

Hidrolisis Eceng Gondok dan Sekam Padi untuk Menghasilkan Gula Reduksi sebagai Tahap Awal Produksi Bioetanol

Wilda A. Naufala dan Ellina S. Pandebesie

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: ellina@its.ac.id

Abstrak—Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan gulma air dengan pertumbuhan cepat yang disebabkan oleh eutrofikasi di badan air. Eceng gondok yang mengandung struktur lignoselulosa ini memiliki ketersediaan yang sangat melimpah. Lignoselulosa yang terdiri dari lignin, selulosa, dan hemiselulosa ini juga terkandung dalam sekam padi. Sekam padi merupakan limbah pertanian yang pemanfaatannya masih belum maksimum. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui campuran terbaik eceng gondok dan sekam padi yang dapat menghasilkan gula reduksi terbanyak. Perbandingan campuran eceng gondok dan sekam padi yang digunakan adalah 100:0, 75:25, 50:50, 25:72, 0:100 dengan berat total 100 gram. Tahap awal penelitian ini yaitu *pretreatment* dengan H_2SO_4 1% sebanyak 1000 mL dan pemanasan suhu 100°C selama 60 menit. Tahap selanjutnya adalah hidrolisis enzimatis dengan memanfaatkan *Aspergillus niger* dan *Trichoderma viride* dengan perbandingan 2:1. Reaktor yang digunakan merupakan reaktor kaca dengan volume 2 L. Parameter yang diukur meliputi lignoselulosa dan gula reduksi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sampel yang mengandung 100:0 eceng gondok dan sekam padi mampu menghasilkan kadar gula reduksi tertinggi, yaitu sebesar 23,33 mg/g.

Kata Kunci—eceng gondok, gula reduksi, lignoselulosa, sekam padi

I. PENDAHULUAN

PENCEMARAN di badan air merupakan masalah lingkungan yang harus diperhatikan. Salah satu penyebab pencemaran di badan air adalah eutrofikasi. Salah satu tumbuhan yang diuntungkan karena eutrofikasi adalah eceng gondok. Eceng gondok merupakan jenis tumbuhan air yang memiliki laju pertumbuhan tinggi, sehingga dianggap sebagai gulma yang dapat mengganggu ekosistem perairan [1]. Permasalahan yang timbul dari tingginya populasi eceng gondok adalah berkurangnya jumlah keanekaragaman hewan air, terjadinya pendangkalan, menurunnya kualitas air karena berkurangnya oksigen akibat menurunnya intensitas cahaya matahari yang masuk ke badan air, meningkatnya vektor penyakit, gangguan irigasi, transportasi, dan berkurangnya nilai estetika pada perairan [1,2].

Sejumlah permasalahan yang timbul akibat tingginya populasi eceng gondok ini mengharuskan adanya pemanfaatan untuk mengurangi populasinya. Beberapa penelitian

menyatakan bahwa eceng gondok mempunyai struktur lignoselulosa yang dapat dikonversi menjadi gula reduksi dan berpotensi menjadi bioetanol. Bioetanol merupakan *biofuel* ramah lingkungan dengan kandungan 35% oksigen yang mampu menyebabkan proses pembakaran lebih sempurna [4] sehingga emisi hidrokarbon hasil pembakaran lebih rendah [5].

Biomassa yang mampu memproduksi bioetanol biasanya mengandung zat gula (bagas tebu, buah-buahan, tetes), tepung atau pati (ubi, kentang, jagung), dan lignoselulosa (residu agrikultural, residu kayu) [6]. Lignoselulosa dinilai sebagai sumber bioetanol yang paling menguntungkan karena ketersediaannya yang melimpah dan relatif murah. Kelemahan penggunaan biomassa yang mengandung lignoselulosa yaitu sulitnya dihidrolisis karena mengandung lignin. Eceng gondok memiliki kandungan 48% hemiselulosa, 18% selulosa, dan 3,5% lignin [7].

Selulosa merupakan penyusun utama dinding sel dan termasuk polimer glukosa dengan ikatan β -1,4 glukosida dalam rantai panjang lurus. Rantai selulosa terhubung dengan ikatan hidrogen dan gaya *van der Waals* [8].

Hemiselulosa merupakan komponen yang paling mudah dihidrolisis karena memiliki struktur heterogen dan derajat polimerisasi yang relatif rendah. Hemiselulosa juga dapat mengikat lembaran serat selulosa membentuk mikrobiofil sehingga dapat meningkatkan stabilitas dinding sel pada tumbuhan [9].

Lignin merupakan komponen yang sangat sulit didegradasi. Komposisi lignin terdiri dari polimer aromatik yang unitnya dihubungkan oleh ikatan eter dan karbon-karbon. Fungsi utama lignin pada tumbuhan adalah memperkuat struktur tumbuhan [10].

Lignoselulosa juga terkandung dalam limbah agrikultural, salah satunya adalah sekam padi. Sekam padi merupakan residu agrikultural yang ketersediaannya sangat melimpah dan dapat memproduksi bioetanol karena mengandung struktur lignoselulosa. Sekam padi memiliki kandungan 24,3% hemiselulosa, 34,4% selulosa, dan 19,2% lignin [11].

Terdapat beberapa langkah dalam pembuatan bioetanol, yaitu *pretreatment*, hidrolisis, dan fermentasi. *Pretreatment* bertujuan untuk memecah ikatan lignin dan merusak struktur kristal selulosa agar mudah terurai menjadi glukosa. Tahap hidrolisis bertujuan untuk mengubah selulosa menjadi glukosa. Tahap fermentasi bertujuan untuk merubah glukosa menjadi

etanol dengan bantuan mikroorganisme. *Pretreatment* dengan penambahan asam sulfat dan pemanasan pada suhu 100°C [12]. Hidrolisis dilakukan secara enzimatis dengan bantuan mikroorganisme *Trichoderma viride* dan *Aspergillus niger* [13].

Pada penelitian ini akan dikombinasikan penggunaan sekam padi dan eceng gondok sebagai biomassa dengan rasio perbandingan tertentu. Campuran ini diharapkan dapat menjadi campuran biomassa yang baik untuk meningkatkan aktivitas pertumbuhan mikroorganisme agar mampu menghasilkan gula reduksi optimum.

II. METODE PENELITIAN

A. Tahap Persiapan

Bahan baku eceng gondok diperoleh dari daerah perairan di ITS. Bahan baku sekam padi diperoleh dari daerah penggilingan beras di Kota Surabaya dengan varietas padi 64-IR. Sekam padi dan eceng gondok dicuci hingga bersih untuk menghilangkan zat pengotor dan dibuang bagian akarnya. Setelah itu dicacah kecil-kecil, lalu kedua biomassa dikeringkan di bawah sinar matahari selama satu minggu agar benar-benar kering sehingga mudah dihancurkan/dihaluskan [14]. Kemudian biomassa dihaluskan hingga berupa tepung. Lalu biomassa dicampur dengan rasio perbandingan eceng gondok dan sekam padi sebesar 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 dengan total campuran 100 gram.

Persiapan selanjutnya yaitu pembuatan Media PDA (*Potato Dextrose Agar*) yang digunakan untuk menumbuhkan mikroorganisme yang nantinya digunakan sebagai stok sebelum dilakukan penelitian. Media PDA yang sudah disiapkan ditambahkan dengan inokulan *T. viride* dan *A. niger*. Inokulasi dilakukan secara aseptik dengan cara mengambil satu ohse kapang lalu digoreskan ke dalam media PDA.

Selanjutnya dilakukan aklimatisasi mikroorganisme ke dalam media PDB (*Potato Dextrose Broth*). Stok kapang yang sudah dibuat sebelumnya di media PDA, dipersiapkan untuk dipindahkan ke media PDB yang nantinya akan digunakan untuk proses hidrolisis dan fermentasi. Diambil 5 ohse untuk 250 mL PDB dari masing-masing inokulan. Setelah itu dimasukkan ke dalam media PDB yang sudah disiapkan. Selanjutnya *T. viride* dan *A. niger* dishaker secara terpisah selama 50 jam dengan kecepatan 180 rpm. 50 jam merupakan fase eksponensial atau $\frac{1}{2}$ Vmaks dari masing-masing kapang.

B. Pretreatment

Eceng gondok dan sekam padi yang sudah tercampur dengan perbandingan tertentu diukur kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa awal untuk mengetahui karakteristik awal dari substrat. Setelah itu ditambahkan H₂SO₄ 1% sebanyak 1000 mL [15]. Setelah ditambah asam, substrat dipanaskan pada suhu 100°C selama 60 menit. Kemudian disaring dan dicuci dengan *aquadest*. Lalu dikeringkan kembali pada suhu 60°C selama 3 hari [16]. Kemudian substrat dimasukkan ke dalam reaktor berukuran 2 L. Lalu diukur kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin setelah dilakukan proses *pretreatment* dengan Metode Chesson.

C. Hidrolisis

Metode hidrolisis pada penelitian ini menggunakan metode hidrolisis enzimatis, yaitu dengan memanfaatkan mikroorganisme penghasil enzim, seperti *T. viride* dan *A. niger* [12]. Inokulum *T. viride* dan *A. niger* ditambahkan ke dalam sampel dengan perbandingan *T. viride* dan *A. niger* adalah 2 : 1 dengan total 100 mL (67 mL *T. viride* dan 33 mL *A. niger*). Lalu diinkubasi pada suhu ruang selama 72 jam [12,17].

Substrat sebelumnya dikondisikan agar pH menjadi 5. Pengkondisian pH dilakukan dengan menambahkan larutan konsentrat NaOH. Kemudian dilakukan uji gula reduksi dengan Metode Nelson Somogyi.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Kadar Lignoselulosa Awal Eceng Gondok : Sekam Padi

Pengukuran lignoselulosa di awal penelitian bertujuan untuk mengetahui karakteristik eceng gondok dan sekam padi. Karakteristik ini dapat dilihat dari kadungan lignoselulosa awal yang terdapat pada campuran eceng gondok dan sekam padi sebelum dilakukannya *pretreatment*. Data awal analisis kadar lignoselulosa eceng gondok dan sekam padi disajikan pada Tabel 1.1. Data perhitungan kadar lignoselulosa awal menurut beberapa literatur disajikan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.1

Perhitungan Kadar Lignoselulosa Eceng Gondok dan Sekam Padi			
Eceng Gondok : Sekam Padi (100 gram)	Hemiselulosa (%)	Selulosa (%)	Lignin (%)
100 : 0	38.99	26.30	10.01
75 : 25	31.44	32.60	11.61
50 : 50	30.38	27.92	15.05
25 : 75	27.07	28.11	18.76
0 : 100	25.02	27.37	18.98

Tabel 1.2

Perhitungan Kadar Lignoselulosa Eceng Gondok dan Sekam Padi			
Literatur	Kadar Lignoselulosa Eceng Gondok		
	Hemiselulosa (%)	Selulosa (%)	Lignin (%)
Nigam , 2002	48,70	18,20	3,50
Ma <i>et al.</i> , 2010	33,40	19,50	9,27
Novembrianto, 2014	33,95	12,38	8,76
Literatur	Kadar Lignoselulosa Sekam Padi		
	Hemiselulosa (%)	Selulosa (%)	Lignin (%)
Nichols <i>et al.</i> , 2014	12 ± 0,7	35,6 ± 0,1	15,4 ± 0,2
Imamoglu, 2014	28,60	28,60	24,40
Soltani <i>et al.</i> , 2015	24,30	34,40	19,20

Tabel 1.1 menunjukkan kadar lignoselulosa awal substrat eceng gondok dan sekam padi. Eceng gondok memiliki kadar selulosa lebih besar daripada selulosannya, sementara sekam padi memiliki kadar selulosa lebih tinggi dari hemiselulosanya. Komposisi masing-masing eceng gondok dan sekam padi pada penelitian ini berbeda dengan literatur yang disajikan pada Tabel 1.2. Literatur menunjukkan kadar hemiselulosa sebesar 48,70% dan selulosa sebesar 18,20% [7] untuk eceng gondok. Untuk sekam padi menurut Soltani *et al.* [11] menunjukkan

kadar hemiselulosa sebesar 24,30% dan selulosa sebesar 34,40%.

Perbedaan kadar lignoselulosa antara literatur dan penelitian ini disebabkan oleh perbedaannya habitat asal eceng gondok dan sekam padi tumbuh. Lingkungan tempat eceng gondok tumbuh merupakan perairan tercemar yang mengandung mikro elemen yang lebih tinggi dibandingkan perairan bersih. Mikro elemen merupakan salah satu komponen pertumbuhan untuk memenuhi nutrisi eceng gondok. Persamaan penelitian ini dengan literatur yaitu persentase hemiselulosa yang lebih tinggi daripada selulosa untuk eceng gondok, dan persentase selulosa lebih tinggi daripada hemiselulosa untuk sekam padi.

B. Kadar Lignoselulosa setelah Pretreatment

Penelitian ini menggunakan *pretreatment* asam 1% dan pemanasan suhu 100°C. Menurut beberapa literatur, *pretreatment* dengan asam mampu mendegradasi lignin, menurunkan kadar selulosa, dan hemiselulosa. Perhitungan kadar lignoselulosa sesudah proses *pretreatment* disajikan pada tabel 1.3.

Tabel 1.3

Perhitungan Kadar Lignoselulosa Eceng Gondok dan Sekam Padi			
Eceng Gondok : Sekam Padi (100 gram)	Hemiselulosa (%)	Selulosa (%)	Lignin (%)
100 : 0	21,69	41,52	17,78
75 : 25	20,58	38,02	18,26
50 : 50	21,66	37,21	21,67
25 : 75	19,17	34,40	20,82
0 : 100	16,98	35,36	22,31

Tabel 1.3 menunjukkan kadar lignoselulosa pada substrat setelah proses *pretreatment*. Kadar hemiselulosa turun sekitar 40% dari sebelum *pretreatment*. Mosier *et al.* [22] mengungkapkan bahwa dengan pemanasan dapat menurunkan kandungan hemiselulosa hingga mencapai 90%. Penurunan kadar hemiselulosa ini disebabkan karena strukturnya yang sebagian besar bersifat lunak (amorf), sehingga sensitif dan mudah dipecah oleh asam [18].

Berbeda dengan literatur yang menjelaskan bahwa *pretreatment* asam dan pemanasan dapat mendegradasi lignin dan menurunkan kadar selulosa, pada penelitian ini kadar selulosa dan lignin justru naik. Penyebab kenaikan kadar selulosa adalah kemungkinan karena adanya kandungan pati yang tak larut dan terukur sebagai selulosa [23]. Sedangkan kemungkinan naiknya kadar lignin terjadi karena terbentuknya “lignin semu” yang terukur sebagai lignin akibat ikatan silang ester dengan polisakarida. Selain itu kemungkinan lain karena terjadi dekomposisi pada lignin dan selulosa akibat adanya ion *carbonium* yang terbentuk pada molekul lignin [24].

Matsushita *et al.* [25] menyatakan bahwa adanya peningkatan kadar lignin terjadi karena struktur lignin lisis yang mengakibatkan molekulnya sebagian terkondensasi dan mengendap. Adanya molekul lignin yang terendapkan akan berpengaruh pada akumulasi bobot molekul rata-rata dan menyebabkan naiknya bobot molekul lignin.

Rujukan [26] menyatakan bahwa selama perlakuan dengan asam sulfat, struktur lignin akan berubah. Hal ini dapat terjadi

karena adanya reaksi kondensasi sebagai akibat dari tingkat reaktifitas yang dimiliki oleh cincin aromatik penyusun lignin yang akan membentuk ikatan karbon-karbon. Hal ini mengakibatkan lignin menjadi padat dan tingkat kelarutannya dalam asam menjadi rendah.

Penyebab lain kemungkinan karena suhu yang digunakan dalam penelitian ini kurang tinggi. Penelitian ini hanya menggunakan suhu 100°C. Mosier *et al.* [22] melakukan *pretreatment* dengan pemanasan pada suhu 200-230°C dan mampu mendegradasi 35-60% lignin dan 4-22% selulosa. Hal yang sama diungkapkan oleh Siregar [25] yang menyatakan bahwa lignin baru dapat terpecah menjadi partikel yang lebih kecil dan terlepas dari selulosa saat direaksikan pada suhu 200°C.

C. Kadar Gula Reduksi selama Pretreatment

Pretreatment dengan asam 1% dan pemanasan pada suhu 100°C mengalami pembentukan gula reduksi. Data analisis perhitungan gula reduksi disajikan pada Tabel 1.4

Tabel 1.4

Perhitungan Kadar Lignoselulosa Eceng Gondok dan Sekam Padi	
Eceng Gondok : Sekam Padi (100 gram)	Gula Reduksi (mg/g)
100 : 0	3,54
75 : 25	3,19
50 : 50	4,05
25 : 75	3,32
0 : 100	1,54

Tabel 1.4 menunjukkan kadar gula reduksi tertinggi terdapat pada substrat yang mengandung 50 : 50 campuran eceng gondok dan sekam padi, yaitu sebesar 4,05 mg/g. Sedangkan untuk kadar gula reduksi substrat yang hanya mengandung eceng gondok adalah 3,54 mg/g. Hasil gula reduksi eceng gondok pada penelitian ini nilainya jauh lebih kecil dibandingkan penelitian lain yang menggunakan eceng gondok sebagai biomassa dengan *pretreatment* kombinasi *E. taxodii* dan asam sulfat dengan pemanasan suhu 100°C selama 60 menit. Penelitian tersebut menghasilkan gula reduksi sebesar 366 mg/g [27].

Kadar gula reduksi sekam padi paling rendah nilainya diantara substrat yang lain, yaitu 1,54 mg/g. Hal ini kemungkinan terjadi karena lignin pada sekam padi masih tinggi dan menghalangi asam dalam pemecahan selulosa. Ingrid *et al.* [28] mampu menghasilkan gula reduksi sebesar 15,87 mg/g dengan *pretreatment* menggunakan alkali peroksida.

Gula reduksi yang terbentuk selama proses *pretreatment* ini berasal dari hidrolisis selulosa menjadi glukosa dan hemiselulosa menjadi senyawa penyusunnya, yaitu heksosa, pentosa, dan sedikit asam. Heksosa terdiri dari *mannose*, galaktosa, dan sedikit glukosa, sementara pentosa terdiri dari xilosa dan *arabinose* [6..18]. Xilosa adalah gula reduksi tertinggi yang dihasilkan dari hidrolisis hemiselulosa.

Kemungkinan lain terbentuknya gula reduksi pada proses *pretreatment* ini adalah adanya kandungan pati pada sekam padi dan eceng gondok. Sekam padi mengandung 8,9% pati, sedangkan eceng gondok mengandung 4,1% pati [19].

Penambahan asam kuat konsentrasi rendah dapat meningkatkan kuantitas gula pada proses hidrolisis lignoselulosa karena ion H^+ pada asam kuat dapat memutuskan ikatan glikosida yang terdapat pada selulosa [20]. Semakin besar penambahan asam, semakin tinggi nilai gula yang dihasilkan [18]. Selulosa tidak larut dalam air. Jika dihidrolisis dalam suasana asam akan menghasilkan banyak molekul glukosa. Rantai selulosa yang terhidrolisis akan menghasilkan disakarida selobiosa yang jika dihidrolisis lebih lanjut akan menghasilkan glukosa [21].

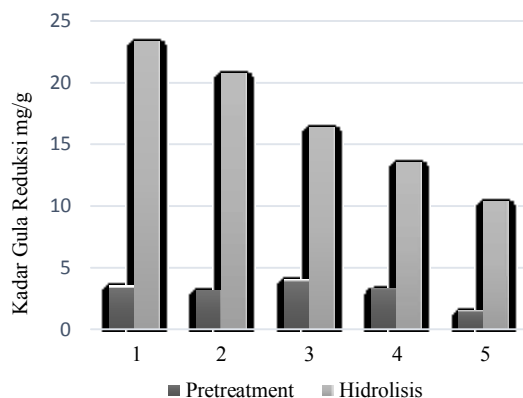
D. Hidrolisis Eceng Gondok dan Sekam Padi menggunakan *T. viride* dan *A. niger*

Penelitian ini menggunakan hidrolisis enzimatis dengan bantuan mikroorganisme *T. viride* dan *A. niger*. Hidrolisis berlangsung selama 72 jam. Perhitungan kadar gula reduksi disajikan pada Tabel 1.5

Tabel 1.5
Perhitungan Kadar Lignoselulosa Eceng Gondok dan Sekam Padi

Eceng Gondok : Sekam Padi (100 gram)	Gula Reduksi (mg/g)
100 : 0 (1)	23,33
75 : 25 (2)	20,76
50 : 50 (3)	16,38
25 : 75 (4)	13,52
0 : 100 (5)	10,34

Tabel 1.5 menunjukkan kadar gula reduksi setelah hidrolisis. Kadar gula reduksi tertinggi terdapat pada sampel yang mengandung 100% eceng gondok, yaitu sebesar 23,33 mg/g. Hal ini berbeda dengan kadar gula reduksi setelah *pretreatment* yang menunjukkan bahwa sampel 50:50 memiliki kadar gula reduksi tertinggi. Namun, setelah hidrolisis sampel 50:50 hanya mampu menghasilkan kadar gula reduksi tertinggi ketiga, yaitu sebesar 16,38 mg/g. Sampel dengan kandungan sekam padi menghasilkan kadar gula reduksi terendah selama proses hidrolisis ini, yaitu sebesar 10,34 mg/g. Sementara sampel yang mengandung 75:25 eceng gondok dan sekam padi menghasilkan kadar gula reduksi tertinggi kedua, yaitu sebesar 20,76 mg/g. Perbandingan kadar gula reduksi selama proses *pretreatment* dan hidrolisis disajikan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Perbandingan Kadar Gula Reduksi *Pretreatment* dan Hidrolisis

Gambar 1.1 menunjukkan kenaikan tertinggi terdapat pada substrat yang mengandung sekam padi. Kadar gula reduksi

eceng gondok mengalami kenaikan dari *pretreatment* ke hidrolisis sebesar 5,59. Namun, kenaikan kadar gula reduksi tertinggi terdapat pada substrat sekam padi, yaitu sebesar 5,76. Merina [21] mengungkapkan bahwa laju peningkatan rata-rata gula reduksi terbesar adalah 1,13 dan berlangsung pada waktu 36 jam. Rata-rata kadar gula reduksi yang mengalami kenaikan selama hidrolisis menunjukkan bahwa terjadi konversi selulosa dan hemiselulosa pada substrat selama hidrolisis berlangsung dengan bantuan kapang.

Selulosa merupakan polimer homogen dan jika dihidrolisis akan menghasilkan glukosa. Sedangkan hemiselulosa merupakan polimer heterogen dan jika dihidrolisis akan menghasilkan pentosa (xilosa dan *arabinose*), hexose (kebanyakan *mannose*), dan sedikit asam [29]. Nigam [7] menyatakan bahwa hidrolisis hemiselulosa dengan asam mengubah hemiselulosa menjadi monomer yang mengandung 12,4% xilosa, 5,6% asam *acetic*, 3,5% *mannose*, 2,2% *arabinose*, 1,82% furfural, 1,7% glukosa, dan 1,2% galaktosa.

Handayani dan Pandebesie [16] menyatakan bahwa produksi glukosa dari aktivitas *T. viride* dengan kombinasi hidrolisis kimia dan fisika berkisar antara 20,75 mg/g–97,9 mg/g berat kering eceng gondok. Penelitian tersebut memiliki kadar gula reduksi yang lebih tinggi dari pada penelitian ini. Namun, penelitian ini menghasilkan kadar gula reduksi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan Issani *et al.* [14] yang menghasilkan gula reduksi berkisar antara 11,43 mg/g–23,01 mg/g dengan hidrolisis enzimatis menggunakan *T. viride* dan *A. niger*. Hidrolisis enzimatis dengan bantuan *T. viride* dan *A. niger* juga dilakukan oleh Amanah [30] dan mampu menghasilkan gula reduksi sebesar 29,49 mg/g setelah inkubasi 72 jam.

T. viride dan *A. niger* berperan penting dalam meningkatkan kadar gula reduksi. *T. viride* menghasilkan enzim selulase, diantaranya endoglukanase, eksoglukanase, dan β -glukosidase. *A. niger* mampu menghasilkan β -glukosidase dalam jumlah tinggi. Enzim endoglukanase berfungsi untuk menyerang daerah kristal rendah dan amorf pada selulosa serta mengurangi derajat polimerisasi [31]. Enzim eksoselulase berfungsi untuk menyerang rantai selulosa dan menghasilkan selobiosa. Enzim β -glukosidase mampu menghidrolisis selobiosa menjadi glukosa dan mereduksi inhibisi selobiosa. Agar hidrolisis enzim berjalan dengan baik, sistem enzim harus terdiri dari ketiga enzim, yaitu endoglukanase, eksoselulase, dan β -glukosidase [11].

Safaria *et al.* [17] menyatakan bahwa protein yang memiliki aktivitas biokimia atau disebut juga enzim sebagai katalis reaksi dipengaruhi oleh tingkat kondisi pH nya. Enzim tidak bisa bekerja pada pH terlalu asam atau basa. Hidrolisis dalam penelitian ini menggunakan pH 4-5 karena merupakan pH optimum yang dibutuhkan untuk pertumbuhan *T. viride* dan *A. niger* adalah 4,5–5 [32].

Selain dipengaruhi oleh pH, kinerja enzim juga dipengaruhi oleh suhu. Pertumbuhan *T. viride* optimal pada suhu 25°C–30°C [32], sedangkan *A. niger* optimal pada suhu 35°C–37°C [33]. Penelitian ini menggunakan suhu ruang selama proses hidrolisis, yaitu sekitar 30°C – 35°C. Suhu ini merupakan suhu rata-rata untuk pertumbuhan *T. viride* dan *A. niger*. pH dan suhu

optimal inilah yang memungkinkan *T. viride* dan *A. niger* bekerja dengan baik dan menghasilkan gula reduksi tinggi.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Eceng gondok dan sekam padi mempunyai potensi rendah menghasilkan gula reduksi dalam penelitian ini. Kadar gula reduksi tertinggi terdapat pada sampel yang mengandung 100:0 eceng gondok dan sekam padi, yaitu sebesar 23,33 mg/g.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada DIKTI, melalui Program Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi No. 003246.79/IT2.11/PN.08/2015.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cheng, J, Xie, B., Zhou, J., Song, W., dan Cen, K. (2008). *Cogeneration of H_2 and CH_4 from Water Hyacinth by Two-Step Anaerobic Fermentation*. International Journal of Hydrogen Energy 35, 3029-3025.
- [2] Gunnarson, C. G. dan Peterson, C. M. (2007). *Water Hyacinth as a Resource and Energy Production: a Literature Review*. Journal of Waste Management 27, 117-129.
- [3] Theuri, M., Chanderb, A., Litswaa, E., Gieseb, K., Harriman, L., Anthony, M., Hussain, R., dan Zommers, Z. (2013). *Water Hyacinth-Can it's Aggressive Invasion Controlled: an Article Reproduction from United Nations Environment Programme (UNEP) Global Environmental Alert Service*. Journal of Environmental Development 7, 139-154.
- [4] Fifi, N., Umi, M., Vicki, C. J., dan Sugili, P. (2009). *Pembuatan Bioetanol dari Biji Durian sebagai Sumber Energi Alternatif*. Seminar Nasional V SDM Teknolgi Nuklir. Teknolgi Nuklir STTN Batan, Yogyakarta.
- [5] Ganguly, A., Chatterjee, P. K., dan Dey, A. (2012). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 966-972.
- [6] Alriksson, B. (2006). *Ethanol from Lignocellulose: Alkali Detoxification of Dilute-Acid Spurge Hydrolysate*. Licentiate Thesis. Biochemistry, Karlstad University Sweden.
- [7] Nigam, J.N. (2002). *Bioconversion of Water-Hyacinth (Eichhornia crassipes) Hemicellulose Acid Hydrolysate to Motor Fuel Ethanol by Xilosa-Fermenting Yeast*. Journal of Biotechnology 97, 107-116.
- [8] Perez, J., Dorado, J. M., Rubia, T., dan Martinez, J. (2002). *Biodegradation and Biological Treatments of Cellulose, Hemicellulose, and Lignin: An Overview*. Int. Microbiol 5, 53-63.
- [9] Widiyanti, L. (2010). *Pengaruh Urea pada Biokonversi Xilosa menjadi Xilitol dari Hidrolisat Hemiselulosa Limbah Tanaman Jagung (Zea mays) oleh Debaryomyces hansenii*. Skripsi Jurusan Kimia Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [10] Girisuta, B. (2007). *Levulinic Acid from Lignocellulosic Biomass*. Proefschrift University of Gronigen.
- [11] Soltani, N., Bahrami, A., Pech-Ganul, M. I., dan Gonzalez, L. A. (2015). *Review on the Physicochemical Treatments of Rice Husk for Production of Advanced Materials*. Chemical Engineering Journal 264, 899-935.
- [12] Novembrianto, R. dan Pandebsie, E. S. (2014). *Laju Biokonversi Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) pada Proses Hidrolisis oleh Jamur Selulolitik*. Seminar Nasional Pascasarjana XIV ITS Surabaya.
- [13] Castillo, M. R., Gutierrez-Correa, M., Linden, J. C., dan Tengerdy, P. (1994). *Mixed Culture Solid Substrate Fermentation for Cellulolytic Enzyme Production*. Biotechnology Letters 16, 967-972.
- [14] Issani, W. M., Warmadewanthi, dan Pandebsie, E. S. (2014). *Proses Fermentasi Eceng Gondok oleh Saccharomyces cerevisiae dengan Metode Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan XI ITS Surabaya.
- [15] Ganguly, A., Chatterjee, P. K., dan Dey, A. (2012). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 966-972.
- [16] Handayani, A. G. dan Pandebsie, E. S., (2014). *Kombinasi Hidrolisis Eichhornia crassipes Menggunakan H_2SO_4 0,25% dan T. viride pada Tahap Awal Pembuatan Bioetanol*. Prosiding Seminar Nasional Waste Management II ITS Surabaya.
- [17] Safaria, S., Idawati N., dan Zaharah T. A., (2013). *Efektivitas Campuran Enzim Selulase dari Aspergillus niger dan Trichoderma reesei dalam Menghidrolisis Substrat Sabut Kelapa*. Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura.
- [18] Corredor, D. Y. (2005). *Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass*. An Abstract of Dissertation Department of Biological and Agricultural Engineering, Kansas State University.
- [19] Mishima, D., Kuniki, M., Sei, S., Soda, S., Ike, M., dan Fujita, M. (2008). *Ethanol Production from Candidate Energy Crops: Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) and Water Lettuce (Pistia Stratiotes L)*. Bioresource Technology 99, 2495-2500.
- [20] Samsuri, M., Gozen, M., Mardias, R., Baiquni, M., Hermansyah, H., Wijanarko, A., Prasetya, B., dan Nasikin, M. (2007). *Pemanfaatan Selulosa Bagas untuk Produksi Etanol melalui Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak dengan Enzim Xylanase*. Makara Teknologi 11 (1), 17-24.
- [21] Merina, F. (2011). *Produksi Bioetanol dari Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) dengan Zymomonas mobilis dan Saccharomyces cerevisiae*. Tesis Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
- [22] Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M., dan Ladisch, M. (2005). *Features of Promising Technologies for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass*. Bioresource Technology 96 (10), 673-686.
- [23] Yuanita, Leny. (2006). *Pengaruh Kadar Pektat, Hemiselulosa, Lignin, dan Selulosa terhadap Persentase Fe Terikat oleh Makromolekul Serat Pangan: Variasi pH dan Lama Perebusan*. Indo J. Chem 6 (3), 332-337.
- [24] Pielhop, T., Larrazabal, G. O., Studer, M. H., Brethauer, S., Seidal, C. M., dan von Rohr, P. R. (2015). *Lignin Repolymerisation in Spruce Autohydrolysis Pretreatment Increase Cellulase Deactivation*. Green Chemistry Article Online Journal.
- [25] Siregar, M. R., Hendrawan, Y., dan Nugroho W. A. (2009). *Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Lama Waktu Pemanasan Microwave dalam Proses Pretreatment terhadap Kadar Lignoselulosa Chlorella vulgaris*. Tugas Akhir Jurusan Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya.
- [26] Matsushita, Y., Kakehi, A., Miyawaki, S., dan Yasuda, S. (2004). *Formation and Chemical Structure of Acid-Soluble Lignin II: Reaction of Aromatic Nuclei Model Compounds with Xylan in the Presence of a Counterpart for Condensation, and Behavior of Lignin Model Compounds with Guaiacyl and Syringyl Nuclei in 72% Sulfuric Acid*. J. Wood Sci 50, 136-141.
- [27] Ma, F., Yang, N., Xu, C., Yu, H., Wu, J., dan Zhang, X. 2010. *Combination of Biological Pretreatment with Mild Acid Pretreatment for Enzymatic Hydrolysis and Ethanol Production from Water Hyacinth*. Bioresource Technology vol. 101, pp: 9600-9604.
- [28] Ingrid, M., Yonathan, C., dan Djojusubroto, H. (2011). *Pretreatment Sekam Padi dengan Alkali Peroksida dalam Pembuatan Bioetanol*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan ISSN 1693-4393.
- [29] Howard, R. L., Abotsi, E., Van Rensburg, J. dan Howard, S. (2003). *Lignocellulose Biotechnolog: Issues of Bioconversion and Enzyme Production*. Journal of Biotechnology 2, 602-619.
- [30] Amanah, N. (2015). *Proses Fermentasi Eceng Gondok oleh Zymomonas mobilis dan Saccharomyces cerevisiae dengan Metode Separate Hydrolysis and Fermentation*. Tesis Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- [31] Taherzadeh, M. J. dan Karimi, K. (2008). *Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review*, International Journal of Molecular Sciences 9, 1621-1651.
- [32] Permatasari, E. K. (2010). *Jamur Kapang (Trichoderma viride) sebagai Bahan Pembuatan Bioetanol Alami (Studi Eksplorasi Sumber Daya Alam)*. (<http://chrieztiey.blogspot.com/2010/06/jamur-kapang-trichoderma-viride-sebagai.html/m=1>) (akses tanggal 15 Januari 2015).
- [33] Schuster, E., Dunn-Coleman, N., Frisvad, P. W. M., dan van Dijk. (2002). *On the Safety of Aspergillus niger-a review*. Appl. Microbiol Biotechnol 59, 426-435.