

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/337794126>

PEMBUATAN BIOETANOL DARI EMPULUR DAN LIMBAH SERAT SAGU DENGAN METODE KIMIAWI DAN ENZIMATIS

Article in Jurnal Penelitian Hasil Hutan · April 2019

DOI: 10.20886/jphh.2019.37.1.43-50

CITATIONS

4

READS

385

3 authors, including:



Ina Winarni

forest products research and development center, Bogor, Indonesia

31 PUBLICATIONS 209 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Totok Kartono Waluyo

Forestry Research and Development Agency

49 PUBLICATIONS 248 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

PEMBUATAN BIOETANOL DARI EMPULUR DAN LIMBAH SERAT SAGU DENGAN METODE KIMIWI DAN ENZIMATIS (*Bioethanol Production from Pith and Wasted Fibrous Sago (Metroxylon spp.) Using Chemical and Enzymatic Methods*)

Ina Winarni, Totok K. Waluyo & Sri Komarayati

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor 16610. Telp. (0251) 8633378, Fax. (0251) 8633413
E-mail: inawinarni@yahoo.com

Diterima 25 Juli 2018, direvisi 26 November 2018, disetujui 6 Maret 2019

ABSTRACT

Sago (Metroxylon spp.) is one of the native Indonesian plants that can be converted into biofuel or bioethanol. All parts of sago: starch, stem and midrib could be converted into bioethanol. The objective of this research is to determine ethanol production techniques made of pith and sago waste fiber using chemical and enzymatic methods. Bioethanol technique used was chemical based using hydrochloric acid solution (HCl) of 3.1; 6.2; 9.3 and 12.4% with substrate concentration of 15% (dw) and then heated by autoclave at 121–127 °C for 5, 10 and 15 minutes; pressure of 1–1.5 bar. The enzymatic method was undertaken using 0.15 ml alpha amylase enzyme and 2%, 3% and 4% cellulase. Fermentation was conducted using 0.21 g of urea addition, 0.12 g of NPK and 0.48 g of yeast for 4 days. Results showed that the pith yielded higher reducing sugar content and ethanol content than sago fiber waste either by chemical method (446.34 g/l, 51.65%) or enzymatic (15.39 g/l, 16.82%). Greater of cellulase concentration from 2% to 4% could not improve the yield of ethanol either made from pith or the wasted sago fiber through hydrolysis process.

Keywords : Pith, sago fibrous waste, hydrolysis, ethanol

ABSTRAK

Sagu (*Metroxylon* spp.) adalah salah satu tanaman asli Indonesia yang dapat dikonversi menjadi bioetanol sebagai sumber energi baru dan terbarukan. Semua bagian sagu dapat dikonversi, baik pati sagu, batang dan pelepahnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui teknik pembuatan etanol dari empulur dan limbah serat sagu dengan menggunakan metode kimia dan enzimatis. Metode pembuatan bioetanol secara kimiawi menggunakan larutan asam klorida (HCl) dengan rasio 3,1; 6,2; 9,3 dan 12,4% konsentrasi substrat 15% (dw) kemudian dipanaskan dengan autoklaf pada suhu 121–127°C selama 5, 10, dan 15 menit; tekanan 1–1,5 bar. Enzim alpha amilase 0,15 mL dan selulase 2%, 3% dan 4% digunakan untuk metode secara enzimatis. Selanjutnya fermentasi dilakukan dengan penambahan urea 0,21 g, NPK 0,12 g dan ragi 0,48 g, dan didiamkan selama 4 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bagian empulur menghasilkan kadar gula pereduksi dan kadar etanol lebih tinggi dari limbah serat sagu baik dengan metode kimiawi (446,34 g/L; 51,65%) ataupun enzimatis (15,39 g/L; 16,82%). Penambahan konsentrasi selulase dari 2% hingga 4% tidak dapat meningkatkan rendemen etanol baik yang berbahan baku empulur maupun limbah serat sagu pada proses hidrolisis.

Kata kunci : Empulur, limbah serat sagu, hidrolisis, etanol

I. PENDAHULUAN

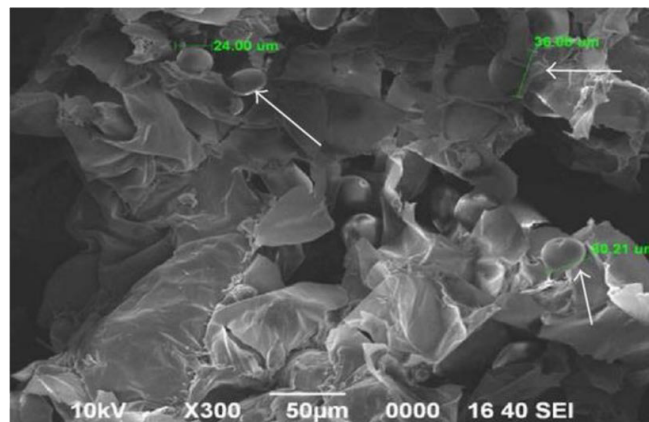
Penggunaan bahan bakar bioetanol akhir-akhir ini terus meningkat sejalan dengan meningkatnya konsumsi bahan bakar, khususnya BBM dan perhatian masyarakat terhadap masalah lingkungan dan emisi karbondioksida yang ditimbulkan oleh bahan bakar fosil. Produksi etanol yang dihasilkan oleh suatu proses ditentukan oleh faktor bahan baku yang tersedia, banyaknya gula hasil konversi bahan baku yang siap difermentasi, dan efisiensi proses fermentasi gula untuk menghasilkan etanol (Smith et al., 2006).

Sagu (*Metroxylon* spp.) adalah salah satu tanaman asli Indonesia yang dapat dikonversi menjadi energi dan secara alami tersebar di hampir seluruh pulau di Indonesia meliputi luasan 4,2 juta ha dan potensi produktivitas sagu per pohon diperkirakan sebanyak 5 juta ton/tahun (Bintoro, Purwanto, & Amarilis, 2010) dan dapat tumbuh baik di tanah yang berair atau di tanah rawa gambut (Jong, 1995). Provinsi Papua (Irian Jaya) merupakan salah satu daerah penghasil sagu terbesar di Indonesia dan memiliki keragaman genetik jenis sagu yang tinggi (Maturbongs & Luhulima, 2007). Empulur sagu adalah batang bagian dalam dan tempat terkumpulnya pati, yang digunakan sebagai bahan baku industri pati sagu setelah menguliti permukaan kulit batangnya.

Limbah dari pengolahan sagu berupa serat belum dimanfaatkan hingga saat ini. Menurut Soekaeni (2008), produksi pati sagu Indonesia mencapai 5 juta ton/tahun, dengan demikian terdapat limbah berupa serat sagu yang belum dimanfaatkan sekitar 4,5 juta ton/tahun. Hal ini

merupakan potensi yang cukup besar sebagai bahan baku untuk pemanfaatan lainnya. Menurut Safitri et al. (2009) industri sagu menghasilkan 4,75 juta ton limbah serat sagu per tahun sebagai produk sampingan. Limbah serat ini biasanya dibuang ke tepian sungai tanpa perlakuan sehingga menyebabkan masalah lingkungan (Linggang, Phang, Wasoh, & Abd-Azis, 2012). Limbah serat sagu tanpa perlakuan terdiri dari 58% pati, 23% selulosa, 9,25% hemiselulosa dan 3,9% kadar lignin berdasarkan berat kering bahan (Ozawa, Takahiro, & Osama, 1996). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Adeni, Abd-Aziz, Bujang, dan Hassan (2012) yang menyatakan ada pati yang terperangkap dalam matriks serat limbah sagu (Gambar 1).

Untuk itu, serat limbah sagu memiliki potensi untuk dikonversi menjadi gula sebagai bahan baku bioetanol melalui hidrolisis asam atau enzim. Menurut Kumoro, Ngoh, Hasan, Ong, dan Teoh (2008) 0,62 g gula per gram substrat dihasilkan melalui proses hidrolisis 1,5 M asam sulfat pada suhu 90 °C setelah 120 menit reaksi. Penggunaan enzim glukoamilase (6 AGU/mL), menghasilkan 0,56 g gula per gram substrat setelah reaksi 30 menit. Menurut Komarayati, Winarni, dan Djarwanto (2010) kombinasi perlakuan penggunaan enzim alpha amilase 0,18 mL, enzim glukoamilase 0,15 mL dan ragi 0,48 g menghasilkan kadar etanol dari pati sagu paling tinggi yaitu 65,55%. Kadar etanol paling tinggi diperoleh dengan kombinasi enzim alpha amilase 0,13 mL, glukoamilase 0,11 mL dan ragi 0,33 g yaitu 44% untuk empulur dan 8,26% untuk serat.



Gambar 1. Butiran pati sagu (arah panah) yang terperangkap pada serat
Figure 1. Sago starch granules (arrow) which trapped in the fibrous

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan teknik hidrolisis empulur dan serat sagu dengan kombinasi perlakuan kimia dan enzimatis untuk menghasilkan etanol sebagai sumber energi baru dan terbarukan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia dan Energi Biomassa, Laboratorium Hasil hutan Bukan Kayu dan Laboratorium Terpadu, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor, Jawa Barat.

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan yaitu batang sagu yang terdiri dari empulur, ampas atau serat, enzim selulase, alpha amilase, glukamilase, ragi roti (*Sacharomyces serevisae*), NPK, dan urea. Batang sagu diperoleh dari kebun sagu daerah Banten.

Peralatan yang digunakan yaitu, pH meter, termometer, erlenmeyer, fermentor, alkoholmeter brixmeter, kompor listrik, gelas ukur, dan alat destilasi skala laboratorium dan usaha kecil.

C. Prosedur Penelitian

Empulur sagu diparut, kemudian dipisahkan antara pati dan serat sebagai limbah proses ekstraksi pati sagu. Selanjutnya masing-masing dihidrolisis menggunakan dua metode sakarifikasi, yaitu metode kimiawi dengan menggunakan HCl dan metode enzimatis dengan menggunakan enzim selulase dan amilase.

1. Skala laboratorium

a. Metode kimiawi dengan HCl

Empulur dan serat sagu dihidrolisa dengan HCl konsentrasi 3,1%; 6,2%; 9,3% dan 12,4% (konsentrasi sampel 15%), kemudian dipanaskan dengan autoklaf pada suhu 121–127° C selama 5, 10 dan 15 menit; tekanan 1–1,5 bar, selanjutnya didinginkan. Larutan kemudian ditambah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sampai pH campuran menjadi 5–5,5. Larutan ditambah urea 0,21 g, NPK 0,12 g dan ragi *Saccharomyces cerevisiae* 0,48 g, diaduk hingga rata dan homogen. Larutan difermentasi secara anaerob selama 4 hari. Selanjutnya dilakukan

proses penyulingan untuk menghasilkan etanol.

b. Metode enzimatis

Empulur dan serat sagu (konsentrasi sampel 15%) masing-masing dipanaskan sampai suhu 60°C sambil terus diaduk, dan setelah 30 menit ditambah enzim alpha amilase 0,15 mL dan enzim selulase 2%, 3%, dan 4%. Kemudian diaduk selama 1 jam (60°C), selanjutnya didiamkan selama 24 jam. Fermentasi dilakukan setelah penambahan urea 0,21 g, NPK 0,12 g dan ragi 0,48 g dan berlangsung selama 4 hari. Pengukuran gula pereduksi dilakukan dengan metode DNS (Miller, 1959). Kurva standar dibuat sebagai standar penentuan konsentrasi kadar gula pereduksi yang dihasilkan sebelum dan sesudah fermentasi.

2. Skala rumah tangga

Percobaan pembuatan alkohol skala rumah tangga dengan bahan baku empulur dan limbah serat sagu (masing-masing 5 kg) menggunakan metode yang menghasilkan rendemen alkohol tinggi pada percobaan sebelumnya di skala laboratorium.

D. Analisis Data

Pengolahan data hasil percobaan skala laboratorium pembuatan alkohol dengan enzim menggunakan *software* Minitab. Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial dengan 2 faktor yaitu bahan baku (empulur dan serat sagu), konsentrasi enzim selulase (2%, 3%, dan 4%) sebanyak 2 kali ulangan. Model rancangan faktorial sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan (*Remarks*):

- Y_{ijk} = Respon rendemen alkohol terhadap faktor bahan baku dan enzim
 μ = Nilai rata-rata umum
 α_i = Pengaruh faktor bahan baku ke- i ($i = 1, 2$)
 β_j = Pengaruh faktor konsentrasi enzim ke- j ($j = 1, 2 \text{ dan } 3$)
 k = 1 dan 2 (ulangan)

Data yang diperoleh kemudian dianalisis sidik ragamnya. Jika hasilnya menunjukkan signifikansi pada taraf $\alpha = 5\%$, maka dilakukan

uji lanjut dengan menggunakan perbandingan berganda Duncan (DMRT, *Duncan Multiple Range Test*) untuk mengetahui pengaruh masing-masing perlakuan (Mattjik & Sumertajaya, 2002). Hasil percobaan pembuatan etanol secara kimiawi pada skala laboratorium dianalisis secara deskriptif.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Selain pati sebagai produk utama, terdapat serat sago yang merupakan limbah pengolahan ekstraksi batang sago. Pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa rata-rata nilai kadar lignin, holoselulosa, α -selulosa dan hemiselulosa serat lebih tinggi daripada empulur. Hal ini disebabkan karena pada empulur masih terdapat banyak pati dibandingkan dengan serat sago. Pada serat sago, kadar holoselulosa dan selulosa adalah 33,75% dan 24,85%. Nilai ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Hisyam (2012), bahwa kadar selulosa dan lignin serat sago adalah sebesar 22,4% dan 8,95%, sehingga serat sago berpotensi menjadi bahan baku bioetanol.

A. Analisis Kadar Gula Pereduksi dan Rendemen Etanol Secara Kimiawi

Penggunaan katalis asam HCl didapatkan kadar gula pereduksi yang optimum sebelum fermentasi adalah empulur 446,34 g/L (konsentrasi HCl 6,2%, lama pemanasan 10 menit) dan serat 109,48 g/L (konsentrasi HCl 3,1%, lama pemanasan 15 menit). Selanjutnya kadar gula pereduksi setelah fermentasi yang optimum adalah empulur 601,74 g/L (konsentrasi HCl 9,3%, lama pemanasan 15 menit) dan serat 172,83 g/L (konsentrasi HCl 12,4%, lama pemanasan 5 menit).

Kadar gula setelah proses fermentasi pada umumnya menurun karena pada tahap ini terjadi pemecahan gula sederhana menjadi etanol.

Akan tetapi konsentrasi HCl yang digunakan berpengaruh terhadap kadar gula yang dihasilkan, makin tinggi konsentrasi HCl, makin tinggi kadar gula yang dihasilkan. Konsentrasi HCl 9,3% pada waktu pemanasan 5–15 menit menunjukkan peningkatan kadar gula sebesar 400,14–601,74 g/L pada empulur, sedangkan peningkatan kadar gula pada serat berkisar antara 86,75–150,84 g/L. HCl termasuk golongan asam kuat dan pada proses hidrolisis, ikatan α (1,4) antara unit glukosa dari selulosa merenggang dan lepas-lepas menghasilkan rantai pendek unit-unit glukosa karena adanya katalis asam (Heriawaty, 2009). Sementara itu, proses hidrolisis masih berjalan, walaupun sudah masuk proses fermentasi, sehingga kadar gulanya masih tinggi, walaupun setelah proses fermentasi. Menurut Haryanto dan Pangloli (1992), bahwa dalam suspensi empulur sago dalam keadaan asam dan dipanaskan akan terbentuk gula pereduksi, dimana semakin naik suhu pemanasan dan adanya perpanjangan waktu pemanasan, kadar gula pereduksi makin banyak, dan terbentuknya gula pereduksi akibat dari pengaruh panas.

Hasil proses destilasi menghasilkan kadar etanol yang bervariasi. Kadar etanol empulur dan serat sago yang dihidrolisis dengan perlakuan HCl 3,1%; 15 menit pemanasan menunjukkan kadar etanol tertinggi dibanding perlakuan lainnya yaitu 51,65%; rendemen 5,43% (empulur) dan 35,27%; rendemen 5,58% (limbah serat sago). Hal ini disebabkan, masih banyaknya kadar pati di dalam empulur, sehingga dengan adanya hidrolisis dengan HCl, dapat dirubah menjadi gula dan pada proses fermentasi dikonversi menjadi etanol. Limbah serat sago yang merupakan produk sampingan dari pengolahan sago masih dapat menghasilkan etanol meskipun kadar dan rendemennya sangat kecil dibanding yang menggunakan empulur sago.

Tabel 1. Kadar air, lignin dan hemiselulosa empulur dan limbah serat sago
Table 1. Moisture content, lignin and hemicellulose of pith and sago fibrous waste

Contoh (Sample)	Kadar air (Moisture content, %)	Kadar pati (Starch content, %)	Kadar lignin (Lignin content, %)	Kadar holoselulosa (Holocellulose content, %)	Kadar α - selulosa (α -cellulose content, %)	Kadar hemiselulosa (Hemicellulose content, %)
Empulur (Pith)	16,10	89,55	6,62	12,42	6,29	6,13
Serat (Fiber)	16,45	9,30	11,65	33,75	24,85	8,90

Hal ini dimungkinkan juga karena limbah serat sagu masih mengandung sedikit pati yang dapat digunakan sebagai bahan pembuat etanol. Limbah serat sagu yang mengandung banyak selulosa dikonversi menjadi gula oleh enzim selulase dan menjadi etanol setelah difermentasi dengan ragi. Hasil penelitian lain menunjukkan, kadar etanol empulur lebih besar (44,8%) dari serat (8,3%) dengan perlakuan tertentu (Komarayati, Winarni dan Djarwanto, 2010).

B. Analisis Kadar Gula Pereduksi dan Rendemen Etanol Secara Enzimatis

Kadar gula pereduksi tertinggi pada empulur dan limbah serat sagu sebelum fermentasi dengan perlakuan selulase 3% adalah 15,39 g/L dan 15,95 g/L, secara berurutan. Setelah fermentasi 13,90 g/L (selulase 2% dan 3%) untuk empulur dan 15,02 g/L (selulase 2%) untuk limbah serat sagu. Kadar gula pereduksi dari empulur dan serat sagu yang telah dihidrolisis dengan enzim selulase dan telah melalui proses fermentasi, sebagian besar kadar gulanya menurun. Hal ini disebabkan terjadinya pemutusan rantai polisakarida, dimana enzim bersifat spesifik dalam proses konversi, sehingga menghasilkan kadar gula yang lebih beragam (Taherzadeh & Karimi, 2007).

Rendemen etanol berbahan baku empulur sagu lebih tinggi dibanding limbah serat sagu, hal ini dimungkinkan karena pati yang terdapat pada empulur lebih banyak dibanding limbah serat sagu di mana limbah serat sagu merupakan hasil sampingan dari proses pengolahan pati sagu. Berdasarkan hasil uji statistik (Tabel 1) diketahui bahwa adanya perbedaan bahan baku dalam pembuatan etanol (empulur dan serat sagu)

berpengaruh nyata terhadap rendemen etanol yang dihasilkan. Hal ini ditunjukkan dengan adanya nilai $p = 0,04 < \alpha 0,05$. Bahan baku empulur menghasilkan rendemen etanol lebih besar dibanding yang berbahan baku serat sagu.

Perbedaan konsentrasi enzim (2%, 3%, dan 4%) tidak berpengaruh nyata terhadap rendemen etanol yang dihasilkan, hal ini ditunjukkan dengan adanya $p \text{ value} = 0,01 > \alpha 0,05$ (Tabel 2). Hal ini disebabkan jenis enzim yang digunakan tidak lengkap pada saat hidrolisis. Selain alpha amilase, karena masih terdapat pati pada empulur, dibutuhkan enzim glukamilase untuk mengkonversi pati menjadi gula juga. Dalam hal ini pemberian enzim cukup dengan konsentrasi 2% sehingga dapat mengurangi biaya produksi.

Menurut Irawati (2006), hidrolisis dengan menggunakan enzim lebih disukai karena lebih ramah lingkungan, juga dapat dilakukan pada suhu ruang dan tekanan rendah, yang artinya tidak menggunakan energi dan produk yang dihasilkan lebih spesifik (Irawati, 2006). Dalam hal ini diharapkan penggunaan enzim seminimal mungkin dengan hasil etanol yang optimal.

C. Pembuatan Etanol Skala Rumah Tangga

Hasil pembuatan etanol skala rumah tangga secara kimia dan enzim berbahan baku empulur dan serat sagu masing-masing sebanyak 5 kg tercantum pada Tabel 3.

Hasil destilasi skala laboratorium maupun skala rumah tangga yang berbahan baku empulur menghasilkan kadar etanol lebih tinggi (51,65% dan 16,82%) dibanding yang berbahan baku serat limbah sagu (32,2% dan 0,98%) baik secara kimia maupun enzimatis. Hal ini dikarenakan

Tabel 2. Analisis sidik ragam rendemen etanol
Table 2. Analysis of variance on ethanol yield

Sumber Keragaman (Source of variance)	Db	Jumlah Kuadrat (Sum of squares)	Kuadrat Tengah (Mean square)	F hitung (F-calculated)	Pr > F
Bahan baku (A) (Raw material) (A)	1	3,0100	3,0100	20,88	0,004**
Konsentrasi enzim (B) (Enzyme concentration) (B)	2	0,0487	0,0244	0,17	0,848 ^m
A X B	2	0,0707	0,0354	0,25	0,790
Galat (Error)	6	0,8651	0,1442		
Total	11	3,9945			

Keterangan (Remarks) : ** = nyata (Significance) ; tn = tidak nyata (Not significance)

Tabel 3. Rendemen etanol skala laboratorium dan rumah tangga**Table 3. Ethanol yield of laboratory and home industries's scale**

Metode (Method)	Bahan baku (Raw materials)	Kadar dan rendemen etanol (Ethanol and yield content, %)	
		Skala laboratorium (Laboratory scale)	Skala industri rumah tangga (Home industry scale)
Cara kimia HCl 3,1% (Chemical method of HCl 3,1%)	Empulur sagu (Sago pith)	51,65%	45%
	Limbah serat sagu (Sago fibrous waste)	5,43%	5,87%
Cara enzimatis Konsentrasi selulase 3% (Enzymatic method of Cellulase concentration 3%)	Empulur sagu (Sago pith)	32,27%	7%
	Limbah serat sagu (Sago fibrous waste)	5,58%	6,33%
	Empulur sagu (Sago pith)	16,82%	70,0%
	Limbah serat sagu (Sago fibrous waste)	7,30	5,67%
	Empulur sagu (Sago pith)	0,98%	5,00%
	Limbah serat sagu (Sago fibrous waste)	7,44%	6,33%

empulur masih banyak mengandung pati sagu dibandingkan serat sagu, sehingga kadar gula pereduksi dan etanol yang dihasilkan akan lebih tinggi dibandingkan serat sagu. Pada dasarnya bahan baku serat masih dapat menghasilkan etanol meskipun kadar maupun rendemennya kecil, hal ini menunjukkan bahwa limbah pengolahan sagu tersebut masih mempunyai potensi untuk dimanfaatkan salah satunya dalam pembuatan etanol. Akan tetapi diperlukan proses pendahuluan berupa delignifikasi sebelum diproses menjadi etanol, karena lignin yang masih terdapat pada serat sagu akan mengganggu kinerja enzim untuk merubah selulosa menjadi gula dan mengurangi penyerapan selulase yang tidak produktif pada susbtrat (Yang & Wyman, 2008).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kadar gula pereduksi bahan baku empulur cara kimia dan enzimatis menunjukkan nilai 3,5 kali lebih besar dibanding kadar gula pereduksi bahan baku serat sagu (kurang lebih 300%). Metode kimia berbahan baku empulur menggunakan katalis HCl 3,1% dan lama pemanasan 15 menit menghasilkan rendemen etanol tertinggi. Demikian juga bahan baku serat dengan perlakuan yang sama menghasilkan rendemen tertinggi. Sedangkan metode enzimatis menghasilkan rendemen etanol yang berbahan baku empulur dengan nilai tidak jauh berbeda

dibanding bahan baku serat sagu penambahan konsentrasi enzim selulase dari 2% hingga 4% tidak meningkatkan rendemen etanol baik yang berbahan baku empulur maupun serat sagu.

B. Saran

Perlu dicoba proses delignifikasi serat sagu sebelum digunakan sebagai bahan baku pembuatan etanol baik cara kimia maupun enzimatis, hal ini dilakukan agar katalis asam maupun enzim dapat mereduksi pati menjadi gula secara sempurna setelah bahan terurai tanpa mengandung lignin.

UCAPAN TERMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan (P3HH) yang telah membiayai penelitian melalui sumber dana DIPA P3HH tahun 2010, dan semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian terutama para teknisi di laboratorium Kelti Pengolahan Kimia Energi dan Hasil Hutan Bukan Kayu.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain dan rancangan percobaan dilakukan oleh IW. Pengambilan data dilakukan oleh IW, TKW, dan SK. Analisis data dilakukan oleh TKW dan penulisan manuskrip dilakukan oleh IW. Perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh IW, TKW, dan SK.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeni, D. S., Abd-Aziz, S., Bujang, K. B., & Hassan, M. . (2012). Bioconversion of sago residue into value added products. *African Journal of Biotechnology*, 9(14), 2016–2021.
- Bintoro, M. ., Purwanto, M. Y. ., & Amarilis, S. (2010). *Sagu di Laban Gambut*. Bogor: IPB Press.
- Haryanto, B., & Pangloli, P. (1992). *Potensi dan pemanfaatan sagu*. Yogyakarta: Kanisius.
- Heriawaty, N. (2009). Pengaruh Konsentrasi HCl Terhadap Kadar Etanol pada Fermentasi Tepung Sagu. *Chemical*, 10, 77–84.
- Hisyam. (2012). *Isolasi selulosa ampas sagu dengan delignifikasi menggunakan hidrogen peroksida*. Institut Pertanian Bogor.
- Irawati, D. (2006). *Pemanfaatan serbuk kayu untuk produksi etanol*. Institut Pertanian Bogor.
- Jong, F. S. (1995). The sustainability of sago palm (*Metroxylon sago*) cultivation on deep peat in Sarawak. *Sago Palm*, 3, 13-20.
- Komarayati, S., Winarni, I., & Djarwanto. (2010). Pembuatan bioetanol dari empulur sagu (*Metroxylon spp.*) dengan menggunakan enzim. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 28(4), 406–414.
- Kumoro, A. C., Ngoh, G. C., Hasan, M., Ong, C. H., & Teoh, E.C. (2008). Conversion of fibrous sago (*Metroxylon sago*) waste into fermentable sugar via enzymatic hydrolysis. *Asian Journal Science Resource*, 1(4), 412–420.
- Linggang, S., Phang, L. Y., Wasoh, M. H., & Abd-Azis, S. (2012). Sago pith residue as an alternative cheap substrate for fermentable sugar production. *Applied Biochemistry and Biotechnology Biochem Biotechnol.*, 167(2), 122–131.
- Mattjik, A., & Sumertajaya, I. M. (2002). *Perancangan Percobaan dengan aplikasi SAS dan Minitab (I)*. Bogor: IPB Press.
- Maturbongs, L., & Luhulima, F. (2007). Strategy for community sago development in Papua. In *9th International Sago Symposium* (pp. 235–247).
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Journal Analysis of Chemistry*, 31(3), 426–428.
- Ozawa, T., Takahiro, O., & Osama, N. (1996). Hemicelluloses in the fibrous residue of sago palm. In *6th International Sago Symposium* (pp. 234–245).
- Safitri, R., Surono, L., Supitasari, N. S., Suyanto, Wulandari, A. P., Andayaningsih, P., & Haska, N. (2009). Pengaruh berbagai konsentrasi asam sulfat dan enzim pada hidrolisis tepung batang sagu (*Metroxylon sago* Rottb), kombinasi hidrolisis kimia dan enzimatis terhadap kandungan gula pereduksi. In *Biomass Utilization for Alternative Energy and Chemicals* (pp. 87–98).
- Smith, T. C., Kindred, D. R., Brosnan, J. M., Weightman, R. M., Shepherd, M., & Sylvester-Bradley, R. (2006). Wheat as a feedstock for alcohol production, (61), 88. Diakses dari file:///E:/BackUp/18.BackUp25072007/Dati/ArchivioArticoli/Smith,2006.pdf%5Cnhttp://lowcvp.isledev.co.uk/assets/reports/HGCARR61Wheat for alcohol.pdf.
- Soekaeni. (2008, July 28). Soekaeni beri fakta nyata. *Kompas*. Jakarta.
- Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2007). Enzyme-based hidrolisis process for ethanol from lignocellulosic materials. *BioResources*, 2(4), 707–738.
- Yang, B., & Wyman, C. E. (2008). Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic ethanol. *Biofuels Bioproducts and Biorefining*, 2(2), 26–40. doi: doi.org/10.1002/ bbb.49.