

KONVERSI KULIT PISANG MENJADI GLUKOSAMENGGUNAKAN KATALIS ARANG AKTIF TERSULFONASI

Riskatama Atmaji, Zulfikar Muriadiputra, Didi Dwi Anggoro*)
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

Abstrak

Penelitian ini menggunakan kulit pisang sebagai sumber selulosa dengan menggunakan katalis arang aktif tersulfonasi sebagai katalisator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh suhu hidrolisis, waktu hidrolisis, dan massa katalis terhadap yield glukosa. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mendapatkan persamaan matematis hubungan antara yield dengan variabel-variabelnya dan untuk mengetahui kondisi optimum hidrolisis kulit pisang menjadi glukosa yang meliputi suhu hidrolisis, waktu hidrolisis dan berat katalis.

Rancangan penelitian ini terdiri atas dua tahap yaitu pembuatan katalis dan hidrolisis selulosa. Tahap pembuatan katalis adalah proses sulfonasi arang aktif dengan larutan H_2SO_4 10 N. Proses tersebut dilakukan di dalam sebuah rangkaian alat labu leher tiga yang disertai dengan pengaduk dijaga pada suhu $40^\circ C$ dan berakhir setelah 6 jam. Setelah katalis tersebut mengalami proses pengeringan dan kalsinasi di dalam furnace, katalis siap untuk digunakan untuk proses hidrolisis di dalam reaktor batch autoclave. Setelah tahap hidrolisis ditempuh, dilakukan uji kadar glukosa menggunakan spektrofotometer metode DNS. 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 matematis untuk hubungan penggunaan kombinasi aktivator suhu, waktu dan berat katalis untuk kadar glukosa : $Y = 3,035 + 0,18 x_1 + 0,04 x_1^2 + 0,089 x_2 + 0,012 x_2^2 + 0,047 x_3 - 0,021 x_3^2 - 0,014 x_1 x_2 - 0,087 x_1 x_3 + 0,022 x_2 x_3$. Kondisi optimum variabel hidrolisis terhadap kadar glukosa diperoleh dari Grafik response fitted surface dan contour plot pada software statistica 6.0 menunjukkan suhu optimum hidrolisis berada pada rentang $112^\circ C$ sampai $115^\circ C$, waktu hidrolisis optimum berada pada rentang 300-500 menit, dan berat katalis 30 gram dengan kadar glukosa sebesar 3,6 mg/ml.

Kata kunci: Kulit pisang; Hidrolisis asam; Arang aktif tersulfonasi; Glukosa

Abstract

This research engages banana peel as the source of cellulose for hydrolysis into glucose using sulfonated activated carbon as catalyst. The aims of this research are to study the effect of hydrolysis temperature, hydrolysis times, and the weight of catalyst, to conclude the mathematical model plotted from the yield and the variables, and to conclude The optimum conditions for hydrolysis of banana peel cellulose into glucose which includes hydrolysis temperature, hydrolysis times, and the weight of catalyst.

This research is designed into two steps, the sulfonation of the activated carbon and the hydrolysis of banana peel cellulose. H_2SO_4 10 N is used for the sulfonation which is done in 6 hours at $40^\circ C$. After the catalysts are dried and calcinated, the catalysts are ready for the hydrolysis processes which are done in the autoclave batch reactor. After that, spectrophotometer is used to analyze the sample. The 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 a mathematical model for relationship activator combination temperature, time and weight of catalyst for content glucose $Y = 3,035 + 0,18 x_1 + 0,04 x_1^2 + 0,089 x_2 + 0,012 x_2^2 + 0,047 x_3 - 0,021 x_3^2 - 0,014 x_1 x_2 - 0,087 x_1 x_3 + 0,022 x_2 x_3$. The optimum conditions of hydrolysis variable for glucose obtained by statistica 6.0 software which the graph fitted response surface and contour plot indicates the optimum hydrolysis temperature is in the range $112^\circ C$ to $115^\circ C$, the optimum hydrolysis time is in the range 300 minutes to 500 minutes, and the optimum weight of catalyst is about 30 gr which the sample contains 3,6 mg/ml of glucose.

Keywords: Banana peel; Acid hydrolysis; Sulfonated-activated carbon; Glucose

1. Pendahuluan

Minimnya pengetahuan dan informasi mengenai potensi-potensi yang dimiliki suatu bahan dapat membuat bahan tersebut menjadi terlihat tidak berguna dan tidak memiliki nilai ekonomis. Salah satu contoh dari masalah tersebut adalah limbah kulit pisang yang masih belum mendapatkan penanganan cukup. Limbah kulit pisang masih mengandung pati, protein, dan serat yang cukup tinggi. Untuk lebih mengoptimalkan fungsinya, kulit pisang dapat dibuat menjadi bahan lain yang lebih bermanfaat, salah satunya adalah glukosa. Pati yang terkandung dalam kulit pisang dapat dipisahkan dan diolah menjadi glukosa dengan cara hidrolisis.

Penggunaan alkohol, khususnya ethanol sebagai bahan bakar alternatif merupakan salah satu pemecahan masalah energi dewasa ini. Pembuatan alkohol dari limbah selulosik merupakan rangkaian dari proses pembuatan glukosa, dimana tahap awalnya dengan menghidrolisis limbah selulosik tersebut (kulit pisang). Glukosa sebagai hasil hidrolisis tersebut kemudian dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan etanol. Terdapat beberapa metode pada proses konversi karbohidrat menjadi gula atau glukosa, diantaranya dengan hidrolisis asam dan hidrolisis secara enzimatis. Metode hidrolisis secara enzimatis lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan katalis asam, akan tetapi harganya lebih mahal.

Dewasa ini, muncul teknologi baru yang sedang diteliti dan dikembangkan di Jepang, yaitu teknologi arang aktif tersulfonasi sebagai support katalis. Ayumu Onda, Takafumi Ochi, dan azumichi Yanagisawa melakukan riset terhadap beberapa katalis padat tentang seberapa besar kemampuannya mengubah bahan selulosik menjadi glukosa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis arang aktif tersulfonasi memiliki kinerja terbaik dan menghasilkan konversi paling tinggi di antara katalis-katalis lain (Onda, *et.al.*, 2008). Pada penelitian tersebut, yield glukosa yang dihasilkan adalah sebesar 40%. Di samping menghasilkan konversi yang paling tinggi, proses hidrolisis menggunakan arang aktif ini lebih murah dibandingkan dengan menggunakan katalis enzim. Katalis arang aktif lebih ramah lingkungan apabila dibandingkan dengan katalis asam, karena tidak memerlukan proses pemisahan katalis dengan produknya (Onda *et.al.*, 2008). Oleh karena itu, pada penelitian kali ini akan digunakan arang aktif tersulfonasi sebagai katalis.

Selain penelitian yang dilakukan oleh Onda, terdapat penelitian lain yang menggunakan katalis arang aktif tersulfonasi. Pada penelitian tersebut, proses hidrolisis dilakukan pada suhu yang relatif tinggi yaitu 110°C hingga 180°C dan lama waktu hidrolisis yang relatif singkat, yaitu selama 1 hingga 3 jam. Penelitian tersebut mendapatkan kondisi optimal pada rentang suhu 120°C hingga 170°C, massa katalis sebesar 20 gram, selama 130 menit (Anggraeni dkk, 2013). Oleh karena itu, pada penelitian kali ini, proses reaksi hidrolisis akan dioperasikan pada suhu relatif rendah, yaitu 80°C hingga 110°C dan lama waktu yang lebih panjang, yaitu 2 hingga 6 jam.

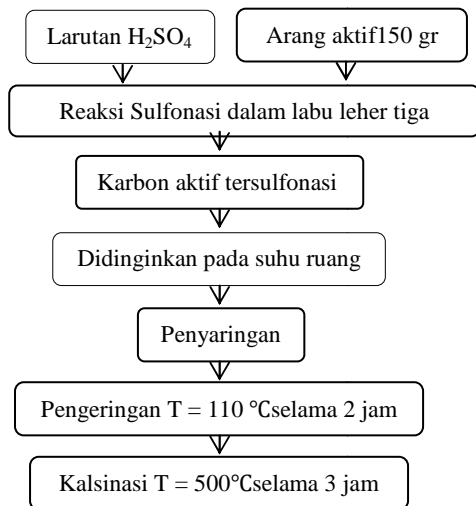
2. Bahan dan Metode Penelitian

Material:

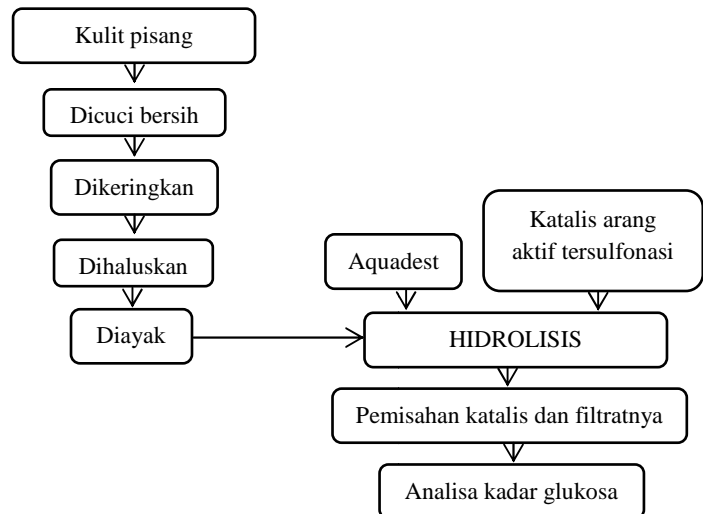
Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : arang aktif tersulfonasi dan kulit pisang.

Metode Penelitian:

Penelitian ini terdapat tiga variabel yang diuji, yaitu suhu hidrolisis, waktu hidrolisis, dan berat katalis arang aktif tersulfonasi. Proses sulfonasi arang aktif dilakukan selama 6 jam pada suhu 40°C, menggunakan H₂SO₄ 10 N sebanyak 500 cc per 150 gr arang aktif. Pengujian kadar glukosa hasil filtrat hidrolisis pada penelitian ini menggunakan metode spektrofotometri DNS. Kemudian hasil uji kadar glukosa dioptimasi menggunakan metode *Response Surface Methodology* sehingga didapatkan hasil kondisi optimum hidrolisis kulit pisang berupa suhu, waktu dan berat katalis.



Gambar 1. Diagram Alir Pembuatan Katalis



Gambar 2. Diagram Alir Proses Hidrolisis

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, baik asam maupun enzim. Proses hidrolisis dalam penelitian ini berfungsi memecah struktur selulosa menjadi disakarida selobiosa. Selanjutnya selobiosa yang terhidrolisis lebih lanjut akan menghasilkan glukosa. Katalis yang digunakan adalah katalis padat berupa arang aktif tersulfonasi. Dalam penelitian sebelumnya telah dilakukan karakterisasi katalis untuk menentukan kondisi optimum pembuatan katalis. Dari hasil karakterisasi katalis tersebut, telah ditentukan bahwa proses optimal dalam pembuatan katalis yang dapat digunakan pada proses hidrolisis memiliki kondisi operasi suhu 40°C, konsentrasi asam sulfat 10 N, dan waktu sulfonasi 6 jam. Variabel tersebut dipilih berdasarkan uji morfologi katalis, uji gugus fungsi, dan uji BET surface yang dikerjakan di LIPI, Serpong, dengan hasil luas permukaan sebesar 370,484 m²/g.

Pengaruh suhu hidrolisis terhadap kadar glukosa

Hasil penelitian yang tertera pada tabel 1 menunjukkan bahwa kadar glukosa tertinggi yang diperoleh sebesar 3,372 mg/ml. Hasil tersebut diperoleh dari variabel dengan kondisi operasi hidrolisis dengan suhu hidrolisis 113°C, waktu hidrolisis 240 menit dan berat katalis 30 gram (run 10).

Tabel 1 Hasil uji kadar glukosa

Tempuhan	Suhu (°C)	Massa Katalis (gr)	Waktu (menit)	Kadar Glukosa (mg/ml)
1	80	15	120	2,656
2	80	45	120	2,947
3	80	15	360	2,812
4	80	45	360	3,17
5	105	15	120	3,258
6	105	45	120	3,18
7	105	15	360	3,334
8	105	45	360	3,365
9	70	30	240	2,845
10	110	30	240	3,372
11	90	30	38	2,864
12	90	30	438	3,205
13	90	4,77	240	2,93
14	90	55,22	240	2,956



15	90	30	240	3,023
16	90	30	240	3,063

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 kadarglukosa dengan variasi suhu

No. Tempuhan	Suhu (°C)	Kadar Glukosa (mg/ml)
9	70	2,845
15	90	3,023
10	110	3,372

Hal tersebut terjadi karena peningkatan suhu dapat 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 (Thomas Brandberg dkk., 2005).

Pengaruh Waktu Hidrolisis terhadap Kadar Glukosa

Selain suhu pemasakan (hidrolisis), waktu pemasakan juga memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kadar glukosa yang diperoleh. Hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin lama waktu hidrolisis dengan kondisi operasi suhu hidrolisis dan berat katalis sama (run no. 11, 15, dan 12) menghasilkan kadar glukosa yang semakin tinggi. Hal ini terlihat dari tabel 3.

Tabel 3 Hasil uji kadarglukosa dengan variasi waktu hidrolisis

No. Tempuhan	Waktu (menit)	Kadar Glukosa (mg/ml)
11	38	2,864
15	240	3,023
12	438	3,205

Hal tersebut terjadi karena semakin lama waktu hidrolisis, maka semakin banyak terjadinya proses pemutusan ikatan selulosa dari bahan baku. Oleh karena itu reaksi akan memiliki waktu yang lebih panjang sehingga glukosa yang diperoleh semakin banyak seiring dengan lamanya waktu hidrolisis.

Pengaruh Berat Katalis Arang Aktif terhadap Kadar Glukosa

Katalis arang aktif tersulfonasi yang digunakan dalam penelitian kali ini berfungsi untuk menurunkan energi aktivasi reaksi hidrolisis, sehingga reaksi akan berjalan lebih cepat. Selain itu, arang aktif berfungsi untuk memperluas bidang kontak, katalis ini memiliki luas permukaan 370,484 m²/g.

Dari data hasil percobaan menunjukkan bahwa pengaruh perbedaan massa 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 tidak berpola seperti yang tertera pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil uji kadarglukosa dengan variabel berat katalis

No. Tempuhan	Berat Katalis (gram)	Kadar Glukosa (mg/ml)
13	4,77	2,93
15	30	3,023
14	55,22	2,956

Fungsi utama katalis adalah mempercepat laju reaksi. Penambahan katalis sama sekali tidak membuat perbedaan posisi keseimbangan, katalis hanya untuk mempercepat titik keseimbangan dinamis. Tidak adanya

pola yang jelas pada kadar glukosa yang dihasilkan dengan 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 (Daniel De Idral dkk., 2012).

Optimasi Proses dengan Menggunakan Metode RSM dalam Menentukan Kondisi Optimum Hidrolisis

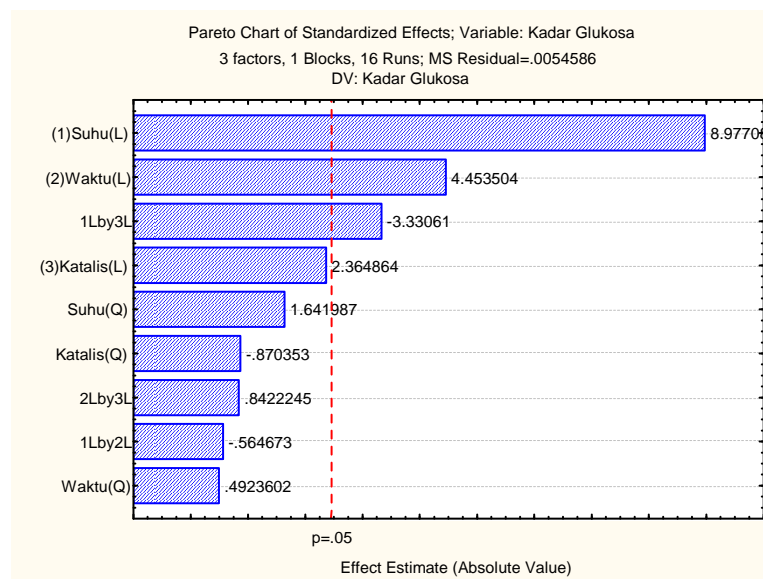
Hasil percobaan dianalisa dengan metode RSM yang dilakukan dengan bantuan *software statistica 6*. Hasil dari optimasi proses didapatkan persamaan 4.1 yaitu persamaan empiris yang menunjukkan hubungan antara suhu hidrolisis, waktu hidrolisis dan berat katalis dengan kadar glukosa yang dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$Y = 3,035 + 0,18 x_1 + 0,04 x_1^2 + 0,089 x_2 + 0,012 x_2^2 + 0,047 x_3 - 0,021 x_3^2 - 0,014 x_1 x_2 - 0,087 x_1 x_3 + 0,022 x_2 x_3$$

.....(4.1)

Dimana	Y	= kadar glukosa (mg/ml)
	x₁	= suhu hidrolisis (°C)
	x₂	= waktu hidrolisis (menit)
	x₃	= massa 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 ke kanan atau ke arah pembentukan produk sehingga kadar glukosa yang dihasilkan akan semakin banyak. Begitu pula pada koefisien X₁ (Q) yang memberikan nilai positif yang berarti secara kuadratik akan meningkatkan kadar glukosa yang diperoleh. Koefisien X₂ (L) bertanda positif hal ini berarti peningkatan waktu reaksi hidrolisis secara linier akan meningkatkan kadar glukosa. Begitu pula pada koefisien X₂ (Q) yang memberikan nilai positif yang berarti adanya peningkatan waktu reaksi hidrolisis secara kuadratik akan meningkatkan kadar glukosa yang diperoleh. Koefisien X₃ (L) bertanda positif hal ini berarti peningkatan massa katalis secara linier akan meningkatkan kadar glukosa. Sedangkan X₃ (Q) bertanda negatif, ini berarti bahwa adanya peningkatan massa katalis secara kuadratik justru akan menurunkan kadar glukosa yang diperoleh. Dari analisa tersebut, dapat disimpulkan bahwa variabel yang membawa pengaruh terbesar adalah suhu hidrolisis. Hal ini diperkuat dengan *pareto chart* yang tampak pada gambar 3.



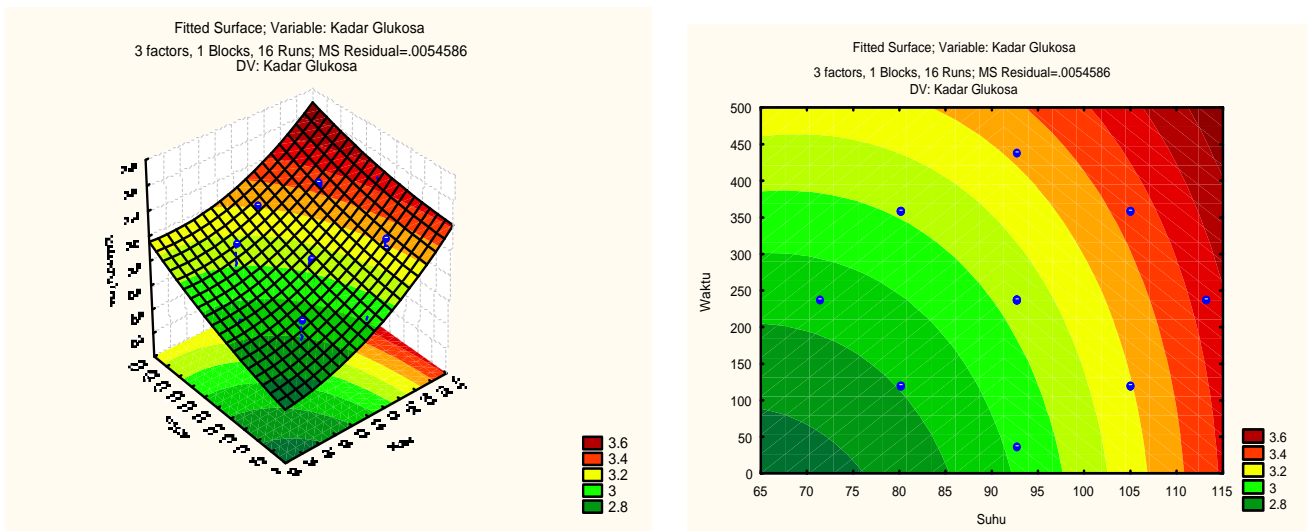
Gambar 3. Pareto Chart

Keakuratan model matematik dapat dianalisis dengan ANOVA yang ditunjukkan pada tabel 4.6. Keakuratan metode ini dapat diketahui dari harga koefisien determinasi, R^2 yang mencapai 0,815. Dari harga R^2 ini dapat disimpulkan bahwa nilai yang diperkirakan dengan model mendekati nilai yang diperoleh dari hasil percobaan. Ini menandakan bahwa 81,5 % dari total variasi pada hasil yang diperoleh terwakili dalam model. Keakuratan model ini juga dapat diketahui bahwa nilai F hasil perhitungan sebesar 17,639 lebih dari nilai F dalam tabel distribusi.

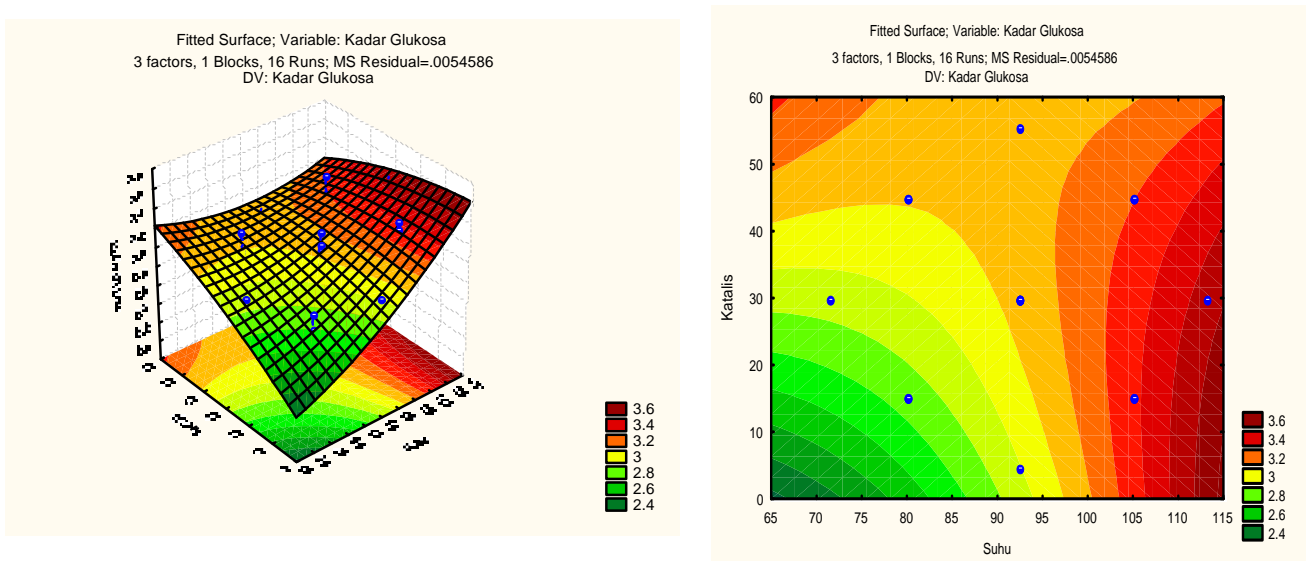
Tabel 5 Analisa ANOVA untuk nilai kadar glukosa

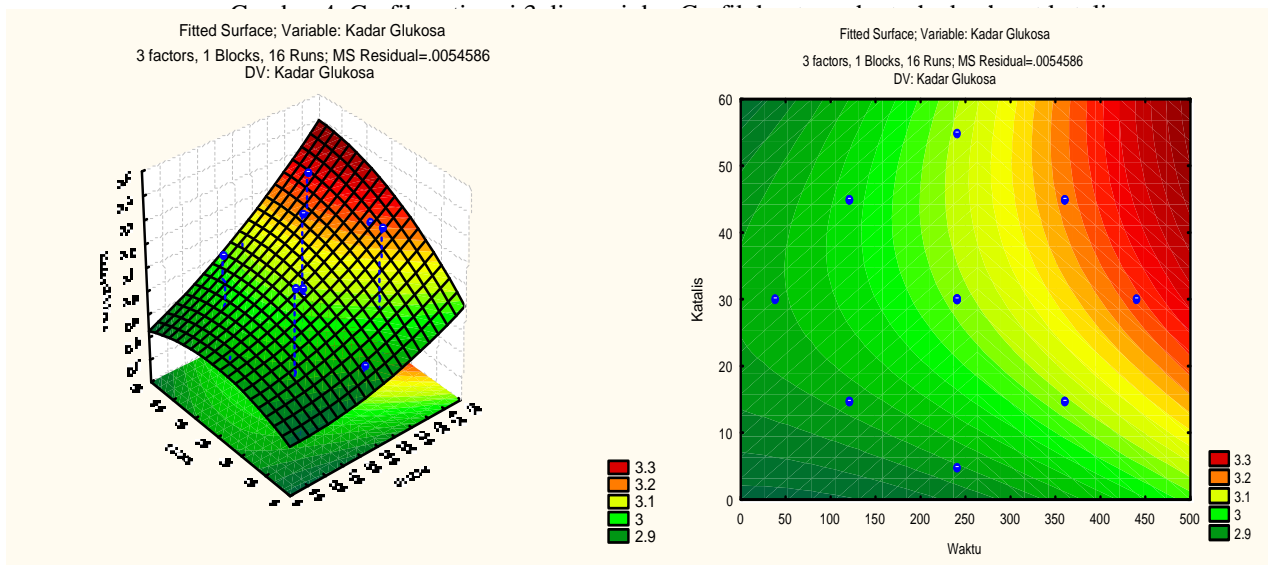
	df	SS	MS	F	F Tabel	R^2
Regresi	3	0,5733	0,1911	17,6396	0,000107	0,815
Error	12	0,13001	0,01083			
Total	15	0,7033				

Analisa kondisi operasi optimum diselesaikan menggunakan 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, 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 terhadap waktu reaksi hidrolisis





Gambar 5. Grafik optimasi 3 dimensi dan Grafik berat katalisterhadap waktu hidrolisis

Pada Gambar 3, terlihat bahwa kadar glukosa makin tinggi apabila suhu berada pada rentang 112°C dan 115°C , dan waktu hidrolisis berada pada rentang 300-500 menit. Hal yang dapat menjelaskan fenomena tersebut adalah bahwa peningkatan suhu dapat meningkatkan laju suatu reaksi hidrolisis, serta semakin lama waktu hidrolisis, maka semakin banyak terjadinya proses pemutusan ikatan selulosa dari bahan baku. Dengan kata lain, peningkatan suhu dan lama waktu hidrolisis adalah berbanding lurus dengan peningkatan kadar glukosa yang dihasilkan.

Pada gambar 4 yaitu hubungan antara suhu hidrolisis dan berat katalis yang digunakan, terdapat dua bagian, pertama, bahwa kadar glukosa makin tinggi apabila berada diantara 112°C dan 115°C pada rentang berat katalis antara 0 gr dan 5 gr, kedua, bahwa kadar glukosa makin tinggi apabila berada diantara 65°C dan 67°C pada rentang berat katalis antara 58 gr dan 60 gr. Pada hubungan ini berimplikasi bahwa peningkatan suhu membawa dampak yang lebih signifikan dibandingkan dengan dampak yang dibawa oleh penambahan katalis. Katalis tidak terlalu berpengaruh terhadap konversi selulosa ke glukosa karena katalis hanya berfungsi untuk menurunkan energi aktivasi reaksi hidrolisis dan memperluas bidang kontak, sehingga reaksi akan berjalan lebih cepat.

Gambar 5 memperjelas pembahasan sebelumnya, bahwa penambahan katalis tidak membawa dampak signifikan pada kadar glukosa yang terbentuk. Bahkan justru terjadi penurunan kadar glukosa pada waktu hidrolisis di bawah 200 menit dan massa katalis di atas 40 gram. Katalis memang dapat mempercepat laju reaksi, namun 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 (Daniel De Idrak dkk., 2012).

Dari grafik-grafik optimasi dan penjelasan di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa kondisi optimal pada proses hidrolisis kulit pisang ini adalah pada rentang suhu 112°C hingga 115°C , waktu hidrolisis 300 hingga 500 menit, dan berat katalis 30 gram.



4. Kesimpulan

1. Pengaruh suhu, waktu, dan berat katalis dalam hidrolisis kulit pisang pada penelitian ini dapat ditunjukkan dalam persamaan berikut: $Y = 3,035 + 0,18x_1 + 0,04x_1^2 + 0,089x_2 + 0,012x_2^2 + 0,047x_3 - 0,021x_3^2 - 0,014x_1x_2 - 0,087x_1x_3 + 0,022x_2x_3$. Dengan x_1 mewakili suhu operasi hidrolisis, x_2 mewakili waktu hidrolisis, dan x_3 mewakili massa katalis, maka dapat disimpulkan bahwa suhu dan waktu hidrolisis berpengaruh linear atau berbanding lurus terhadap yield glukosa. Sedangkan massa katalis akan berpengaruh negatif terhadap yield apabila jumlahnya berlebihan.
2. Suhu dan waktu hidrolisis berpengaruh cukup signifikan terhadap yield glukosa yang dihasilkan, akan tetapi pengaruh massa katalis terhadap yield glukosa masih minimum.
3. Optimasi variabel proses hidrolisis kulit pisang menggunakan *response surface methodology* menghasilkan kondisi optimal pada rentang suhu 112°C hingga 115°C, waktu hidrolisis 300 hingga 500 menit, dan berat katalis 30 gram dengan glukosa yang dihasilkan sebanyak 3,6 mg/ml.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada ketua dan laboran Laboratorium Rekayasa Proses dan Kimia, serta kepada Fakultas Teknik Universitas Diponegoro atas pendanaan yang membantu terselesaikannya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Anggraeni, P. dan Addarajah, Z., 2013. *Hidrolisis Selulosa Eceng Gondok Menjadi Glukosa Dengan Katalis Arang Aktif Tersulfonasi*. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri volume 2 nomor 3, halaman 63-69
- Brandberg, T., Sanandaji, N., Gustaffson, L., Franzen, C. J., 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, Salim, M., dan Mardiah, E., 2012. *Pembuatan Bioetanol Dari Ampas Sagu Dengan Proses Hidrolisis Asam Dan Menggunakan Saccharomyces cerevisiae*. Jurnal Kimia Unand volume 1 nomor 1
- Dewati, R., 2008. *Limbah Kulit Pisang Kepok Sebagai Bahan Baku Pembuatan Ethanol*. UPN Veteran Jatim
- Fatmawati, A., Soeseno, N., Chiptadi, N., Natalia, S., 2008. *Hidrolisis Batang Padi Dengan Menggunakan Asam Sulfat Encer*. Jurnal Teknik Kimia Vol. 3 No. 1, 189
- Kuntarsih, Sri. 2012. *Pedoman Penanganan Pascapanen Pisang*.
- Lenth, R. V., 2010. *Response-Surface Methods in R, Using RSM*. The University of Iowa Ver 1.40, 5
- Mastuti, Endang dan Setyawardhani, Dwi. 2010. *Pengaruh Variasi Temperatur dan konsentrasi Katalis Pada Kinetika Reaksi Hidrolisis Tepung Kulit Ketela Pohon*. Ekuilibrium Vol. 9 No. 1, 23 – 27
- Onda A., Ochi T., Yanagisawa K., 2009. *Hydrolysis of Cellulose Selectively into Glucose Over Sulfonated Activated-carbon Catalyst Under Hydrothermal Conditions*. Topics in Catalysis Vol. 52, 801-807
- Rachmaniah, Orchide, Krishnanta, A., dan Ricardo, D., 2012. *Acid Hydrolysis Pretreatment of Bagasse-Lignocellulosic Material for Bioethanol Production*. Departement of Chemical Engineering, FTI-ITS
- Retno, D. T., 2011. *Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang*. Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, ISSN 1693-4393, E11-2
- Rispiandi, 2011. *Preparasi dan Karakterisasi Katalis Heterogen Arang Aktif Tersulfonasi Untuk Proses Hidrolisis Selulosa Menjadi Glukosa*. Jurnal Fluida Vol. VII No. 1 1-11, 1-3
- Sembiring, Meilita T. dan Sinaga, Tuti S., 2003. *Pengenalan dan Proses Pembuatan Arang Aktif*. Jurnal Teknik Industri Universitas Sumatera Utara, 1-2
- Yuniwati, M., Ismiyati, D., Kurniasih, R., 2011. *Kinetika Reaksi Hidrolisis Pati Pisang Tanduk Dengan Katalisator Asam Khlorida*. Jurnal Teknologi Vol. 4 No. 2 107-112, 106