POTENSI LIMBAH LIGNOSELULOSA KELAPA SAWIT DI KALIMANTAN SELATAN UNTUK PRODUKSI BIOETANOL DAN *XYLITOL*

Potential of Lignocellulosic Oil Palm Waste in South Kalimantan for Bioethanol and Xylitol Production

Asma Nadia, Asma Fauziah, Ersha Mayori, Sunardi*
Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km. 35,8 Banjarbaru 70714, Kalimantan Selatan, Indonesia
*email: sunardi@unlam.ac.id; masunardi@gmail.com

Abstrak. Kelapa sawit merupakan salah satu sektor perkebunan dengan komoditas terbesar yang sedang dikembangkan oleh perusahaan besar negara, perusahaan besar swasta, maupun perkebunan rakyat di Kalimantan Selatan. Luas areal dan produksi perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Selatan pada tahun 2017 masing-masing sebesar 455.674 ha dan 1,3 juta ton. Limbah kelapa sawit berupa tandan kosong sawit dan pelepah kelapa sawit merupakan sisa industri kelapa sawit yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber selulosa dan hemiselulosa yang dapat dikonversi lebih lanjut menjadi bioetanol generasi dua pengganti bahan bakar minyak dan *xylitol* sebagai pemanis rendah kalori pengganti gula tebu. Artikel ini membahas tentang potensi, proses, dan peluang pemanfaatan limbah lignoselulosa kelapa sawit di Kalimantan Selatan sebagai bahan baku bioetanol dan *xylitol*.

Kata kunci: lignoselulosa, kelapa sawit, bioetanol, *xylitol*

Abstract. *The oil palm is type of plantation sector with the largest commodity being developed by state-owned, private-companies, and also smallholders in South Kalimantan. The total area and production of oil palm in 2017 in South Kalimantan are 455.674 ha and 1.3 million ton, respectively. Oil palm wastes such as empty fruit bunch and oil palm frond are residue from palm oil industry can be utilized as cellulose and hemicellulose feedstock which can be converted into second-generation bioethanol as fuel substitute and xylitol as low caloric sweetener for sugarcane substitute. This article to discuss the potential, process, and opportunity for utilization of lignocellulosic waste of oil palm in South Kalimantan as raw material for bioethanol and xylitol.*

Keywords: *lignocellulose, oil palm, bioethanol, xylitol*

PENDAHULUAN

Indonesia telah berhasil menjadi produsen kelapa sawit terbesar di dunia sejak tahun 2005, terlihat dari meningkatnya luas areal perkebunan kelapa sawit dari tahun ke tahun dengan melibatkan perusahaan besar negara (PBN), perusahaan besar swasta (PBS), dan perkebunan rakyat (PR). Hal ini selaras dengan data statistik yang dirilis oleh Dirjen Perkebunan pada tahun 2017 diperkirakan lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia meningkat menjadi sebesar 12,3 juta ha dengan total produksi minyak kelapa sawit 35,3 juta ton. Luas areal perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Selatan pada tahun 2017 diperkirakan mencapai 455.674 ha, 77,46% merupakan kebun yang dimiliki PBS, 3,77% dimiliki PBN serta sisanya 18,76% merupakan usaha PR (Perkebunan, 2016). Akan tetapi melimpahnya produksi kelapa sawit di Kalimantan Selatan tidak diimbangi dengan pengolahan limbah kelapa sawit dengan optimal.

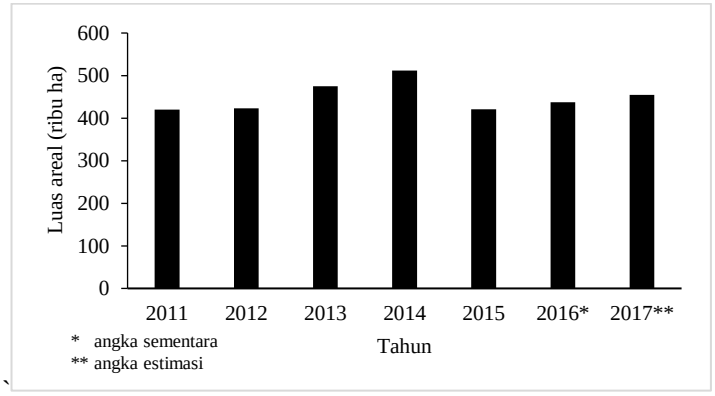
Diterbitkan oleh Program Studi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Lambung Mangkurat
pISSN: 2086-7328, eISSN: 2550-0716. Terindeks di SINTA, IPI Portal Garuda, IOS, Google Scholar, MORAREF, BASE, Reseacrh Bib, SIS, TEI.

Limbah terbesar yang dihasilkan dari industri kelapa sawit adalah tandan kosong sawit (TKS) dan pelepah kelapa sawit (PKS) yang termasuk dalam biomassa lignoselulosa.

Bahan lignoselulosa mempunyai kandungan utama tiga macam polimer alam yang berbeda, yang dikenal dengan lignin, hemiselulosa, dan selulosa yang saling berikatan membentuk satu kesatuan yang utuh (Octavia, 2011). Fraksi polimer yang bervariasi dari lignoselulosa tersebut dapat dimanfaatkan untuk berbagai bahan baku kimia dan energi serta produk turunannya. Selulosa dan hemiselulosa yang diperoleh dari proses *pretreatment* baik secara fisika, kimia maupun biologi dapat dikonversi menjadi bioetanol generasi dua (G2) yang kini kian intesif dikembangkan di berbagai negara, termasuk di Indonesia. Selain itu, fraksi hemiselulosa yang dihasilkan juga dapat dimanfaatkan untuk produksi *xylitol* sebagai pemanis alternatif dengan manfaat utamanya dapat mengurangi potensi penyebab karies dan plak pada gigi dengan mengontrol aktivitas pertumbuhan *Lactobacillus* dan *Streptococcus* pada saliva (Mussatto, 2012). Dengan demikian, pemanfaatan TKS dan PKS khususnya di Kalimantan Selatan dapat memberikan nilai tambah yang menguntungkan dan bernilai ekonomi tinggi dalam upaya pengembangan energi baru dan terbarukan dalam hal ini untuk produksi bioetanol G2 serta *xylitol*.

POTENSI LIMBAH KELAPA SAWIT DI KALIMANTAN SELATAN

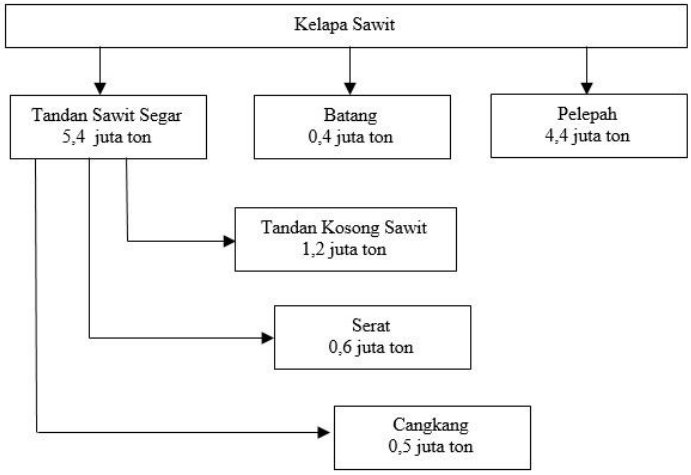
Produk samping perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Selatan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar bioetanol G2 dan *xylitol* adalah limbah lignoselulosa dari kelapa sawit yang tersebar di sepuluh kabupaten yaitu Tabalong, Balangan, Hulu Sungai Selatan, Hulu Sungai Utara, Tapin, Tanah Laut, Kotabaru, Tanah Bumbu, Banjar, dan Barito Kuala. Peningkatan lahan perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Selatan dari tahun 2011-2014 sebesar 22,07% dan mengalami penurunan 18% pada tahun 2015 akibat harga minyak nabati di dunia menurun. Pertumbuhan perkerbunan kelapa sawit di Kalimantan Selatan dapat dilihat pada Gambar 1. menunjukkan stabilitas dan ketersediaan sektor perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Selatan.



Gambar 1. Luas areal perkebunan kelapa sawit di Kalimatan Selatan dari 2011-2017 (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2016)

Ketersediaan sektor perkebunan kelapa sawit yang melimpah berdampak signifikan terhadap potensi pengembangan produk samping dan limbah kelapa sawit di Kalimantan Selatan. Pada tahun 2017, luas tanaman menghasilkan dan produksi kelapa sawit di Kalimantan Selatan masing-masing diprediksikan mencapai 337.273 ha dan 1,3 juta ton (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2016). Satu hektar luas lahan

perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Selatan berpotensi menghasilkan 16,1 ton tandan kelapa sawit segar dan menghasilkan limbah biomassa pelepah, batang, tandan kosong sawit, serat dan cangkang kelapa sawit masing-masing sebesar 13,2 ton; 1,4 ton; 3,7 ton; 1,9 ton; dan 1,6 ton (Santosa, 2008). Berdasarkan perkiraan di atas dapat diketahui total distribusi massa yang dihasilkan secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Distribusi massa dari perkebunan di Kalimantan Selatan (Santosa, 2008)

TKS dan PKS merupakan limbah dengan ketersediaan terbanyak dan melimpah sepanjang tahun. Data ketersediaan limbah kelapa sawit tersedia pada Tabel 1. Kandungan selulosa dan hemiselulosa yang dimiliki kedua limbah ini dapat dikonversi lebih lanjut menjadi bioetanol G2 dan *xylitol*. Estimasi konversi selulosa dan hemiselulosa dapat dilihat pada Tabel 2. menunjukkan bahwa potensi produksi bioetanol G2 dan *xylitol* di Kalimantan Selatan sangat besar.

Tabel 1. Total komponen selulosa dan hemiselulosa pada TKS dan PKS di Kalimantan Selatan

Komponen	Tandan Kosong Sawit (ton)	Pelepah Kelapa Sawit
Selulosa (ton)	355.200	2,4 juta
Hemiselulosa (ton)	605.880	1,2 juta

Keterangan: (Santosa, 2008).

Tabel 2. Nilai konversi TKS dan PKS untuk produksi bioetanol dan *xylitol*

Komponen	Bioetanol (L/ton)	*Xylitol* (L/ton)
Tandan Kosong Sawit	26.455[a]	38.284[c]
Pelepah Kelapa Sawit	43.290[b]	136.986[d]

Keterangan: [a]Kim & Kim; 2013 [b]Hong *et al*., 2012; [c]Muhammad *et al*., 2002; [d]Manaf *et al*., 2017

KARAKTERISTIK TANDAN KOSONG SAWIT DAN PELEPAH KELAPA SAWIT

TKS berwarna cokelat berbentuk tidak seragam dengan bobot rata-rata 3,5 kg dan memiliki ketebalan sebesar 130 mm dengan panjang dan lebarnya tergantung ukuran tandan sawit segar yang masing-masing berkisar dari 170-300 mm dan 250-

350 mm (Sung *et al*., 2010; Kerdsuwan & Laohalidanond, 2011). Sedangkan PKS memiliki panjang dari pangkal sampai ujung yang dapat mencapai 9 m dengan bobot rata-rata 7 kg dan lebar 15-20 cm (Intara *et al*., 2005). TKS dan PKS merupakan sumber daya alam lignoselulosa yang mengandung komponen kimia seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin. Komposisi kimia TKS dan PKS secara lengkap ditampilkan pada Tabel 3.

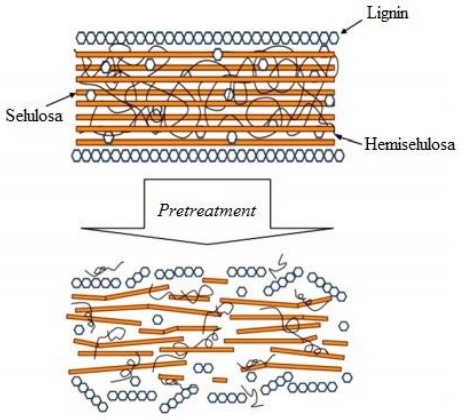
Tabel 3. Kandungan kimia TKS dan PKS

	Kandungan Kimia (%)			
	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin	Kadar Abu
TKS	[a]50,49	[a] 29,60	[a] 17,84	[a] 3,40
	[b]41,09	[b]27,90	[b]22,59	[b]2,00
Pelepah Kelapa Sawit	[a] 56,03	[a] 27,51	[a] 20,48	[a]2,40
	[c]47,60	[c]34,60	[c]15,20	[c]0,70

Sumber : [a]Khalil *et al*., 2008; [b]Erwinsyah *et al*., 2012; [c]Wanrosli *et al*., 2006

TEKNOLOGI KONVERSI TKS DAN PKS UNTUK PRODUKSI BIOETANOL G2

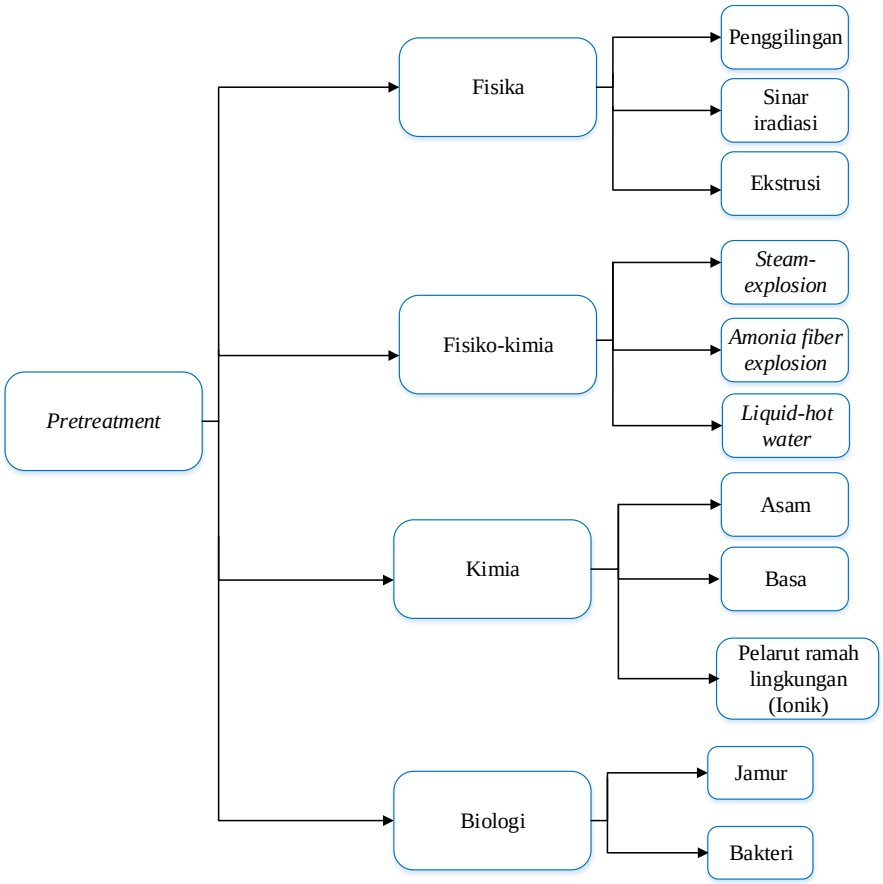
Bioetanol G2 merupakan salah satu energi alternatif baru dan terbarukan yang berasal dari bahan alam non pangan yaitu lignoselulosa. Ketersediaan bioetanol G2 sangat melimpah sebagai limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan dengan keunggulan lainnya dapat mengurangi 91% emisi gas kaca dibanding bahan bakar fosil (Hermiati, 2010; Fajriutama *et al*., 2013). Sumber lignoselulosa yang ramah lingkungan dengan ketersediaan yang berkesinambungan adalah dengan memanfaatkan limbah TKS dan PKS. Konversi TKS dan PKS menjadi bioetanol dihambat oleh struktur dan kompleksitas senyawa kimia (Aiman, 2014), terutama keberadaan lignin sehingga diperlukan langkah *pretreatment* untuk mempermudah proses hidrolisis yaitu dengan membuka struktur lignoselulosa agar selulosa dan hemiselulosa lebih mudah diakses oleh enzim yang memecah polisakarida menjadi monosakarida.



Gambar 3. Skema *pretreatment* bahan lignoselulosa (Mood *et al*., 2013)

Metode *pretreatment* diklasifikasikan menjadi empat kategori yaitu fisika, fisiko-kimia, kimia, dan biologi yang dirangkum pada Gambar 5. Masing-masing metode *pretreatment* memiliki kelebihan dan kekurangan, sehingga kriteria *pretreatment* yang efektif yaitu tidak memerlukan pengurangan ukuran,

mempertahankan fraksi hemiselulosa, meminimalisir input energi dan terbentuknya inhibitor akibat degradasi produk, serta hemat biaya produksi (Menon & Rao, 2012).



Gambar 4. Klasifikasi metode *pretreatment* (Menon & Rao, 2012)

Pretreatment TKS telah diteliti dengan berbagai metode diantaranya dengan *pretreatment* basa (Sarwono *et al*, 2014; Piarpuza´n *et al*., 2011; Bakar *et al*., 2012), asam (Nurfahmi *et al*., 2016), fisika (Dahnum *et al*., 2017; Bahrin *et al*., 2012), fisiko-kimia (Zakaria *et al*., 2015) dan biologi menggunakan jamur pelapuk putih dilakukan oleh Hermiati *et al*. (2014). Penelitian *pretreatment* PKS telah dilakukan oleh Goh *et al*. (2010) dengan metode *hot compressed water* dan Zakaria *et al*. (2015) menggunakan hidrotermal. Metode *pretreatment* yang beragam menunjukkan bahwa tantangan untuk penelitian TKS dan PKS masih sangat terbuka lebar untuk dikembangkan.

Proses konversi selanjutnya adalah tahapan sakarifikasi atau hidrolisis dan fermentasi, kemudian dilanjutkan dengan distilasi untuk mendapatkan etanol yang lebih murni. Proses hidrolisis adalah prosses pembentukan monosakarida dari selulosa dan hemiselulosa baik secara enzimatis atau kimiawi. Metode hidrolisis yang menjanjikan adalah secara enzimatis menggunakan enzim selulase dan hemiselulase. Enzim selulase diklasifikasikan menjadi tiga berdasarkan aktivitas enzimnya yaitu 1) endoglukanase bekerja pada bagian internal selulosa yang bersifat amorf untuk memotong acak polisakarida sehingga dihasilkan rantai baru, 2) eksoglukanase mendegradasi ujung rantai polisakarida baik yang telah mengalami reduksi ataupun

tidak untuk memperoleh selobiosa dan glukosa, 3) β-glukosidase menghidrolisis selodekstrin dan selobiosa menjadi glukosa (Gírio *et al*., 2010; Lynd *et al*., 2002; Duff & Murray, 1996). Beberapa mikroorganisme yang memiliki sifat selulolitik dan hemiselulolitik tinggi dan mampu memfermantasi monosakarida adalah *Clostridium*, *Cellulomonas*, *Trichoderma*, *Penicillum*, *Neurospora*, *Fusarium*, dan *Aspergillus* (Chandel *et al*., 2007).

Proses konversi sakarifikasi dan fermentasi dapat dilakukan dengan beberapa reaksi yang diintegrasi antara lain reaksi sakarifkasi dan fermentasi terpisah (*separated saccaharification and fermentation*/SHF), hidrolisis terpisah dan fermentasi heksosa dan pentosa secara simultan (*separated hydrolysis and co-fermentation*/SHCF), sakarifikasi dan fermentasi serentak (*simultaneous saccharification and fermentation*/SSF), SSF dengan melibatkan fermentasi glukosa dan xylosa (*simultaneous saccharification and co-fermentation*/SSFC) dan integrasi SSFC disertai produksi enzim (*consolidated bioprocessing*/CBP) (Hasunuma & Kondo, 2012; Gírio *et al*., 2010). Metode integrasi yang paling banyak digunakan adalah SSF. pH, temperatur, konsentrasi subtrat merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan metode ini. Keuntungan utama menggunakan SSF untuk biokonversi etanol adalah dapat meningkatkan laju hidrolisis selulosa dan hemiselulosa dengan menghambat terbentuknya produk inhibitor dan biaya produksi yang lebih rendah (Olofsson *et al*., 2008; Menon & Rao, 2012).

TEKNOLOGI KONVERSI HEMISELULOSA UNTUK PRODUKSI *XYLITOL*

Hemiselulosa merupakan polisakarida terbanyak kedua di alam yang jumlahnya berkisar 20-35% dan terdiri dari pentosa (xylosa dan arabinosa), heksosa (manosa, glukosa dan galaktosa), dan monosakarida lainnya (Saha, 2003). Xylan merupakan komponen utama pada hemiselulosa, 20-25% pada *hardwood* dan 7-12% pada *softwood*. Xylan dapat dikonversi menjadi *xylitol* dengan dihidrolisis terlebih dahulu menjadi xylooligomer dan xylosa oleh sekelompok enzim ekstraselular yang disebut dengan enzim xylanase. Hidrolisis sempurna xylan memerlukan aktivitas sinergis kelompok enzim, diantaranya adalah enzim endo-β-xylanase, ekso-xylanase, β-xylosidase, α-L-arabinofuranosidase (Beg *et al*., 2001; Chandrakant & Bisari, 1998; Puspaningsih *et al*., 2007).

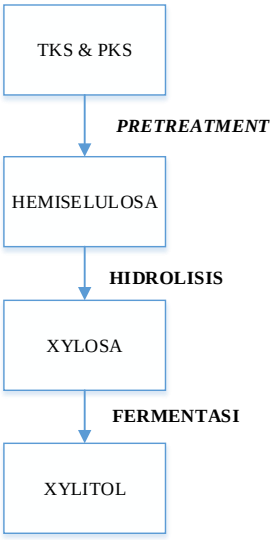
Xylitol ($C_5H_{12}O_5$) ditemukan oleh seorang kimiawan Emil Fischer pada tahun 1891 merupakan poliol yang memiliki gugus hidroksil pada setiap karbonnya, memiliki daya pemanis tinggi, dan menghasilkan 40% nilai kalori yang lebih rendah daripada sukrosa (Albuquerque *et al*., 2014). *Xylitol* telah digunakan pada bidang farmasi dan makanan sebagai pemanis alternatif karena keunggulan yang dimilikinya diantara adalah tidak bersifat karsinogenik dan kariostatik, serta tidak terlibat dalam reaksi Maillard (yang dapat menyebabkan makanan berwarna kecoklatan) sehingga tidak mengurangi nilai gizi protein. Karakteristik yang dimiliki *xylitol* tersebut mendorong penerapannya dalam proses produksi pangan seperti permen, karamel, coklat, es krim, jeli, marmalade dan minuman (Uittamo *et al*., 2011; Ritter *et al*., 2013; Modero *et al*., 2010).

Proses konversi *xylitol* dari TKS dan PKS melibatkan proses *pretreatment*, hidrolisis, dan reduksi *xylosa* menjadi *xylitol*. *Pretreatment* hemiselulosa dapat dilakukan dengan autoklaf pada suhu 121 ºC selama 15 menit (Kresnowati *et al*., 2015) atau dengan menggunakan *liquid hot water* dengan suhu 200 ºC selama 5-20 menit (Imman *et al*., 2013). Sedangkan *pretreatment* TKS dengan asam dapat melarutkan 90% hemiselulosa (Kim *et al*., 2012). Tahapan selanjutnya adalah hidrolisis *xylosa* secara kimia maupun enzimatik. Hidrolisis kimia umumnya menggunakan asam dengan konsentrasi tinggi (30-70%, w/w) atau rendah (<2%,

w/w). Namun metode hidrolisis asam dianggap dapat mencemari dan membahayakan lingkungan, serta dapat menghasilkan produk inhibitor seperti furfural, senyawa fenolat, dan asam alifatik sehingga produksi *xylitol* terhambat (Muhamad *et al*., 2010). Salah satu metode ramah lingkungan yang sedang dikembangkan adalah *pretreatment* hidrotermal sebelum proses hidrolisis enzimatik. Metode autohidrolisis dan *steam explosion* merupakan salah satu jenis metode hidrotermal yang hanya menggunakan air sebagai solvennya pada rentang suhu 150-230 ºC. Mekanisme degradasi autohidrolisis terjadi karena katalitik ion hidronium yang dihasilkan dari autoionisasi air secara in situ (Gírio *et al*., 2012).

Metode hidrolisis lainnya adalah hidrolisis enzimatik yang dapat dilakukan dengan bantuan enzim xylanase. Enzim xylanase terdiri dari beberapa aktivitas enzimatik diantaranya yaitu 1,4-β-endoxylanase (EC.3.2.1.8) yang memotong ikatan β-1,4-glikosidik, dan 1,4-β-eksoxylosidase (EC.3.2.1.37) memotong dua atau empat monomer bebas xylan pada ujung ikatan β-1,4-glikosidik (Shallom & Shoham, 2003). Hidrolisis hemiselulosa secara enzimatik telah diteliti pada substrat limbah pertanian, jerami gandum, dan jerami jagung (Tran *et al*., 2004; Liavoga *et al*., 2007; Chen *et al*., 2008).

Xylosa yang dihasilkan dari proses hidrolisis selanjutnya direduksi menjadi *xylitol* pada tahapan fermentasi baik dengan menggunakan senyawa kimia atau enzim. Fermentasi dengan kimia dapat dilakukan dengan menggunakan katalis logam mulia seperti platina, paladium, ruthenium atau nikel pada temperatur tinggi (Baudel *et al*., 2005). Sedangkan fermentasi enzimatik pada umumnya menggunakan ragi diantaranya adalah *Candida utilis*, *C. tropicalis*, *C. guilliermondi*, *C. mogii*, *Debaromyces hansenii*, *Pachysolen tannophilus*, dan *Pichia stipitis (*Kresnowati *et al*., 2015). Proses konversi hemiselulosa menjadi *xylitol* secara skematik dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 6. Proses konversi hemiselulosa menjadi *xylitol*

KESIMPULAN

Ketersediaan TKS dan PKS yang melimpah di Kalimantan Selatan hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal dan komersial. Berdasarkan kandungan kimia TKS dan PKS, material tersebut dapat digunakan untuk biokonversi bioetanol G2 dan *xylitol*. Potensi pengembangan TKS dan PKS sebagai bioetanol G2 dan *xylitol*

menghadapi kendala diantaranya adalah teknologi yang belum mendukung, harga bioetanol yang lebih mahal dibanding BBM sehingga tidak dapat bersaing, dan pemanfaatan *xylitol* yang masih minim. Oleh karena itu, perlu adanya dukungan dari berbagai pihak baik pemerintah, masyarakat, dan lembaga penelitian agar potensi TKS dan PKS dapat dikembangkan secara signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

Aiman, S. (2014). Perkembangan Teknologi dan Tantangan dalam Riset Bioetanol di Indonesia. *JKTI*, 108-117.

Albuquerque, T. L. D., Silva, I. J. D. J., Macedo, G. R. D., & Rocha, M. V. P. (2014). Biotechnological production of xylitol from lignocellulosic wastes: A review. *Process Biochemistry*, *49*, 1779-1789.

Bahrin, E. K., Baharuddin, A. S., Ibrahim, M. F., Razak, M. N. A., Sulaiman, A., Abd-Aziz, S., Hassan, M. A., Shirai, Y., & Nishida, H. (2012). Physicochemical Property Changes and Enzymatic Hydrolysis Enhacement of Oil Palm Empty Fruit Bunches Treated with Superheated Steam. *BioResources*, *7*(2), 1784-1801.

Bakar, N. K. A., Zanirun, Z., Abd-Aziz, S., Ghazali, F. M., & Hassan, M. A. (2012). Production of Fermentable Sugars from Oil Palm Empty Brunch using Crude Cellulase Cocktails with Trichoderma Asperellum UPM1 and Aspergiullus Fumigatus UPM2 for Bioethanols Production. *BioResources*, *7*(3), 3627-3639.

Baudel, HM., Abreu, C. D., & Zaror, CZ. (2005). Xylitol production via catalytic hydrogenation of sugarcane bagasse dissolving pulp liquid effluents over Ru/C catalyst. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, *80*, 230–233.

Beg, Q. K., Kapoor, M., Mahajan, L., & Hoondal, G. S. (2001). Microbial xylanases and their industrial applications: a review. *Appl Microbiol Biotechnol*, *56*, 326–338.

Chandel, A. K., Chan, ES., Rudravaram, R., Narasu, M. L., Rao, L. V., & Ravindra, P. (2007). Economics and environmental impact of bioethanol production technologies: an appraisal. *Biotechnology and Molecular Biology Review*, *2*(1), 014-032.

Chandrakant, P., & Bisaria, V. S. (1998). Simultaneous Bioconversion of Cellulose and Hemicellulose to Ethanol. *Critical Reviews in Biotechnology*, *18*(4), 295–331.

Chen, M., Zhao, J., & Xia, L. (2008). Enzymatic hydrolysis of maize straw polysaccharides for the production of reducing sugars. *Carbohydrate Polymers*, *71*, 411-415.

Dahnum, D., Barlianti, V., Sembiring, K. C., Kristiani, A., Muryanto, M., & Sudiyani, Y. (2017). Effect of Combining Electron Beam Irradiation and Alkaline Pretreatments of OPEFB for Enzymatic Hydrolysis and Fermentation of Ethanol. *Indonesian Journal of Applied Chemistry*, *19*(1), 1-10.

Duff, S. J. B., & Murray, W. D. (1996). Bioconversion of Forest Product Industry Waste Cellulosic to Fuel Ethanol: A Review. *Bioresource Technolgy, 55*, 1-33.

Erwinsyah, Sugesty, S., & Hidayat, T. (2012). Aplikasi Enzim Lipase pada Pulp Tandan Kosong Sawit untuk Kertas Cetak, Moulding dan Media Tanaman Kecambah Kelapa Sawit. *Prosiding InSINas*, (hal. MT92-MT97).

Fajriutami, T., Fatriasari, W., Laksana, R. P. B., & Hermiati, E. (2013). Pretreatment NaOH dan Hidrolisis Enzimatis Ampas Tebu. *Laporan Teknik Akhir tahun 2013*, 18-28.

Gírio, F. M., Carvalheiro, F., Duarte, L. C., & Bogel-Łukasi, R. (2012). *Deconstruction of the Hemicellulose Fraction from Lignocellulosic Materials into Simple Sugars.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Gírio, F. M., Fonseca, C., Carvalheiro, F., Duarte, L. C., Marques, S., & Bogel-Łukasik, R. (2010). Hemicelluloses for fuel ethanol: A review. *Bioresource Technology, 101*, 4775–4800.

Goh, C. S., Lee, K. T., & Bhatia, S. (2010). Hot compressed water pretreatment of oil palm fronds to enhance glucose recovery for production of second generation bio-ethanol. *Bioresource Technology, 101*, 7362–7367.

Hasunuma, T., & Kondo, A. (2012). Consolidated bioprocessing and simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulose to ethanol with thermotolerant yeast strains. *Process Biochemistry*, 8.

Hemiati, E., Risanto, L., Anita, S. H., Aristiawan, Y., Sudiyani, Y., Hanafi, A., & Abimanyu, H. (2014). Sakarifikasi Serat Tandan Kosong dan Pelepah Kelapa Sawit Setelah Pretreatment Menggunakan Kultur Campuran Jamur Pelapu Putih dan Trametes versicolor. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan, 32*(2), 111-122.

Hermiati, E., Mangunwidjaja, D., Sunarti, T. C., Suparno, O., & Prasetya, B. (2010). Pemanfaatan Biomassa Lignoselulosa Ampas Tebu untuk Produksi Bioetanol. *Jurnal Litbang Pertanian, 29*(4), 121-130.

Hong, L. H., Ibrahim, D., & Omar, I. (2012). Oil Palm Frond for the Production of Bioethanol. *Journal of Biochemistry and Biotechnology, 1*(1), 007-011.

Hong, L. H., Ibrahim, D., & Omar, I. C. (2012). Oil Palm Frond for the Production of Bioethanol. *International Journal of Biochemistry and Biotechnology, 1*(1), 007-011.

Imman, S., Arnthong, J., Burapatana, V., Laosiripojana, N., & Champreda, V. (2013). Autohydrolysis of Tropical Agricultural Residues by Compressed Liquid Hot Water Pretreatment. *Appl Biochem Biotechnol, 170*, 1982–1995.

Intara, Y. I., Suastawa, I. N., & Setiawan, R. P. A. (2005). Sidat Fisik dan Mekanik Parenkim Pelepah dan Batang Tandan Sawit. *Jurnal Keteknikan Pertanian, 19*(2), 117-126.

Kerdsuwan, S., & Laohalidanond, K. . (2011). Renewable Energy from Palm Oil Empty Fruit Bunch . *Renewable Energy – Trends and Applications* , 123-150.

Khalil, H. P. S. A., Alwani, M. S., Ridzuan, R., Kamarudin, H., & Khairul, A. (2008). Chemical Composition, Morphological Characteristics, and Cell Wall Structure of Malaysian Oil Palm Fibers. *Polymer-Plastics Technology and Engineering, 47*, 273–280.

Kim, J., Choi, W. II., Kang, M., Park, J. Y., & Lee, J. S. (2012). Kinetic Study of Empty Fruit Bunch Using Hot Liquid Water and Dilute Acid. *Appl Biochem Biotechnol, 167*, 1527–1539.

Kim, S., & Kim, C. H. (2013). Bioethanol production using the sequential acid/alkali-pretreated empty palm fruit bunch fiber. *Renewable Energy, 54*, 150-155.

Kresnowati, MTAP., Mardawati, E., & Setiadi, T. (2015). Production of Xylitol from Oil Palm Empty Friuts Bunch: A Case Study on Bioefinery Concept. *Modern Applied Science, 9*(7), 206-213.

Liavoga, A. B., Bian, Y., & Seib, P. A. (2007). Release of D-Xylose from Wheat Straw by Acid and Xylanase Hydrolysis and Purification of Xylitol. *J. Agric. Food Chem, 55*, 7758–7766.

Lynd, L. R., Weimer, P. J., Zyl, M. H. V., & Pretorius, I. S. (2002). Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews, 66*(3), 506–577.

Manaf, S. F. A., Luthfi, A. A. I., Jahim, J. A., & Harun, S. (2017). Interaction Effects of pH and Inhibitors in Oil Palm Frond (OPF) Hemicelullosic Hydrolysate on Xylitol Production: A Statistical Study. *Journal of Physical Science, 28*(1), 241–255.

Menon, V., & Rao, M. (2012). Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept. *Energy and Combustion Science, 38*, 522-550.

Mohamad, N. L., Kamal, S. M. M., & GLiew, A. (2009). Effect of Temperature and pH on Xylitol Recovery from Oil Palm Empty Fruit Bunch Hydrolysate by Candida tropicalis. *Journal of Applied Sciences, 9*(17), 3192-3195.

Monedero, V., Pérez-Martínez, G., & Yebra, M. J. (2010). Perspectives of engineering lactic acid bacteria for biotechnological polyol production. *Appl Microbiol Biotechnol, 86*, 1003–1015.

Mood, S. H., Golfeshan, A. H., Tabatabaei, M., Jouzani, G. S., Najaf, G. H., Gholami, M., & Ardjmand, M. (2013). Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27*, 77-93.

Mussatto, S. I. (2012). *Application of xylitol in food formulations and benefits for health.* Berlin and Heidelberg: Springer.

Nurfahmi, Ong, H. C., Jan, B. M., Tong, C. W., Fauzi, H., & Chen, W. H. (2016). Effects of organosolv pretreatment and acid hydrolysis on palm empty fruit bunch (PEFB) as bioethanol feedstock. *Biomass and Bioenergy, 95*, 78-83.

Octavia, S., Soerawidjaja, T. H., Purwadi, R., & Putrawan, I. D. G. A. (2011). Review: Pengolahan Awal Lignoselulosa Menggunakan Amoniak Untuk Meningkatkan Perolehan Gula Fermentasi. *Pengembangan Teknologi Kimia*

untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia (hal. B13-1-B13-6). Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" .

Olofsson, K., Bertilsson, M., & Lidén, G. (2008). A short review on SSF – an interesting process option for ethanol production from lignocellulosic feedstocks. *Biotechnology for Biofuels*, 1-7.

Direktorat Jenderal Perkebunan. (2016). *Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017.* Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan.

Piarpuza´n, D., Quintero, J. A., & Cardona, C. A. (2011). Empty fruit bunches from oil palm as a potential raw material for fuel ethanol production. *Biomass and bioenergy, 35*, 1130-1137.

Puspaningsih, N. N. T., Suwito, H., Sumarsih, S., Rohman, A., & Asmarani, O. (2007). Hidrolisis Beberapa Jenis Xilan dengan Enzim Xilanolitik Termofilik Rekombinan. *Berk. Penel. Hayati, 12*, 191–194.

Ritter, A.V., Bader, J. D., Leo, M. C., Preisser, J. S., Shugars, D. A., Vollmer, W. M., Amaechi, B. T., & Holland, J. C. (2013). Tooth-surface-specific Effects of Xylitol: Randomized Trial Results. *J Dent Res, X*, 1-6.

Saha, B. C. (2003). Hemicellulose bioconversion. *J Ind Microbiol Biotechnol, 30*, 279-291.

Sarwono, R., Triwahyuni, E., Aristiawan, Y., Kurniawan, H. H., & Anindyawati, T. (2014). Konversi Tandan Kosong Sawit (TKS) menjadi Etanol. *Jurnal Selulosa, 4*(1), 1-6.

Shallom, D., & Shoham, Y. (2003). Microbial hemicellulases. *Current Opinion in Microbiology, 6*, 219–228.

Sung, C T. B., Joo, G. K., & Kamarudin, K. N. (2010). Physical Changes to Oil Palm Empty Fruit Bunches (EFB) and EFB Mat (Ecomat) during Their Decomposition in the Field. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci., 33*(1), 39 - 44.

Tran, L. H., Yogo, M., Ojima, H., Idota, O., Kawai, K., Suzuki, T., & Takamizawa, K. (2004). The Production of Xylitol by Enzymatic Hydrolysis of Agricultural Wastes. *Biotechnology and Bioprocess Engineering, 9*, 223-228.

Uittamo, J., Nieminen, M. T., Kaihovaara, P., Bowyer, P., Salaspuro, M., & Rautemaa, R. (2011). Xylitol inhibits carcinogenic acetaldehyde production by Candida species. *International Journal of Cancer, 129*, 2038–2041.

Wanrosli, W. D., Zainuddin, Z., Law, K., & Asro, R. (2007). Pulp from oil palm fronds by chemical processes. *Industrial Crops and Products, 25*, 89-94.

Zakaria, M. R., Hirata, S., & Hassan, M. A. (2015). Hydrothermal pretreatment enhanced enzymatic hydrolysis and glucose production from oil palm biomass. *Bioresource Technology, 176*, 142–148.