

## HIDROLISIS LIGNOSELULOSA DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MENGUNAKAN KATALIS ASAM KARBOKSILAT

### *HYDROLYSIS OF LIGNOCELLULOSIC FROM PALM OIL EMPTY FRUIT BUNCHES OVER CARBOXYLATE ACID CATALYSTS*

Rodiansono<sup>1\*</sup>, Umi Baroroh Lili Utami<sup>1</sup>, Nana Widyastuti<sup>1</sup>,  
Paradilla Catur Wulandari<sup>1</sup>, Ina Risnawati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Prog. Studi Kimia Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat  
Jl. Jend. A. Yani Km 35,8 Banjarbaru 70714 Kalimantan Selatan

\* Corresponding author: rodiansono@fmipa.unlam.ac.id

#### ABSTRAK

Telah dilakukan hidrolisis lignoselulosa dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menggunakan katalis asam karboksilat. Tiga jenis asam karboksilat yang digunakan adalah asam maleat, asam suksinat, dan asam asetat. Katalis asam maleat dengan konsentrasi 4% v/v menghasilkan jumlah gula pereduksi tertinggi (11,9% b/b) pada temperatur reaksi 373 K, 60 menit. Hasil karakterisasi menggunakan XRD, SEM dan FTIR terhadap sampel TKKS sebelum dan sesudah reaksi menunjukkan bahwa hanya pada bagian amorf (hemiselulosa dan selulosa) TKKS saja yang mengalami peruraian yang dibuktikan oleh kristalinitas, morfologi permukaan dan perubahan gugus fungsi.

**Kata kunci:** hidrolisis, lignoselulosa, TKKS, katalis, asam karboksilat

#### ABSTRACT

*Hydrolysis of lignocellulosic from palm oil empty fruit bunches (POEFB) over carboxylate acid catalysts was carried out. Three types of carboxylate acids were maleic acid, succinic acid, and acetic acid. Maleic acid catalyst (4% v/v) gave the highest fermentable sugar (11.9% b/b) at 373 K, 60 min. Characterization results of POEFB before and after hydrolysis reaction using XRD, SEM, and FTIR showed that the catalysts hydrolyzed amorphous region of POEFB as indicated by crystallinity, surface morphology, and functional group of sample.*

**Keywords:** hydrolysis, lignocellulosic, POEFB, catalyst, carboxylate acid

## PENDAHULUAN

Pemanfaatan limbah pertanian sebagai sumber bahan kimia menjadi kajian yang mendapat perhatian luas oleh para peneliti saat ini (Ladisich *et al.*, 2005). Salah satu sumber limbah pertanian adalah dari tanaman kelapa sawit yang menghasilkan tandan kosong kelapa sawit (TKKS), sabut kelapa sawit (SKS), tempurung kelapa sawit (TKS), dan batang kelapa sawit (BKS) (Santosa, 2010). Limbah TKKS menjadi salah satu objek karena kelimpahan produksi dan kandungan selulosa yang relatif tinggi, sebaliknya kandungan ligninnya relatif rendah. TKKS memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin berturut-turut adalah 45,9%, 22,8%, dan 16,5% (Darnoko, 1992). Kandungan selulosa dan hemiselulosa dalam TKKS merupakan potensi yang cukup besar untuk dikonversi menjadi bahan sediaan kimia (*chemical feedstock*) bahkan menjadi glukosa atau bioetanol (Alejandro *et al.*, 2007).

Beberapa metode konversi TKKS yang telah dilaporkan seperti penggunaan katalis enzim dari *Neurospora sitophila*, berhasil memproduksi selulase dan xilanase dan digunakan untuk hidrolisis enzimatik TKKS (Irawadi, 1992). Umikalsoma *et al.* menggunakan *Chaetomium globosum* Kunze untuk mengkonversi selulosa dari TKKS menjadi bioetanol (Umikalsoma *et*

*al.*, 1997). Metode enzimatik memiliki kelemahan seperti sulitnya isolasi enzim yang sesuai, tidak dapat digunakan kembali, dan stabilitas termal yang rendah sehingga akan menaikkan biaya produksi.

Alternatif lain adalah menggunakan katalis asam atau basa yang sesuai. Beberapa peneliti sebelumnya telah menggunakan asam karboksilat dan asam sulfat sebagai katalis untuk hidrolisis selulosa menjadi glukosa dan senyawa lain (Jeewon, 1997). Moiser *et al.* (2001) melaporkan bahwa asam maleat menghidrolisis 95-90% selobiosa dengan maksimum glukosa yang bisa dihasilkan sekitar 90%. Selulosa (*Avicel*) yang terhidrolisis dengan katalis asam maleat sekitar 13,8% lebih tinggi dari asam sulfat yang hanya 8,23%. Glukosa yang dihasilkan lebih mudah untuk difermentasi, karena glukosa tidak mudah terdegradasi dengan asam maleat.

Pada artikel ini, asam karboksilat (asam maleat, asam suksinat, dan asam asetat) telah digunakan sebagai katalis untuk hidrolisis biomassa lignoselulosa TKKS menjadi gula pereduksi. Parameter reaksi seperti konsentrasi asam karboksilat, temperatur reaksi serta karakterisasi kristalinitas, morfologi permukaan lignoselulosa, dan gugus fungsi TKKS sebelum dan sesudah reaksi juga dibandingkan.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas, saringan 60, 120, dan 170 mesh merk Restch, *hot plate* merk *Cimarec*, satu set refluks, evaporator merk BUCHI, stirer merk PCM, pH meter Cyber Scan 1000 PM, blender *National*, oven merk *Mammert tipe U 40*, neraca analitik *Ohaus Item no. E 121 40*, termometer *Philips Harris Limited*, XRD (*X-Ray Diffraction*) *Philips PW 1710*, SEM (*Scanning Electron Microscope*) *TM-1000 Hitachi*, dan *Fourier-Transform Infrared* (FTIR) *HORIBA*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), pereaksi kimia pro analisis (E. Merck): asam sulfat ( $H_2SO_4$ ), asam suksinat ( $CO_2H(CH_2)_2CO_2H$ ), asam maleat ( $CO_2HCH=CHCO_2H$ ), asam asetat ( $CH_3CO_2H$ ), asam sitrat,  $Na_2CO_3$ ,  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ , Na-fosfat, Pb-asetat, KI,  $KIO_3$ , indikator amilum, kertas saring Whatman No. 42, dan akuades.

### Persiapan TKKS

Sampel TKKS dibersihkan dan dikeringkan menggunakan sinar matahari sehingga siap untuk dihaluskan menjadi serbuk dengan ukuran ~170 mesh untuk

selanjutnya dilakukan proses penghilangan lignin (*delignification*).

### Proses delignifikasi

Proses delignifikasi TKKS dilakukan dengan 2 cara yaitu, *pertama* menggunakan  $H_2SO_4$ , serbuk TKKS direfluks dengan larutan  $H_2SO_4$  0,5 M pada perbandingan selulosa:asam (1:20) (b/v) pada temperatur 353 K. Setelah 60 menit, campuran disaring, dicuci dengan akuades sehingga pH dari residu menjadi netral dan dikeringkan di dalam oven pada temperatur 333 K selama 6 jam. *Kedua*, delignifikasi menggunakan  $NaClO_2$ . Sampel TKKS dengan ukuran partikel ~170 mesh sebanyak 5,0 gram dicampurkan dengan  $H_2O$  200 mL,  $CH_3COOH$  0,2 mL, dan  $NaClO_2$  1,0 gram kemudian direfluks pada 343 K selama 3 x 1 jam diselingi dengan penambahan  $CH_3OOH$  dan  $NaClO_2$ . Campuran dicuci dengan akuades 3 x 250 mL, terakhir dengan aseton dan dikeringkan semalaman.

### Reaksi hidrolisis

TKKS setelah proses delignifikasi (TKKS delignifikasi) dipakai sebagai reaktan untuk proses hidrolisis menggunakan katalis asam karboksilat. Reaksi hidrolisis dilakukan menggunakan refluks pada variasi temperatur 353, 373, dan 383 K, waktu reaksi 60 menit, dengan

variasi konsentrasi asam 1, 2, 3, 4, dan 5% (b/v) pada perbandingan selulosa:asam 1:20 (b/v). Setelah 60 menit, reaksi dihentikan dan campuran reaksi hidrolisis disaring menggunakan kertas saring Whatman 42 dan dicuci hingga netral, kemudian dikeringkan pada 333 K selama 6 jam. Hidrolisis TKKS juga dilakukan tanpa menggunakan katalis sebagai data pembandingan.

### Karakterisasi

Penentuan kandungan gula pereduksi pada sampel TKKS sebelum dan sesudah reaksi menggunakan metode *Lurf Schoorl* (sesuai SII 2454-90), kristalinitas diukur menggunakan difraksi sinar-X (XRD), sifat morfologi permukaan menggunakan SEM dan gugus fungsional menggunakan spektroskopi FTIR.

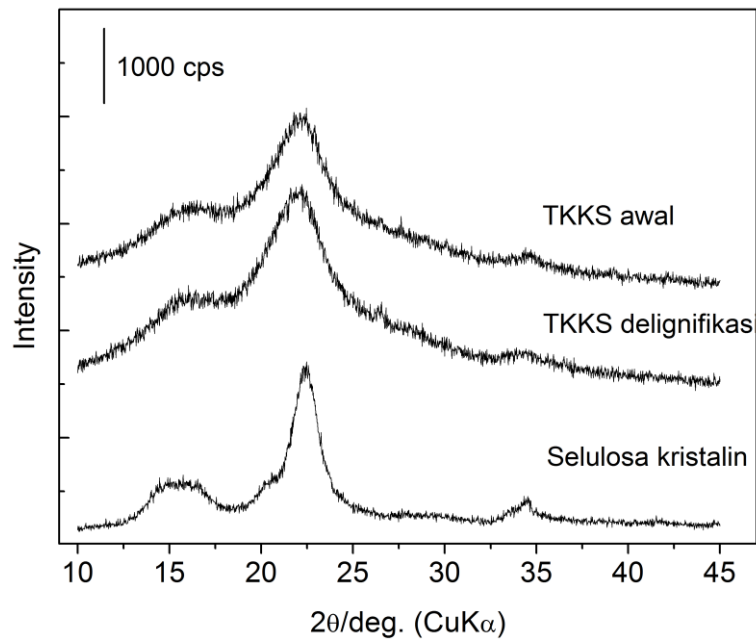
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Proses delignifikasi

Proses delignifikasi dilakukan untuk meningkatkan aksesibilitas aktif spesies katalis terhadap struktur selulosa. Delignifikasi juga berfungsi mengurangi jumlah produk samping hidrolisis, karena kandungan senyawa fenol dalam lignin yang tinggi dapat mengalami reaksi dengan katalis asam karboksilat. Perubahan warna yang terjadi antara sebelum dan sesudah proses delignifikasi dapat dilihat pada Gambar 1. Serbuk TKKS (~170 mesh) (Gambar 1A) dan serbuk TTKS setelah delignifikasi (Gambar 1B) berubah warna menjadi putih menunjukkan bahwa senyawa lignin telah berhasil dilepaskan dari struktur selulosa.



Gambar 1. Perubahan warna TKKS sebelum (A) dan sesudah (B) proses delignifikasi menggunakan  $\text{NaClO}_2$ .



Gambar 2 Profil XRD dari TKKS sebelum dan sesudah proses delignifikasi.

Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan bahwa profil difraktogram TKKS awal, TKKS delignifikasi, dan selulosa kristalin memiliki dua puncak yang spesifik di  $2\theta = 15,7^\circ$  dan  $22,5^\circ$ . Kedua puncak mengindikasikan berturut-turut bagian amorf dan kristalin (Gambar 2).

Indek kristalinitas dihitung berdasarkan persamaan yang diajukan oleh Segal *et al.*, (1959):

$$X_{CR} = \frac{I_{200} - I_{AM}}{I_{200}}$$

dimana  $X_{CR}$  kristalinitas sampel,  $I_{200}$  intensitas bagian kital selulosa ( $2\theta = 22,5^\circ$ ), dan  $I_{AM}$  intensitas bagian amorf selulosa ( $2\theta = 15,7^\circ$ ), dan hasil selengkapnya dirangkum dalam Tabel 1.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa kristalinitas TKKS awal adalah 13,2% yang mengindikasikan bagian amorf dari sampel masih relatif tinggi dibandingkan bagian kristalinnya (entri 1). Kristalinitas TKKS meningkat menjadi dua kali lipat (29,5%) setelah proses delignifikasi (entri 5) yang menunjukkan bahwa bagian amorf dari TKKS juga mengalami pelarutan selama proses delignifikasi. Akan tetapi jika dibandingkan dengan kristalinitas sampel selulosa, maka kristalinitas sampel TKKS baik sebelum maupun sesudah proses delignifikasi jauh lebih rendah (66,9%, entri 6).

Tabel 1. Parameter kristalinitas selulosa TKKS sebelum dan sesudah reaksi dan setelah delignifikasi

Entri	Sampel	$I_{200}/I_{am}^a$	Kristalinitas <sup>b</sup> (%)
1	TKKS awal	1406/1220	13,2
2	TKKS as. maleat	2605/2043	21,6
3	TKKS as. suksinat	2470/1860	24,7
4	TKKS as. asetat	2454/1878	23,5
5	TTKS delignifikasi	3346/2358	29,5
6	Sellulosa kristalin	1711/566	66,9

<sup>a</sup> Rasio intensitas puncak utama pada  $2\theta=22,7$  ( $I_{200}$ ) dan  $15,7$  ( $I_{amorphous}$ ). <sup>b</sup>Indek kristalinitas yang dihitung berdasarkan perbandingan intensitas sampel terhadap intensitas selulosa murni (Segal et.al., 1959)

### Hidrolisis TKKS menggunakan asam karboksilat

Tiga jenis asam karboksilat yang digunakan sebagai katalis hidrolisis TKKS adalah asam asetat, asam maleat, dan asam suksinat dengan konsentrasi 4% (v/v). Hasil hidrolisis TKKS menjadi gula pereduksi selengkapnya dirangkum dalam Tabel 2.

Katalis asam maleat memberikan gula pereduksi sebanyak 11,9% (entri 1), asam suksinat, 9,8% (entri 2), dan asam asetat, 8,8% (entri 3), sedangkan hidrolisis tanpa katalis menghasilkan gula pereduksi 3.0% (entri 4). Berdasarkan data di atas dapat dikatakan bahwa dari tiga jenis asam karboksilat yang digunakan, asam maleat merupakan yang terbaik dan hasil ini

sesuai dengan hasil penelitian Mosier *et al*, (2001) dalam hidrolisis selobiosa dan selulosa kristalin.

### Efek konsentrasi asam karboksilat

Efek konsentrasi katalis asam karboksilat dalam hidrolisis TKKS terhadap jumlah gula pereduksi yang dihasilkan juga telah dilakukan dan hasil selengkapnya dirangkum dalam Tabel 3. Konsentrasi katalis asam karboksilat telah divariasi pada interval 1-5% (v/v). Untuk katalis asam maleat, jumlah gula pereduksi meningkat dengan naiknya konsentrasi katalis yang digunakan hingga 4% (v/v) (entri 4) dan turun pada konsentrasi 5% (v/v) (entri 5).

Tabel 2 Hasil hidrolisis TKKS menggunakan katalis asam karboksilat yang berbeda

Entri Katalis	Konsentrasi katalis asam (% v/v)	Gula pereduksi <sup>b</sup> (% b/b)
1 Asam Maleat	4,0	11,9
2 Asam Suksinat	4,0	9,8
3 Asam Asetat	4,0	8,8
4 Tanpa katalis	-	3,0

<sup>a</sup> Kondisi reaksi: Rasio katalis asam/TKKS, 1/20 (b/v); 373 K, 60 menit. <sup>b</sup>Kandungan gula pereduksi ditentukan menggunakan metode *Lurf Schoorl* (sesuai SII 2454-90). Kandungan gula pereduksi TKKS kontrol (tanpa hidrolisis adalah 0.019% b/b).

Untuk katalis asam suksinat, jumlah gula pereduksi tertinggi yang dihasilkan adalah 10,1% b/b pada konsentrasi asam suksinat 5% (v/v), temperatur reaksi 373 K, 60 menit. Asam asetat yang hanya memiliki satu gugus fungsi karboksilat (COOH) menghasilkan jumlah gula pereduksi yang

relatif lebih rendah dibandingkan asam maleat dan asam suksinat pada konsentrasi dan kondisi reaksi yang sama. Dari hasil penelitian ini dapat dinyatakan bahwa katalis asam maleat dengan konsentrasi 4.0% (v/v) menghasilkan gula pereduksi tertinggi yaitu sebesar 11,9%.

Table 3. Efek konsentrasi katalis asam karboksilat terhadap kadar gula pereduksi yang dihasilkan

Entri	Konsentrasi katalis asam (v/v)	Gula pereduksi <sup>b</sup> (% b/b)		
		Asam Maleat	Asam Suksinat	Asam Asetat
1	1,0	8,2	7,7	8,3
2	2,0	8,5	8,2	7,9
3	3,0	9,1	8,0	8,1
4	4,0	11,9	9,8	8,8
5	5,0	7,8	10,1	8,5

<sup>a</sup>Kondisi reaksi: Rasio katalis asam/TKKS, 1/20 (b/v); 373 K, 60 menit.

<sup>b</sup> Kandungan gula pereduksi ditentukan menggunakan metode *Lurf Schoorl* (sesuai SII 2454-90). Kandungan gula pereduksi TKKS kontrol (tanpa hidrolisis adalah 0.019% b/b).

### Efek temperatur reaksi

Efek temperatur reaksi dalam hidrolisis TKKS terhadap jumlah gula pereduksi yang dihasilkan dirangkum selengkapnya dalam Tabel 4. Untuk katalis asam maleat dan asam suksinat, hasil gula pereduksi tertinggi dihasilkan pada temperatur 373 K, masing-masing 11,9% dan 9,8%. Katalis asam asetat menghasilkan gula pereduksi tertinggi (9,1%) pada temperatur reaksi 383 K, waktu reaksi 60 menit. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa temperatur terbaik untuk hidrolisis TKKS menggunakan katalis asam karboksilat dicapai pada 373 K, waktu reaksi 60 menit menggunakan katalis asam maleat dengan konsentrasi 4,0% (v/v).

Temperatur berpengaruh pada proses hidrolisis karena temperatur mampu

meningkatkan disosiasi air, sehingga dapat meningkatkan konsentrasi ion  $H^+$ . Dengan demikian, proses hidrolisis dipercepat dengan meningkatnya temperatur. Jumlah gula pereduksi yang dapat diperoleh pada hidrolisis dengan temperatur mengalami peningkatan sejalan dengan kenaikan temperatur, tetapi pada temperatur 100 °C pada konsentrasi asam maleat 4% terjadi peningkatan yang cukup tajam.

Gambar 3 menunjukkan profil XRD dari TKKS awal dan sesudah reaksi hidrolisis menggunakan katalis asam karboksilat. Intensitas pada daerah  $2\theta = 22,5^\circ$  meningkat setelah reaksi begitu juga pada daerah  $2\theta = 15,7^\circ$ . Hasil perhitungan Kristalinitas masing-masing sampel setelah reaksi dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 4. Efek temperatur reaksi terhadap kadar gula pereduksi yang dihasilkan

Entri	Temperatur reaksi (K)	Gula pereduksi <sup>b</sup> (% b/b)		
		Asam Maleat	Asam Suksinat	Asam Asetat
1	353	6,8	8,2	8,5
2	373	11,9	9,8	8,8
3	383	9,8	8,7	9,1

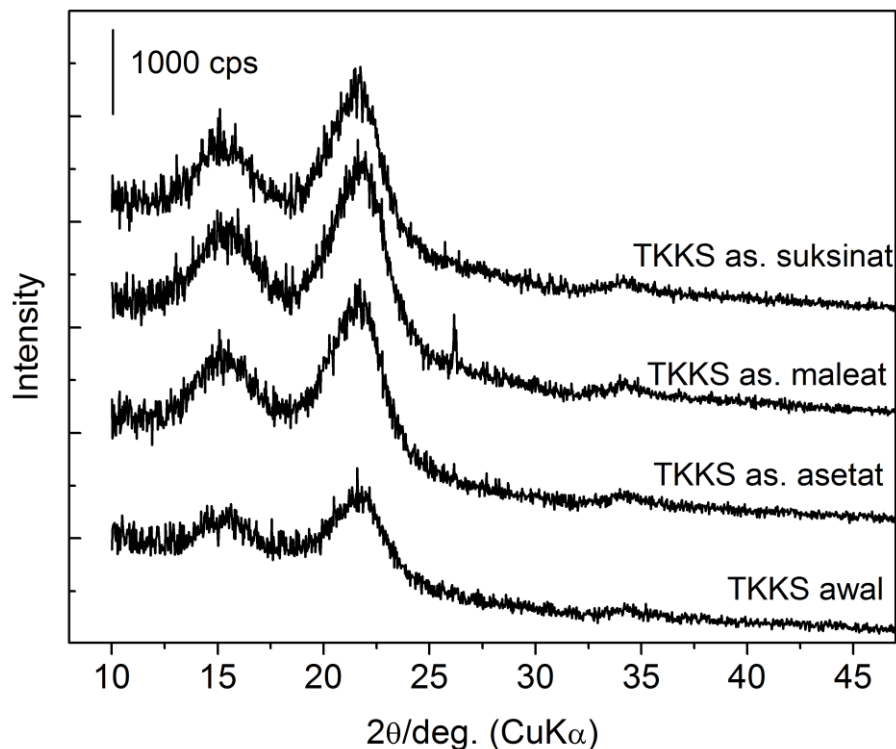
<sup>a</sup>Kondisi reaksi: Rasio katalis asam/TKKS, 1/20 (b/v); 353-383 K, 60 menit. Konsentrasi katalis asam adalah 4% (v/v). <sup>b</sup> Kandungan gula pereduksi ditentukan menggunakan metode *Lurf Schoorl* (sesuai SII 2454-90). Kandungan gula pereduksi TKKS kontrol (tanpa hidrolisis adalah 0.019% b/b).



Kristalinitas TKKS dengan katalis asam maleat, asam suksinat, dan asam asetat berturut-turut adalah 21,6%, 24,7%, dan 23,5% (entri 2, 3, dan 4). Peningkatan kristalinitas TKKS setelah reaksi menunjukkan bahwa proses hidrolisis hanya menguraikan bagian amorf polimer selulosa dan juga mungkin hemiselulosa saja. Asumsi tersebut sesuai dengan hasil yang diperoleh selama proses delignifikasi maupun hasil analisis menggunakan difraksi sinar-X (XRD). Hasil karakterisasi menggunakan SEM terhadap sampel TKKS awal dan sesudah reaksi untuk 3

jenis katalis asam karboksilat yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 4.

Struktur morfologi selulosa dari TKKS sebelum hidrolisis terlihat padat dan teratur yang dapat dilihat pada Gambar 4A. Hal ini disebabkan ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida masih utuh, sehingga unit-unit anhidroglukopiranososa berikatan dengan kuat. Sedangkan sesudah proses hidrolisis, struktur permukaan selulosa terlihat tidak teratur akibat proses hidrolisis menggunakan asam yang dapat dilihat pada Gambar 4B dan 4D.

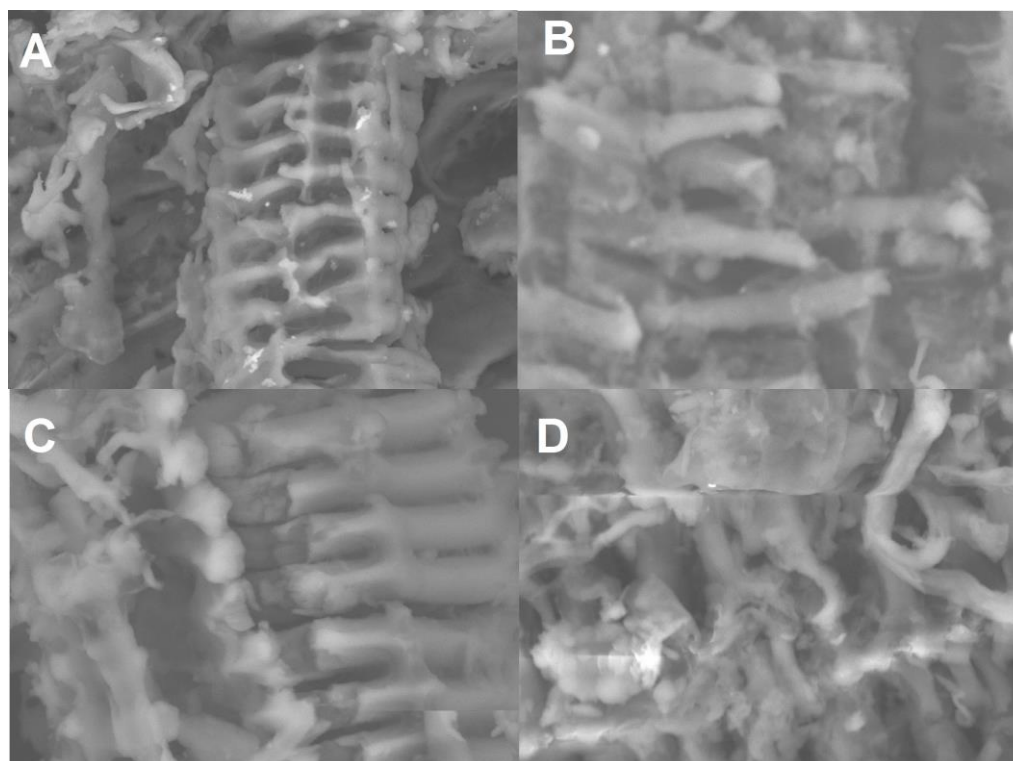


Gambar 3. Profil XRD dari TKKS sebelum dan sesudah hidrolisis menggunakan katalis asam pada temperatur reaksi 373 K, 60 menit.

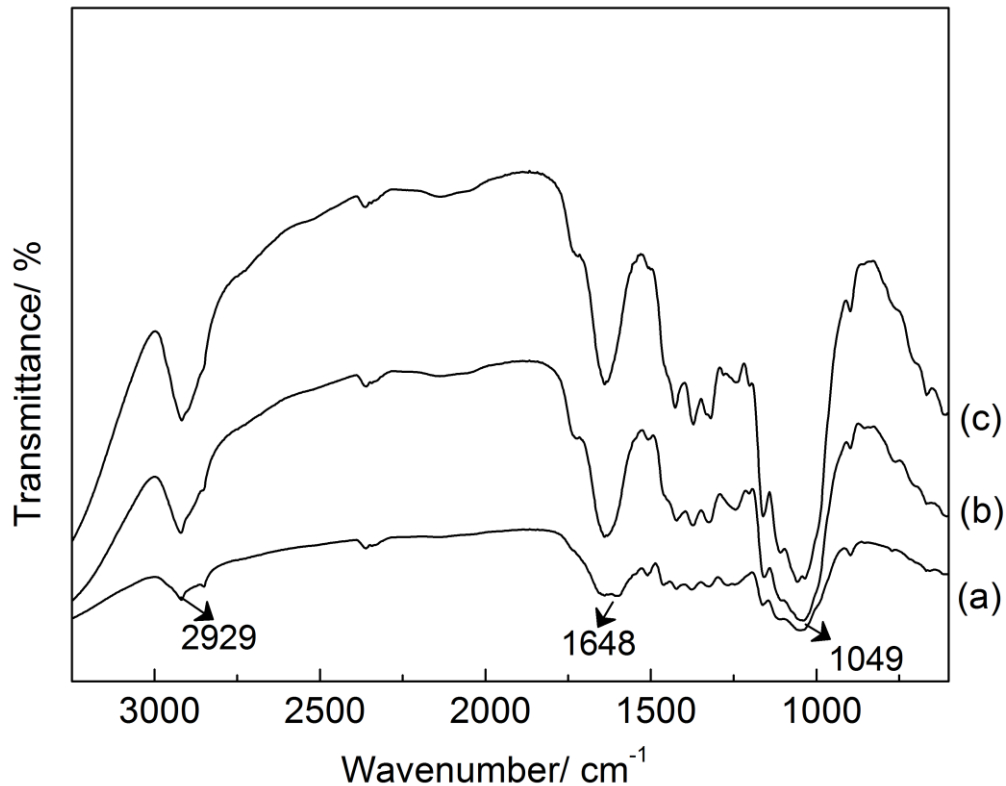
Untuk struktur morfologi sampel menggunakan katalis asam maleat tampak bahwa struktur lignin dan selulosa menjadi semakin kompak dan teratur dibandingkan dengan TKKS awal (Gambar 4A) maupun TKKS setelah reaksi dengan katalis asam asetat dan asam suksinat (jerami, serbuk gergaji dan sabut) sebelum hidrolisis, terlihat kompak, padat dan struktur mikro fibrilnya terlihat tegas. Lignoselulosa TKKS setelah dihidrolisis menggunakan enzim ekstraseluler dari *Neurospora sitophila*, akan tampak berongga-rongga dan tidak sekompak

(Gambar 4B dan 4D). Fakta ini menunjukkan bahwa asam maleat memiliki kemampuan untuk menghidrolisis bagian amorf dari lignoselulosa saja dan asumsi tersebut sejalan dengan jumlah

Struktur morfologi (permukaan dan penampang lintang) bahan lignoselulosa bahan lignoselulosa sebelum hidrolisis (Dewi, 2002). Hasil karakterisasi FTIR terhadap TKKS sebelum dan sesudah reaksi hidrolisis dengan asam karboksilat serta perbandingannya dengan selulosa kristalin ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Profil SEM dari TKKS sebelum (A) dan sesudah hidrolisis menggunakan katalis asam asetat (B), asam maleat (C), dan asam suksinat (D).



Gambar 5. Profil spektra FTIR dari TKKS sebelum (a) dan sesudah hidrolisis menggunakan katalis asam maleat (b), dan selulosa kristalin (c).

Tiga puncak transmittansi yang spesifik untuk sampel selulosa kristalin adalah di daerah bilangan gelombang 2929, 1648, and 1049  $\text{cm}^{-1}$ . Untuk sampel TKKS setelah reaksi hidrolisis dengan katalis asam maleat, puncak transmittansi untuk ketiga daerah bilangan gelombang hampir

sama intensitasnya dengan selulosa kristalin, sedangkan untuk TKKS awal memiliki intensitas yang relatif rendah. Data ini sejalan dan mendukung asumsi bahwa asam maleat hanya mampu menguraikan bagian amorf dari lignoselulosa TKKS.

## KESIMPULAN

Hidrolisis lignoselulosa dari TKKS menggunakan katalis asam karboksilat telah dilakukan. Dari tiga jenis asam karboksilat yang digunakan, asam maleat menghasilkan jumlah gula pereduksi tertinggi pada 373 K, 60 menit. Hasil karakterisasi menggunakan XRD, SEM, dan FTIR menunjukkan bahwa, hidrolisis menggunakan asam karboksilat hanya menguraikan bagian amorf selulosa, sedangkan pada bagian struktur utama selulosa yaitu ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida masih utuh tanpa mengalami perubahan yang signifikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alejandro R., L. Serrano, A. Morala, A. Perez dan L. Jimenez. 2007. *Bioresource Tehnology*, 98 (3): 554-559.
- Darnoko. 1992. Potensi Pemanfaatan Limbah Lignoselulosik Kelapa Sawit Melalui Biokonversi. *Berita Panel Perkebunan*, 85 – 97.
- Dewi, K. H. 2002. Hidrolisis Limbah Hasil Pertanian secara Enzimatik. *Akta Agrosia*, 5 (2) : 67-71.
- Irawadi, T.,T., 1992. *Produksi Enzim ekstraseluler (selulase-xilanase) pada Substrat Limbah Padat Kelapa Sawit. Disertasi.* Fakultas Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor, hal : 61-75.
- Jeewon, L. 1997. Biological Coverion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol *J. of Biotech.* 56 (1): 1-24.
- Mosier, N. S., A. Sarikaya, C.M. Ladisch, M.R. Ladisch. 2001. Characterization of Dicarboxylic Acids for Cellulose Hydrolysis. *Biotechnol.* 17: 474-480.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y.Y., Holtzapple, M., Ladisch, M., 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology.* 96: 673-686.
- Santoso S.J., 2008. Palm Oil Boom in Indonesia: From Plantation to Downstream Products and Biodiesel, *Clean*, 36 (5-6), 453-465.
- Segal L., Creely J.J., Martin A.E. and Conrad C.M. 1959. Anempirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. *Textile Res. J.* 29: 786 – 794.
- Umikalsoma, M.S., A.B. Arrifa, H.S. Zulkifli, C.C. Tong, M.A. Hassana & M.I.A. Karima. 1997. The treatment of Oil Palm Empty Fruit Branch Fibre for Subsequent use as Substrate for Cellulase Production by *Chaetomium globosum* Kunze. *Bioresource Technology*, Vol 62 (1-2): 1-9.

