

PEMBUATAN BIOETANOL DARI EMPULUR SAGU (*Metroxylon* spp.) DENGAN MENGGUNAKAN ENZIM

(*Bioethanol Production From Sago (Metroxylon spp.) Core by Using Enzymes*)

Oleh/By :

Sri Komarayati, Ina Winarni & Djarwanto¹

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan,
Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor 16610, Telp. 0251- 8633378, Fax. 0251-8633413

Diterima 10 Juni 2010, disetujui 29 Januari 2011

ABSTRACT

Sago (Metroxylon spp), an endemic plant of Indonesia, is potential for bio-ethanol base material. Bioethanol can be produced from sago core, starch as well as fiber by utilizing certain enzymes. This research was conducted to determine the effectiveness of alpha amylase and gluco-amylase enzymes for bio-ethanol production. The process employed in this research include delignification using alpha amylase enzyme, saccharification using gluco amylase enzyme, and 3-day fermentation at temperature 28-30°C and pH of 5-5.5. the process concluded with distillation at 78-100°C.

Laboratory results showed that producing ethanol from sago strach with a combination of 0.18 mL/ liter alpha amylase and 0.48 ml/ liter gluco amylase gives the biggest percentage of bio-ethanol, namely 65%. The combination of 0.13 mL/ liter alpha amylase, 0.11 mL/ liter gluco amylase and 0.33g/ liter yeast on sago core only produces 44.84% ethanol using the same combination on sago fiber gives as low as 8.26% ethanol. At the small scale, production using strach, core and fiber gives 24%, 11% and 4% ethanol respectively.

Keywords : Sago, enzyme -amilase, enzim gluukoamilase, bioethanol

ABSTRAK

Sagu (*Metroxylon* spp.) merupakan salah satu tumbuhan asli Indonesia yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol. Penelitian pembuatan etanol berbahan dasar sagu dilaksanakan dengan menggunakan dua jenis enzim yaitu -amilase dan gluukoamilase dan bahan baku berupa pati, empulur dan serat pada skala laboratorium dan skala usaha kecil. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan jenis enzim efektif dalam produksi etanol dari pati (tepung), empulur dan serat sagu.

Metode penelitian terdiri dari proses liquifikasi dengan penambahan enzim alpha amilase, sakarifikasi diikuti penambahan enzim gluukoamilase, fermentasi pada suhu 28^o - 30^oC, pH 5-5,5 berlangsung selama 3 hari dan distilasi pada suhu 78^o - 80^o C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada skala laboratorium penggunaan enzim alpha amilase 0,18 mL dan enzim gluukoamilase 0,15 mL, ragi 0,48 g menghasilkan kadar etanol paling tinggi yaitu 65,55% untuk pati sagu. Kadar etanol yang paling tinggi diperoleh dari kombinasi enzim alpha amilase 0,13 mL dan gluukoamilase 0,11 mL, ragi 0,33 g yaitu sebesar 44,84% untuk empulur dan kombinasi enzim alpha amilase 0,13 mL dan gluukoamilase 0,11 mL, ragi 0,33 g sebesar 8,26% untuk serat. Hasil penelitian pada skala usaha kecil menunjukkan persentase perolehan etanol dari pati, empulur dan serat

sagu berturut-turut 24,00%; 11,00% dan 4,00% dengan kadar etanol masing-masing 91,00%, 71,00% dan 2,68% dan dengan rendemen masing-masing 6,00%; 2,75% dan 0,25%.

Kata kunci : Sagu, enzim-amilase, enzim glukamilase, dan bioetanol

I. PENDAHULUAN

Konsumsi minyak bumi (BBM) yang terus meningkat dan cadangan minyak yang semakin menipis telah mendorong pengembangan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (BBN) sebagai bahan bakar alternatif. Salah satu contoh bahan bakar alternatif yang saat ini mulai dikembangkan adalah bioetanol.

Sagu (*Metaxylon* spp.) merupakan salah satu tumbuhan asli Indonesia yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol. Secara alami sagu tersebar hampir di setiap pulau atau kepulauan di Indonesia dengan luasan terbesar di Papua. Sagu semi budaya terdapat di Maluku, Sulawesi, Kalimantan dan Sumatera.

Keunggulan pati sagu sebagai bahan baku bioetanol ialah bahwa produktivitas pati sagu lebih tinggi dibanding komoditas penghasil pati lainnya (sagu 25 ton/ha/tahun; padi 6 ton/ha/tahun; jagung 5,5 ton/ha/tahun; kentang 2,5 ton/ha/tahun dan ubi kayu 1,5 ton/ha/tahun. Peneliti Jepang menempatkan sagu di urutan pertama sebagai sumber bahan baku (Ishizaki (2000) dan Wahid (2007) dalam Rostiwati *et al.*, 2008). Pati sagu dan ubi kayu merupakan sumber pati paling murni dibanding pati dari jenis lain, sehingga dapat menghasilkan produksi etanol yang berlebih (Bustaman, 2008).

Tarigan (2001) menyatakan bahwa sagu selain mengandung karbohidrat yang tinggi (85%), juga memiliki kandungan kalori sekitar 357 kalori. Diperkirakan dari 6,5 kg tepung sagu dengan kandungan karbohidrat 85%, maka akan dihasilkan 3,5 liter bioetanol.

Bioetanol merupakan bahan bakar alternatif yang dapat dibuat dari bahan yang mengandung pati seperti sagu. Potensi produksi sagu adalah 5 juta ton pati kering per tahun. Saat ini baru dikonsumsi sekitar 210 ton/tahun atau kurang lebih 4-5% dari total produksi. Apabila sagu dimanfaatkan secara optimal, maka akan diperoleh 3 juta kilo liter bioetanol per tahun (faktor konversi 0,6). Bioetanol dapat digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga, sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak tanah. Perbandingan penggunaan bioetanol dengan minyak tanah adalah 1 : 3, dengan perbandingan masa pakai yang berbeda yaitu 1 liter minyak tanah dapat digunakan selama 2 jam, sedangkan 1 liter bioetanol dengan kadar 90 - 95% dapat digunakan selama 15 jam (Soekaeni, 2008).

Bioetanol sebagai bahan bakar kendaraan dapat digunakan dengan perbandingan 10% bioetanol absolut: 90% bensin. Campuran ini biasa disebut Gasohol E10. Gasohol E-10 mampu meningkatkan tenaga menjadi 41,23 kW dibandingkan dengan premium hanya 30,97 kW dan pertamax 40,09 kW. Etanol yang dihasilkan dari pati sagu memiliki nilai oktan lebih tinggi 117 dibandingkan dengan premium, yang hanya mempunyai nilai oktan sebesar 87 dan pertamax 93. Selain itu, konsumsi bahan bakar lebih irit, hanya sekitar 30,39L/jam, dibandingkan premium 31,03 L/jam. Molekul etanol yang dihasilkan mengandung oksigen dengan pembakar mesin lebih sempurna sehingga mengurangi emisi gas buang. Selain itu, bioetanol merupakan bahan bakar tidak beracun, tidak mengakumulasi gas karbondioksida dan relatif kompatibel dengan mobil bensin atau diesel (Mursyidin, 2007).

Kelebihan bioetanol dibandingkan dengan bensin : bioetanol aman digunakan sebagai bahan bakar, titik nyala etanol 3 kali lebih tinggi dibandingkan bensin dan emisi hidrokarbon lebih sedikit (Chemiawan, 2007).

Dari data-data di atas dapat diketahui bahwa potensi tumbuhan sagu sangat tinggi, akan tetapi belum dimanfaatkan secara maksimal. Salah satu peningkatan nilai tambah sagu yaitu derivasi menjadi gula yang selanjutnya diproses lebih lanjut dijadikan etanol. Proses dapat dilakukan secara kimia, biologi maupun dengan bantuan enzim. Pada penelitian ini telah dilaksanakan pembuatan etanol dari sagu dengan menggunakan dua jenis enzim dengan dua macam teknik.

Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan jenis enzim yang efektif untuk memperoleh etanol dari pati (tepung), empulur dan serat sagu dan alternatif pemanfaatan batang sagu sebagai bahan baku pembuatan etanol sebagai sumber energi terbarukan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Lokasi

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Hasil Hutan Bukan Kayu, Puslitbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan, Bogor; Laboratorium Pasca Panen dan Laboratorium Balitro di Bogor.

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan, yaitu batang sagu yang terdiri dari empulur sagu, pati/tepung dan ampas/serat, enzim alpha amilase, glukoamilase, ragi roti (*Sacharomyces serevisae*), NPK, urea dan lain-lain. Batang sagu diperoleh dari daerah Pariaman, diameter 30 - 40 cm, tinggi 5 m dan umur 8 tahun.

Peralatan yang digunakan, yaitu pH meter, termometer, brixmeter, erlemeyer, gelas piala, corong, timbangan analitis, timbangan biasa, kompor listrik, gelas ukur, alat destilasi skala laboratorium dan usaha kecil.

C. Prosedur Penelitian

1. Skala laboratorium

- a. Batang sagu dipotong-potong dengan ukuran panjang 40 - 50 cm, dikupas kulit luarnya, kemudian dipotong-potong menjadi bagian lebih kecil lagi.
- b. Selanjutnya batang/empulur sagu, diparut, dicuci dengan air, lalu diperas dan dipisah menjadi pati dan ampas/serat.
- c. Bagian pati, empulur dan serat, masing-masing diproses menjadi etanol melalui beberapa proses yaitu likuifikasi, sakarifikasi, fermentasi dan destilasi.
- d. Pada proses likuifikasi ditambahkan enzim alpha amilase, kemudian dipanaskan sampai mendidih, kurang lebih suhu 90°C, selanjutnya didinginkan sampai suhu 60°C, ditambah enzim glukoamilase, di aduk-aduk, biarkan suhu turun sesuai suhu ruang. Di ukur kadar gula pereduksinya dengan menggunakan brix meter.
- e. Setelah mencapai suhu 28 - 30°C, pada larutan sagu yang telah dimasak dilakukan

di tutup. Biarkan selama 3 hari, setelah 3 hari fermentasi berlangsung, kemudian fermentor dibuka dan selanjutnya dilakukan proses distilasi/penyulingan. Etanol yang keluar ditampung dan diukur kadar etanolnya dengan menggunakan alkoholmeter.

- f. Berat sampel, penambahan enzim, ragi, urea dan NPK bervariasi. Dilakukan analisis kadar air dan kadar pati dari bahan. Kadar etanol dihitung dengan menggunakan alat untuk mengukur kadar etanol/alkohol yang disebut alkoholmeter. Rendemen dihitung dengan cara : jumlah etanol yang dihasilkan dalam satuan (Liter) dibandingkan dengan jumlah bahan baku dalam satuan (Liter) dikalikan 100%.
- g. Selanjutnya dilakukan pemurnian kadar bioetanol yang dihasilkan, dengan cara penyulingan ulang.

2. Skala usaha kecil

Cara kerja yang dilakukan pada skala usaha kecil sama dengan cara kerja pada skala laboratorium. Perbedaannya adalah berat sampel yang digunakan, yaitu 150 g, 300 g dan 450 g untuk skala lab dan 10 - 20 kg untuk skala usaha kecil, juga peralatan yang digunakan volumenya lebih besar.

D. Analisa Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan software SAS 6.2. Penelaahan data hasil pembuatan etanol dari empulur sagu, digunakan analisa ragam-peragam berpola acak lengkap, sebagai sumber keragaman (perlakuan) adalah bobot contoh (sample) dalam tiga taraf yaitu 150 g, 300 g, dan 450 g. Sedangkan sebagai sumber keragaman lain adalah volume amilase dalam tiga taraf (0,06 mL, 0,13 mL, dan 0,18 mL), volume glukoamilase juga dalam tiga taraf (0,05 mL, 0,11 mL, dan 0,15 mL), dan berat ragi dalam tiga taraf (0,16 g, 0,33 g, dan 0,48 g). Parameter yang diamati adalah kadar etanol. Untuk masing-masing bobot contoh, dilakukan ulangan sebanyak 3 kali.

Selanjutnya, untuk menelaah adanya perbedaan kadar etanol yang diperoleh dari tiga macam bahan sagu yang berbeda (tepung/pati, empulur dan serat) digunakan perancang ragam-peragam berpola acak lengkap. Sebagai sumber keragaman adalah bahan sagu dalam 3 taraf, sebagai sumber keragaman lain adalah volume amilase (3 taraf), dan berat ragi (3 taraf) (Steel dan Torrie, 1991). Model rancangan penelitian yang digunakan :

$$Y = \mu + X_1 + X_2 + X_3 + \epsilon$$

Dimana : μ = bobot contoh dalam 3 taraf; X_1 = volume enzim amilase; X_2 = volume enzim glukoamilase; X_3 = volume ragi; ϵ = pengaruh acak (galat)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Skala Laboratorium

Pada Tabel 1, 2 dan 3 masing-masing dapat diketahui kadar etanol dari pati, empulur dan serat sago hasil penelitian skala laboratorium.

Tepung sago dengan bobot sampel 150 g, memberikan pencampuran yang baik, susunan pati terpecah dan untuk semua kombinasi perlakuan enzim berinteraksi dengan air secara baik, yakni pati dan air tercampur secara homogen (Tabel 1). Hal ini menunjukkan proses gelatinasi yang sempurna, kombinasi penambahan enzim alpha amilase 0,18 ml dan enzim glukoamilase 0,15 ml, ragi 0,48 g menghasilkan kadar etanol paling tinggi yaitu 65,55%.

Sedangkan empulur sago dengan bobot sampel 300 g, menunjukkan proses gelatinasi yang baik untuk semua kombinasi perlakuan enzim. Kadar etanol yang paling tinggi diperoleh dari kombinasi enzim alpha amilase 0,13 mL dan glukoamilase 0,11 mL, ragi 0,33 gram yaitu sebesar 44,84% (Tabel 2).

Untuk serat atau ampas sago dengan bobot 150 g, menunjukkan proses gelatinasi yang baik pada semua kombinasi enzim. Akan tetapi kadar etanol yang paling tinggi dihasilkan dari bobot serat 450 g, yaitu sebesar 8,26%. Ini disebabkan jumlah sampel yang lebih banyak, kemungkinan dalam serat/ampas tersebut masih mengandung pati cukup banyak dibandingkan pada 150 g dan 300 g sampel (Tabel 3).

Tabel 1. Kadar etanol yang dihasilkan dari pati sago pada skala laboratorium
Table 1. Ethanol content obtained from sago starch in laboratory scale

No.	Bobot sampel (<i>Weight of sample</i>), g	Alpha amilase, mL	Glukoamilase, mL	Ragi (<i>Yeast</i>),g	Kadar etanol (<i>Ethanol content</i>),%
1.	150	0.06	0.05	0.16	57.30
2.	150	0.13	0.11	0.33	55.69
3.	150	0.18	0.15	0.48	65.55
4.	300	0.06	0.05	0.16	37.36
5.	300	0.13	0.11	0.33	37.49
6.	300	0.18	0.15	0.48	50.15
7.	450	0.06	0.05	0.16	26.35
8.	450	0.13	0.11	0.33	34.30
9.	450	0.18	0.15	0.48	31.26

Keterangan (*Remark*): Angka merupakan rata-rata dari 3 ulangan (*Numbers are obtained from the average of 3 replicates*)

Hasil analisa statistik pembuatan etanol dari pati sagu menunjukkan bahwa pengaruh bobot contoh pati dan berat ragi berpengaruh nyata terhadap kadar etanol, tetapi pengaruh volume amilase dan glukoamilase tidak nyata (Tabel 4). Penelaahan lebih lanjut dengan uji beda t menunjukkan bahwa kadar etanol tertinggi diperoleh dari pati sagu dengan bobot 150 g sebesar 59,31%, kemudian cenderung menurun pada bobot 300 g sebesar 41,66%, dan 450 g dengan kadar etanol terendah sebesar 30,64% (diatur pada volume amilase 0,12 mL, volume glukoamilase 0,10 mL, dan berat ragi 0,32 g), lihat Tabel 5.

Tabel 2. Kadar etanol yang dihasilkan dari empulur sagu pada skala laboratorium
Table 2. Ethanol content obtained from sago core in laboratory scale

No.	Bobot Sampel (<i>Weight of sample</i>), g	Alpha amilase, mL	Glukoamilase, mL	Ragi (<i>Yeast</i>), g	Kadar etanol (<i>Ethanol content</i>),%
1.	150	0.06	0.05	0.16	5.39
2.	150	0.13	0.11	0.33	23.87
3.	150	0.18	0.15	0.48	20.19
4.	300	0.06	0.05	0.16	31.84
5.	300	0.13	0.11	0.33	44.84
6.	300	0.18	0.15	0.48	2.23
7.	450	0.06	0.05	0.16	21.79
8.	450	0.13	0.11	0.33	1.35
9.	450	0.18	0.15	0.48	3.67

Keterangan (*Remark*): Angka merupakan rata-rata dari 3 ulangan (*Numbers are obtained from the average of 3 replicates*)

Tabel 3. Kadar etanol yang dihasilkan dari serat sagu pada skala laboratorium
Table 3. Ethanol content obtained from sago fiber in laboratory scale

No.	Bobot Sampel (<i>Weight of sample</i>), g	Alpha amilase, mL	Glukoamilase, mL	Ragi (<i>Yeast</i>), g	Kadar etanol (<i>Ethanol content</i>), %
1.	150	0.06	0.05	0.16	3.67
2.	150	0.13	0.11	0.33	7.11
3.	150	0.18	0.15	0.48	8.52
4.	300	0.06	0.05	0.16	4.77
5.	300	0.13	0.11	0.33	6.85
6.	300	0.18	0.15	0.48	8.40
7.	450	0.06	0.05	0.16	3.62
8.	450	0.13	0.11	0.33	3.00
9.	450	0.18	0.15	0.48	8.26

Keterangan (*Remark*): Angka merupakan rata-rata dari 3 ulangan (*Numbers are obtained from the average of 3 replicates*)

Tabel 4. Analisa keragaman terhadap kadar etanol dalam pati sagu
Table 4. Analysis of variance on ethanol content in sago starch

Sumber keragaman (Sources of variation)	db (df)	Koefisien regresi (β)	F-hitung (F- calculated)	Peluang (P)
Total	26			
- Bobot sampel/Weight of sample (K)	2		127,36**	0,0001
- Volume enzim amylase/ Amylase enzyme volume (X ₁)	1	-2275,3083	3,72 ^{tn}	0,0672
- Volume enzim glukoamilase/ Glucoamylase enzyme volume (X ₂)	1	+1713,7500	1,91 ^{tn}	0,1810
- Galat /Error	21			
Rata-rata/ Means (\bar{Y})	-		43,9388	
Koefisien keragaman /Coefficient of diversity (%)	-		8,8159	

Keterangan (Remarks) : tn = tidak nyata (Not significant); * = nyata pada taraf 5% (Significant at 5%); ** = nyata pada taraf 1% (Significant at 1%), P = Peluang (probability).

Tabel 5. Hasil uji t terhadap kadar etanol pada pati sagu
Table 5. T-test result to ethanol content at sago starch

Bobot sampel (Weight of sample)	Rata-rata kadar etanol (Averages of ethanol content)	Hasil uji t (t test results)	Skor (Scores)
t ₁	59,5133	A	4
t ₂	41,6667	B	3
t ₃	30,6366	C	2

Keterangan (Remark) : Nilai rata-rata yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata (Means values followed by the same letters not significantly different): A>B>C

Hasil analisa regresi, menunjukkan bahwa peningkatan bobot pati sagu sebanyak 1 gram mengakibatkan penurunan kadar etanol sebesar 0,09%, sedangkan peningkatan berat ragi sebanyak 1 g mengakibatkan peningkatan kadar etanol sebesar 366,72%. Selanjutnya kecenderungan penurunan kadar etanol akibat peningkatan volume amilase, dan peningkatan kadar etanol akibat peningkatan volume glukoamilase nyata (F hitung = 62,92). Kecenderungan regresi ditunjukkan dengan sangat nyatanya koefisien determinasi ($R^2 = 0,92^{**}$). Ini berarti bahwa variasi kadar etanol sebesar 92% diakibatkan oleh perubahan berat ragi, volume amylase dan volume glukoamilase.

Analisa ragam peragam menunjukkan bahwa pengaruh bobot empulur sagu berpengaruh nyata terhadap kadar etanol, tetapi pengaruh volume amilase, volume glukoamilase, dan berat ragi tidak nyata (Tabel 6). Penelaahan lebih lanjut dengan uji beda t

menunjukkan bahwa rata-rata kadar etanol 16,45% pada bobot contoh empulur 150 g, kadar etanol meningkat menjadi 26,30% pada bobot contoh empulur 300 g, kemudian kadar etanol menurun menjadi 8,93% pada bobot contoh empulur 450 g (diatur pada volume amilase 0,12 mL, volume glukoamilase 0,10 mL, dan berat ragi 0,32 g), seperti dapat di lihat pada Tabel 7. Pengaruh bobot bahan/empulur semakin tinggi bobot empulur ternyata berpengaruh terhadap kadar etanol yang dihasilkan, yaitu kadar etanol semakin rendah. Hal ini disebabkan empulur selain mengandung karbohidrat, juga mengandung lignin sehingga proses sakarifikasi berjalan lambat, gula yang dihasilkan sedikit, fermentasi tidak optimal, akhirnya akan berakibat pada kadar etanol. Berat ragi, enzim alpha amilase dan enzim glukoamilase yang diberikan terlalu rendah untuk merombak bahan seberat 450 g.

Penelaahan dengan analisa regresi, menunjukkan bahwa peningkatan bobot empulur sagu sebanyak 1 g mengakibatkan perubahan kadar etanol. Sedangkan peningkatan volume amilase cenderung menurunkan kadar etanol, sebaliknya peningkatan volume glukoamilase dan peningkatan berat ragi cenderung meningkatkan kadar etanol, akan tetapi penurunan dan peningkatan kadar etanol tersebut tidak nyata (F hitung = 3.18). Pernyataan regresi ditunjukkan dengan nyatanya koefisien determinasi ($R^2 = 0.43^*$). Ini berarti bahwa variasi kadar etanol sebesar 43% diakibatkan oleh perubahan berat ragi, volume amylase dan volume glukoamilase.

Table 6. Analisa keragaman terhadap kadar etanol dalam empulur sagu
Table 6. Analysis of variance of ethanol content in sago core

Sumber keragaman (Source of variance)	Db (df)	Koefisien regresi (β)	F-hitung (f calculated)	Peluang (P)
Total	26			
- Bobot sampel/ Weight of sample (K)	2	-	4,46*	0,0243
- Volume enzim amylase/ Amylase enzyme volume (X_1)	1	-2275,3083	2,64 ^{tn}	0,1189
- Volume enzim glukoamilase/ Glucoamylase enzyme volume (X_2)	1	+1713,7500	3,09 ^{tn}	0,0935
- Volume ragi/ Yeast volume (X_3)	1	+344,7250	0,13 ^{tn}	0,7255
- Galat (Error)	21			
Rata-rata / Means (\bar{Y})	-			17,2411
Koefisien keragaman/ Coefficient of diversity (%)	-			71,72773

Keterangan (Remarks) : tn = tidak nyata (not significant); *= nyata pada taraf 5% (significant at 5%); ** = nyata pada taraf 1% (significant at 1%), P = peluang (probability)

Tabel 7. Hasil uji t terhadap kadar etanol dalam empulur sago
Table 7. T-test to ethanol content in sago core

Bobot sampel (<i>Weight of sample</i>)	Rata-rata kadar etanol (<i>Averages of ethanol content</i>)	Hasil uji t (<i>t test results</i>)	Skor (<i>Scores</i>)
t ₁	16,4833	AB	3,5
t ₂	26,3033	A	4
t ₃	8,9367	B	3

Keterangan (*Remark*): Nilai rata-rata yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata (*Means values followed by the same letters not significantly different*): A>B>C

Analisa keragaman menunjukkan bahwa pengaruh bobot serat sago dan berat ragi berpengaruh nyata terhadap kadar etanol, tetapi pengaruh volume amilase dan volume glucoamilase tidak nyata (Tabel 8). Penelahan lebih lanjut dengan uji beda t menunjukkan bahwa rata-rata kadar etanol mula-mula 6,43% pada bobot serat sago 150 g, kemudian kadar etanol meningkat menjadi 6,67% pada bobot serat sago 300 g (peningkatan kadar alkohol tersebut tidak nyata, karena akhirnya menurun secara nyata menjadi 4,96% pada bobot serat sago 450 g (diatur pada volume amilase 0.12 mL, volume glucoamilase 0,10 mL, dan berat ragi 0,2 g) seperti dapat dilihat pada Tabel 9. Makin tinggi bobot serat/ampas penyulingan yang digunakan, makin rendah kadar etanol yang dihasilkan karena serat mengandung sedikit karbohidrat tetapi kadar lignin tinggi 11,70 - 12,00% bila dibandingkan dengan kadar lignin empulur yaitu 6,62 - 7,00%. Hal ini terjadi disebabkan berat ragi yang diberikan tidak cukup untuk merombak gula menjadi etanol. Selain itu, disebabkan juga oleh karena hidrolisis menggunakan enzim, laju hidrolisisnya rendah bila dibandingkan dengan hidrolisis menggunakan asam (Irawati, 2006).

Table 8. Analisa keragaman terhadap kadar etanol dalam serat sago
Table 8. Analysis of variance of ethanol content in sago fiber

Sumber keragaman (<i>Source of variance</i>)	Db (<i>df</i>)	Koefisien regresi (β)	F-hitung (<i>f calculate</i>)	Peluang (<i>P</i>)
Total	26			
- Bobot sampel/ <i>Weight of sample</i> (K)	2		7,63**	0,0032
- Volume enzim amylase/ <i>Amylase enzyme volume</i> (X ₁)	1	+0,5567	0,002 ^{tn}	0,9982
- Volume enzim glucoamilase/ <i>Glucoamylase enzyme volume</i> (X ₂)	1	-100,5333	0,102 ^{tn}	0,7583
- Volume ragi/ <i>Yeast volume</i> (X ₃)	1	+44,8766	4,75*	0,0408
- Galat/ <i>Error</i>	21			
Rata-rata/Means (\bar{Y})	-		6,021	
Koefisien keragaman/ <i>Coefficient of diversity</i> (%)	-		16,723	

Keterangan (*Remarks*): ^{tn} = tidak nyata (*not significant*); * = nyata pada taraf 5% (*significant at 5%*); ** = nyata pada taraf 1% (*significant at 1%*), P = peluang (*probability*).

Tabel 9. Hasil uji t terhadap kadar etanol dalam serat sagu
Table 9. T-test to ethanol content in sago fiber

Bobot sampel (<i>Weight of sample</i>)	Rata-rata kadar etanol (<i>Average of ethanokontent</i>)	Hasil uji t (<i>t test result</i>)	Skor (<i>Score</i>)
t ₁	6,4333	A	4
t ₂	6,6733	A	4
t ₃	4,9583	B	3

Keterangan (*Remarks*): Nilai rata-rata yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata (*Means values followed by same letters not significantly different*): A>B>C

Penelaahan dengan analisa regresi, menunjukkan bahwa peningkatan bobot serat sagu sebanyak 1 g mengakibatkan perubahan kadar etanol sebesar $dy/dx = (0,0212 - 0,0009) X \%$; di mana X = bobot serat sagu. Peningkatan berat ragi sebesar 1 g mengakibatkan peningkatan kadar etanol sebesar $dy/dx = (1,0212 - 0,0009) X \%$; di mana X = bobot serat sagu, artinya peningkatan berat ragi sebesar 1 g mengakibatkan peningkatan kadar etanol sebesar 44,27%. Selanjutnya, peningkatan volume amilase cenderung meningkatkan kadar etanol, sedangkan peningkatan volume glukoamilase cenderung menurunkan kadar etanol, akan tetapi peningkatan dan penurunan kadar etanol tersebut tidak nyata. Pernyataan regresi ditunjukkan dengan nyatanya koefisien determinasi ($R^2 = 0,83^*$). Ini berarti bahwa variasi kadar etanol sebesar 83% diakibatkan oleh perubahan berat ragi, volume amylase dan volume glukoamilase.

Analisa keragaman menunjukkan bahwa perbedaan bahan sagu berpengaruh nyata pada kadar etanol yang dihasilkan (F hitung = 32,04). Penelaahan lebih lanjut dengan uji beda t, menunjukkan bahwa rata-rata kadar etanol dari pati sagu dengan bobot 150 g, 300 g, dan 450 g adalah berturut-turut 59,51%, 41,66%, dan 30,63%. Selanjutnya rata-rata kadar etanol dari empulur sagu dengan bobot 150 g, 300 g, dan 450 g adalah lebih rendah yaitu berturut-turut 16,48%, 26,30%, dan 8,93%. Sedangkan rata-rata kadar etanol dari serat sagu dengan bobot 150 g, 300 g, dan 450 g adalah yang terendah yaitu berturut-turut 6,43%, 6,67% dan 4,96%. Perbedaan bahan yang digunakan akan memberikan perbedaan pada kadar etanol yang diberikan. Ini disebabkan masing-masing bahan mempunyai komposisi kandungan karbohidrat dan lignin yang berbeda sehingga akan berpengaruh pada proses fermentasi dan distilasi (Susmiati, 2010).

Pada Tabel 10, dapat diketahui kadar etanol dari pati, empulur dan serat sagu pada skala usaha kecil. Sedangkan pada Tabel 11, dapat diketahui hasil pemurnian etanol yang biasa disebut bioetanol.

Tabel 10. Rata-rata kadar etanol dari tepung, empulur dan serat sago pada skala usaha kecil

Table 10. Average ethanol content of sago starch, core and fiber in small scale industry

No.	Jenis bahan (<i>Kinds of material</i>)	Produksi (<i>Production</i>), Liter	Kadar etanol (<i>Ethanol content</i>), %	Rendemen (<i>Yield</i>), %
1.	Tepung (<i>Fluor</i>)	3,60	91	6,00
2.	Empulur (<i>Core</i>)	1,65	71	2,75
3.	Serat (<i>Fiber</i>)	0,25	2,68	0,25

Dari Tabel 10, dapat diketahui produksi etanol dari tepung, empulur dan serat sago berturut-turut 24,00%; 11,00% dan 4,00%, dengan kadar etanol 91,00%; 71,00% dan 2,68%, rendemen 6,00%; 2,75% dan 0,25%.

Berdasarkan hasil penelitian, ternyata pada proses pembuatan etanol dengan enzim alpha amilase dan glucoamilase melalui proses pemanasan, likuifikasi dan sakarifikasi, reaksi berlangsung sempurna bila dibandingkan dengan proses pembuatan bioetanol dengan menggunakan enzim tanpa proses pemanasan. Pada proses fermentasi pH sekitar 5,0 - 5,6 dan suhu 27° - 30°C. Suhu dan pH sangat mempengaruhi proses konversi gula menjadi etanol, juga produksi etanol.

B. Skala Usaha Kecil

Hasil penelitian skala usaha kecil pada Tabel 10, menunjukkan bahwa penambahan enzim α -amilase dan glucoamilase pada pati sago menghasilkan kadar etanol dan rendemen tertinggi dibandingkan dengan dua bagian lain (serat dan empulur), yaitu 6 - 7%. Hal ini disebabkan karena adanya enzim tersebut pada proses gelatinisasi (pemasakan) akan menghasilkan dekstrin dan sebagian glukosa. Enzim α -amilase berfungsi memotong rantai karbohidrat (pati) secara acak dan akan menghasilkan maltotriosa dan maltosa dari amilosa atau maltosa, glukosa dan sedikit dekstrin dari amilopektin. Karena enzim ini bekerja secara acak maka enzim α -amilase akan bekerja lebih cepat dibandingkan dengan β -amilase yang bekerja dengan cara memotong rantai karbohidrat dari ujung pada daerah yang berikatan glikosidik α -1,4 menjadi unit gula sederhana (Taylor & Robbins, 1993).

Hasil penelitian ini ternyata sama dengan hasil penelitian lain bahwa dari 1 ton pati sago dapat dihasilkan sekitar 608 liter etanol, berarti rendemen 6 - 6% (Nurdyastuti, 2008).

Di dalam batang sago selain pati, juga terdapat serat seperti selulosa dan hemiselulosa. Pati, selulosa dan hemiselulosa sangat potensial sebagai bahan substrat fermentasi alkohol, asam laktat dan produk lain sebagai bahan untuk energi baru dan terbarukan. Pada umumnya substrat fermentasi adalah karbohidrat struktur sederhana bentuk gula monosakarida seperti glukosa sehingga dapat langsung difermentasi oleh mikroorganisme yang terlibat (Soeroso *et al.*, 2008). Dari hasil pengamatan ternyata produksi etanol dipengaruhi beberapa faktor antara lain pemanasan, pendinginan, efektivitas enzim, kekentalan bahan, kadar gula dan proses penyulingan. Akibat dari beberapa faktor tersebut, menyebabkan nilai rendemen rendah. Kadar etanol hasil penyulingan skala usaha kecil bervariasi mulai dari rendah sampai dengan

tinggi. Khusus proses produksi bioetanol dari serat sagu, masih memerlukan input teknologi enzimatik yang lebih efektif.

Tabel 11. Kadar bioetanol setelah proses pemurnian (%)

Table 11. Bioethanol content after second distillation (%)

No.	Jenis bahan (<i>Kinds of material</i>)	I	II
1.	Tepung (<i>Fluor</i>)	91	93
		87	89
		85	87
		50	88
2.	Empulur (<i>Core</i>)	70	83
		73	86

Keterangan (*Remarks*): I = Kadar bioetanol hasil penyulingan dari bahan baku (awal) (*Bioethanol content from distillation material*)

II = Kadar bioetanol hasil pemurnian (penyulingan berikutnya) (*Bioethanol content from redistillation*)

Pada Tabel 11, terlihat bahwa kadar bioetanol tepung hasil penyulingan awal berturut-turut sebesar 91%, 87%, 85%, 50% setelah disuling kembali/dimurnikan menjadi 93%, 89%, 87% dan 88%. Sedangkan kadar bioetanol empulur hasil penyulingan awal berturut-turut 70% dan 73%, setelah dimurnikan kadarnya meningkat menjadi 83% dan 86%. Hal ini terjadi karena kadar air yang tercampur dalam etanol hasil penyulingan pertama menguap setelah mengalami penyulingan yang kedua kali.

Dibandingkan dengan standar etanol murni sebesar 99%, ternyata kadar etanol yang dihasilkan dari penelitian ini masih di bawah standar. Setelah dilakukan uji coba bioetanol pada kompor bioetanol, ternyata hasil penelitian ini sudah layak untuk digunakan sebagai bahan bakar pengganti minyak tanah, karena untuk bahan bakar memasak hanya diperlukan kadar etanol 50%.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Semua bagian batang sagu dapat menghasilkan etanol dengan volume produksi dan kadar etanol bervariasi mulai dari 1.35 65.55%.
2. Rendemen etanol tertinggi pada skala usaha diperoleh dari tepung/pati sagu sebesar 6,00%, diikuti empulur sagu 2,75% dan serat sagu 0,25%. Besarnya rendemen etanol dipengaruhi beberapa faktor antara lain kadar pati, proses pemanasan, pengadukan, fermentasi, penyulingan dan lain-lain.
3. Kadar enzim-amilase dan glukoamilase yang digunakan terlalu kecil, juga pada empulur dan serat sagu seharusnya diberi enzim selulose, sehingga mempengaruhi proses likuifikasi, sakarifikasi dan fermentasi.
4. Disarankan perlu penelitian proses enzimatik dan alat produksi yang efektif dan efisien serta pemurnian bioetanol untuk mencapai kadar 99,90%.

DAFTAR PUSTAKA

- Bustaman, S. 2008. Strategi pengembangan Bio-etanol berbasis sagu di Maluku. Perspektif (7) 2, Desember 2008. Hal 65-79. Balai Besar Pengkajian Teknologi Pertanian Bogor.
- Chemiawan, T. 2007. Krisis energi dan globalisasi. <http://mahasiswanegarawan.wordpress.com>. Di akses tanggal 16 Januari 2008.
- Irawati, D. 2006. Pemanfaatan serbuk kayu untuk produksi etanol. Tesis. Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Tidak diterbitkan.
- L. Suroso, P. Andayaningsih, N. Hatta, R. Safitri dan B. Marwoto. 2008. Hidrolisis serbuk empulur sagu (*Metroxylon sagu* Rottb) dengan HCl untuk meningkatkan efektivitas hidrolisis kimiawi. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi II. Universitas Lampung, tanggal 17-18 Nopember 2008, di Bandar Lampung. Penerbit Lembaga Penelitian Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Mursyidin, HD. 2007. Ubikayu dan bahan bakar terbarukan. Banjarmasin Post Online. <http://www.banjarmasinpost.co.id>. Di akses pada tanggal 18 April 2008.
- Nurdyastuti, I. 2008. Teknologi proses produksi bio-ethanol, prospek pengembangan biofuel sebagai substitusi bahan bakar minyak. Balai Besar Teknologi Pati BPPT, Jakarta.
- Rostiwati, T., Y. Lisnawati, S. Bustomi, B. Leksono, D. Wahyono, S. Pradjadinata, R. Bogidarmanti, D. Djaenudin, E. Sumadiwangsa dan N. Haska. 2008. Sagu (*Metroxylon* spp.) sebagai sumber energi potensial. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Hutan Tanaman. Bogor.
- Soekaeni. 2008. Bioetanol. Soekaeni beri fakta nyata. Harian Kompas, 12 Juli 2008.
- Steel, R.G.D., and Torrie, J.H. 1991. Prinsip dan Prosedur Statistika (*Terjemahan*). PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Susmiati, Y. 2010. Rekayasa proses hidrolisis pati dan serat ubi kayu untuk produksi bioetanol. Tesis. Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Tarigan, D.D. 2001. Sagu memantapkan swadaya pangan. Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian 23 (5) : 1-3.
- Taylor, J.R.N, Robbins, DJ. 1993. Factors Influencing Beta-Amylase Activity in Sorghum Malt. J. Inst. Brew. 99:413-416.