



HIDROLISIS SELULOSA ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) MENJADI GLUKOSA DENGAN KATALIS ARANG AKTIF TERSULFONASI

Putri Anggraeni, Zaqiyah Addarajah, Didi Dwi Anggoro^{*)}

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

Abstrak

Penelitian ini menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai sumber selulosa dengan menggunakan katalis arang aktif tersulfonasi sebagai katalisator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum hidrolisis eceng gondok menjadi glukosa yang meliputi suhu hidrolisa, waktu hidrolisa dan berat katalis. Rancangan penelitian ini terdiri dari tiga tahap yaitu pembuatan katalis, hidrolisis selulosa dan uji kandungan glukosa filtrat. Data hasil percobaan diplotkan dalam sebuah model matematis dan selanjutnya dioptimasi menggunakan software Statistica 6.0 dengan metode Response Surface Methodology (RSM). Dari hasil penelitian diperoleh model matematika untuk hubungan penggunaan kombinasi aktivator suhu, waktu dan berat katalis untuk kadar glukosa : $Y = 11,601 + 2,353 x_1 - 1,041x_1^2 + 2,463 x_2 - 1,554 x_2^2 - 2,847x_3 - 1,316 x_3^2 + 0,025 x_1x_2 - 0,885 x_1x_3 + 0,228 x_2x_3$. Hasil kondisi optimum variabel hidrolisa terhadap kadar glukosa yang diperoleh dari Grafik response fitted surface dan contour plot yang dihasilkan menunjukkan suhu optimum hidrolisa berada pada rentang 130°C sampai 170°C, waktu hidrolisis optimum berada pada rentang 130-210 menit, dan berat katalis di antara rentang 3 gram sampai 20 gram. Dari penelitian ini diharapkan dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pemanfaatan glukosa hasil hidrolisis eceng gondok sebagai bahan baku pembuatan bioetanol yang merupakan bahan bakar alternatif ramah lingkungan.

Kata kunci: eceng gondok ; hidrolisis asam; arang aktif tersulfonasi, glukosa

Abstract

This research engage water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as source of cellulose for hydrolysis into glucose using sulfonated activated carbon as catalyst. The aims of this research are to know optimum conditions for hydrolysis water hyacinth into glucose which includes hydrolysis temperature, hydrolysis times, and the weight of catalyst. This research design uses three steps, first is making catalyst, then hydrolysis of cellulose and the last is testing content glucose of filtrate. The data results was plotted on a mathematical model and then optimized using the software Statistica 6.0 by Response Surface Methodology method (RSM). The result obtained by use of a mathematical model for relationship activator combination temperature, time and weight of catalyst for content glucose : $Y = 11,601 + 2,353 x_1 - 1,041x_1^2 + 2,463 x_2 - 1,554 x_2^2 - 2,847x_3 - 1,316 x_3^2 + 0,025 x_1x_2 - 0,885 x_1x_3 + 0,228 x_2x_3$. The optimum conditions of hydrolysis variable for content glucose obtained from the graph fitted response surface and contour plot that indicates optimum hydrolysis temperature in the range 130°C to 170°C, the optimum hydrolysis time in the range 130 minutes to 210 minutes, and weight of catalyst in the range 3 gr to 20 gr. From this study are expected any further research on application glucose from hydrolysis of water hyacinth as raw material for bioethanol production.

Keywords: water hyacinth ; acid hydrolysis ; sulfonated activated carbon, glucose

1. Pendahuluan

Selama ini eceng gondok dianggap gulma karena pertumbuhannya yang sangat cepat sehingga menutupi permukaan air. Populasi eceng gondok yang sangat besar ini sering menimbulkan masalah yaitu menurunnya populasi ikan di perairan dan pendangkalan sungai akibat banyak eceng gondok yang mati dan jatuh ke dasar sungai. Meski cenderung dianggap gulma, ternyata eceng gondok mampu berperan dalam mengurangi kadar logam berat seperti Fe, Zn, Cu dan Hg. Selain itu kandungan selulosa dalam eceng gondok kering sekitar 26% yang mampu dikonversi menjadi glukosa (Podolar dkk., 1991). Eceng gondok kering kemudian dihidrolisis menggunakan katalis asam padat yang ramah lingkungan (Wilson dkk., 2000).

Selulosa adalah senyawa organik yang memiliki rumus $(C_6H_{10}O_5)_n$ yang merupakan polisakarida rantai lurus dari 1,4β – glikosidic yang berikatan dalam unit D-glukosa. Selulosa ini merupakan sumber biomassa terbarukan yang dapat menggantikan sumber fosil yang selama ini dijadikan bahan bakar fosil yang tidak dapat terbarukan. Dengan menggunakan sumber biomassa dari selulosa dapat mencegah global warming karena dapat menurunkan CO₂ dalam atmosfer (Huber dkk., 2003). Glukosa (C₆H₁₂O₆) merupakan monosakarida yang

^{*)} Penulis Penanggung Jawab (Email: anggoro@undip.ac.id)



mengandung enam atom karbon. Glukosa mengandung gugus -CHO sehingga glukosa merupakan kelompok aldosa. Biomassa yang mengandung glukosa atau precursor untuk menjadi glukosa tinggi maka akan lebih mudah untuk dikonversi menjadi biofuel. Sumber biomassa yang masih merupakan rantai makanan menyebabkan biaya produksi biofuel menjadi mahal. Oleh karena itu diperlukan sumber biomassa alternatif yang bukan merupakan rantai makanan (Badger, 2002). Arang merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85 – 95 % karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Daya serap dari arang ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi jika terhadap arang tersebut dilakukan aktivasi dengan aktif faktor bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi. Dengan demikian, arang akan mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia. Arang yang demikian disebut sebagai arang aktif. Luas permukaan arang aktif berkisar antara 300 – 3500 m²/g dan ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan arang aktif mempunyai sifat sebagai adsorben. Arang aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap arang aktif sangat besar, yaitu 25 – 100% terhadap berat arang aktif.

Hidrolisis adalah reaksi pemecahan polimer menjadi monomernya seperti glukosa. Hidrolisis selulosa dapat dilakukan secara kimia atau enzimatik. Ada tiga tipe dasar proses hidrolisis selulosa yaitu hidrolisis asam, hidrolisis enzimatik, dan termokimia. Hidrolisis menggunakan asam dapat dibagi menjadi dua kelompok: hidrolisis asam pekat dan hidrolisis asam encer. Hidrolisis asam pekat merupakan teknik yang sudah dikembangkan cukup lama. Braconnot di tahun 1819 pertama kali menemukan bahwa selulosa dapat dikonversi menjadi glukosa (Tahezadeh dan Karimi, 2007). Hidrolisis asam pekat menghasilkan glukosa yang tinggi (90% secara teoritis) dibandingkan dengan hidrolisis asam encer dan dengan demikian akan menghasilkan etanol yang lebih tinggi (Hamelinck dkk., 2005). Hampir semua jenis asam dapat digunakan, tetapi asam sulfat lebih banyak digunakan. Berdasarkan penelitian Ashadi (1998), kadar glukosa yang dihasilkan dari proses hidrolisis dipengaruhi oleh konsentrasi asam dan lama waktu hidrolisis. Peningkatan konsentrasi asam yang digunakan akan menurunkan glukosa yang dihasilkan karena glukosa yang terbentuk akan terdegradasi lebih lanjut. Menurut Grethlein (1984) pada hidrolisis dengan menggunakan asam pada konsentrasi tinggi, glukosa yang dihasilkan akan diubah menjadi senyawa – senyawa furfural yang akan menghambat proses pembentukan bioetanol. Oleh karena itu, diperlukan suatu penelitian untuk mengetahui kondisi optimum hidrolisis meliputi suhu hidrolisis, waktu hidrolisis dan berat katalis serta menentukan optimasi dalam proses hidrolisis selulosa eceng gondok dengan menggunakan metode *Response Surface Methodology* dengan bantuan statistica 6.0 .

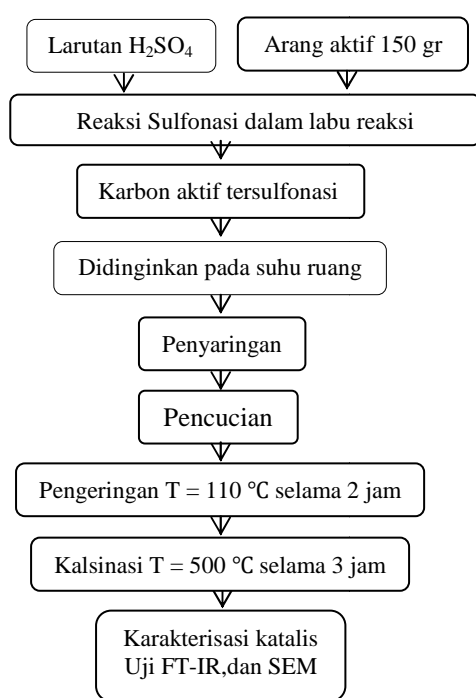
2. Bahan dan Metode Penelitian (atau Pengembangan Model bagi yang Simulasi/Permodelan)

Material:

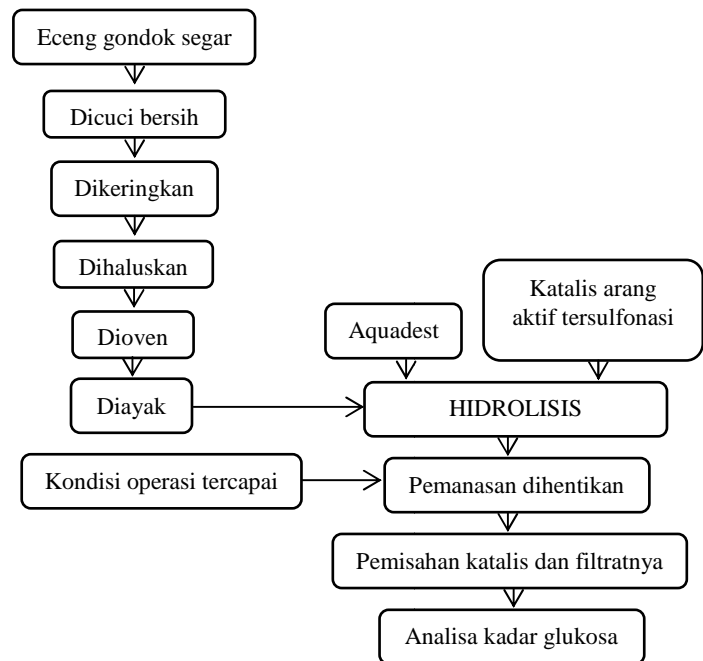
Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : arang aktif, H₂SO₄ 98%, eceng gondok kering yang didapat dari Danau Rawa Pening, Kab. Semarang, asam dinitrosalicyclic (DNS), KOH, Glukosa anhidris dan aquadest.

Metode Penelitian:

Dalam penelitian ini, digunakan tiga variabel yang diuji. Variabel tersebut adalah suhu hidrolisis, waktu hidrolisis, dan berat katalis. Dengan variabel tetap pembuatan katalis yaitu suhu 40°C, konsentrasi H₂SO₄ 10 N dengan waktu sulfonasi 6 jam. Dalam penelitian ini dilakukan uji kadar glukosa hasil filtrate hidrolisis menggunakan spektrofotometer. Kemudian hasil uji kadar glukosa dioptimasi menggunakan metode *Response Surface Methodology* dengan bantuan statistica 6.0 sehingga didapatkan hasil kondisi optimum hidrolisis eceng gondok berupa suhu, waktu dan berat katalis. Langkah penelitian ditunjukkan pada gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1 Diagram alir pembuatan katalis



Gambar 2 Diagram alir proses hidrolisis katalitik

3. Hasil dan Pembahasan

Pemilihan Jenis Katalis Dan Pengaruh Suhu Hidrolisis, Waktu Hidrolisis Dan Berat Katalis Arang Aktif Terhadap Kadar Glukosa.

Proses hidrolisis merupakan pemecahan struktur polisakarida menjadi monosakarida dengan bantuan katalis seperti asam atau enzim. Proses hidrolisis dalam penelitian ini berfungsi memecah struktur selulosa, rantai selulosa yang terhidrolisis akan menghasilkan disakarida selobiosa. Selanjutnya selobiosa yang terhidrolisis lebih lanjut akan menghasilkan glukosa. Katalis yang digunakan adalah katalis heterogen yaitu arang aktif tersulfonasi. Dalam penelitian sebelumnya telah dilakukan karakterisasi katalis guna menentukan kondisi optimum pembuatan katalis. Dari hasil karakterisasi katalis tersebut, dipilih variabel katalis yang memiliki kondisi operasi suhu 40°C, konsentrasi asam sulfat 10 N, dan waktu sulfonasi 6 jam dalam pembuatannya. Variabel tersebut dipilih berdasarkan uji morfologi katalis, uji gugus fungsi dan uji BET surface dengan hasil luas permukaan sebesar 370,484 m²/g.

Pengaruh suhu hidrolisis terhadap kadar glukosa

Glukosa merupakan monosakarida yang diperoleh dari pemecahan polisakarida seperti selulosa. Salah satu cara dalam pembentukan glukosa adalah dengan reaksi hidrolisis dari sumber biomassa. Pada penelitian ini dilakukan hidrolisis selulosa dari eceng gondok menggunakan katalis arang aktif tersulfonasi.

Hasil penelitian yang tertera pada tabel 1 menunjukkan bahwa kadar glukosa tertinggi yang diperoleh sebesar 15,8190 gr/L. Dari tabel 1 hasil uji kadar glukosa dapat dilihat bahwa nilai kadar glukosa tertinggi (15,8190 gr/L) diperoleh dari variabel dengan kondisi operasi hidrolisis dengan suhu hidrolisis 160°C, waktu hidrolisis 120 menit dan berat katalis 30 gram (run 10).



Tabel 1 Hasil uji kadar glukosa

Run	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Berat Katalis (gr)	Kadar Glukosa (gr/L)
1	80	60	15	7,7095
2	80	60	45	1,2137
3	80	180	15	8,7232
4	80	180	45	6,6958
5	140	60	15	10,1368
6	140	60	45	3,6547
7	140	180	15	14,8053
8	140	180	45	5,6821
9	60	120	30	2,6411
10	160	120	30	15,8190
11	110	19	30	1,6274
12	110	221	30	13,7916
13	110	120	4,8	12,7779
14	110	120	55,3	3,9684
15	110	120	30	11,7642
16	110	120	30	11,2505

Dari data hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin besar suhu hidrolisis dengan waktu hidrolisis dan berat katalis yang sama (run no. 9,15 dan 10) menghasilkan kadar glukosa yang semakin tinggi seperti yang terlihat dari tabel 2.

Tabel 2 Hasil uji kadar glukosa dengan variasi suhu

No. Run	Suhu (°C)	Kadar Glukosa (g/L)
9	60	2,6411
15	110	11,7642
10	160	15,8190

Hal ini disebabkan karena peningkatan temperatur mempercepat proses hidrolisis yang berperan dalam pemutusan ikatan lignin dan hemiselulosa. Selain itu peningkatan suhu juga dapat meningkatkan laju suatu reaksi hidrolisis. Adanya peningkatan laju reaksi yang dipengaruhi oleh suhu operasi hidrolisis inilah yang menghasilkan gula pereduksi lebih banyak (Brandberg, Thomas dkk., 2005).

Pengaruh Waktu Hidrolisis terhadap Kadar Glukosa

Waktu reaksi hidrolisis merupakan salah satu variabel dimana memberikan pengaruh terhadap kadar glukosa yang diperoleh. Variasi waktu pemasakan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar glukosa yang diperoleh. Lamanya waktu reaksi hidrolisis yang ditentukan dalam kondisi operasi, menentukan reaksi pembentukan glukosa yang berlangsung dalam reaktor.

Hasil percobaan yang didapat menunjukkan pengaruh semakin lama waktu hidrolisis dengan kondisi operasi suhu hidrolisis dan berat katalis yang digunakan sama (run no. 11, 15 dan 12) menghasilkan kadar glukosa yang semakin tinggi. Hal ini terlihat dari tabel 3.

Tabel 3 Hasil uji kadar glukosa dengan variasi waktu hidrolisis

No.Run	Waktu (menit)	Kadar Glukosa (g/L)
11	19	1,6274
15	120	11,7642
12	221	13,7916

Hal ini terjadi karena semakin lama waktu hidrolisis, pemutusan ikatan selulosa dari bahan baku lebih banyak. Pada saat hidrolisis berlangsung reaksi pemecahan selulosa menjadi glukosa semakin lama maka reaksi



akan semakin sering terjadi. Sehingga glukosa yang diperoleh akan semakin banyak seiring lamanya waktu hidrolisis.

Pengaruh Berat Katalis Arang Aktif terhadap Kadar Glukosa

Katalis arang aktif yang digunakan dalam penelitian kali ini berfungsi untuk mempercepat laju reaksi dengan menurunkan energi aktivasi suatu reaksi. Katalis ini memiliki luas permukaan 370,484 m²/g.

Dari data hasil percobaan diperoleh menunjukkan pengaruh semakin besar berat katalis yang digunakan pada reaksi hidrolisis dengan kondisi suhu hidrolisis dan waktu hidrolisis yang sama (no run 13, 15 dan 14) menghasilkan kadar glukosa yang diperoleh semakin kecil seperti yang tertera pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil uji kadar glukosa dengan variabel berat katalis

No.Run	Berat Katalis (gram)	Kadar Glukosa (g/L)
13	4,8	12,7779
15	30	11,7642
14	55,3	3,9684

Pengaruh katalis dapat mempercepat laju reaksi. Penambahan katalis sama sekali tidak membuat perbedaan posisi keseimbangan, katalis hanya untuk mempercepat titik keseimbangan dinamis. Penurunan kadar glukosa pada kondisi suhu hidrolisis dan waktu reaksi yang sama dikarenakan dalam proses hidrolisis gugus H+ dari asam akan mengubah gugus serat dari selulosa menjadi gugus radikal bebas. Gugus radikal bebas serat selulosa yang kemudian akan berikatan dengan gugus OH- dari air dan bereaksi yang menghasilkan gula reduksi. Pada saat konsentrasi asam yang kecil kebutuhan H+ dari asam belum mencukupi sehingga tidak banyak terbentuk gugus radikal bebas dari selulosa dan gula reduksi yang dihasilkan belum maksimal. Namun jika dilakukan penambahan konsentrasi larutan asam terlalu banyak justru gula reduksi yang dihasilkan semakin menurun. Penambahan konsentrasi larutan asam akan terbentuk lebih banyak gugus radikal bebas, tetapi penambahan konsentrasi larutan asam menyebabkan semakin sedikit air dalam komposisi larutan hidrolisis. Sehingga kebutuhan OH- sebagai pengikat radikal bebas serat berkurang dan glukosa yang dihasilkan semakin sedikit (De Idral, Daniel dkk., 2012).

Optimasi Proses dengan Menggunakan Metode RSM dalam Menentukan Kondisi Optimum Hidrolisis

Setelah dilakukan percobaan dengan menggunakan variabel optimasi, hasil percobaan dianalisa dengan metode RSM yang dilakukan dengan bantuan program statistica 6. Hasil dari optimasi proses didapatkan persamaan 1 yaitu persamaan model matematis yang menunjukkan hubungan antara suhu hidrolisis, waktu hidrolisis dan berat katalis dengan kadar glukosa yang dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$Y = 11,601 + 2,353 x_1 - 1,041x_1^2 + 2,463 x_2 - 1,554 x_2^2 - 2,847x_3 - 1,316 x_3^2 + 0,025 x_1x_2 - 0,885 x_1x_3 + 0,228 x_2x_3 \dots\dots\dots(1)$$

- Dimana Y = kadar glukosa (g/L)
 x₁ = suhu hidrolisis (°C)
 x₂ = waktu hidrolisis (menit)
 x₃ = berat katalis (gr)

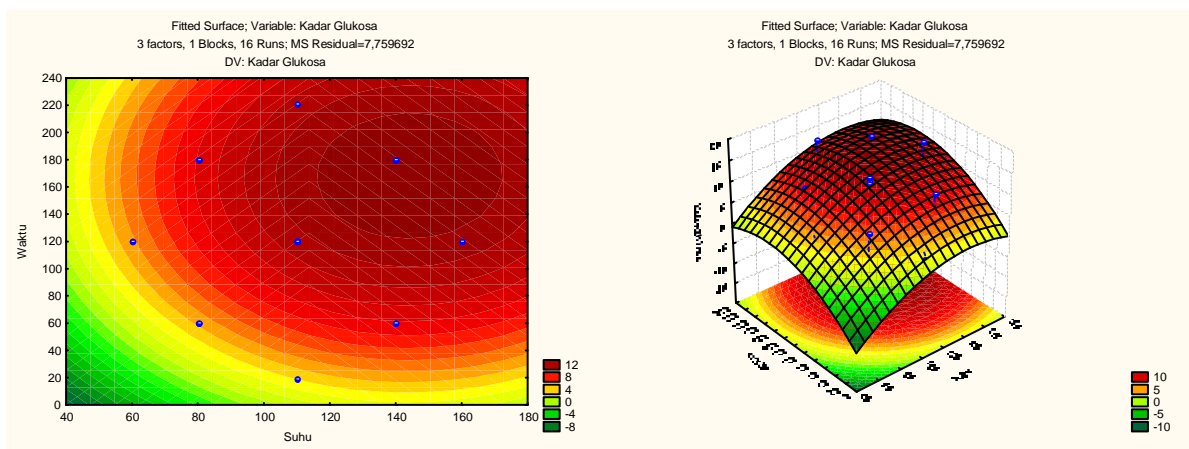
Dari persamaan tersebut bisa dilihat bahwa koefisien X₁ (L) bertanda positif hal ini berarti suhu yang digunakan dalam reaksi secara linier akan meningkatkan kadar glukosa karena peningkatan suhu akan menggeser reaksi kesetimbangan ke arah pembentukan produk sehingga kadar glukosa yang dihasilkan akan semakin banyak. Sedangkan untuk koefisien X₁ (Q) memberikan nilai negative yang berarti secara quadratic akan menurunkan kadar glukosa yang diperoleh. Koefisien X₂ (L) bertanda positif hal ini berarti secara linier dengan adanya peningkatan waktu hidrolisis akan meningkatkan kadar glukosa. Sedangkan koefisien X₂ (Q) bertanda negative berarti secara quadratic dengan adanya peningkatan waktu hidrolisis akan menurunkan kadar glukosa yang diperoleh. Koefisien X₃ (berat katalis) bertanda negatif baik secara linier maupun quadratic dan nilainya, yaitu -2,847 (L) dan -1,316 (Q) hal ini berarti berat katalis yang digunakan akan menghasilkan kadar glukosa yang semakin kecil. Dengan kata lain kadar glukosa mengalami penurunan seiring peningkatan berat katalis yang digunakan.

Keakuratan model matematik dapat dianalisis dengan ANOVA yang ditunjukkan pada tabel 4.6. Keakuratan metode ini dapat diketahui dari harga koefisien determinasi, R² yang mencapai 0,67915. Dari harga R² ini dapat disimpulkan bahwa nilai yang diperkirakan dengan model mendekati nilai yang diperoleh dari hasil percobaan. Ini menandakan bahwa 67,915 % dari total variasi pada hasil yang diperoleh terwakili dalam model. Keakuratan model ini juga dapat diketahui bahwa nilai F hasil perhitungan sebesar 12,93631 lebih dari nilai F dalam tabel distribusi. Nilai F ini secara statistik menunjukkan regresi yang signifikan pada level 5%.

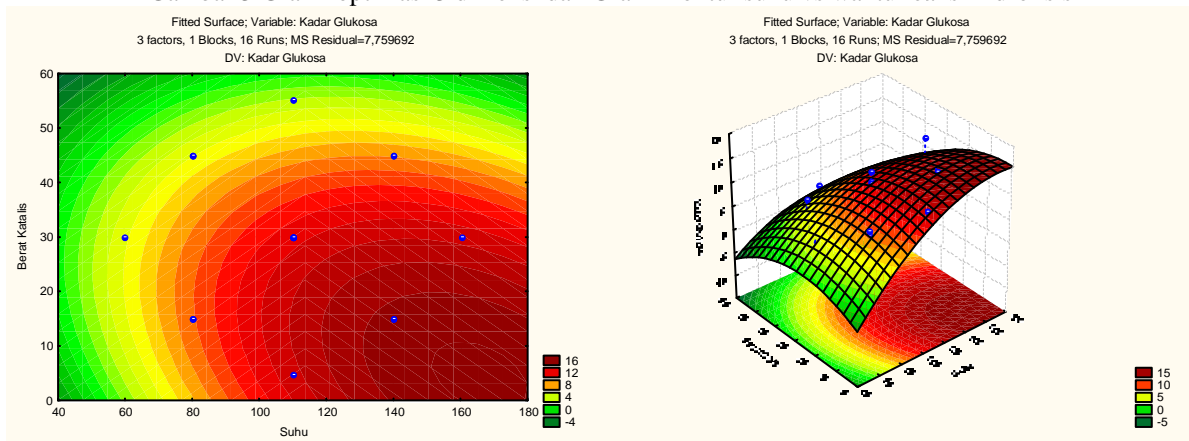
Tabel 5 Analisa ANOVA untuk nilai kadar glukosa

	df	SS	MS	F	F tabel	R ²
Regresi	3	269,6488	89,88293	12,93631	0,08237	0,67915
Error	11	76,42926	6,948115			
Total	14	346,078				

Sehingga untuk membantu analisa kondisi operasi optimum digunakan analisis permukaan respon yaitu menggunakan grafik optimasi 3 dimensi dan grafik kontur permukaan. Grafik optimasi 3 dimensi terdiri 2 variabel bebas dan 1 variabel terikat, sehingga satu variabel bebas lainnya merupakan bilangan konstan. Sumbu x dan y merupakan variabel bebas dan sumbu z menunjukkan nilai variabel terikat. Pada grafik kontur permukaan tergambar daerah – daerah warna, sehingga dari grafik ini dapat dilihat titik – titik hasil interaksi dua variabel secara jelas, dimana interaksi yang paling optimal adalah yang berada di daerah yang berwarna merah paling tua.



Gambar 3 Grafik optimasi 3 dimensi dan Grafik kontur suhu vs waktu reaksi hidrolisis



Gambar 4 Grafik optimasi 3 dimensi dan Grafik kontur suhu vs berat katalis

Terlihat pada Gambar 4 bahwa kadar glukosa makin tinggi apabila suhu berada di antara 130 °C dan 170 °C, sedangkan waktu hidrolisis berada pada rentang 130 menit sampai 210 menit. Sedangkan pada gambar 4.4 yaitu hubungan optimasi antara suhu hidrolisis dengan berat katalis yang digunakan terlihat bahwa kadar glukosa meningkat pada kondisi antara 130 °C dan 170 °C, sedangkan berat katalis adalah diantara 3 gr dan 20 gr.

4. Kesimpulan

Pada reaksi hidrolisis selulosa dari eceng gondok menggunakan katalis arang aktif tersulfonasi menghasilkan kondisi operasi optimum yaitu pada suhu hidrolisis 110°C, waktu hidrolisis 120 menit, dan berat katalis 30 gram . Dengan menggunakan *response surface methodology* didapat kondisi optimum untuk



mendapatkan kadar glukosa yang tinggi yaitu pada rentang suhu 130°C sampai 170°C, waktu hidrolisis antara 130 sampai 210 menit, dan berat katalis antara rentang 3 gr sampai 20 gr.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada ketua dan laboran Laboratorium Rekayasa Proses dan Kimia atas diijinkannya Laboratorium Rekayasa Proses dan Kimia sebagai tempat penelitian.

Daftar Pustaka

- Ashadi, R.W. 1988. *Pembuatan Gula Cair dari Pod Coklat dengan Menggunakan Asam Sulfat, Enzim, serta Kombinasi Keduanya*. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Badger, P.C. 2002. "Ethanol From Cellulose: A General Review" p. 17–21. In: J. Janick and A. Whipkey (eds.), *Trends in new crops and new uses*. Alexandria : ASHS Press.
- Brandberg, Thomas dkk. 2005. *Continuous Fermentation of Undetoxified Dilute Acid Lignocellulose Hydrolysate by Saccharomyces cerevisiae ATCC 96581 Using Cell Recirculation*. *Biotechnology Progress*, 21, 1093-1101.
- De Idral, Daniel , Marniati Salim, dan Elida Mardiah. 2012. *Pembuatan Bioetanol Dari Ampas Sagu Dengan Proses Hidrolisis Asam Dan Menggunakan Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Kimia Unand* volume 1 nomor 1.
- Grethlein, H. E. 1984. "Pretreatment for Enhanced Hydrolysis of Cellulosic Biomass". *Biotechnology Advances* 2(1), 43-62.
- Hamelinck CN, van Hooijdonk G, dan Faaij APC. 2005. "Prospects for ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance as development progresses". *Scientific report- NWS-E-2003-55*. Utrecht University, Utrecht, The Netherlands: Copernicus Institute, Department of Science, Technology and Society; 2003. 35pp.
- Huber GW dkk. 2003. "Raney Ni-Sn Catalyst for H₂ from Biomass-Derived Hydrocarbons". *Science*, 300, 2075-2078.
- Podolar, K., Mandal, L., Banerjee, G.C. 1991. "Studies on Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Chemical Composition of The Plant and Water from Different Habitats". *Indian Veterinary Journal* 68, 883-837.
- Taherzadeh, M.J. and Karimi, K. 2007. "Acid-Based Hydrolysis Processes for Ethanol from Lignocellulosic Materials: A Review". *Bioresources* 2(3), pp. 472-499.
- Wilson, J.R., Rees, M., Holst, N., Thomas, M.B. & Hill, G. 2001. "Water hyacinth population dynamics". In M.H. Hill, T.D. Centre & D. Jianqing, eds. *Biological and Integrated Control of Water Hyacinth, Eichhornia crassipes*. Canberra, ACIAR Proceedings 102. http://fao.org/floating_aquatic_macrophytes_water_hyacinths/documents/en/docrep.jsp, Pada 28 April 2012, Pukul 07.30 WIB.
- Xiang, Qian et al. 2003. *Heterogeneous Aspect of Acid Hydrolysis of α -Cellulose*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 105-108.