

Hidrolisis Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Menjadi Glukosa Menggunakan Rotating Microwave Reactor

Hydrolysis of Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes) into Glucose Using a Rotating Microwave Reactor

Maya Sarah*, Ita Pratiwi, Isti Madinah Hasibuan

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater, Kampus USU, Padang Bulan, Kota Medan, Kode pos 20155, Indonesia

*Email: Maya3@usu.ac.id

Abstrak

Eceng gondok merupakan biomassa lignoselulosa yang sangat berpotensi untuk produksi glukosa karena mengandung selulosa sebanyak 64,51%. Hidrolisis eceng gondok berlangsung dalam sebuah reaktor berputar dengan *microwave* sebagai sumber panas. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh glukosa dengan menentukan konstanta laju reaksi hidrolisis fungsi daya dan konsentrasi katalis asam sulfat (H_2SO_4), serta mencari kondisi terbaik dalam proses hidrolisis ini. Beberapa variabel penelitian adalah konsentrasi katalis H_2SO_4 (0,5 N; 1 N; dan 1,5 N), daya *microwave* (600 W dan 800 W), dan waktu reaksi 60 menit. Parameter yang diukur adalah temperatur hidrolisat, kadar glukosa, dan kadar selulosa. Konstanta laju reaksi hidrolisis yang diperoleh berdasarkan persamaan Arrhenius adalah $k=1,30 \times 10^{-2} e^{-132,172/T}$ dan hubungan konsentrasi katalis H_2SO_4 dengan daya *microwave* adalah $C = 0.001P$. Kondisi reaksi hidrolisis eceng gondok terbaik diperoleh pada penggunaan katalis H_2SO_4 1 N dan daya *microwave* sebesar 600 W dengan kandungan glukosa akhir yang diperoleh sebesar 486 mg/L.

Kata kunci: eceng gondok, hidrolisis, *rotating microwave*, persamaan Arrhenius

Abstract

Water hyacinth is lignocellulosic biomass that has the potential for glucose production because it contains 64.51% cellulose. Hydrolysis of water hyacinth was done in a rotating reactor with a microwave as a heat source. This study aims to obtain glucose by determining the hydrolysis reaction rate constant of power and sulfuric acid (H_2SO_4) concentration function and to find the best conditions for this hydrolysis process. Several research variables were H_2SO_4 concentration (0.5 N; 1 N; and 1.5 N), microwave power (600 W and 800 W) and reaction time of 60 minutes. Parameters measured were hydrolyzate temperature, glucose, and cellulose content. The hydrolysis reaction rate constant obtained based on the Arrhenius equation was $k=1.30 \times 10^{-2} e^{-132.172/T}$ and the relationship between H_2SO_4 concentration and microwave power was $C = 0.001P$. The best conditions were obtained using 1 N H_2SO_4 and microwave power of 600 W with final glucose content of 486 mg/L.

Keywords: water hyacinth, hydrolysis, *rotating microwave*, Arrhenius equation

Pendahuluan

Eceng gondok merupakan salah satu jenis bahan lignoselulosa yang melimpah dan mudah tumbuh didaerah perairan [1]. Eceng gondok mengandung 64,51% selulosa dan 7,69% lignin, serta mempunyai karakter khusus yaitu kadar selulosa dan bahan organik yang tinggi [2]. Pemanfaatan eceng gondok sebagai bahan baku bioetanol akan menyelesaikan masalah ekosistem perairan dengan mengubahnya menjadi energi alternatif baru yang ramah lingkungan.

Beberapa metode seperti metode fisika (hidrotermolisis), kimia (pelarut asam dan basa), fisika-kimia (ledakan uap), dan biologi (enzim) telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi hidrolisis pada lignoselulosa. Diantara metode ini penggunaan H_2SO_4 terbukti sangat efisien untuk meningkatkan sakarifikasi sehingga dapat menghasilkan gula yang lebih banyak [3].

Sumber energi panas yang dapat digunakan dalam proses hidrolisis adalah *microwave*. Iradiasi *microwave* telah banyak digunakan dalam reaksi kimia, karena memiliki efisiensi pemanasan yang

lebih tinggi, meningkatkan laju reaksi, dan mengurangi waktu reaksi [4]. *Microwave* dapat meningkatkan penghilangan lignin dan memfasilitasi konversi ultrastruktur selulosa dan hemiselulosa sehingga meningkatkan aksesibilitas selulosa menjadi glukosa [5]. Pada penelitian ini, hidrolisis eceng gondok dilakukan dalam sebuah reaktor berputar yang diiradiasi oleh *microwave* untuk menghasilkan glukosa dan menentukan kondisi terbaik reaksi hidrolisis eceng gondok.

Teori

Lignoselulosa sebagai penyusun dinding sel tanaman eceng gondok terdiri dari polimer selulosa dan hemiselulosa yang dilindungi oleh lignin. Lignoselulosa memiliki bagian kristalin dan amorf. Struktur kristalin tersusun dari rantai glukosa yang saling terikat dengan ikatan 1-4 β glikosida dan ikatan hidrogen antara gugus hidroksil sehingga strukturnya menjadi kokoh. Struktur amorf lignoselulosa adalah hemiselulosa yang tersusun dari glukosa, manosa, galaktosa, xylosa, arabinosa, sejumlah kecil ramnosa dan asam galaktonik. Struktur amorf ini tidak sekuat struktur kristalin sehingga lebih mudah diuraikan melalui proses *pretreatment* [6].

Sebelum dihidrolisis, lignin pada eceng gondok perlu dihilangkan melalui *pretreatment* dengan natrium hidroksida (NaOH). Proses *pretreatment* ini akan memecah lignin dan hemiselulosa serta melarutkannya bersama dengan NaOH. Hilangnya kandungan lignin dan hemiselulosa akan mempermudah enzim masuk ke bahan eceng gondok [1].

Hidrolisis meliputi proses pemecahan polisakarida di dalam biomassa lignoselulosa, yaitu selulosa dan hemiselulosa menjadi monomer gula penyusunnya. Ada dua macam hidrolisis yang digunakan pada pembuatan bioetanol dari bahan baku biomassa, yaitu enzimatis dan hidrolisis asam [7].

Microwave merupakan gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi dari 0,3 sampai 300 GHz [4]. Lignin dapat terpecah menjadi partikel yang lebih kecil dan terlepas dari selulosa pada suhu lebih dari 200 °C. Suhu 200 °C pada *pretreatment* menggunakan *microwave* dapat dicapai dalam waktu sekitar 60 menit [1]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa iradiasi *microwave* dapat merubah ultrastruktur selulosa, menurunkan kadar lignin dan hemiselulosa, serta meningkatkan kerentanan enzimatis pada lignoselulosa, sehingga dapat meningkatkan efisiensi hidrolisis, mengurangi kadar gula yang hilang dan meningkatkan konversi bahan pati menjadi glukosa [8].

Pada penelitian ini, *rotating microwave reactor* digunakan sebagai pengganti pengadukan agar campuran dalam reaktor dapat tercampur homogen dan merata. *Rotating microwave reactor* dapat berupa *microwave oven* konvensional yang dimodifikasi dan *microwave chemical reactor* yang dikhususkan untuk eksperimen dengan reaksi katalitik. Salah satu

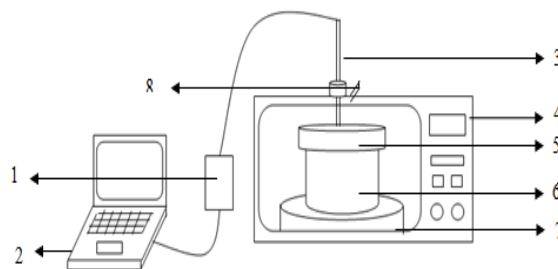
contohnya adalah *microwave reactor* tipe Anton Parr Monowave 300 yang digunakan oleh Chin, dkk (2014) untuk studi kinetika hidrolisis [9].

Metodologi Penelitian

Eceng gondok basah dicuci dengan air bersih lalu dicacah kecil-kecil dan dikeringkan di bawah sinar matahari selama 3 hari. Setelah itu, dikeringkan kembali di dalam oven untuk mengurangi kelembabannya. Eceng gondok kering dihaluskan hingga menjadi tepung. Delignifikasi dilakukan dengan memasukkan tepung eceng gondok sebanyak 30 g ke dalam *beaker glass* dan ditambahkan 330 mL NaOH 5% [2], lalu dipanaskan pada suhu 100°C selama 2 jam. Setelah pemanasan, residu eceng gondok disaring dan dicuci dengan *aquadest* hingga pH netral. Kemudian residu dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C [10] untuk mengurangi kadar air hingga diperoleh selulosa dengan berat konstan dan disimpan dalam desikator.

Setelah delignifikasi, dilakukan penentuan konsentrasi selulosa. Eceng gondok yang sudah didelignifikasi sebanyak 2 g ditambahkan dengan 75 mL larutan NaOH 17,5% dan diaduk secara perlahan selama 10 menit. Kemudian ditambahkan kembali 25 mL NaOH 17,5% dan diaduk selama 10 menit. Setelah 30 menit dari langkah pertama dilakukan, ditambahkan 100 mL *aquadest*. Larutan didiamkan selama 30 menit dan diambil filtratnya. Selanjutnya, alfa, beta, dan gamma selulosa ditentukan berdasarkan TAPPI Standard T 203 C [11].

Selulosa dihidrolisis menggunakan H_2SO_4 (0,5 N; 1 N; dan 1,5 N) dengan perbandingan 1:20 (g/ mL) [9] di dalam *rotating microwave reactor* (ME731K, 230 V, 20 L), seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Hidrolisis dilakukan dengan variasi daya 600 W dan 800 W selama 60 menit. Suhu selama proses hidrolisis diukur dengan menggunakan termokopel tipe K (ukuran Krupp dan Closs 3 mm x 300 mm). Setelah proses hidrolisis selesai, hidrolisat dipisahkan dari residu eceng gondok. Hidrolisat yang diperoleh dianalisis konsentrasi glukosanya menggunakan Spektrofotometer UV-VIS dengan metode *Dinitrosalicylic Acid* (DNS).



Gambar 1. Rangkaian peralatan (1) detektor suhu, (2) laptop, (3) termokopel tipe K, (4) *microwave oven*, (5) tutup reaktor, (6) reaktor, (7) *rotating plate*, (8) pipa sampling

Sebanyak 1 mL reagen DNS ditambahkan ke dalam 1 mL sampel pada tabung uji tertutup. Campuran dipanaskan selama 5 menit pada air mendidih. Setelah pendinginan hingga temperatur ruangan, absorbansinya diukur pada panjang gelombang 540 nm [12]. Selanjutnya, nilai absorbansi dimasukkan ke kurva standar untuk mengetahui nilai konsentrasi glukosa yang diperoleh.

Hasil

Analisis Alfa Selulosa Bahan Baku setelah Delignifikasi

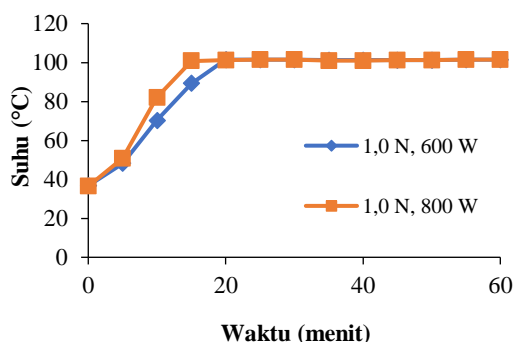
Tabel 1 menunjukkan kadar alfa selulosa eceng gondok yang telah didelignifikasi pada sampel dan perlakuan yang sama sebanyak 5 kali. NaOH yang digunakan pada delignifikasi mampu melarutkan lignin dan merusak struktur selulosa sehingga serat-serat selulosa semakin longgar dan mudah dihidrolisis. NaOH melarutkan bentuk selulosa lain seperti beta selulosa dan gamma selulosa dan hanya menyisakan alfa selulosa [13].

Tabel 1. Kadar alfa selulosa eceng gondok setelah delignifikasi

No.	Kadar Alfa Selulosa (%)	Rata-Rata Kadar Alfa Selulosa (%)
1	96,98	96,79
2	96,71	
3	96,71	
4	96,43	
5	97,12	

Pengaruh Daya Rotating Microwave terhadap Suhu Reaksi Hidrolisis

Gambar 2 menunjukkan pengaruh daya *microwave* terhadap suhu hidrolisis. Penggunaan daya 600 W dan 800 W menyebabkan peningkatan suhu yang tidak jauh berbeda. Pada daya 800 W terjadi peningkatan suhu hingga mencapai konstan pada menit ke-20 dengan suhu akhir 102 °C, sedangkan pada daya 600 W mengalami peningkatan suhu hingga mencapai konstan pada menit ke-15 dengan suhu akhir 101,75 °C pada hidrolisis menggunakan H₂SO₄ 1 N.



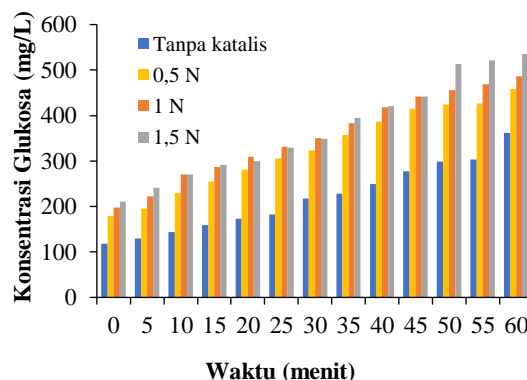
Gambar 2. Pengaruh daya rotating microwave terhadap suhu reaksi

Kenaikan suhu adalah akibat dari kemampuan bahan dan pelarut untuk menyerap energi dari *microwave* [14]. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa suhu hidrolisis mencapai 102 °C hanya dalam waktu 20 menit iradiasi. Peningkatan suhu hingga mencapai konstan menunjukkan bahwa kestabilan pemanasan yang diterima pada serat selulosa dengan suhu akhir melebihi titik didih *aquadest*, hidrolisis pada suhu ini dapat mempercepat pemecahan struktur selulosa menjadi glukosa.

Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat terhadap Pembentukan Glukosa

Reaksi antara air dan selulosa berjalan sangat lambat sehingga diperlukan bantuan katalisator untuk meningkatkan keaktifan air, seperti penggunaan H₂SO₄. Gambar 3 menunjukkan pengaruh konsentrasi H₂SO₄ terhadap pembentukan glukosa, semakin besar konsentrasi H₂SO₄ yang digunakan maka semakin besar konsentrasi glukosa dalam hidrolisat eceng gondok.

Pada Gambar 3, terlihat bahwa titik optimum konsentrasi H₂SO₄ yang menghasilkan kadar glukosa yang paling besar adalah pada konsentrasi 1 N karena pada konsentrasi 1,5 N, kenaikan kadar glukosa yang didapatkan tidak begitu jauh perbedaannya. Oleh sebab itu, konsentrasi H₂SO₄ 1 N dianggap sebagai konsentrasi terbaik untuk digunakan dalam proses hidrolisis eceng gondok dan untuk selanjutnya menjadi variabel tetap dan digunakan untuk mengetahui variabel penelitian yang lainnya.

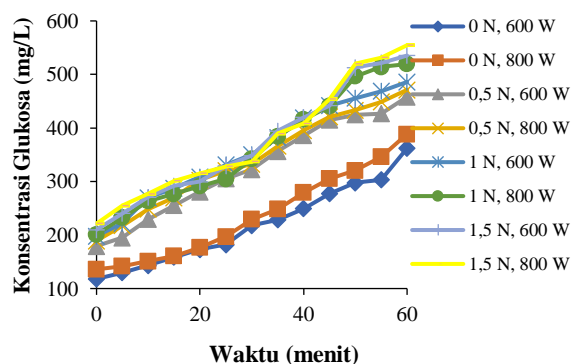


Gambar 3. Pengaruh konsentrasi asam sulfat terhadap pembentukan glukosa

Pengaruh Waktu Reaksi terhadap Pembentukan Glukosa

Konsentrasi glukosa yang terbentuk berbanding lurus dengan waktu reaksi, namun setiap reaksi memiliki waktu optimum dimana reaktannya telah habis bereaksi sehingga produk yang dihasilkan akan menurun. Gambar 4 menunjukkan pengaruh waktu terhadap konsentrasi glukosa yang terbentuk, semakin lama waktu reaksinya maka glukosa yang terbentuk semakin banyak.

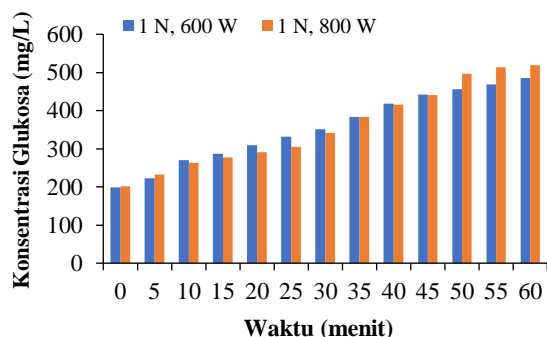
Semakin lama waktu hidrolisis maka kandungan glukosa pada produk hidrolisis akan semakin meningkat karena kontak antara reaktan akan semakin sering terjadi dan dapat meningkatkan konversi reaktan menjadi produk [15]. Pada penggunaan H_2SO_4 1,5 N dan daya 800 W terjadi fluktuasi pada menit ke-30, hal ini dapat disebabkan oleh kurang homogenya sampel dengan reagen DNS sehingga absorbansi yang terukur pada spektrofotometer kurang tepat.



Gambar 4. Pengaruh waktu reaksi terhadap pembentukan glukosa

Pengaruh Daya *Rotating Microwave* terhadap Pembentukan Glukosa

Daya *rotating microwave* berbanding lurus dengan suhu, dimana semakin tinggi daya yang digunakan maka semakin cepat kenaikan suhu yang terjadi. Semakin tinggi suhu maka akan meningkatkan laju reaksi yang disebabkan oleh semakin banyak monomer glukosa yang akan terlepas dari ikatannya dan perolehan glukosa pun akan semakin tinggi [16]. Gambar 5 menunjukkan pengaruh daya *microwave* terhadap pembentukan glukosa.



Gambar 5. Pengaruh waktu reaksi terhadap pembentukan glukosa

Daya *microwave* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kadar glukosa eceng gondok. Hal ini dikarenakan semakin besar daya, maka suhu operasi meningkat dan laju reaksi menjadi semakin besar. Konsentrasi glukosa yang dihasilkan pada daya

600 W dan 800 W tidak jauh berbeda. Ketika suhu naik, tingkat polimerisasi rantai selulosa menurun, rantai selulosa yang panjang akan terputus menjadi kelompok rantai molekul yang lebih pendek dan melepas glukosa yang terdegradasi menjadi produk samping, maka penting untuk menentukan daya *microwave* yang digunakan agar terhindar dari pemborosan energi [4]. Daya *microwave* optimum yang diperoleh adalah pada daya 600 W karena dapat menghasilkan konsentrasi glukosa yang tinggi dan lebih optimal.

Kinetika Laju Reaksi Hidrolisis Eceng Gondok Menggunakan *Rotating Microwave* Reaktor

Pengaruh daya *microwave* dan konsentrasi H_2SO_4 pada konstanta laju reaksi hidrolisis eceng gondok dimana selulosa terkonversi menjadi glukosa dapat ditinjau dengan melakukan analisis kinetika pada laju hidrolisis. Nilai konstanta laju reaksi dan orde laju reaksi dapat ditentukan dengan membuat grafik hubungan antara konsentrasi selulosa dan waktu hidrolisis. Orde reaksi yang diperoleh adalah reaksi orde satu, untuk profil kinetika reaksi orde satu dapat dilihat pada Gambar 6. Jika ditinjau dengan persamaan regresi linier maka didapatkan nilai R^2 seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

Nilai R^2 yang terbaik untuk profil kinetika adalah yang terbesar atau mendekati 1 ($R \approx 1$) dan profil kinetika membentuk garis lurus [17]. Oleh karena itu, persamaan orde satu dapat digunakan untuk menghitung konstanta laju reaksi hidrolisis.

Tabel 2. Nilai R^2 reaksi hidrolisis orde satu

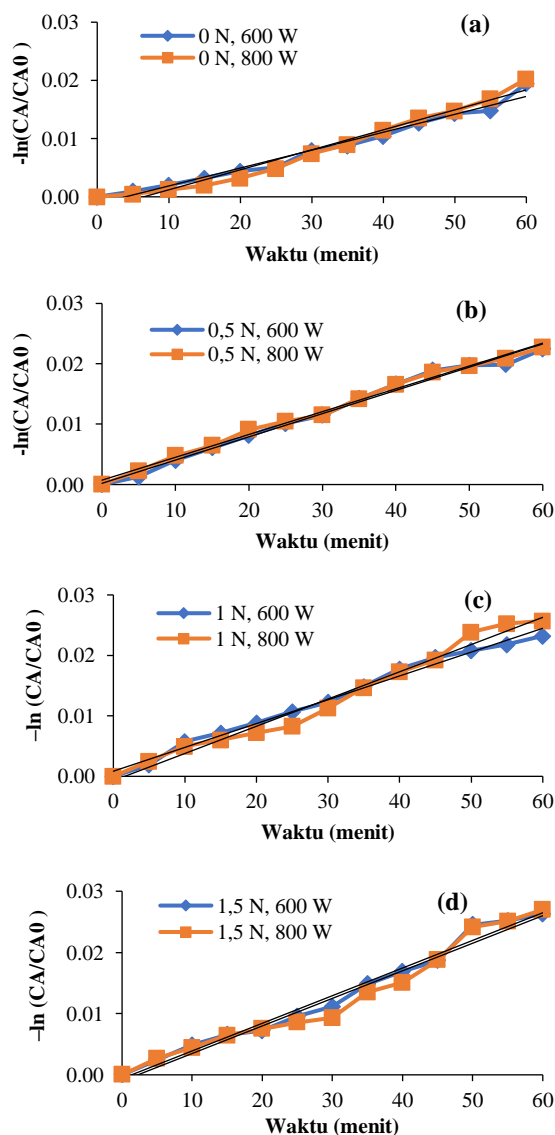
No.	Konsentrasi H_2SO_4 (N)	Daya (W)	R^2	k (menit ⁻¹)
1	0	600	0,9747	30×10^{-5}
2	0	800	0,9714	30×10^{-5}
3	0,5	600	0,9829	40×10^{-5}
4	0,5	800	0,9940	40×10^{-5}
5	1,0	600	0,9896	40×10^{-5}
6	1,0	800	0,9813	50×10^{-5}
7	1,5	600	0,9822	50×10^{-5}
8	1,5	800	0,9657	50×10^{-5}

Pengaruh Suhu pada Kinetika Reaksi Hidrolisis

Hubungan antara suhu dan konversi reaktan adalah linier, dengan membuat regresi linier berdasarkan data operasi maka diperoleh beberapa persamaan seperti pada Tabel 3. Hasil pada Tabel 3 diperoleh dari perlakuan hidrolisis yang sama seperti pada Tabel 2 secara berurutan.

Nilai SSE paling kecil diperoleh pada variasi 1,0 N H_2SO_4 dan daya 600 W, sehingga dapat disimpulkan bahwa persamaan yang diperoleh dapat digunakan untuk kondisi operasi sesuai dengan penelitian. Persamaan (1) merupakan persamaan yang paling mewakili pengaruh suhu terhadap kinetika reaksi hidrolisis eceng gondok.

$$k = 1,30 \times 10^{-2} \exp \frac{-132,172}{T} \quad \text{..... (1)}$$



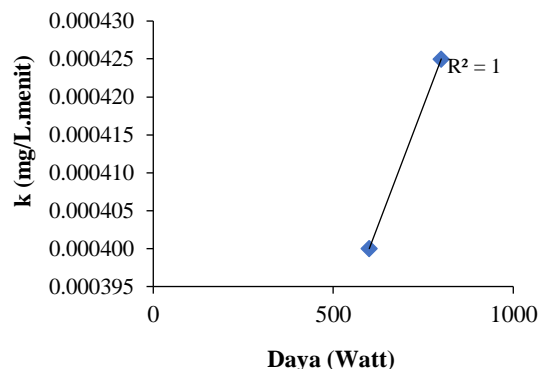
Gambar 6. Grafik reaksi orde satu (a) tanpa katalis (b) 0,5 N (c) 1,0 N (d) 1,5 N H₂SO₄

Penentuan Konstanta Laju Reaksi Hidrolisis Fungsi Daya

Data yang diperlukan untuk menentukan konstanta ini adalah konstanta laju reaksi hidrolisis fungsi waktu berdasarkan daya *microwave* yang ditunjukkan pada Tabel 4. Berdasarkan data Tabel 4, maka nilai konstanta daya dapat diplot seperti pada Gambar 7 untuk mendapatkan persamaan regresi. Gambar 7 menunjukkan tren konstanta laju reaksi hidrolisis fungsi daya, dari grafik tersebut diperoleh persamaan regresi linier yang ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$k = (1 \times 10^{-7} (P)) + (3 \times 10^{-4}) \quad \text{..... (2)}$$

Konstanta laju reaksi hidrolisis fungsi daya dinotasikan dengan k (menit⁻¹) dan daya *rotating microwave* dinotasikan dengan P (W).



Gambar 7. Grafik konstanta laju reaksi hidrolisis fungsi daya

Gambar 8 menunjukkan tren konstanta laju reaksi hidrolisis fungsi konsentrasi katalis asam sulfat yang diperoleh dengan menggunakan data pada Tabel 5. Dari Gambar 8 diperoleh persamaan regresi linier seperti pada Persamaan (3).

$$k = (1 \times 10^{-4} (C)) + (3 \times 10^{-4}) \quad \text{..... (3)}$$

Konstanta laju reaksi hidrolisis fungsi konsentrasi H₂SO₄ dinotasikan dengan k (menit⁻¹) dan konsentrasi H₂SO₄ dinotasikan dengan C (N).

Tabel 3. Persamaan Arrhenius

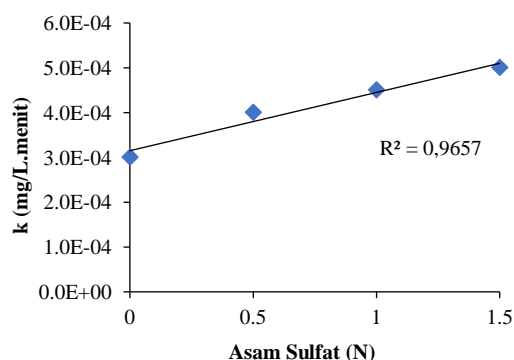
Persamaan T	Persamaan Arrhenius	SSE
T = 30 + 0,455.C _{A0} .X	k = 9,50 x 10 ⁻³ exp $\frac{-133,682}{T}$	0,819
T = 30 + 0,431.C _{A0} .X	k = 1,12 x 10 ⁻² exp $\frac{-142,045}{T}$	6,071
T = 30 + 0,346.C _{A0} .X	k = 1,27 x 10 ⁻² exp $\frac{-134,714}{T}$	0,424
T = 30 + 0,347.C _{A0} .X	k = 1,21 x 10 ⁻³ exp $\frac{-130,610}{T}$	0,266
T = 30 + 0,327.C _{A0} .X	k = 1,30 x 10 ⁻² exp $\frac{-132,172}{T}$	0,173
T = 30 + 0,306.C _{A0} .X	k = 1,39 x 10 ⁻² exp $\frac{-131,205}{T}$	0,219
T = 30 + 0,303.C _{A0} .X	k = 1,39 x 10 ⁻² exp $\frac{-130,306}{T}$	0,300
T = 30 + 0,310.C _{A0} .X	k = 1,36 x 10 ⁻² exp $\frac{-130,034}{T}$	0,346

Tabel 4. Konstanta laju reaksi hidrolisis fungsi daya

Daya (Watt)	Konsentrasi H ₂ SO ₄ (N)	k (mg/L.menit)	k rata-rata (mg/L.menit)
600	0	30 x 10 ⁻⁵	40 x 10 ⁻⁵
	0,5	40 x 10 ⁻⁵	
	1,0	40 x 10 ⁻⁵	
	1,5	50 x 10 ⁻⁵	
800	0	30 x 10 ⁻⁵	42,5 x 10 ⁻⁵
	0,5	40 x 10 ⁻⁵	
	1,0	50 x 10 ⁻⁵	
	1,5	50 x 10 ⁻⁵	

Tabel 5. Konstanta laju reaksi hidrolisis fungsi konsentrasi asam sulfat

Daya (Watt)	Konsentrasi H ₂ SO ₄ (N)	k (menit ⁻¹)	k rata-rata (menit ⁻¹)
600 800	0	30 x 10 ⁻⁵ 30 x 10 ⁻⁵	30 x 10 ⁻⁵
600 800	0,5	40 x 10 ⁻⁵ 40 x 10 ⁻⁵	40 x 10 ⁻⁵
600 800	1,0	40 x 10 ⁻⁵ 50 x 10 ⁻⁵	45 x 10 ⁻⁵
600 800	1,5	50 x 10 ⁻⁵ 50 x 10 ⁻⁵	50 x 10 ⁻⁵

**Gambar 8. Grafik konstanta laju reaksi hidrolisis fungsi konsentrasi asam sulfat**

Hubungan Konsentrasi Katalis Asam Sulfat dengan Daya Rotating Microwave

Hubungan antara konsentrasi katalis H₂SO₄ (C) dan daya rotating microwave reactor (P) dapat ditentukan dengan mensubstitusikan Persamaan (2) ke Persamaan (3), maka diperoleh Persamaan (4).

$$C = 1 \times 10^{-3} (P) \quad \dots (4)$$

Persamaan (4) menunjukkan bahwa jika menggunakan daya rotating microwave yang besar maka konsentrasi H₂SO₄ yang digunakan harus rendah untuk menghasilkan proses hidrolisis yang optimal.

Perbandingan Hasil Hidrolisis Eceng Gondok

Hidrolisis eceng gondok dengan cara fermentasi menggunakan *Trichoderma viride* menghasilkan glukosa optimum sebesar 1,3864 mg/L pada suhu 35 °C dan waktu fermentasi 96 jam [18]. Xia, dkk (2013) melakukan hidrolisis enzimatis eceng gondok dengan perlakuan awal asam encer menggunakan microwave, ketika 20 g/L eceng gondok diberi perlakuan awal microwave dengan 1% H₂SO₄ pada 140 °C selama 15 menit dan kemudian dihidrolisis secara enzimatis menggunakan selulosa, diperoleh hasil gula reduksi maksimum sebesar 48,3 g/100 g eceng gondok [19]. Lin, dkk (2018) menemukan bahwa hidrolisis eceng gondok dengan sistem pemanas microwave (Pree Kem APEX) dapat mengurangi waktu hidrolisis hingga 32%-40% dan meningkatkan kecepatan hidrolisis hingga 62% dibandingkan metode pemanasan tradisional (laju sakarifikasi menjadi 13,94%) dengan konsentrasi gula optimal 4650 mg/L [20]. Pada penelitian ini, glukosa optimum yang diperoleh adalah 486 mg/L dengan perlakuan H₂SO₄ 1 N, 600 W, dan 60 menit. Hidrolisis dengan bantuan microwave telah terbukti dapat mengurangi waktu hidrolisis dan meningkatkan kecepatan hidrolisis.

Kesimpulan

Kadar alfa selulosa yang diperoleh pada penelitian ini setelah eceng gondok didelignifikasi adalah 96,79%. Kondisi proses hidrolisis eceng gondok terbaik yang diperoleh adalah pada penggunaan katalis H₂SO₄ 1 N dan daya microwave 600 W dengan kandungan glukosa akhir sebesar 486 mg/L. Konstanta laju reaksi hidrolisis berdasarkan persamaan Arrhenius adalah $k = 1,30 \times 10^{-2} e^{-132,172/T}$ dan hubungan konsentrasi katalis asam sulfat dengan daya microwave adalah $C = 0,001P$.

Daftar Pustaka

- [1] Elwin, M. Lutfi, and Y. Hendrawan, "Analisis pengaruh waktu pretreatment dan konsentrasi naoh terhadap kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa eceng gondok pada proses pretreatment pembuatan bioetanol," *J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 2, no. 2, pp. 110–116, 2014.
- [2] R. Moeksin, L. Comerioresi, and R. Damayanti, "Pembuatan bioetanol dari eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan perlakuan fermentasi," *J. Tek. Kim.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–9, 2016.
- [3] J.C. Chen and J.S. Guo, "Improving the conversion efficiency of waste cotton to bioethanol by microwave hydrolysis technology," *Sustain. Environ. Res.*, vol. 23, pp. 333–339, Jan. 2013.
- [4] M. E. Saleem, R. Omar, S. M. M. Kamal, and

- D. R. A. Biak, "Microwave-assisted pretreatment of lignocellulosic biomass: A review," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 10, pp. 97–109, 2015.
- [5] I. Madinah and M. Sarah, "Microwave assisted hydrolysis of oil palm empty fruit bunch: effect of wave distance sources, power, time and acid concentration," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 543, no. 1, pp. 0–7, 2019.
- [6] F. Merina and Y. Trihadiningrum, "Produksi bioetanol dari eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan *Zymomonas mobilis* dan *Saccharomyces cerevisiae*," in *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XIII*, 2011, vol. 2, pp. 1–9.
- [7] A. R. Fachry, P. Astuti, and T. G. Puspitasari, "Pembuatan bioetanol dari limbah tongkol jagung dengan variasi konsentrasi asam klorida dan waktu fermentasi," *J. Tek. Kim.*, vol. 19, no. 1, pp. 60–69, 2013.
- [8] S. M. Nomanbhay, R. Hussain, and K. Palanisamy, "Microwave-assisted alkaline pretreatment and microwave assisted enzymatic saccharification of oil palm empty fruit bunch fiber for enhanced fermentable sugar yield," *J. Sustain. Bioenergy Syst.*, vol. 03, no. 01, pp. 7–17, 2013.
- [9] S. X. Chin, C. H. Chia, Z. Fang, S. Zakaria, X. K. Li, and F. Zhang, "A kinetic study on acid hydrolysis of oil palm empty fruit bunch fibers using a microwave reactor system," *Energy and Fuels*, vol. 28, no. 4, pp. 2589–2597, 2014.
- [10] P. Coniwanti, S. Novalina, and I. K. Putri, "Pembuatan pulp eceng gondok melalui proses Organosolv," *J. Tek. Kim.*, vol. 16, no. 4, pp. 34–41, 2009.
- [11] TAPPI, *Alpha-, beta- and gamma-cellulose in pulp Test Methods T 203 cm-99*. Atlanta: Technical Association of the Pulp and Paper Industry. pp. 5–9, 1999.
- [12] S. M. D. Kolo and E. Edi, "Hidrolisis ampas biji sorgum dengan microwave untuk produksi gula pereduksi sebagai bahan baku bioetanol," *J. Saintek Lahan Kering*, vol. 1, no. 2, pp. 22–23, 2018.
- [13] I. G. N. J. A. Prasetya, I. D. A. Yuliandari, D. G. Ulandari, C. I. S. Arisanti, and A. A. I. S. H. Dewandari, "Evaluasi kandungan selulosa mikrokristal dari jerami padi (*Oryza sativa* L.) Varietas IR64," *J. Kim.*, p. 97, 2018.
- [14] N. Erliyanti and E. Rosyidah, "Pengaruh daya microwave terhadap yield pada ekstraksi minyak atsiri dari bunga kamboja (*Plumeria Alba*) menggunakan metode microwave hydrodistillation," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 8, no. 3, pp. 175–178, 2017.
- [15] M. Muhaimin, B. Wulan Febriana, and S. Arfan, "Reaction kinetics in conversion process of pineapple leaves into glucose," *Reaktor*, vol. 18, no. 03, pp. 155–159, 2018.
- [16] Z. S. Osvaldo, P. S. Putra, and M. Faizal, "Pengaruh konsentrasi asam dan waktu pada proses hidrolisis dan fermentasi pembuatan bioetanol dari alang-alang," *J. Tek. Kim.*, vol. 18, no. 2, pp. 52–62, 2012.
- [17] S. F. Salleh, R. Yunus, M. F. Atan, D. Radiah, and A. Biak, "Kinetic Studies on acid hydrolysis of OPEFB in a batch reactor," in *2012 3rd International Conference on Chemistry and Chemical Engineering*, 2012, vol. 38, pp. 132–136.
- [18] P. R. Sarjono, N. S. Mulyani, and W. S. Setyani, "Kadar glukosa dari hidrolisis selulosa pada eceng gondok menggunakan trichoderma viride dengan variasi temperatur dan waktu fermentasi," *Molekul*, vol. 7, no. 2, p. 163, 2012.
- [19] A. Xia, J. Cheng, W. Song, C. Yu, J. Zhou, and K. Cen, "Enhancing enzymatic saccharification of water hyacinth through microwave heating with dilute acid pretreatment for biomass energy utilization," *Energy*, vol. 61, pp. 158–166, 2013.
- [20] Y. C. Lin, S. Shangdiar, S. C. Chen, F. C. Chou, Y. C. Lin, and C. A. Cho, "Microwave irradiation with dilute acid hydrolysis applied to enhance the saccharification rate of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)," *Renew. Energy*, vol. 125, pp. 511–517, 2018.