

# KINETIKA REAKSI HIDROLISIS ENZIMATIS SELULOSA MENJADI GLUKOSA DARI KULIT DURIAN (*DURIO ZIBETHINUS RUMPH*) MENGGUNAKAN ENZIM SELULASE

Eka Ferdinda Putri Ayu Maharani\*, Meri Agustina, Sri Redjeki, Srie Muljani, Caecilia Pujiastuti

Teknik Kimia, Fakultas Teknik Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur  
Jalan Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia 60294, Telp. (031)8782179

\*Penulis Korespondensi: ekaferdinda@gmail.com

## Abstrak

Produksi durian di Indonesia yang melimpah menimbulkan pencemaran lingkungan oleh limbah kulit durian sehingga diperlukan adanya pemanfaatan kulit durian. Kulit durian mengandung 50-60% selulosa, 5% lignin, 5% pati, dan senyawa lainnya. Kandungan selulosa pada kulit durian ini dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan glukosa dengan metode hidrolisis enzimatis yang dilakukan pada kondisi pH 5, konsentrasi enzim selulase 10%, suhu 50°C, dan kecepatan pengadukan 160 rpm. Optimalisasi proses hidrolisis enzimatis bergantung pada pemahaman kinetika reaksinya yang memberikan informasi tentang laju reaksi dan efisiensi konversi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan persamaan kinetika reaksi hidrolisis enzimatis selulosa menjadi glukosa dari kulit durian menggunakan enzim selulase serta mengetahui pengaruh konsentrasi substrat dan waktu hidrolisis terhadap konsentrasi produk. Konsentrasi substrat dan waktu hidrolisis memiliki hubungan berbanding lurus terhadap konsentrasi produk. Pada konsentrasi substrat 5% dan waktu 180 menit diperoleh konsentrasi produk tertinggi sebesar 1,7%. Penelitian ini dilakukan dengan waktu hidrolisis 60, 90, 120, 150, dan 180 menit serta variasi konsentrasi substrat 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Konversi reaksi hidrolisis enzimatis selulosa menjadi glukosa pada konsentrasi substrat 1% sebesar 69,43% dengan persamaan laju reaksi yaitu  $-r_A = r_R = 0,1278 \frac{C_{E_0}C_A}{0,0029+C_A}$

**Kata kunci :** Kulit durian, hidrolisis enzimatis, kinetika reaksi, *Michaelis-Menten*

## Abstract

The production of durian in Indonesia causes pollution of the environment by durian skin waste, so it is necessary to utilize durian skin. Durian skin contains 50-60% cellulose, 5% lignin, 5% starch, and other compounds. The cellulose content in durian peel is utilized for making glucose by enzymatic hydrolysis method carried out under pH 5 conditions, 10% cellulase enzyme concentration, 50°C temperature, and 160 rpm stirring speed. Optimization of the enzymatic hydrolysis process depends on understanding the reaction kinetics that provide information about the reaction rate and conversion efficiency. This study aims to determine the reaction kinetics equation of enzymatic hydrolysis of cellulose to glucose from durian peel using cellulase enzyme and determine the effect of substrate concentration and hydrolysis time on product concentration. Substrate concentration and hydrolysis time have a directly proportional relationship to product concentration. At 5% substrate concentration and 180 minutes, the highest product concentration of 1.7% was obtained. This study was conducted with hydrolysis times of 60, 90, 120, 150, and 180 minutes and variations in substrate concentrations of 1%, 2%, 3%, 4%, and 5%. The conversion of enzymatic hydrolysis of cellulose to glucose at 1% substrate concentration was 69.43% with a reaction rate equation of  $-r_A = r_R = 0,1278 \frac{C_{E_0}C_A}{0,0029+C_A}$

**Key words :** Durian peel, enzymatic hydrolysis, reaction kinetics, *Michaelis-Menten*

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu penghasil durian terbesar di Asia Tenggara. Produksi durian di Indonesia mencapai sekitar 870.000 ton. Setiap satu buah durian menghasilkan sekitar limbah sebesar 60-70% berupa kulit sehingga dengan jumlah produksi 870.000 ton, menghasilkan sekitar 522.000 hingga 609.000 ton limbah kulit durian per tahun. Tanaman durian banyak ditemukan di Jawa Timur, Kabupaten Nganjuk. Menurut data Badan Pusat Statistik Kabupaten Nganjuk, Kabupaten tersebut dapat memproduksi durian kurang lebih 2.827 ton pada tahun 2021. Durian Mothong (*Durio zibethinus* Rumph) merupakan buah tropis yang memiliki cita rasa dan aroma yang khas serta paling diminati masyarakat Indonesia.

Produksi durian di Indonesia yang melimpah menimbulkan masalah lingkungan berupa limbah kulit durian. Limbah ini sering kali hanya berakhir di tempat pembuangan sampah atau dibakar, yang dapat menyebabkan masalah lingkungan, seperti pencemaran tanah (Purnamasari et al., 2020). Kulit durian yang dibiarkan menumpuk dalam jumlah besar dapat menjadi tempat berkembang biaknya bakteri dan jamur yang berpotensi mencemari lingkungan sekitar. Oleh karena itu, diperlukan adanya pemanfaatan limbah durian untuk mengurangi dampak buruk bagi lingkungan. Kulit buah durian mengandung selulosa yang cukup tinggi. Menurut Nursita (2022) kulit durian mengandung selulosa yang tinggi sebesar 50-60% dan mengandung lignin sebesar 5% serta kandungan pati yang rendah sebesar 5%. Selulosa merupakan jenis polisakarida dengan rumus kimia  $(C_6H_{10}O_5)_n$  yang tersusun dari beberapa monomer monosakarida salah satunya adalah glukosa dengan rumus kimia  $C_6H_{12}O_6$ .

Potensi selulosa sebagai bahan baku hidrolisis untuk produksi glukosa sangat besar. Hal ini mengacu pada penelitian Ana (2015) mengenai hidrolisis kulit durian dengan kadar selulosa sebesar 69,5% menghasilkan glukosa dengan kadar 61,427%. Salah satu metode untuk mengkonversi selulosa menjadi glukosa adalah melalui hidrolisis enzimatis menggunakan enzim selulase. Hal ini dikarenakan menurut penelitian Fuadi (2017), pembuatan glukosa dari kertas bekas dengan metode hidrolisis enzimatis dengan enzim selulase menghasilkan 35,06 mg glukosa selama 4 jam sedangkan hidrolisis asam menghasilkan 0,097 mg glukosa selama 4 jam. Selain itu, menurut Gunam (2011), metode hidrolisis enzimatis tidak menyebabkan degradasi gula hasil hidrolisis karena dilakukan pada temperature dan tekanan rendah serta ramah lingkungan. Rantai polisakarida dapat dipecahkan secara enzimatis melalui hidrolisis. Kulit durian memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi namun belum dimanfaatkan menjadi produk

glukosa secara optimal. Optimalisasi proses hidrolisis enzimatis ini sangat bergantung pada pemahaman kinetika reaksinya, yang dapat memberikan informasi penting tentang laju reaksi dan efisiensi konversi. Apabila laju reaksi optimal dan efisiensi konversi tinggi maka akan menghasilkan produk akhir glukosa semakin tinggi. Penelitian hidrolisis selulosa dari tongkol jagung pada kondisi operasi suhu 50°C, pH 6, dan konsentrasi substrat awal 10% (%w/w) diperoleh nilai konstanta kinetika reaksi (k) sebesar 0,0002 dan konstanta *Michaelis-Menten* sebesar 0,2392.

Menurut Adrian (2020), faktor yang mempengaruhi proses hidrolisis enzimatis, yaitu: konsentrasi enzim, ukuran partikel, suhu, pH, waktu hidrolisis, konsentrasi substrat, dan pengadukan. Faktor tersebut juga dapat mempengaruhi kinetika reaksi dari hidrolisis enzimatis selulosa. Menurut Aprilyanti (2019), waktu hidrolisis yang lebih lama dapat menghasilkan kadar glukosa yang lebih banyak seiring dengan volume enzim yang ditambahkan. Hal ini dikarenakan lebih banyak sisi aktif enzim selulase yang bekerja. Penelitian Irwan (2023) menyatakan bahwa enzim selulase memiliki temperatur optimal sebesar 50°C. Enzim memiliki spesifisitas yang tinggi, sehingga kinerja enzim akan optimal jika substrat yang digunakan cocok dan dalam konsentrasi yang tepat (Rahmawati, 2015). Dengan demikian, diketahui jika waktu hidrolisis serta konsentrasi substrat berpengaruh pada proses hidrolisis enzimatis selulosa menjadi glukosa menggunakan enzim selulase.

Penelitian mengenai kinetika reaksi hidrolisis enzimatis selulosa dari kulit durian menggunakan enzim selulase masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan persamaan kinetika reaksi hidrolisis enzimatis selulosa menjadi glukosa dari kulit durian menggunakan enzim selulase serta mengetahui pengaruh konsentrasi substrat dan waktu hidrolisis terhadap laju reaksi.

## METODE PENELITIAN

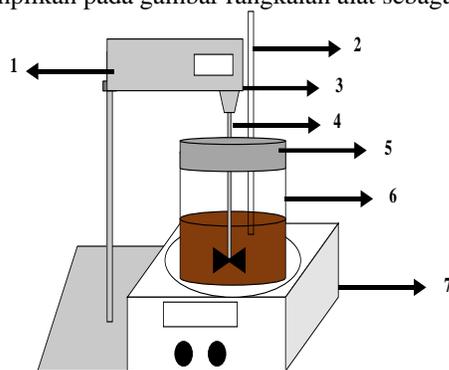
### Bahan Baku

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan berikut limbah kulit durian (*Durio zibethinus*) dari penjual buah durian di Kabupaten Nganjuk, Natrium Hidroksida 98%, Asam Sitrat 99,9%, dan Aquades yang didapatkan dari toko Sumber Ilmiah Persada, Klampis, Surabaya. Enzim Selulase diperoleh secara online melalui platform belanja online.

### Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup berbagai instrumen yang mendukung proses delignifikasi dan hidrolisis enzimatis selulosa.

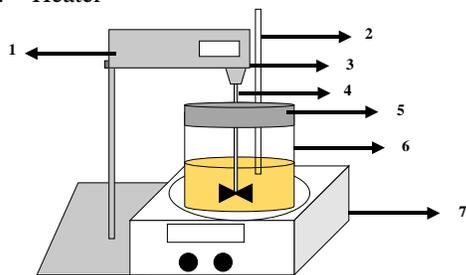
Rangkaian peralatan yang digunakan sebagaimana yang ditampilkan pada gambar rangkaian alat sebagai berikut.



**Gambar 1.** Rangkaian Alat Proses Delignifikasi

Keterangan Alat:

1. Statif
2. Thermometer
3. Motor pengaduk
4. Pengaduk
5. Aluminium foil
6. Fermentor
7. Heater



**Gambar 2.** Rangkaian Alat Proses Delignifikasi

Keterangan Alat:

1. Statif
2. Thermometer
3. Motor pengaduk
4. Pengaduk
5. Aluminium foil
6. Fermentor
7. Heater

## Prosedur

### Preparasi Sampel

Tahap preparasi sampel limbah kulit durian pada penelitian ini dimulai dengan mencuci kulit durian dengan air bersih untuk menghilangkan pengotornya. Kemudian kulit durian monthong (*Durio zibethinus Rumph*) dikeringkan dengan sinar matahari selama kurang lebih 4 hari. Setelah itu, ukuran kulit durian diperkecil hingga seperti serat halus dengan alat disk mill. Kulit durian setelah dilakukan proses pengecilan berupa serat halus.

## Delignifikasi

Proses delignifikasi bertujuan untuk mendegradasi struktur lignin sehingga enzim mudah menghidrolisis selulosa menjadi monomer gula. Padatan kulit durian sebanyak 100 gram ditambahkan 1000 ml NaOH dengan konsentrasi 10% dipanaskan dengan *heater/hot plate* pada suhu 105° C selama waktu 120 menit dan kecepatan pengadukan 160 rpm. Setelah dilakukan proses delignifikasi, padatan/ampas dipisahkan dari filtrat dengan cara disaring dengan kain penyaring. Sebelum disaring sampel didinginkan terlebih dahulu sampai suhu 30°C. Padatan/ampas yang diperoleh kemudian dicuci dengan aquadest hingga pH netral (pH 7) dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 70°C untuk menghilangkan kadar air pada padatan. Padatan kemudian dilakukan uji kadar selulosa dengan metode Chesson-Datta.

## Hidrolisis Enzimatis Selulosa

Substrat (serbuk kulit durian setelah tahap delignifikasi) dilarutkan dalam aquadest 150 ml dengan konsentrasi substrat/selulosa terhadap aquadest sebesar 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% (%w/v). Menghitung massa selulosa yang dibutuhkan adalah dengan persamaan % w/v yaitu massa selulosa dibagi dengan volume larutan (150 mL) kemudian dikali 100%. Setelah mendapatkan nilai massa selulosa kemudian mencari kebutuhan padatan kulit durian/massa kulit durian dengan cara massa selulosa dibagi dengan kadar selulosa pada kulit durian (sesuai hasil uji). Massa kulit durian yang didapat kemudian dilarutkan dengan aquadest hingga 150 mL. Kemudian mengukur pH larutan yaitu 5 (pH optimum hidrolisis enzimatis dengan enzim selulase) dengan menggunakan kertas pH. Apabila terlalu basa, larutan dapat ditambahkan larutan Asam Sitrat (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>) 10%. Apabila terlalu asam, larutan dapat ditambahkan larutan Natrium Hidroksida (NaOH) 10%. Larutan tersebut ditambahkan enzim selulase sebanyak 10 ml dengan konsentrasi 10%. Hidrolisis dilakukan selama variabel waktu 60, 90, 120, 150, dan 180 menit dengan suhu dijaga konstan menggunakan termometer sebesar 50°C dan kecepatan pengadukan 160 rpm. Hasil hidrolisis berupa filtrat disaring menggunakan kertas saring. Filtrat dilakukan uji kadar glukosa filtrat dengan alat refractrometer brix. Kadar glukosa ini digunakan dalam penentuan persamaan kinetika reaksi sebagai (C<sub>R</sub>).

## Model Kinetika

Model kinetika dari reaksi enzimatis dikenal sebagai persamaan Michaelis-Menten yang ditunjukkan pada persamaan

$$-r_A = r_R = k \frac{C_{E0}C_A}{C_M + C_A} \dots \dots \dots (1)$$

Menentukan kinetika reaksi pada reaksi orde satu pada konsentrasi yang tinggi atau oleh orde lain pada konsentrasi yang rendah yaitu pada persamaan :

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} \dots \dots \dots (2)$$

Pada sistem batch persamaan 1 disubstitusikan dengan persamaan 2 sebagai berikut:

$$-\frac{dC_A}{dt} = k_3 \frac{C_{E0}C_A}{C_M + C_A} \dots \dots \dots (3)$$

$$-\frac{dC_A}{C_A} (C_M + C_A) = k_3 C_{E0} dt \dots \dots \dots (4)$$

$$\left(\frac{C_M}{C_A} + 1\right) dC_A = -k_3 C_{E0} dt \dots \dots \dots (5)$$

$$\int_{C_{A0}}^{C_A} \left(\frac{C_M}{C_A} + 1\right) dC_A = -k_3 C_{E0} \int_0^t dt \dots \dots \dots (6)$$

$$\left[ \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{C_M}{C_A} dC_A + \int_{C_{A0}}^{C_A} 1 dC_A \right] = -k_3 C_{E0} \int_0^t dt \dots (7)$$

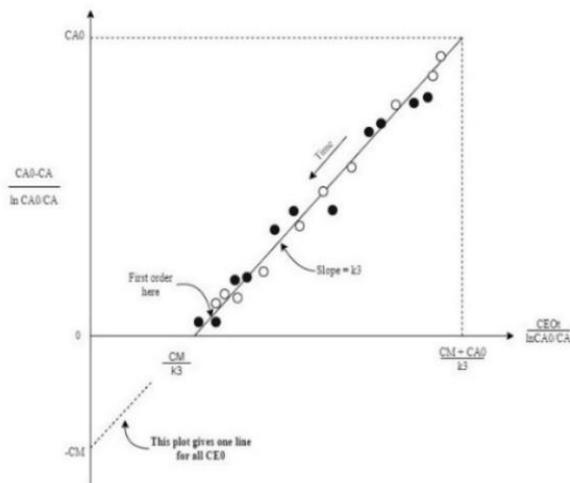
$$\left[ C_M \ln \frac{C_{A0}}{C_A} + (C_{A0} - C_A) \right] = k_3 C_{E0} t \dots \dots \dots (8)$$

$$\left[ \frac{C_M \ln \frac{C_{A0}}{C_A}}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}} + \frac{C_{A0} - C_A}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}} \right] = \frac{k_3 C_{E0} t}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}} \dots \dots \dots (9)$$

$$C_M + \frac{C_{A0} - C_A}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}} = \frac{k_3 C_{E0} t}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}} \dots \dots \dots (10)$$

$$\frac{(C_A - C_{A0})}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}} = -C_M + k_3 C_{E0} \frac{t}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}} \dots \dots \dots (11)$$

Dari persamaan 11, sehingga dapat diplotkan pada grafik sebagai berikut:



**Gambar 3.** Grafik Penentuan Konstanta *Michaelis-Menten*

**Menghitung Konversi**

Perhitungan konsentrasi substrat didapatkan massa selulosa. Mencari mol mula-mula (mol substrat) adalah dengan cara massa selulosa dibagi dengan berat molekul selulosa (162,141 gr/mol). Sedangkan mol produk diperoleh dari konsentrasi produk ( $C_R$ ). konsentrasi

tersebut dikali dengan volume akan diperoleh massa produk/massa glukosa. Untuk mencari mol reaksi maka massa glukosa dibagi dengan berat molekul glukosa (180,156 gr/mol). Kemudian mencari mol sisa dengan cara sebagai berikut:

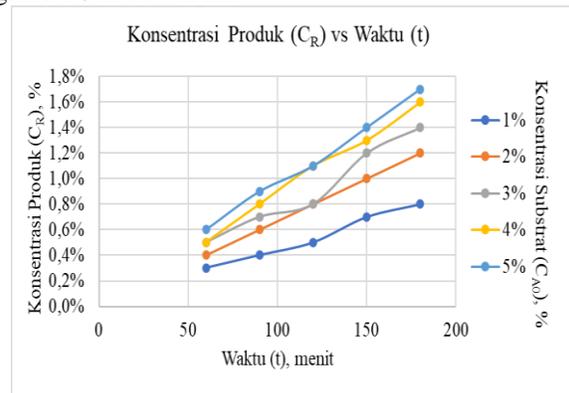
	$(C_6H_{10}O_6)_n$	$\xrightarrow{\text{Enzim Selulase}}$	$nC_6H_{12}O_6$
Mula-mula	x		-
Reaksi	y		y
Sisa	x - y		y

Nilai konversi diperoleh dari mol reaksi dibagi dengan mol mula-mula dikali 100%.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengaruh Waktu Hidrolisis dan Konsentrasi Substrat ( $C_{A0}$ ) terhadap Konsentrasi Produk/Glukosa ( $C_R$ )**

Konsentrasi substrat memiliki hubungan dengan waktu hidrolisis. Pengaruh waktu dan konsentrasi substrat terhadap konsentrasi produk dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini:



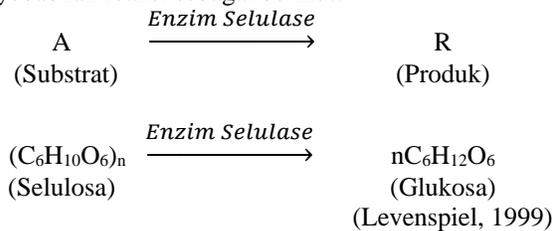
**GAMBAR 4.** Hubungan konsentrasi produk ( $C_R$ ), % dan konsentrasi substrat ( $C_{A0}$ ), % terhadap waktu (t), menit

Gambar 3 menyatakan bahwa waktu hidrolisis berpengaruh pada konsentrasi produk ( $C_R$ ). Banyaknya jumlah glukosa yang dihasilkan disebabkan oleh polisakarida substrat yang terus dipecah menjadi polisakarida seiring waktu hidrolisis. Laju pembentukan glukosa akan melambat setelah mencapai waktu tertentu hingga terhenti disebabkan substrat habis atau enzim mengalami denaturasi. Konsentrasi produk tertinggi pada konsentrasi substrat 5% pada waktu 180 menit sebesar 1,7%. Hal ini menunjukkan semakin lama waktu hidrolisis, maka semakin banyak produk yang dihasilkan dan produk yang dihasilkan akan menurun apabila

konsentrasi substrat telah lewat jenuh. Hal ini berkaitan dengan cara kerja enzim, dimana enzim selulase secara bertahap menghidrolisis selulosa menjadi glukosa. Semakin lama waktu hidrolisis berlangsung maka semakin banyak kontak enzim dan substrat sehingga menghasilkan lebih banyak glukosa. Hal ini sesuai teori Sina (2020), dimana proses hidrolisis selulosa dengan enzim selulase berlangsung dengan waktu yang lama, sehingga konsentrasi glukosa yang dihasilkan meningkat. Hal ini disebabkan oleh waktu kontak yang lebih panjang antara substrat dan enzim, sehingga memungkinkan pembentukan glukosa dalam jumlah yang lebih besar.

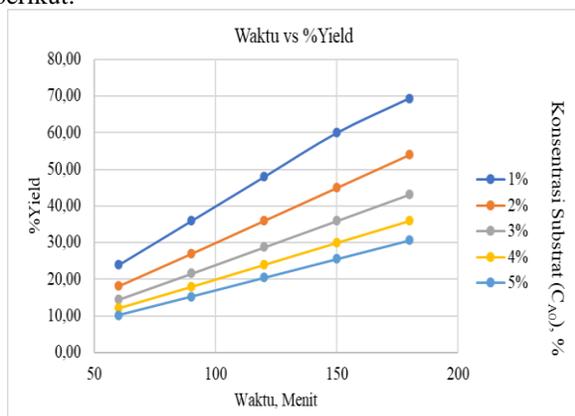
**Pengaruh Waktu Hidrolisis terhadap % Yield**

Hidrolisis enzimatis selulosa menjadi glukosa menyebabkan reaksi sebagai berikut:



Berdasarkan reaksi diatas, dapat diketahui bahwa koefisien stoikiometri antara substrat (selulosa) dan produk (glukosa) adalah 1:1. Hal ini berarti bahwa setiap 1 mol glukosa yang dihasilkan berasal dari 1 mol selulosa yang bereaksi.

Dari hasil konsentrasi produk yang diperoleh maka dapat diketahui konversi dari fermentasi selulosa menjadi glukosa yang dapat dilihat pada gambar 4 sebagai berikut:



**Gambar 5.** Hubungan Waktu (menit) dan % Yield Konversi Glukosa

Nilai konversi selulosa menjadi glukosa yang terbesar adalah pada waktu 180 menit dengan konsentrasi substrat awal 1% yakni diperoleh nilai konversi sebesar Oleh

karena itu, konsentrasi selulosa setiap saat ( $C_A$ ) selama reaksi dapat dihitung dari jumlah glukosa ( $C_R$ ) yang terbentuk setiap saat pula. Hubungan ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C_A = C_{A0} - C_R \dots \dots \dots (12)$$

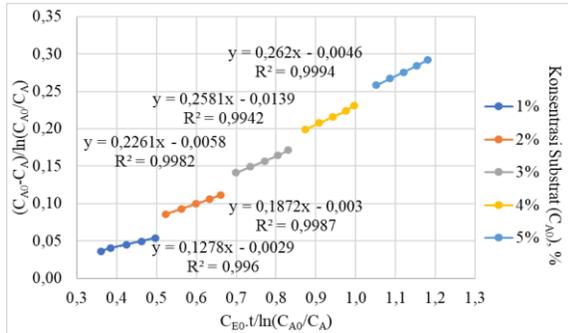
Keterangan:

- $C_A$  = konsentrasi substrat (selulosa) setiap saat (% atau mol/L)
- $C_{A0}$  = konsentrasi substrat (selulosa) awal (% atau mol/L)
- $C_R$  = konsentrasi produk (glukosa) (% atau mol/L)

Gambar 4 diketahui bahwa nilai konsentrasi produk ( $C_R$ ) meningkat dengan meningkatnya konsentrasi substrat ( $C_{A0}$ ) dipengaruhi oleh jumlah selulosa yang tersedia. Seiring berjalannya waktu, selulosa semakin berkurang karena terurai menjadi unit glukosa. Namun, apabila ditinjau dari nilai konversi substrat menjadi produk, nilai konversi cenderung menurun seiring dengan semakin tinggi konsentrasi substrat. Nilai konversi glukosa yang terbesar adalah pada waktu 180 menit dengan konsentrasi substrat awal 1% sebesar 69,43%. Sedangkan nilai konversi terkecil adalah pada waktu 60 menit dengan konsentrasi substrat awal 5% yakni diperoleh nilai konversi sebesar 10,26%. Nilai tersebut diperoleh dengan cara membagi mol glukosa yang terbentuk dengan mol selulosa mula-mula. Hal ini dapat dikarenakan sebagian besar substrat tidak bereaksi akibat saturasi enzim. Hal ini telah sesuai dengan teori, dimana Sahin (2022) menyatakan bahwa saat konsentrasi substrat meningkat, semakin banyak molekul substrat yang berikatan dengan situs aktif (*active sites*) enzim hingga akhirnya seluruh situs aktif menjadi jenuh (enzim mencapai saturasi). Selain itu, Oktavia (2014) juga menyatakan bahwa konsentrasi substrat yang terlalu tinggi dapat menyebabkan enzim selulase tidak mampu menghidrolisis substrat secara optimal, karena enzim telah mencapai kondisi jenuh yang diakibatkan oleh kelebihan substrat dan waktu hidrolisis yang terlalu lama.

**Penentuan Persamaan Michaelis-Menten**

Berdasarkan persamaan (11), diperoleh grafik hubungan antara  $\frac{C_{A0}-C_A}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}}$  dan  $\frac{C_{E0}t}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}}$  untuk variable waktu 60, 90, 120, 150, dan 180 menit dan variabel konsentrasi substrat awal 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% (% w/v). Grafik tersebut digunakan untuk mencari nilai konstanta kecepatan reaksi (k) dan konstanta Michaelis-Menten ( $C_M$ ). Berikut grafik hubungan antara  $\frac{C_{A0}-C_A}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}}$  dan  $\frac{C_{E0}t}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}}$ .



**Gambar 6.** Hubungan  $\frac{C_{A0}-C_A}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}}$  dan  $\frac{C_{E0}t}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}}$

Berdasarkan data pada Gambar 6, diketahui bahwa grafik merupakan garis linier. Persamaan garis linier secara umum adalah  $y = ax + b$  dimana nilai  $a$  merupakan slope dan  $b$  merupakan *intercept*. Nilai slope pada grafik diatas merupakan nilai konstanta kecepatan reaksi ( $k$ ) sedangkan *intercept* merupakan nilai konstanta *Michaelis-Menten* ( $C_M$ ).

**Tabel 1.** Hubungan  $\frac{C_{A0}-C_A}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}}$  dan  $\frac{C_{E0}t}{\ln \frac{C_{A0}}{C_A}}$  tiap satuan waktu

$C_{A0}, \%$	$t, \text{menit}$	$k$	$C_M$
1		0,1278	0,0029
2	60,90,120,	0,1872	0,003
3	150, dan	0,2261	0,0058
4	180	0,2581	0,0139
5		0,262	0,0046

Tabel 1 didapatkan nilai Konstanta Kecepatan Reaksi ( $k$ ) dan Konstanta *Michaelis-Menten* ( $C_M$ ) untuk variasi waktu 60, 90, 120, 150, dan 180 menit. Semakin tinggi konsentrasi substrat, nilai konstanta kecepatan reaksi ( $k$ ) dan nilai Konstanta *Michaelis-Menten* ( $C_M$ ) semakin besar pula. Konstanta kecepatan reaksi ( $k$ ) menggambarkan jumlah mol substrat yang diubah menjadi produk oleh satu enzim per satuan waktu ketika enzim. Sehingga semakin tinggi konsentrasi substrat maka nilai  $k$  akan semakin tinggi pula. Sedangkan Konstanta *Michaelis-Menten* ( $C_M$ ) adalah ukuran afinitas enzim terhadap substrat. Semakin tinggi nilai  $C_M$  maka nilai afinitas enzim rendah sehingga memerlukan konsentrasi substrat yang lebih tinggi agar proses tetap efisien.

Pada konsentrasi 5% nilai  $C_M$  mengalami penurunan jika dibandingkan dengan konsentrasi yang lebih rendah. Hal ini dapat dikarenakan adanya faktor saturasi enzim. Pada kondisi tersebut active sites dari enzim sudah terisi oleh substrat. Active sites merupakan bagian tertentu dari molekul enzim yang memiliki bentuk dan sifat kimia yang spesifik, yang memungkinkan mengikat molekul

substrat. Hal ini telah sesuai dengan teori, dimana Park (2021) menyatakan bahwa ketika konsentrasi substrat meningkat, jumlah kompleks enzim-substrat yang terbentuk juga meningkat, sehingga menghasilkan lebih banyak produk. Selain itu, konsentrasi substrat tinggi, saturasi enzim bisa tercapai, menyebabkan perubahan pada  $C_M$ . Ketika  $C_M$  meningkat, ini menunjukkan bahwa enzim membutuhkan konsentrasi substrat yang lebih tinggi untuk mencapai setengah dari  $k.C_{E0}$  dimana pada kondisi ini enzim bekerja pada kecepatan yang menunjukkan keseimbangan antara substrat yang terikat dan dilepaskan oleh enzim. Ketika telah mencapai nilai setengah dari  $k.C_{E0}$ , maka nilai  $C_M = C_A$ . Namun, pada konsentrasi yang sangat tinggi, enzim mencapai saturasi, di mana hampir semua situs aktif sudah terisi oleh substrat. Nilai Konstanta Kecepatan Reaksi ( $k$ ) dan Konstanta *Michaelis-Menten* ( $C_M$ ) dapat dibuat persamaan laju reaksi hidrolisis enzimatis (persamaan *Michaelis-Menten*) sebagai berikut:

**Tabel 2.** Persamaan *Michaelis-Menten* tiap satuan waktu

$C_{A0}, \%$	$t, \text{menit}$	Persamaan <i>Michaelis-Menten</i> , Mol/L.menit
1		$-r_A = r_R = 0,1278 \frac{C_{E0}C_A}{0,0029 + C_A}$
2	60,90,1	$-r_A = r_R = 0,1872 \frac{C_{E0}C_A}{0,003 + C_A}$
3	20,150, dan	$-r_A = r_R = 0,2261 \frac{C_{E0}C_A}{0,0058 + C_A}$
4	180	$-r_A = r_R = 0,2581 \frac{C_{E0}C_A}{0,0139 + C_A}$
5		$-r_A = r_R = 0,262 \frac{C_{E0}C_A}{0,0046 + C_A}$

Tabel 2 diperoleh persamaan *Michaelis-Menten* pada konsentrasi 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dengan waktu hidrolisis 60, 90, 120, 150, dan 180 menit. Persamaan ditentukan berdasarkan persamaan (1) dan data  $C_M$  serta  $k$  pada kondisi konsentrasi substrat paling optimal berdasarkan nilai konversi. Konversi reaksi hidrolisis enzimatis selulosa menjadi glukosa tertinggi diperoleh pada konsentrasi substrat 1% yaitu sebesar 69,43% dengan persamaan laju reaksi sebagai berikut.

$$-r_A = r_R = 0,1278 \frac{C_{E0}C_A}{0,0029 + C_A}$$

Ketika  $C_A$  jauh lebih kecil dari  $C_M$  ( $C_A \ll C_M$ ) maka reaksi terjadi pada orde 1 dengan  $-r_A = k \frac{C_{E0}.C_A}{C_M}$

Sedangkan Ketika  $C_A$  jauh lebih besar dari  $C_M$  ( $C_A \gg C_M$ ) maka reaksi terjadi pada orde 0 dengan  $-r_A = k.C_{E0}$ . Persamaan kinetika reaksi *Michaelis-Menten* tersebut dapat digunakan sebagai *basic design* perancangan reactor hidrolisis enzimatis skala industri.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian kinetika reaksi hidrolisis enzimatis selulosa menjadi glukosa dari kulit durian menggunakan enzim selulase yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa konversi reaksi hidrolisis enzimatis selulosa menjadi glukosa tertinggi dengan interval waktu hidrolisis 60, 90, 120, 150, dan 180 menit diperoleh pada konsentrasi substrat 1% yaitu sebesar 69,43% dengan persamaan laju reaksi, yakni  $-r_A = r_R = 0,1278 \frac{C_{E_0} C_A}{0,0029 + C_A}$  serta konsentrasi substrat dan waktu hidrolisis terhadap laju reaksi adalah berbanding lurus. Semakin besar konsentrasi substrat maka semakin banyak enzim mengkonversi selulosa menjadi glukosa sehingga konsentrasi glukosa yang dihasilkan semakin tinggi. Selain itu, Semakin lama waktu hidrolisis, semakin panjang durasi kontak antara enzim dan substrat, yang mengakibatkan peningkatan jumlah glukosa yang terbentuk.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adrian *et al.* (2020) ‘Sakarifikasi Pati Ubi Jalar Putih Menjadi Gula Dekstrosa Secara Enzimatis’, *SAINTIS*, 1(1), pp. 1–4.
- Ana, A.D., Harun, P. and Lois, Y. (2015) ‘Potensi Limbah Kulit Durian Sebagai Bahan Baku Pembuatan Energi Alternatif’, *Seminar Nasional Teknologi*, (2407–7534), pp. 843–850.
- Aprilyanti, S., Suryani, F. and Pratiwi, I. (2019) ‘Optimasi Waktu Hidrolisis dan Volume Enzim Pada Proses Hidrolisis Enzimatis Selulosa Jerami Padi’, *Prosiding Seminar Nasional II Hasil Litbangyasa Industri*, p. 85. Available at: <https://core.ac.uk>
- Badan Pusat Statistik (2021) *Badan Pusat Statistik Kabupaten Nganjuk*. Available at: <https://nganjukkab.bps.go.id/id>.
- Fuadi, A.M. and Harismah, K. (2017) ‘Perbandingan Efektifitas Pembuatan Glukosa dari Kertas Bekas Secara Hidrolisis Asam dan Enzim’, *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), pp. 6–11.
- Gunam, I.B., K. Buda, I.M.Y.S. Guna. 2010. ‘Pengaruh Perlakuan Delignifikasi dengan Larutan NaOH dan Konsentrasi Substrat Jerami Padi terhadap Produksi Enzim Selulase dari *Aspergillus niger* NRRL A-11, 264’, *Jurnal Biologi*, XIV: 55-61
- Irwan, I., Sukainah, A. and Putra, R.P. (2023) ‘Pemanfaatan Kulit Tanduk Biji Kopi Arabika (*Coffea Arabica*) Sebagai Substrat Pertumbuhan *Aspergillus Niger* dalam Memproduksi Enzim Selulase’, *Mutiara: Multidisciplinary Scientific Journal*, 1(9), pp. 534–535. Available at: <https://doi.org/10.57185/mutiara.v1i9.77>.
- Levenspiel, O. (1999) *Chemical Reaction Engineering Third Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Mandari, Sally; Yenie, Elvi; Muria, S.R. (2014) ‘Pembuatan Bioetanol dari Kulit Nanas (*Ananas comosus* L.) Menggunakan Enzim Selulase dan Yeast *Saccharomyces Cerevisiae* dengan Proses Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)’, 3(3), pp. 63–77.
- Nursita, N.A., Dewi, E.R.S. and Rahayu, P. (2022) ‘Analisis Variasi pH dan Waktu Fermentasi Bioetanol dari Limbah Durian (*Durio zhibetinus*)’, *Jurnal Universitas PGRI Semarang*, 1(1), p. 98.
- Oktavia, F.I., Argo, B.D. and Lutfi, M. (2014) ‘Hidrolisis Enzimatis Ampas Tebu (Bagasse) Memanfaatkan Enzim Selulase dari Mikrofungi *Trichoderma reesei* dan *Aspergillus niger* Sebagai Katalisator dengan Pretreatment Microwave’, *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 2(3), p. 259.
- Purnamasari, T.; Yanti, R., Ramdani, D. (2020) ‘Pemanfaatan Limbah Kulit Durian sebagai Bahan Baku Produksi Bioetanol’, *Jurnal Teknologi Hijau*, 14(2), pp. 55–63.
- Rahmawati, S. *et al.* (2023) ‘Konversi Ampas Tebu dan Sabut Kelapa Menjadi Bioetanol dengan Metode Hidrolisis Enzimatis’, *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), pp. 21945–21946.
- Sahin, Irfan; Onur, Z.B.S.;Gongor, S.A. etc. (2022) ‘Enzyme Inhibition Properties and Molecular Docking Studies of 4-Sulfonate Containing Aryl a-Hydroxyphosphonates Based Hybrid Molecules’, *Chemistry & Biodiversity Research Article*, 19(5).
- Sina, N.W.F., Sukmaria, A.A. and Redjeki, S. (2023) ‘Studi Kinetika Reaksi Fermentasi Selulosa Tongkol Jagung Menggunakan Enzim Selulase Pada Reaktor Batch’, *Chempro*, 1(2), pp. 14–19. Available at: <https://doi.org/10.33005/chempro.v1i02.80>.