



POTENSI LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT: PELEPAH KELAPA SAWIT DAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKU BIOETANOL

POTENTIAL OF PALM OIL SOLID WASTE: PALM OIL BOARDS AND PALM OIL EMPTY FRUITS AS BIOETHANOL RAW MATERIAL

Akladius L. Sani Simanjuntak¹, Ika Ucha P. Rangkuti.², M. Hendra Ginting³

^{1,2} Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Agrobisnis Perkebunan

³ Universitas Sumatera Utara

*Corresponding Email: akladiuslani@gmail.com

Abstract

*The global oil energy crisis is caused by the imbalance between consumption and production of petroleum. In order to compensate for this imbalance, the conversion of organic waste and biomass into fuel is carried out appropriately and quickly. This review article aims to determine the potential for solid waste from oil palm, Oil Palm Empty Bunches (TKKS) and Palm Oil Palm Ribs (PKS) as raw materials for making bioethanol. The production process of ethanol from palm oil solid waste is carried out starting from lignocellulosic pretreatment using alkaline and oxidation methods, with the highest results getting a decrease in lignin content in the EFB substrate from 35.51% to 9.47% or a decrease of 73.33%, while cellulose and hemicellulose content increased by 69% and 20.68% respectively, then the hydrolysis process with acid and enzyme catalysts with the highest yield obtained glucose levels of 60.02%, followed by a fermentation process using *Saccharomyces Cerevisiae* with the highest yield of ethanol content of 7.93%. Utilization of empty oil palm fruit bunches (TKKS) and oil palm midribs (PKS) as raw materials for the manufacture of bioethanol has enormous potential.*

Keywords : *Oil Palm Empty Fruit Bunches (TKKS), Oil Palm Midribs (PKS) Bioethanol, Bioethanol, Cellulose, Fermentation*

How to Cite : Simanjuntak, A.L.S., Rangkuti, I.U.P., & Ginting, M.H. (2021). Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit : Pelepah Kelapa Sawit Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Bioetanol. Jurnal Agro Fabrica Vol.3 (2) : 52-63.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi saat ini masih banyak disupply dari bahan bakar yang berasal dari fosil. Kebutuhan energi dunia akan terus meningkat sejalan dengan pertambahan penduduk dan pertumbuhan ekonomi. Peningkatan kebutuhan energi terutama bahan bakar fosil tersebut telah

menyebabkan penurunan cadangan minyak dunia sehingga bahan bakar fosil ini menjadi semakin langka dan harganya pun meningkat secara signifikan (Sinaga, 2012.). Di sisi lain, perkembangan industri berbahan bakar fosil telah menyebabkan dampak lingkungan dan pemanasan global. Salah satu cara mengurangi krisis energi

dan dampak yang diakibatkan oleh penggunaan energi berbahan baku fosil adalah pengembangan energi alternatif baru seperti bioetanol. Selain dapat diperbarui, bioetanol ini juga dapat mengurangi emisi akibat pembuangan gas-gas rumah kaca sehingga dapat mengurangi dampak pemanasan global (Smith, 2010).

Bioetanol adalah cairan hasil proses fermentasi gula ber sumber karbohidrat (pati) menggunakan aktivitas mikroba. Proses fermentasi biasanya tidak menggunakan oksigen (proses anaerob). Bahan baku pembuatan bioetanol Secara umum diklasifikasikan menjadi tiga kelompok: gula, pati dan selulosa. Gula seperti gula tebu, gula bit, molase dan buah-buahan mengandung kadar glukosa yang tinggi: pisang dapat secara langsung dikonversikan menjadi bioetanol melalui proses fermentasi. Sedangkan bahan baku berupa pati/selulosa seperti pati jagung, kentang, singkong maupun limbah buah buahan dan lain lain harus dihidrolisis terlebih dahulu sebelum dilakukan proses fermentasi lebih lanjut untuk dikonversikan menjadi bioetanol (Muin, 2014).

Salah satu sumber energi alternatif yang bisa dikembangkan di Indonesia adalah mengolah biomassa dari limbah perkebunan dan pertanian menjadi sumber energi bahan bakar cair yang terbarukan. Negara tropis seperti Indonesia umumnya mempunyai biomassa yang berlimpah,

kira-kira 250 miliar ton/tahun dihasilkan dari biomassa hutan dan pertanian. Limbah pertanian secara umum berasal dari perkebunan kelapa sawit, tebu, kelapa serta sisa panen dan lain-lainnya yang mencapai kira-kira 40 milyar ton/tahun (Suwono, 2004).

Setiap satu ton Tandan Buah Segar (TBS) yang diproses di pabrik pengolahan minyak sawit, akan dihasilkan biomassa lignoselulosa dalam bentuk batang pohon sebanyak 7 ton, pelepah 26 ton dan Tandan Kelapa Sawit (TKS) 0,23 ton (Yunus, 2010). Berat kering Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) adalah sekitar 8% dari berat tandan buah segar (TBS), sedangkan satu batang pohon sawit akan menghasilkan satu pelepah baru setiap tiga minggu sekali (Sheil, 2009). Pelepah yang dihasilkan dari setiap hektar kebun sawit adalah sekitar 10,88 ton (Hanim, 2010). Dengan hasil limbah padat yang berlimpah di Indonesia, sangat memungkinkan untuk memproduksi bioetanol. Sehingga dapat menggantikan bahan bakar fosil yang cukup langka dan mahal serta memberi dampak negatif ke lingkungan.

Biomassa berbasis lignoselulosa terdiri dari tiga polimer yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin (Perez, 2002). Polimer tersebut merupakan substrat yang cukup kompleks karena kandungan di dalamnya antara lain polisakarida, zat ekstraktif dan senyawa organik lainnya

(Costello, 2000). Polisakarida merupakan bagian terpenting dan terbanyak khususnya selulosa yang terbungkus lignin dengan ikatan yang cukup kuat. Dalam kaitan konversi TKS menjadi etanol, polisakarida dapat di sakarifikasi atau dihidrolisis menjadi monosakarida (glukosa, xilosa) sebelum diproses lebih lanjut menjadi etanol. Pemanfaatan pelepah sawit dan tandan kelapa sawit saat ini belum maksimal. Selama ini pelepah dan tandan hanya tertinggal dan dibiarkan membusuk 3 di lahan perkebunan. Padahal pelepah dan tandan sawit dengan kandungan lignoselulosanya berpotensi untuk dapat dikonversi menjadi bioetanol G2.

Pada penelitian kali ini dilakukan tiga rangkaian proses, tiga proses tersebut meliputi proses pretreatment, hidrolisis dan fermentasi. Proses pretreatment bertujuan membuka struktur lignoselulosa dari bahan yang digunakan yaitu berupa pelepah sawit menggunakan NaOH untuk mengurai lignin yang mengikat selulosa dan hemiselulosa sehingga nantinya memudahkan akses H_2SO_4 yang akan memecah polimer polisakarida menjadi glukosa. Proses kedua adalah hidrolisis yang bertujuan memecah selulosa dan hemiselulosa ke dalam bentuk yang sederhana menggunakan asam yaitu berupa glukosa. Proses terakhir adalah fermentasi yang berfungsi untuk merubah glukosa

menjadi etanol dengan bantuan *Saccharomyces cerevisiae*.

Bioetanol merupakan cairan hasil proses fermentasi glukosa bersumber karbohidrat menggunakan aktivitas mikroba. Berdasarkan generasinya bahan baku bioetanol dibagi tiga jenis yaitu pati, gula dan selulosa. Bioetanol berbahan baku selulosa dapat menggunakan biomassa kelapa sawit seperti tandan kosong kelapa sawit dan pelepah kelapa sawit. Bioetanol berbahan baku tandan kosong kelapa sawit dan pelepah kelapa sawit memiliki potensi yang sangat besar sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Penelitian kali ini akan mengkaji metode pembuatan bioetanol berbahan baku tandan kosong kelapa sawit dan pelepah kelapa sawit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui metode pembuatan bioetanol berbahan baku tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan Pelepah Kelapa Sawit (PKS).

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian dan Agrobisnis Perkebunan Medan. Waktu penelitian selama 8 bulan, dari bulan Februari sampai bulan September 2020.

Desain Penelitian

Metode penelitian kualitatif analisa deskriptif. Sumber artikel penelitian, yaitu:

1. Berdasarkan sumber utama (Primary Sources) yaitu artikel ilmiah yang terbit di jurnal terindeks di Google Scholar, dll.

2. Penulis berasal dari lembaga pendidikan yang diakui pemerintah. Untuk menyajikan data hasil penelusuran pustaka dilakukan beberapa tahapan, pertama melakukan ringkasan (summary) dimana ringkasan tiga artikel disajikan dalam bentuk tabel dan dinarasikan. Kemudian tahapan kedua adalah menilai kesesuaian antara tujuan dan hasil. Pada penelitian ini, penulis merujuk pada tujuan yang ditetapkan pada sumber jurnal kemudian membandingkan dengan hasil. Tahap ketiga melakukan penilaian tentang kesamaan dan juga penilaian perbedaan. Tahap keempat memberikan kritik atau saran terhadap masing-masing artikel sehingga pada bab hasil penelitian disajikan tiga tabel.

Sumber data pada penelitian ini dapat diperoleh dari jurnal skala nasional maupun internasional. Ada tiga jurnal yang didapat untuk memenuhi data pada penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Pretreatment Lignoselulosa sebagai Bahan Baku Bioetanol

Langkah pretreatment untuk mempermudah proses hidrolisis yaitu dengan membuka struktur lignoselulosa/lignin agar selulosa dan hemiselulosa lebih mudah diakses oleh enzim yang memecah polisakarida menjadi

monosakarida sebelum masuk ke dalam tahap hidrolisis dan fermentasi. Pretreatment basa dalam pengolahan biomassa lignoselulosa umumnya menggunakan basa seperti natrium, kalium, kalsium, dan amonium hidroksida (Aiman, 2014) (Honsono, 2012). Pretreatment oksidatif menggunakan senyawa oksidasi seperti hidrogen peroksida (H_2O_2) atau asam parasetat yang dilarutkan dalam air (Hendriks, 2009). Perlakuan awal proses pretreatment lignoselulosa sebagai bahan baku pembuatan bioetanol, menggunakan metode Basa dan oksidasi dipengaruhi waktu holding time dan suhu. Berikut ini disajikan metode pretreatment, waktu tunggu dan suhu, serta karakterisasi lignoselulosa yang dihasilkan pada tabel 1.

Seperti yang disajikan pada Tabel 1 dibawah ini diketahui kandungan lignoselulosa yang dihasilkan pada pretreatment dengan menggunakan metode basa NaOH 10%, dari jurnal sarwono, et al, 2014, lebih maksimal dibandingkan dengan penelitian pretreatment lainnya. Pada penelitian ini dilakukan perlakuan fisik sample menjadi serat, yaitu dengan cara mencacah TKS (Tandan Kelapa Sawit) dengan variasi ukuran 3 mm-1 cm. Kemudian dikeringkan dan setelah itu dihaluskan dan disaring sampai didapatkan ukuran 30 mesh. Selanjutnya, dilakukan perlakuan kimia yaitu dengan menambahkan larutan NaOH 10% dan

dipanaskan pada suhu 150°C pada tekanan 4-8 kg/cm² selama 30 menit. Kemudian, dilakukan pencucian dengan aquades sampai pH netral dan dikeringkan

menggunakan oven pada suhu 50°C hingga kadar air di bawah 10% (Sarwono, 2014) (Dewi, 2018).

Tabel 1. Data Hasil Pre Treatment Sebagai Perlakuan Awal dengan Metode Basa dan Oksidasi

No	Pretreatment	Sample	Temperatur e	Holding time	Persentase lignin (%)				Referensi
					Sebelum perlakuan (%)		Setelah perlakuan (%)		
1	Pretreatment Basa (NaOH 10%)	4,290g Pulp TKKS	150°C	30 minute	Selulosa	44,21	selulosa	74,72	Sarwono et al, 2014
					Hemiselulosa	16,68	Hemiselulosa	20,13	
					Lignin	35,51	Lignin	9,47	
					Abu	0,26	Abu	0,61	
2	Pretreatment Basa (NaOH 2 M)	5g Pulp PKS 385,2 nm (18,8%)	110°C	30 minute	Selulosa	32,58	Selulosa	59,49	Rilek et al, 2017
					Hemiselulosa	8,37	Hemiselulosa	11,8	
					Lignin	20,13	Lignin	19,6	
3	Pretreatment Basa(abu TKKS)	400 gr Pulp PKS	100°C	30 minute	Selulosa	34,89	Selulosa	-	Ahmad et al, 2020
					Hemiselulosa	27,14	Hemiselulosa	-	
					Lignin	19,87	Lignin	-	
					Zat ekstraktif	9,20	Zat ekstraktif	-	
					Air	8,90	Air	-	
4	Pretreatment oksidasi (H ₂ O ₂)	400 gr Pulp PKS	90°C	60 minute	Selulosa	34,89	Selulosa	-	Ahmad et al, 2020
					Hemiselulosa	27,14	Hemiselulosa	-	
					Lignin	19,87	Lignin	-	
					Zat ekstraktif	9,20	Zat ekstraktif	-	
					Air	8,90	Air	-	

Dan dari treatment tersebut kita akan mendapatkan Hasil yang terbaik dibandingkan pretreatment lainnya, hasilnya bisa dilihat dari data yang diperoleh dari proses perlakuan awal dalam penelitian ini menunjukkan adanya penurunan kandungan lignin pada substrat TKS dari 35,51% menjadi 9,47% atau penurunannya sebesar 73,33%, sedangkan kadar selulosa dan hemiselulosa meningkat masing-masing sebesar 69% dan 20,68% (Tabel 1). Menurut Sarwono, et al 2014 semakin rendah kandungan lignin maka akan semakin mempermudah proses hidrolisis, pretreatment sendiri berfungsi untuk membuka struktur lignoselulosa agar selulosa menjadi lebih mudah diakses oleh

enzim yang memecah polimer polisakarida menjadi bentuk monomer, sehingga dapat mengurangi penggunaan enzim dan mengurangi biaya (Dashtban, 2009). Adanya lignin juga akan mengikat enzim, sehingga menyebabkan kerja enzim tidak maksimal (Moilanen, 2011) dan menutup jalannya penetrasi enzim ke struktur biomassa melalui ikatan lignin karbohidrat. Proses perlakuan awal dapat mempercepat proses hidrolisis dengan hasil yang lebih baik (Yu et al, 2012) (Sun, 2004).

Proses Hidrolisis Selulosa dan Hemiselulosa Menghasilkan Glukosa

Hidrolisis adalah proses lanjutan dari pre-treatment yang akan mengubah selulosa menjadi glukosa. Glukosa ini

nantinya akan dikonversi menjadi etanol oleh mikroorganisme diantaranya *Saccharomyces cerevisiae* (Putra, 2011). Pada dasarnya prinsip hidrolisis adalah memutuskan rantai polimer bahan menjadi unit-unit monomer yang lebih sederhana dengan bantuan katalis. Hidrolisis selulosa akan menghasilkan glukosa sedangkan hemiselulosa akan menghasilkan xilosa, manosa, asam asetat, galaktosa dan glukosa (Subekti, 2006). Selulosa dapat dihidrolisis secara kimiawi dan enzimatik.

Hidrolisis Secara Kimia

Hidrolisis secara kimia dapat menggunakan larutan HCL atau H_2SO_4 . Larutan asam seperti asam sulfat dapat memotong ikatan beta 1,4 selulosa sehingga diharapkan dapat meningkatkan kadar gula yang dihasilkan dan dapat mengoptimalkan kadar bioetanol yang dihasilkan (Sukowati, 2014).

Hidrolisis Secara Enzimatis

Hidrolisis secara enzimatik dapat menggunakan enzim selulase dan

hemiselulase (Gírio, 2012). Enzim selulase diklasifikasikan menjadi tiga berdasarkan aktivitas enzimnya yaitu Endoglukanase bekerja pada bagian internal selulosa yang bersifat amorf untuk memotong acak polisakarida sehingga dihasilkan rantai baru, Eksoglukanase mendegradasi ujung rantai polisakarida baik yang telah mengalami reduksi ataupun tidak. Untuk memperoleh selobiosa dan glukosa, β glukosidase menghidrolisis selodekstrin dan selobiosa menjadi glukosa (Lynd, 2002) (Duff, 1996). Beberapa mikroorganisme yang memiliki sifat selulolitik dan hemiselulolitik tinggi dan mampu memfermentasi monosakarida adalah *Clostridium*, *Cellulomonas*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Neurospora*, *Fusarium*, dan

Aspergillus (Chandel, 2007). Data proses hidrolisis berbasis selulosa limbah padat kelapa sawit (TKS dan PKS) secara kimiawi dan enzimatik disajikan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data Hasil Proses Hidrolisis Pulp TKKS dan PKS Berbasis Selulosa dengan Metode Kimiawi dan Enzimatis

Method	Sample	Katalis/Enzim	Hydrolysis Temperature	Hydrolysis Time	Glucose Levels	Referensi
Enzymatically	4,290 g Pulp TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit)	Ctec2 dan (30 FPU/g TKS) Htec2 dari Novozymes (5:1) pH = 4.8	32 °C	48 jam	60.02%	Sarwono et al, 2014
Chemically	8 g Pulp PKS (Pelepah Kelapa Sawit)	Larutan H_2SO_4 0,6 M	121 °C	100 menit	19.49%	Rilek et al, 2017
Chemically	400 gr Pulp PKS	Larutan H_2SO_4 2 M (1:10) pH=4.5	100 °C	60 menit	161.98 g/L	Ahmad et al, 2020

Seperti yang disajikan pada Tabel 2 diketahui bahwa hidrolisis terbaik didapatkan dari jurnal penelitian yang ditulis oleh Sarwono, et al 2014 (nomor 1). Hidrolisis selulosa TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) menggunakan metode enzimatik Ctec2 (30 FPU/g TKS) dan Htec2 dari Novozymes (5:1), pH = 4 menghasilkan glukosa total dengan kadar yang lebih tinggi (60.02%) daripada menggunakan katalis asam H₂SO₄ 0.6M (19.49%) dan H₂SO₄ 2M (161.98 g/L). Enzim Ctec2 merupakan selulase kasar untuk mendegradasi selulosa menjadi gula yang bisa difermentasi, berupa campuran dari selulase, β-glukosidase dan hemiselulase. Sedangkan enzim Htec2 merupakan endoxilanas dengan spesifikasi tinggi untuk mengubah hemiselulosa menjadi xilosa. Penggunaan enzim Ctec2 dan Htec2 secara bersamaan dengan perbandingan tertentu dapat mengoptimalkan konversi selulosa dan hemiselulosa menjadi glukosa dan xilosa. Pada proses hidrolisis ini enzim Ctec2 dan Htec2 menggunakan perbandingan 5:1. Penggunaan enzim Ctec2 lebih banyak karena komponen tertinggi pada bahan baku adalah selulosa, sehingga diperoleh konversi optimum selulosa menjadi glukosa dibandingkan hidrolisis secara kimia yang menggunakan larutan kimia H₂SO₄ (Sarwono, 2014).

Katalis enzim merupakan katalis yang memiliki keunggulan sifat (aktivitas tinggi, selektivitas dan spesifik), sehingga dapat membantu proses-proses kimia kompleks pada kondisi lunak dan ramah lingkungan. Keuntungan menggunakan katalis enzim pada proses transesterifikasi adalah: katalis enzim tidak menghasilkan produk samping, recovery produk mudah, kondisi reaksi yang rendah, tidak sensitif terhadap minyak dengan kandungan FFA tinggi dan katalis dapat digunakan kembali (Kulkarni dan Dalai, 2006). Namun katalis enzim hanya dapat bereaksi pada rentang suhu tertentu dikarenakan apabila terlalu tinggi maka protein dalam enzim akan terdenaturasi dan enzim tidak dapat bekerja secara optimal. Penggunaan katalis enzim masih terbatas karena harganya sangat mahal, kecepatan reaksi lambat, sering tidak stabil, mudah terhambat, dan deaktivasi enzim (Bajaj dkk., 2010).

Proses Fermentasi menggunakan mikroba untuk menghasilkan Etanol Fermentasi adalah proses produksi energi dalam sel, biasanya dengan keadaan anaerobik (tanpa oksigen). Fermentasi alkohol merupakan proses pembuatan alkohol dengan memanfaatkan aktivitas yeast yaitu mengubah glukosa menjadi alkohol tanpa oksigen. Pada tahap ini fermentasi berfungsi untuk merubah glukosa menjadi etanol dengan bantuan *Saccharomyces cerevisiae*. Gula adalah

bahan yang umum dalam fermentasi. Beberapa contoh hasil fermentasi adalah etanol, asam laktat, dan hidrogen. Akan tetapi, beberapa komponen lain dapat juga dihasilkan dari fermentasi

seperti asam butirat dan aseton (Eka, 2009). Data pada proses fermentasi Pulp TKKS dan PKS menggunakan aktivitas mikroorganisme: *Saccharomyces Cerevisiae* disajikan dalam tabel 3 berikut:

Tabel 3. Data hasil proses fermentasi tandan kosong kelapa sawit dan pelepah kelapa sawit menggunakan aktivitas mikroorganisme: *Saccharomyces Cerevisiae*

Sample	Enzym	pH	Fermentation temperature	Fermentation time	Ethanol (%) levels	Referensi
Pulp TKKS	<i>Saccharomyces Cerevisiae</i> 1 % (b/v)	4-5	32 °C	72 jam	7.93 %	Sarwono et al, 2014
Pulp PKS	<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	4	30 °C	48 jam	4 %	Rilek et al, 2017
Pulp PKS	<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	4.5	30 °C	96 jam	7 %	Ahmad et al, 2020

Seperti yang disajikan pada Tabel 3 diketahui fermentasi terbaik didapatkan dari jurnal penelitian yang ditulis oleh Sarwono, et al 2014 (nomor 1): Kondisi proses fermentasi yaitu pada suhu 32°C, pengadukan 200 rpm selama 72 jam. Pengambilan contoh dan analisis dilakukan setiap 24 jam. Ragi *S. cereviceae* mengkonversi glukosa menjadi etanol secara spesifik, hanya glukosa yang dikonversi menjadi etanol, sedangkan xilosa tidak terkonversi.

Setelah 72 jam proses fermentasi, etanol yang dihasilkan sebanyak 7,93% dan setelah didestilasi diperoleh etanol 1970 mL dengan kadar 63% (v/v), dengan efisiensi distilasi sebesar 78,26%. Terlihat konsentrasi glukosa sebesar 8,66% dan etanol 7,93%, sehingga jumlah glukosa

seluruhnya = $8,66 \text{ \% (b/b)} \times 20 \text{ L} = 1793,34 \text{ g}$ (asumsi densitas 1 g/L). Sedangkan jumlah selulosa pada substrat awal sebesar $74,7\% \times 4000 \text{ g} = 2988 \text{ g}$. Jadi, konversi selulosa menjadi glukosa sebesar 60,02%. Sedangkan etanol yang diperoleh dari 20 L volume proses adalah $7,93\% \text{ (b/b)} \times 20 \text{ L} = 1586 \text{ g}$ (asumsi densitas 1 g/L), sehingga konversi glukosa menjadi etanol sebesar 88,44% dan konversi selulosa menjadi etanol sebesar 53,08%.

Larutan glukosa yang diperoleh dari proses hidrolisis digunakan sebagai medium fermentasi dikonsumsi oleh *Saccharomyces cerevisiae* untuk memperbanyak sel serta menghasilkan bioetanol. Dari proses fermentasi dapat dilihat terjadi penurunan konsentrasi glukosa seiring dengan peningkatan kadar

bioetanol. Itu disebabkan gula yang terdapat pada substrat terkonversi menjadi bioetanol dan sebagian digunakan sebagai sumber karbon untuk proses pertumbuhan mikroorganisme (Retno dan Nuri, 2011). Seiring dengan berjalannya waktu, konsentrasi gula akan berkurang sejalan dengan bertambahnya konsentrasi bioetanol yang terbentuk, selain terkonversi menjadi bioetanol, gula berfungsi sebagai bahan makanan bagi bakteri untuk mempertahankan hidupnya dan berproduksi (Bailey dan David, 1986).

Bioetanol merupakan produk akhir yang ingin diperoleh pada penelitian ini. Pada proses fermentasi faktor yang mempengaruhi fermentasi yaitu Tingkat keasaman (pH), suhu, oksigen, waktu fermentasi, dan nutrisi (Desroir, 1988) (Prescott, 1959). Semakin lama waktu fermentasi maka jumlah mikroba semakin menurun, dan akan menuju ke fase kematian karena bioetanol yang dihasilkan semakin meningkat dan nutrisi yang ada sebagai makanan mikroba semakin berkurang. Selain itu, konsentrasi bioetanol yang menurun dipengaruhi oleh konsentrasi glukosa yang semakin berkurang, sehingga yeast kehabisan nutrisi untuk bertahan hidup dan mengalami fase kematian (Kunaepah, 2009). Maka dari itu, bisa didapatkan waktu maksimum yang dapat dilakukan adalah 72 jam Karena pada kondisi tersebut, mikroba berada pada fase

eksponensial dan waktu paling optimum bagi mikroba untuk dapat menguraikan glukosa menjadi bioetanol.

Waktu fermentasi berpengaruh terhadap aktivitas bakteri karena semakin lama waktu fermentasi, maka mikroba berkembangbiak, artinya semakin banyak jumlahnya, sehingga mempunyai kemampuan untuk memecah substrat semakin besar. Namun pada waktu fermentasi setelah 96 jam aktivitas mikroorganisme menurun yang menunjukkan bahwa *Saccharomyces cerevisiae* berada pada fase kematian dan tidak bekerja secara optimal. Pada kondisi tersebut disebabkan *Saccharomyces cerevisiae* yang dapat merubah alkohol menjadi asam asetat dengan adanya oksigen, dan gula yang tereduksi menjadi alkohol semakin habis.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Pembuatan bioetanol berbasis lignoselulosa limbah padat kelapa sawit, dimulai dari pretreatment lignoselulosa menggunakan metode basa dan oksidasi, dengan hasil tertinggi didapatkan dengan metode basa (NaOH 10%) penurunan kandungan lignin pada substrat TKS dari 35,51% menjadi 9,47% atau penurunannya sebesar 73,33%, sedangkan kadar selulosa dan

- hemiselulosa meningkat masing-masing sebesar 69% dan 20,68%,
2. Proses hidrolisis dengan katalis asam dan enzim dengan hasil tertinggi menggunakan enzim kemudian didapatkan kadar glukosa sebesar 60.02%
 3. Proses fermentasi memakai mikroba *Saccharomyces Cerevisiae* dengan hasil tertinggi kadar etanol sebesar 7.93 %.
 4. Hasil dari tiap proses pretreatment, hidrolisis, fermentasi baik dari segi bahan baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) maupun Pelepah Kelapa Sawit (PKS) akan berbeda hasilnya apabila bahan kimia, metode, serta perlakuan yang digunakan pun berbeda.
 5. Dari data penelitian yang tersedia, limbah padat kelapa sawit: TKS (Tandan Kelapa Sawit) dan PKS (Pelepah Kelapa Sawit) berpotensi sebagai bahan baku dalam pembuatan bioetanol.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Amriz,I., Nabilah. 2020. Produksi Bioetanol Generasi Kedua dari Pelepah Kelapa Sawit dengan Variasi Pretreatment H_2SO_4 dan Waktu Fermentasi *Journal of Bioprocess, Chemical, and Environmental Engineering* Vol 1 No 1 (2020).
- Aiman, S. 2014. Perkembangan Teknologi dan Tantangan dalam Riset Bioetanol di Indonesia. *JKTI*, 108-117.
- A.T.W.M. Hendriks, G. Zeeman. 2009. Pretreatments To Enhance The Digestibility Of Lignocellulosic Biomass. Wageningen University. Netherlands. *Bioresource Technology*. 100 : 10-18.
- Bajaj, A., Lohan, P., Jha, P.N., dan Mehrotra, R. 2010. Biodiesel production through lipase catalyzed transesterification: An overview. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 62(1), 9–14.
- 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.
- Costello. R., and Chum. H., 2000. Biomass Bioenergy and Carbon Management, In “Bioenergy „98: Expanding Bioenergy Partnerships” (D. Wichert. Ed.). Omnipress. Madison. WI., p.11- 17.
- Dashtban, M., Schraft, H., Qin, W. 2009. Fungal Bioconversion of Lignocellulosic Residue: Opportunities & Perspectives. *Int. J. Biol.Sci.*, 578-595.
- Desroir, Norman. 1988. Unit Processing Organic Synthesis. (New York McGrawHill Book Company).
- Dewi, S.R., B.D. Argo, dan N. Ulya. 2018. Kandungan flavonoid dan aktivitas antioksidan ekstrak *Pleurotus ostreatus*. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*. Vol 11(1): 1–10.
- Duff, S. J. B., & Murray, W. D. 1996. Bioconversion of Forest Product Industry Waste Cellulosic to Fuel Ethanol: A Review. *Bioresource Technology*, 55, 1-33.
- Eka, P., dan Halim, A. 2009. Pembuatan Bioetanol dari Nira Siwalan Secara Fermentasi Fase Cair Menggunakan

- Fermipan. Seminar Tugas Akhir S1 Teknik Kimia UNDIP 2009.
- Gírio, F. M., Carvalheiro, F., Duarte, L. C., & Bogel-Lukasi, R. 2012. Deconstruction of the Hemicellulose Fraction from Lignocellulosic Materials into Simple Sugars. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Hanim, S. S., Noor, M.A.M., Rosma, A., 2010. Effect of autohydrolysis and enzymatic treatment on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) frond fibers for xylose and xylooligosaccharides production, *Bioresource Technol.*, Article in Press doi:10.1016/j.biortech.2010.08.017.
- Honsono, N. 2012. Analisis Lifecycle Bioetanol Berbasis Singkong dan Tandan Kosong Kelapa Sawit di Indonesia. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- Kulkarni, M.G. dan Dalai, A. K. 2006. Waste Cooking Oil s An Economical Source for Biodiesel: A Review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45(9), 2901–2913.
- Kunaepah, U. 2009. Pengaruh Lama Fermentasi dan Konsentrasi Glukosa terhadap aktivitas antibakteri, polifenol, Total dan Mutu Kimia Kefir Susu Kacang Merah, *Jurnal Gizi Pangan*. Vol II, Edisi 1.
- 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.
- Muin R, Lestari D and Sari T W. 2014. *Jurnal Teknik Kimia*. 20(4) 1-6.
- Perez, J., Minoz-Dorado, J., Rubia, T., Martinez, J. 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin. *Int'l Microbiol.* (5), 51-63.
- Prescott, S. G dan C. G. Said. 1959. *Industrial Microbiology* . (New York McGraw-Hill Book Company).
- Rilek, Hidayat, dan Sugiarto. 2017. Hidrolisis Lignoselulosa Hasil Pretreatment Pelepah Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) menggunakan H₂SO₄ pada Produksi Bioetanol] *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 6(2): 76-82 (2017).
- Sarwono, triwahyuni, aristiawan, kurniawan, anindyawati. 2014. Konversi Selulosa Tandan Kosong Sawit menjadi etanol (TKS), *Jurnal Selulosa*, Vol. 4, No. 1, Juni 2014 : 1 – 6.
- Sheil, D., Casson, A., Meijaard, E., Van Noordwijk, M., Gaskell, J., Groves, J.S., Wertz, K., Kanninem, M. 2009. The impacts and opportunities of oil palm in Southeast Asia, CIFOR, Bogor, Indonesia. p. 6.
- Sinaga, C. 2012. Analisis Respon Masyarakat Terhadap Rencana Kenaikan Harga Bbm Jenis Premium (Kasus: Pengendara Mobil Pribadi Di Bogor). Skripsi. Departemen Ilmu Ekonomi Fakultas Ekonomi dan Manajemen Institut Pertanian Bogor.
- Smith, A. M. 2010. Prospect for Increasing Starch and Sucrose Yields for Bioethanol Production. *The Plant Journal*. 54:546-558.
- Subekti, H. 2006. Produksi Bioetanol dari Hidrolisis Fraksi Selulosa Tongkol Jagung oleh *Saccharomyces Cerevisiae*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sukowati, A., Sutikno dan Rizal, S. 2014. Produksi bioetanol dari kulit pisang

melalui hidrolisis asam sulfat. *Jurnal Teknologi dan Industri Hasil Pertanian*. 19(3): 274-288.

Sun, Y., Cheng, J. 2004. Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production: A Review. *Bioresource Technol.*, 83, 1-11

Suwono, A. 2004. Indonesia's Potential Contribution of Biomass in Sustainable Energy Development. Conference Proceeding of the 10th APCCHE Congress. the Asia Pacific Confederation of Chemical

Engineering, Kitakyushu Oct. 17-21. Japan

Yunus, R., Salleh, S.F., Abdullah, N. And Biak, D.R.A. 2010. Effect of ultrasonic pretreatment on low temperature acid hydrolysis of oil palm empty fruit bunch, *Bioresource Technol.*, 101(24), 9792-9796.

Yu, Z., Jameel, H., Chang, H. M., Park, S. 2012. A Study in Lignin Inhibition for Enzymatic Hydrolysis of Woody Biomass. Proceedings of 12AICHE Annual Meeting, February 11, 2012, Pittsburgh, PA, USA.