlalu lama dapat merusak rantai hemiselulosa dan juga selulosa pada serat tersebut (Hasnah U., 2008 [13]).

Bleaching merupakan tahap akhir dari isolasi selulosa. Dimana tahapan ini berfungsi untuk melarutkan sisa senyawa lignin yang dapat menyebabkan perubahan warna. Rantai panjang lignin didegradasi oleh bahan-bahan kimia pemutih menjadi rantai-rantai lignin yang pendek, sehingga lignin dapat larut pada saat pencucian dalam air atau alkali [12]. Terlihat seperti pada Tabel 2 bahwa kadar lignin setelah *bleaching* mengalami penurunan yang cukup banyak. Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan *bleaching* dengan H_2O_2 cukup efektif.

Namun, dapat terlihat pula bahwa kandungan hemiselulosa mengalami penurunan meskipun hanya sedikit. Bahan pemutih seperti peroksida (H_2O_2) akan menjadi lebih reaktif apabila waktu pemasakan pada serat lebih lama. Akan tetapi, waktu pemasakan yang terlalu lama dapat merusak rantai hemiselulosa dan juga selulosa pada serat tersebut (Hasnah U., 2008 [13]).

Tabel 2. Komposisi lignoselulosa sebelum *pretreatment*, sesudah *pretreatment*, setelah delignifikasi, dan setelah *bleaching*

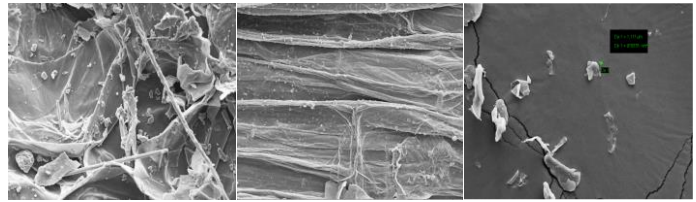
	Selulosa (%)	Hemi selulosa (%)	Lignin (%)
Bahan Baku	27,04	25,78	5,79
<i>Pretreatment</i> (NaOH 1%)	52,46	33,49	7,74
Delignifikasi	55,59	30,56	6,85
<i>Bleaching</i>	64,11	30,06	1,002

Analisis Scanning Electron Microscope

Berdasarkan Gambar 4 (a), batang pisang yang belum diberi perlakuan memiliki serat-serat yang saling berikatan dengan cukup rapat. Ikatan yang tidak beraturan tersebut menunjukkan ikatan antar lignoselulosa masih sangat rapat.

Serat batang pisang setelah *pretreatment* memiliki ikatan yang cukup renggang seperti pada Gambar 4 (b). Hal ini menandakan bahwa larutan NaOH 1% cukup efektif digunakan untuk

merenggangkan ikatan antara lignin, hemiselulosa, dan selulosa.



(a) (b) (c)

Gambar 4. (a). Hasil SEM batang pisang sebelum diberi perlakuan, (b) Hasil SEM batang pisang setelah *pretreatment* dengan NaOH 1%, dan (c) Hasil SEM batang pisang setelah *bleaching*.

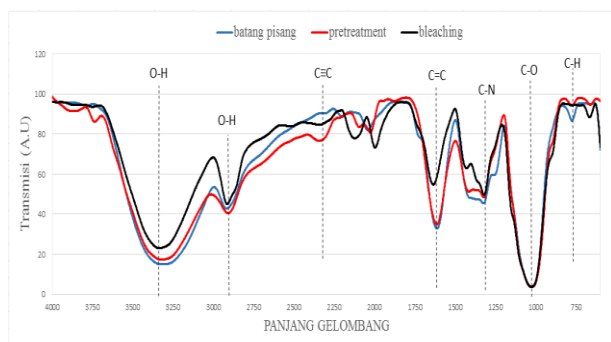
Serat batang pisang setelah *pretreatment* memiliki ikatan yang cukup renggang seperti pada Gambar 4 (b). Hal ini menandakan bahwa larutan NaOH 1% cukup efektif digunakan untuk merenggangkan ikatan antara lignin, hemiselulosa, dan selulosa.

Pada Gambar 4.(c) serat batang pisang terlihat lebih kasar dari pada sebelum *bleaching*. Dimana lignin dihilangkan pada proses *bleaching* ini, sehingga dari hasil SEM terlihat serat selulosa yang lebih kasar dan rapat.

Analisis FTIR (Fourier Transform Infra Red)

Fourier Transform Infra Red (FTIR) sering digunakan untuk menyelidiki struktur utama dan perubahan kimia pada lignoselulosa dari biomassa selama percobaan. Pada Gambar 5, terdapat perubahan puncak-puncak yang muncul antara batang pisang sebelum *pretreatment*, batang pisang setelah *pretreatment*, dan batang pisang setelah *bleaching*. Berdasarkan data Tabel 5 gugus C=C stretching vibration merupakan karakteristik dari kerangka lignin yang muncul disekitar $1500-1700\text{ cm}^{-1}$. Terlihat adanya degradasi lignin selama proses *pretreatment* pada batang pisang sebelum *pretreatment* dan hasil setelah *pretreatment* karena terjadi penurunan pada puncak gugus ini. Begitu pula pada puncak gugus setelah *bleaching*, dimana lignin semakin kecil akibat proses *bleaching* tersebut. Puncak pada bilangan gelombang 1300 cm^{-1} berhubungan dengan gugus C-O stretching vibration yang melambangkan adanya kehadiran hemiselulosa dan terjadinya penurunan puncak ini pada hasil setelah *pretreatment* dan setelah delignifikasi adalah hasil dari berkurangnya kadar hemiselulosa.

Puncak dengan intensitas kuat pada kisaran panjang gelombang $3200-3600\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus -OH dengan stretching vibration. Dimana gugus tersebut menunjukkan adanya ikatan hidrogen intramolekular dan merupakan gugus utama pada selulosa, karena selulosa merupakan rantai panjang dari β glukosa [14].



Gambar 5. Grafik spektrum FTIR sebelum *pretreatment*, setelah *pretreatment*, setelah *bleaching*

Puncak dengan intensitas panjang gelombang $3320,00\text{ cm}^{-1}$ yang terdapat pada batang pisang sebelum *pretreatment*, $3322,90\text{ cm}^{-1}$ pada batang pisang sesudah *pretreatment*, dan $3335,73\text{ cm}^{-1}$ pada batang pisang setelah delignifikasi. Terlihat perbedaan puncak serapan gugus O-H pada batang pisang sebelum *pretreatment* dan batang pisang setelah *pretreatment*, dimana intensitas serapan setelah *pretreatment* lebih tajam yang menunjukkan adanya peningkatan selulosa. Begitupun dengan intensitas serapan setelah *bleaching* dimana puncaknya lebih tajam daripada sebelum maupun sesudah *pretreatment*.

KESIMPULAN

1. *Pretreatment* dengan menggunakan larutan alkali terbaik dilakukan dengan menggunakan pelarut NaOH pada konsentrasi 1% menghasilkan selulosa sebesar 52,46%.
2. Hasil analisis dengan menggunakan FTIR dan SEM menunjukkan bahwa *pretreatment* dengan menggunakan pelarut alkali dapat digunakan serta menghasilkan mikrofibril selulosa dengan ukuran $1,1 \times 10^3\text{ nm}$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Venkateshwaran, N. dan Elayaperumal, A. 2010. "Banana Fiber Reinforced Polymer Composites-A Review", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 29-2387, Mei.
- [2] Risnasari, I., Febrianto, F., Wistara, N. J., Sadiyo, S., dan Nikmatin, S. 2013. "Morphology of Microfibrillated Cellulose From Primary Sludge". Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [3] Octavia, S., Soerawidjaja., T. H., Purwadi, R., Putrawan, I.D.G.A I. 2011. "Review: Pengolahan Awal Lignoselulosa Menggunakan Amoniak Untuk Meningkatkan Perolehan Gula Fermentasi". Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan". ISSN 1693 – 4393.
- [4] Sumada, K., Tamara, P. E., dan Alqani, F. 2011. "Isolation Study of Efficient α -Cellulose from Waste Plant Stem Manihot esculenta crantz". Jawa Timur: UPN "Veteran". *Jurnal Teknik Kimia* Vol.5, No.2, April 2011.
- [5] Irawati, D., Mardika, P. A., dan Marsoem, S. N. 2009. "Produksi Bioetanol dari Limbah Serbuk Kayu Meranti Merah (*Shorea Spp.*)

Dengan Pra-Perlakuan Menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ". Bandung: Prosiding Seminar Nasional MAPEKI XII.

- [6] Han, L., Feng, J., Zhang, S., Ma, Z., Wang, Y., dan Zhang, X. 2012. "Alkali pretreated of wheat straw and its enzymatic hydrolysis. *Brazilian Journal of Microbiology* vol.43 no.1" Sao Paulo Jan/Mar 2012.
- [7] Irawan, C., Ariyanti, D., dan Hernanda, P. 2013. "Pemanfaatan Limbah Batang Pisang (*Musa Sp.*) Sebagai Alternatif Bahan Baku Pembuatan Kertas di Kalimantan Selatan". Kalimantan Selatan: Universitas Lambung Mangkurat. ISBN: 978-602-142720-0.
- [8] Permatasari, H. R., Gulo, F., dan Lesmini, B. 2014. "Pengaruh Konsentrasi H_2SO_4 Dan Naoh Terhadap Delignifikasi Serbuk Bambu (*Gigantochloa Apus*)". Palembang: Universitas Sriwijaya. ISSN: 2355-7184.
- [9] Amin, Y., Syafii, W., Wistara, N. J., dan Prasetya, B. 2014. "Peningkatan Rendemen Gula Pereduksi dari Kayu Jabon dengan Perlakuan Air Kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)". Bogor: Institut Pertanian Bogor. *J. Ilmu Teknol. Kayu Tropis* Vol. 12 No.2 Juli 2014.
- [10] Mirahmadi, K., Kabir, M. M., Jeihanipour, A., Karimi, K., dan Taherzadeh, M. D. 2010. "Alkaline Pretreatment of Spruce and Birch to Improve Bioethanol and Biogas Production". *Bioresources* 5(2), 928-938.
- [11] Novia, Faizal, M. dan Wulandary, E. P. 2012. "Produksi Bioetanol Generasi Ke-Z dari TKKS dengan Metode Alkaline Pretreatment - Hidrolisis Enzimatis - Fermentasi". Palembang: Universitas Sriwijaya. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia dan Musyawarah Nasional APTEKINDO 2012. ISBN 978-979-98300-2-9.
- [12] Fengel, D., dan Wegener, G. 1995. "Kayu, Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi. Penerjemah: Hardjono Sastroatmojo". Yogyakarta: Gajah Mada Press.
- [13] Riama, G., Veranika, A., dan Prasetyowati. 2012. "Pengaruh H_2O_2 , Konsentrasi NaOH dan Waktu Terhadap Derajat Putih Pulp dari Mahkota Nanas". *Jurnal Teknik Kimia* No. 3, Vol. 18, Agustus 2012.
- [14] Lestari, P., Titi, N.H., Siti, H.I.L., dan Djagal, W. M. (2014) ."Development Technology Creation Biopolymers High Economic Value of Waste Corn Plant (*Zea Mays*) For Food Industry: CMC (Carboxy Methyl Cellulose)". Universitas Gajah Mada: Yogyakarta.

