

MODEL MATEMATIK PROSES HIDROLISIS SELULOSA BATANG PISANG MENJADI GLUKOSA MENGGUNAKAN KATALIS ASAM CAIR

MATHEMATIC MODEL OF HIDROLISIS PROCESS FROM BANANA TREES CELLULOSE TO GLUCOSE BY USING LIQUID ACID CATALYST

Silvester Tursiloadi¹, Galih K. Sanjaya², dan Nastiti Siswi Indrasti²

¹Pusat Penelitian Kimia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Serpong-Tangerang

²Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga P.O.Box 220, Bogor 16002

ABSTRACT

Banana trees are rich of cellulose and a potential source for producing glucose. The aim of the research was to develop a mathematic model of banana tree fiber hydrolysis by using sulfite acid as catalyst. The concentrations of the acid catalyst were 0.25 M, 0.5 M, and 1M at temperature of 85 °C and 100 °C. The concentration of acid catalyst and the reaction temperature were varied to determine the activation energy that might be affected by the addition of acid catalyst. The sugar concentration was measured as an hydrolysis parameter. The concentration of reducing sugar produced during the hydrolysis process was also measured to develop the mathematical model of hydrolysis process. The values of determination coefficient (r^2) from mathematical model of kinetic reaction were more than 0.8. The kinetic model was valid for concentration range from 0.25 M to 1.5 M.

Keywords: mathematical model, determination coefficient, hydrolysis, banana trees, liquid acid catalyst

PENDAHULUAN

Batang pisang merupakan bahan yang banyak mengandung selulosa dan berpotensi untuk diproses sebagai glukosa. Produksi glukosa dari serat batang pisang merupakan tahap awal yang sangat penting bagi berhasilnya proses konversi selulosa menjadi senyawa yang lebih sederhana.

Untuk menghasilkan glukosa, selulosa dapat dihidrolisis baik oleh asam ataupun enzim. Struktur berkristal serta adanya lignin dan hemiselulosa di sekeliling selulosa merupakan hambatan utama dalam proses hidrolisis selulosa (Aziz *et al.*, 2002). Hambatan tersebut dapat diatasi dengan perlakuan pendahuluan terhadap bahan yang akan dihidrolisis (Mosier *et al.*, 2005). Cureli *et al.*, (1997) menyarankan proses *pretreatment* dua tahap melalui proses alkali/oksidasi pada suhu rendah (25-40 °C) dan menggunakan bahan kimia konsentrasi rendah.

Hidrolisis selulosa secara asam dapat dilakukan dengan menggunakan asam kuat encer pada suhu dan tekanan tinggi, atau dengan menggunakan asam pekat pada suhu dan tekanan rendah. Pada prinsipnya, hidrolisis dalam suasana asam menghasilkan pemecahan ikatan glikosida. Dibandingkan dengan penggunaan asam pekat, penggunaan asam encer lebih menguntungkan karena dapat menghindari terjadinya dekomposisi glukosa dan kebutuhan alkali untuk penetralan produk akhir akan lebih sedikit.

Selulosa yang terhidrolisis tidak semuanya membentuk glukosa. Dengan demikian perlu dilakukan pengukuran laju destruksi gula untuk mengetahui laju kerusakan gula dan juga berfungsi dalam penyusunan model matematis dari reaksi selulosa batang pisang. Model matematis kinetika reaksi hidrolisis selulosa batang pisang dengan katalis asam cair dapat dipakai untuk menentukan

gula yang terbentuk pada suhu dan konsentrasi katalis tertentu.

Glukosa hasil hidrolisis selulosa dari serat batang pisang, dapat dimanfaatkan untuk berbagai produk diantaranya dapat diproses menjadi bioetanol. Walaupun pada dasarnya harga bahan berlignoselulosa lebih murah dan lebih mudah diperoleh serta dapat dikembangkan pada lahan tidak produktif, namun biaya produksinya relatif lebih tinggi (Balat *et al.*, 2008). Oleh karena itu, diperlukan penemuan metode yang efisien dalam konversi bahan berlignoselulosa menjadi bioetanol melalui optimalisasi teknologi proses produksi terutama pada proses *pretreatment*, fraksinasi, hidrolisis (sakarifikasi), fermentasi, dan destilasi (Samejima, 2008). Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat model matematik proses hidrolisis selulosa menjadi glukosa dari serat batang pisang dengan menggunakan katalis asam cair.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Katalis, Bidang Teknologi Proses dan Katalis, Pusat penelitian Kimia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Serpong- Tangerang. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah batang pisang tanduk yang berasal dari daerah Leuwiliang-Bogor. Penelitian meliputi beberapa tahap yaitu delignifikasi, hidrolisis selulosa, kajian destruksi glukosa dan permodelan matematik.

Delignifikasi

Pada penelitian pendahuluan dilakukan pengukuran kadar air bahan baku dan delignifikasi. Penghilangan lignin dilakukan dengan perendaman serat batang pisang dalam NaOH 1 N selama 2 jam. Perbandingan bobot serat batang pisang dengan

volume larutan adalah 1 : 20. Menurut Saha dan Cotta (2006) dan Sun dan Cheng (2002) metode *pretreatment* kimia berbasis alkali ini lebih efektif untuk melarutkan lignin dan menghambat larutnya hemiselulosa dan selulosa, kecuali dengan proses *treatment* perkolasi *recycling* amonia yang menghasilkan biomassa padat dengan kandungan utama selulosa.

Serat yang telah mengalami delignifikasi kemudian dicuci dengan menggunakan air hingga pH-nya netral. Setelah proses pencucian dan penetralan maka bahan tersebut dikeringkan pada suhu ruang atau dipanaskan di atas *hot plate*. Serat yang telah kering siap untuk dihidrolisis.

Hidrolisis Selulosa Serat Batang Pisang

Hidrolisis batang pisang dilakukan dengan menggunakan katalis asam cair yaitu asam sulfat 96%. Dalam penelitian ini proses hidrolisis dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi asam sulfat (0,25 M, 0,5 M, 1,0 M) dan variasi suhu (85 °C, 100 °C), selama 270 menit dengan pengambilan contoh setiap 30 menit untuk mengetahui laju reaksi dari proses hidrolisis tersebut. Konversi selulosa hasil hidrolisis dengan rentang waktu reaksi 270 menit dihitung berdasarkan dua pendekatan, yaitu secara gravimetri dengan menimbang selulosa umpan dan sisa selulosa, serta perhitungan konversi secara titrasi dengan menghitung jumlah gula yang terbentuk selama proses hidrolisis. Contoh yang telah diambil segera dinetralkan dan dianalisis gula pereduksinya. Hal ini bertujuan agar produk yang telah terbentuk tidak terdekomposisi membentuk senyawa-senyawa yang tidak diinginkan. Analisis gula pereduksi dilakukan dengan menggunakan metode *Luff-Schorll*.

Kajian Destruksi Glukosa

Kajian tentang destruksi gula dilakukan untuk menganalisis apakah gula yang terbentuk selama proses hidrolisis akan terdestruksi menjadi senyawa lain akibat kontak dengan katalis asam cair pada media hidrolisis. Kajian mengenai destruksi gula ini dilakukan dengan mereaksikan glukosa dengan larutan katalis asam sulfat dengan variasi konsentrasi 0,25 M, 0,5 M, 1,0 M dan suhu 85 °C dan 100 °C selama 210 menit dengan pengambilan contoh setiap 30 menit. Perbandingan substrat yang digunakan adalah 1:100 (w/v).

Permodelan matematik

Model matematik untuk menghitung nilai Ea pada reaksi hidrolisis selulosa, yaitu dengan cara menampilkan persamaan eksponensial $y = 112184 \cdot e^{0,2864x}$, dimana y adalah Ea (J.mol⁻¹.K⁻¹) dan x adalah konsentrasi katalis (M).

Model matematik untuk menghitung nilai Ea pada reaksi destruksi glukosa, yaitu dengan cara menampilkan persamaan eksponensial $y = 200350 e^{-3,9488x}$, dimana y adalah Ea (J.mol⁻¹.K⁻¹) dan x adalah konsentrasi katalis (M).

Pada penentuan nilai Ea persamaan yang digunakan adalah persamaan eksponensial, dengan asumsi jika konsentrasi katalis yang digunakan lebih

dari 1 M maka nilai Ea-nya dianggap konstan, karena semakin besar konsentrasi yang digunakan maka grafik nilai Ea akan asimtotik terhadap sumbu x (konsentrasi katalis). Hal ini berarti peningkatan penggunaan katalis asam cair di atas konsentrasi kritis optimum katalis tidak akan berpengaruh menurunkan energi aktivasi.

Model matematik yang digunakan untuk menentukan nilai konstanta Arrhenius pada reaksi hidrolisis selulosa batang pisang dapat diketahui, yaitu dengan cara menampilkan persamaan eksponensial $y = (5,59 \cdot 10^{13}) \cdot e^{-7,46x}$, dimana y adalah nilai konstanta arhenius (A) yang diinginkan dan x adalah konsentrasi katalis (M) yang akan digunakan.

Model matematik yang digunakan untuk menentukan nilai konstanta Arrhenius pada reaksi destruksi glukosa dapat diketahui, yaitu dengan cara menampilkan persamaan eksponensial $y = (2 \cdot 10^{11}) \cdot e^{-29,702x}$, dimana y adalah nilai konstanta arhenius (A) yang diinginkan dan x adalah konsentrasi katalis (M) yang akan digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Delignifikasi

Sebelum delignifikasi batang pisang, dilakukan pengukuran kandungan airnya. Kandungan air batang pisang yang diteliti sebesar 93%. Berdasarkan penelitian Kamara *et al.*, (2006) dapat diketahui bahwa serat pada batang pisang mengandung selulosa (40,1%) dan lignin (17,8%). Serat batang pisang yang telah dilignifikasi dan telah dikeringkan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Serat batang pisang hasil delignifikasi dan pengeringan

Hidrolisis Selulosa

Hidrolisis selulosa yang terdapat dalam batang pisang dilakukan menggunakan katalis asam kuat (H₂SO₄). Hasil konversi gravimetri dan konversi titrasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari hasil hidrolisis selulosa serat batang pisang pada suhu 85 °C dan suhu 100 °C diketahui bahwa semakin besar konsentrasi katalis yang digunakan maka gula yang dihasilkan juga akan meningkat. Hal ini berarti bahwa konsentrasi katalis dan suhu berbanding lurus dengan gula yang dihasilkan.

Menurut Taherzadeh dan Karimi (2007) beberapa senyawa inhibitor yang dapat terbentuk selama proses hidrolisis asam encer adalah furfural,

5-hydroxymethylfurfural (HMF), asam levulinik, asam asetat, asam format dan beberapa senyawa lain. HMF ini akan terus bereaksi membentuk asam-asam organik, seperti asam levulinat dan asam format pada suasana asam dan suhu yang tinggi. Dengan demikian perlu dilakukan pengukuran laju destruksi glukosa.

Dekstruksi Glukosa

Pengukuran destruksi glukosa dilakukan untuk mengetahui laju kerusakan gula yang terbentuk selama proses hidrolisis selulosa membentuk glukosa. Hasil konversi gula yang terdestruksi dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan konversi glukosa yang terdestruksi pada suhu 85 °C dan suhu 100 °C, diketahui bahwa laju destruksi glukosa sebanding dengan kenaikan suhu dan konsentrasi katalis. Semakin besar konsentrasi katalis dan suhu yang digunakan maka laju destruksinya akan semakin besar. Akan tetapi, pada konsentrasi 0,5 M hasil konversi gula pereduksi pada suhu 100 °C lebih kecil

dibandingkan hasil konversi pada suhu 85 °C. Hal ini disebabkan terdapat anomali pada konsentrasi tersebut, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan konsentrasi katalis yang mendekati 0,5 M.

Pemodelan Matematik

Penentuan Orde Reaksi

Orde reaksi dari reaksi hidrolisis selulosa batang pisang dan reaksi destruksi glukosa dapat diketahui dengan menggunakan metode kombinasi. Berdasarkan metode tersebut dapat diketahui bahwa kemungkinan orde reaksi dari reaksi hidrolisis selulosa dan reaksi destruksi glukosa adalah reaksi orde pertama atau orde nol, dengan asumsi bahwa reaksi tersebut merupakan reaksi elementer, dimana kemungkinan orde reaksinya adalah bilangan bulat. Pembuktian untuk orde reaksi hidrolisis selulosa batang pisang pada suhu 85 °C dan suhu 100 °C ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 1. Hasil konversi gravimetri dan konversi titrasi

Konsentrasi katalis (M)	Suhu (°C)	Konversi gravimetri			Konversi Titrasi			Beda (%)	
		Selulosa awal (g)	Selulosa akhir (g)	Konversi (%)	Konsentrasi umpan (mg/ml)	Konsentrasi gula awal (mg/ml)	Konsentrasi gula akhir (mg/ml)		Konversi (%)
0,25	85	8,005	6,891	13,917	10,000	0,204	1,343	11,390	2,528
	100	8,038	5,015	37,606	10,048	0,424	3,823	33,829	3,806
0,5	85	8,055	6,565	18,487	10,000	0,224	1,179	9,550	8,927
	100	8,005	4,368	45,423	10,007	0,956	5,204	42,451	2,973
1	85	8,049	5,157	35,921	10,007	0,504	3,693	31,869	4,532
	100	8,045	2,187	72,810	10,057	1,016	8,237	71,803	1,010

Tabel 2. Hasil konversi gula yang terdestruksi

Waktu (menit)	Konsentrasi katalis (Molar)					
	0,25 M		0,5 M		1 M	
	85 °C	100 °C	85 °C	100 °C	85 °C	100 °C
0	9,274	6,518	9,379	6,549	9,131	8,114
30	8,909	6,972	8,754	7,580	8,261	6,723
60	8,617	6,366	7,504	6,276	7,392	6,259
90	8,105	5,760	6,878	6,049	5,653	4,868
120	7,813	5,154	6,253	5,473	4,783	3,941
150	7,667	4,547	5,628	5,052	3,913	2,550
180	7,521	3,941	5,002	4,412	3,044	2,086
210	7,375	3,335	4,377	3,824	2,174	1,159
Gula terdestruksi (%)	20,472	48,837	53,333	41,620	76,191	85,714

Tabel 3. Pembuktian orde reaksi hidrolisis selulosa batang pisang

Kombinasi Orde Reaksi	Nilai r2						r2 (rata-rata)
	0,25 M		0,5 M		1 M		
	85 °C	100 °C	85 °C	100 °C	85 °C	100 °C	
0-0	0,754	0,985	0,973	0,929	0,848	0,926	0,903
0-1	0,955	0,997	0,899	0,939	0,712	0,91	0,902
1-0	0,993	0,977	0,942	0,938	0,781	0,913	0,924
1-1	0,978	0,98	0,943	0,957	0,919	0,936	0,952

Berdasarkan data yang terdapat pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa orde reaksi hidrolisis selulosa batang pisang pada suhu 85 °C dan 100 °C adalah orde reaksi pertama, karena pada kombinasi orde 1-1 menghasilkan nilai r² paling besar dibandingkan kombinasi yang lain. Penentuan orde reaksi ini berdasarkan nilai r² rata-rata terbesar dari hasil kombinasi k₁ dan k₀, dimana nilai k₁ diperoleh dari proses hidrolisis selulosa, sedangkan k₀ diperoleh dari proses destruksi glukosa. Penentuan nilai k₁ dilakukan dengan menggunakan persamaan diferensial yang diselesaikan dengan menggunakan *software mathcad*. Nilai k₀ ditentukan berdasarkan nilai r² terbesar, sehingga dihasilkan kombinasi seperti yang terdapat pada Tabel 3.

Menurut Saeni (1999) jika suatu reaksi mempunyai orde reaksi pertama maka apabila konsentrasi tersebut diduakalikan akan diperoleh kenaikan laju reaksi dua kali semula, sehingga dapat disimpulkan bahwa apabila suatu reaksi memiliki orde reaksi pertama apabila laju reaksinya naik dua kali sebagai hasil dari kenaikan konsentrasi pereaksi dua kali semula.

Nilai Konstanta Laju Reaksi (k)

Menurut Herman *et al.*, (2004) nilai konstanta laju reaksi dipengaruhi oleh sifat pereaksi dan suhu. Nilai konstanta laju reaksi (k) naik dengan kenaikan suhu. Hal ini karena dengan naiknya suhu reaksi maka suplai energi untuk mengaktifkan pereaksi dan tumbukan antar pereaksi untuk menghasilkan reaksi akan bertambah sehingga produk yang dihasilkan akan lebih banyak.

Tabel 4. Nilai konstanta laju reaksi hidrolisis selulosa batang pisang (k₁)

Konsentrasi (Molar)	T = 85 °C		T = 100 °C	
	k ₁ (mol/dtk)	r ²	k ₁ (mol/dtk)	r ²
0,25	0,005	0,978	0,205	0,98
0,5	0,0105	0,943	0,0275	0,957
1	0,01655	0,712	0,0515	0,936

Nilai k₁ diperoleh berdasarkan nilai r² paling besar (Tabel 4). Nilai r² tersebut menunjukkan tingkat kesesuaian k₁ terhadap persamaan orde reaksi yang digunakan.

Dalam penentuan nilai konstanta laju reaksi hidrolisis selulosa diperlukan nilai konstanta laju destruksi glukosa. Hal ini terjadi karena tidak semua selulosa yang terhidrolisis akan membentuk glukosa dan ada kemungkinan akan terbentuk senyawa lain yang tidak diinginkan, sehingga diperlukan nilai k₀.

Tabel 5. Nilai konstanta laju reaksi destruksi glukosa (k₀)

Konsentrasi (Molar)	T = 85 °C		T = 100 °C	
	k ₀ (dtk ⁻¹)	r ²	k ₀ (dtk ⁻¹)	r ²
0,25	0,00124	0,961	0,0034	0,978
0,5	0,0034	0,993	0,002875	0,979
1	0,0056	0,965	0,0059	0,939

Nilai konstanta laju reaksi destruksi glukosa (k₀) adalah nilai kemiringan (*slope*) pada persamaan orde reaksi terpilih, yaitu reaksi orde pertama. Semakin besar konsentrasi katalis dan suhu yang digunakan maka nilai k₀ akan semakin besar (Tabel 5). Hal ini berarti bahwa laju kerusakan gula yang terbentuk akan semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi katalis dan suhu yang digunakan.

Penentuan Nilai Energi Aktivasi (Ea)

Energi aktivasi (Ea) merupakan energi yang harus dimiliki oleh molekul sehingga mampu bereaksi. Hanya molekul-molekul yang memiliki energi kinetik lebih besar dari energi aktivasi yang kemudian mampu bereaksi atau dapat membentuk kompleks teraktifkan yang terurai menjadi molekul hasil reaksi. Molekul-molekul tersebut disebut sebagai molekul teraktifkan (Saeni, 1999).

Penentuan nilai Ea untuk reaksi hidrolisis selulosa dan reaksi destruksi glukosa dilakukan dengan menggunakan persamaan Arrhenius. Persamaan Arrhenius merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk mengkuantitatifkan hubungan antara suhu reaksi dan Ea dengan konstanta laju reaksi (k). Persamaan Arrhenius ini dimodifikasi menjadi bentuk persamaan garis lurus (regresi linier).

Nilai kemiringan (*slope*) dari persamaan garis lurus (regresi linier) kemudian digunakan untuk menghitung nilai Ea pada proses hidrolisis selulosa batang pisang. Nilai Ea dihasilkan dari perkalian antara *slope* dengan konstanta gas (R= 8,314 J.mol⁻¹.K⁻¹), sehingga diperoleh nilai Ea untuk reaksi hidrolisis selulosa seperti yang disajikan pada Tabel 6.

Pada proses destruksi glukosa juga dapat diketahui nilai Ea dengan cara yang sama seperti pada penghitungan nilai Ea hidrolisis selulosa. Nilai Ea hidrolisis selulosa merupakan hasil kali dari *slope* pada persamaan garis ln k terhadap 1/T dengan konstanta gas (R= 8,314 J.mol⁻¹.K⁻¹), sehingga dihasilkan nilai Ea untuk reaksi destruksi glukosa seperti yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai energi aktivasi (Ea) untuk reaksi hidrolisis selulosa dan reaksi destruksi glukosa

Konsentrasi katalis (M)	Energi aktivasi (J.mol ⁻¹ .K ⁻¹)	
	Hidrolisis Selulosa	Destruksi Glukosa
0,25	104432,154	74654,732
0,5	71260,9568	-12878,386
1	84245,762	3862,435

Dari data yang terdapat pada Tabel 6, dapat diketahui bahwa nilai Ea untuk reaksi destruksi glukosa lebih kecil dibandingkan nilai Ea untuk reaksi hidrolisis selulosa batang pisang. Hal ini berarti bahwa, laju reaksi destruksi yang terjadi pada saat hidrolisis selulosa lebih cepat dibandingkan laju pembentukan gulanya sehingga dapat menyebabkan

nilai konversi glukosa dari hidrolisis batang pisang menjadi kecil. Menurut Saeni (1999), semakin tinggi nilai E_a maka fraksi molekul yang teraktifkan akan semakin kecil dan menyebabkan reaksi tersebut berlangsung lambat, begitu pula sebaliknya.

Nilai E_a untuk reaksi destruksi glukosa pada konsentrasi 0,5 M bernilai negatif. Hal ini berarti bahwa reaksi tersebut merupakan reaksi spontan yang dapat berlangsung dalam suhu ruang. Meskipun percobaan untuk pengukuran E_a pada reaksi destruksi glukosa pada konsentrasi 0,5 M sudah diulang sebanyak 4 kali namun nilai yang dihasilkan tetap sama. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan konsentrasi katalis pada kisaran 0,5 M.

Validasi Pemodelan Matematik

Validasi dilakukan pada 3 variasi konsentrasi (0,75 M, 1,25 M dan 1,5 M) dan 3 variasi suhu (75 °C, 85 °C dan 100 °C). Berdasarkan hasil validasi, dapat diketahui bahwa pemodelan matematik yang dihasilkan mempunyai tingkat kesesuaian yang cukup besar terhadap hasil pengukuran dari hidrolisis selulosa batang pisang. Kesesuaian model matematik tersebut berdasarkan nilai r^2 yang dihasilkan. Dari data di atas dapat diketahui bahwa nilai r^2 untuk suhu 75 °C adalah 0,948, untuk suhu 85 °C adalah 0,945 dan untuk suhu 100 °C adalah 0,838. Validasi pemodelan matematik ini juga dilakukan pada konsentrasi 1,25 M dengan variasi suhu 85 °C dan 100 °C.

Berdasarkan data hasil validasi untuk konsentrasi 1,25 M, dapat diketahui bahwa nilai r^2 untuk suhu 85 °C adalah 0,829 dan untuk suhu 100 °C adalah 0,941. Nilai r^2 menggambarkan tingkat kesesuaian dari pemodelan matematik yang digunakan terhadap nilai ukur dari hasil hidrolisis selulosa. Dengan demikian dapat diketahui bahwa nilai r^2 pemodelan matematik tersebut cukup besar sehingga model matematik tersebut cukup valid untuk diaplikasikan. Validasi pemodelan matematik ini juga dilakukan pada konsentrasi 1,5 M dengan variasi suhu 75 °C, 85 °C dan 100 °C.

Berdasarkan data hasil validasi untuk konsentrasi 1,25 M, dapat diketahui bahwa nilai r^2 untuk suhu 75 °C adalah 0,799, untuk suhu 85 °C adalah 0,796 dan untuk suhu 100 °C adalah 0,834. Dimana r^2 merupakan tingkat kesesuaian model matematik terhadap nilai hasil pengukuran dari hidrolisis selulosa batang pisang. Semakin besar nilai r^2 maka model matematik tersebut akan semakin bagus.

Nilai kesesuaian rumus pemodelan matematik pada masing-masing konsentrasi dilihat dari nilai r^2 , jika nilai $r^2 \geq 0,8$ maka hasil validasi tersebut dapat diterima. Koefisien determinasi (r^2) adalah ukuran kesesuaian model (persamaan regresi linier yang dihasilkan) yaitu kemampuan model menerangkan keragaman nilai peubah Y, dimana nilainya berkisar mulai dari 0 sampai 1. Semakin besar nilai determinasi berarti model semakin mampu menerangkan perilaku peubah Y (Mattjik dan

Sumertajaya, 2000). Berdasarkan hasil validasi maka dihasilkan nilai $r^2 \geq 0,8$ yang berarti bahwa model matematik tersebut dapat diterapkan untuk penentuan gula hasil hidrolisis serat batang pisang.

Pada percobaan ini tidak dilakukan validasi dengan menggunakan konsentrasi kurang dari 0,25 M. Hal ini terjadi karena hasil hidrolisis dengan menggunakan konsentrasi < 0,25 M menghasilkan konversi yang kecil sehingga sulit untuk menentukan titik akhir pada saat analisis gula pereduksi dengan menggunakan metode *Luff-Schorll*. Metode *Luff-Schorll* merupakan metode yang digunakan untuk analisis gula pereduksi dengan konversi yang cukup besar. Berdasarkan hasil validasi di atas dapat diketahui bahwa pemodelan matematik ini dapat digunakan untuk menghitung nilai hasil hidrolisis selulosa batang pisang dengan rentang konsentrasi katalis antara 0,25 – 1,5 M dan suhu antara 75 °C – 100 °C.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Model matematik reaksi hidrolisis selulosa yaitu $y = 112184 \cdot e^{-0,2864x}$ (untuk menghitung nilai E_a hidrolisis selulosa) dan $y = (5,59 \cdot 10^{13}) \cdot e^{-7,46x}$ (untuk menghitung nilai konstanta Arrhenius). Model matematik reaksi destruksi glukosa yaitu $y = 200350 e^{-3,9488x}$ (untuk menghitung nilai E_a destruksi glukosa) dan $y = (2 \cdot 10^{11}) \cdot e^{29,702x}$ (untuk menghitung nilai konstanta Arrhenius). Pemodelan matematik tersebut dapat digunakan mengetahui konsentrasi glukosa yang dihasilkan pada proses hidrolisis selulosa batang pisang yang dilakukan pada konsentrasi 0,25 sampai 1,5 M pada suhu 75 sampai 100 °C.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengolah gula pereduksi yang telah dihasilkan menjadi bioetanol sebagai salah satu alternatif sumber energi yang terbarukan. Selain itu perlu dilakukan kajian proses hidrolisis selulosa batang pisang dari segi tekno ekonomi dan kajian tentang mekanisme reaksi hidrolisis selulosa batang pisang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz A.A., M. Husin, dan A. Mokhtar. 2002. Preparation of cellulose from oil palm empty fruit bunches via ethanol digestion: effect of acid and alkali catalysts. *Journal of Oil Palm Research* 14 (1) : 9-14.
- Balat M, H. Balat, dan C. Oz. 2008. Progress in Bioetanol Processing. *Progress in Energy and Combustion Science Journal*. 34 (5): 551-573.
- Curreli N, M.B. Fadda, A. Rescigno, A.C. Rinaldi, G. Soddu, F. Sollai, S. Vaccargiu, E. Sanjust, dan Rinaldi. 1997. A. Mild alkaline/oxidative pretreatment of wheat straw. *Process Biochemistry*. (32) : 665-670.

- Herman S. dan Khairat. 2004. Kinetika Reaksi Hidrolisis Minyak Sawit dengan Katalisator Asam Klorida. *Jurnal Natur Indonesia* 6 (2) : 118-121.
- Kamara S.D., S.D. Rachman, dan S. Gaffar. 2006. Degradasi Enzimatis Selulosa dari Batang Pisang untuk Produksi Glukosa dengan Bantuan Aktivitas Selulolitik *Trichoderma Viride*. Laporan Penelitian Dasar (Litsar) FMIPA. Univ. Pajajaran, Bandung.
- Mattjik A.A. dan M. Sumertajaya. 2000. Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab, Jilid I. IPB Press, Bogor.
- Mosier N, C. Wyman, B. Dale, R. Elande, Y.Y. Lee, M. Holtzapple, dan M. Ladisch. 2005. Features of Promising Technology For Pretreatment of Lignocellulosic Biomass. *Bioresourc* 96 (6): 673-686.
- Roehr M. 2001. The Biotechnology of Ethanol: Classical and Future Applications, Wiley-VCH. GmbH.
- Saeni M.S. 1999. Kimia Lingkungan. PAU-IPB, Bogor.
- Saha B.C. dan M.A. Cotta. 2006. Ethanol production from alkaline peroxide pretreated enzymatically saccharified wheat straw. *Biotechnol. Prog* (22) : 449-453.
- Samejima M. 2008. Scenario of Technical Innovation for Production of Ethanol as Automobile Fuel from Cellulosic Biomass in Japan. In Proceedings. International Association of Wood Products Societies. Harbin, China.
- Sun Y. dan J. Cheng. 2002. Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production: A Review. *Bioresourc Technology Journal*. 83 (1) : 1-11.
- Taherzadeh M.J. dan K. Karimi. 2008. Pretreatment of Lignocellulosic Waste to Improve Bioethanol and Biogas Production. *Int. J. Mol. Sci.* (9) : 1621-1651.