

KINETIKA REAKSI FERMENTASI GLUKOSA DARI BUAH SUKUN MENJADI BIOETANOL MENGGUNAKAN SACCHAROMYCES CEREVISIAE

Alda Febriyanti, Febriana Pungki Martalia, Sri Redjeki*

Program Studi Teknik Kimia Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Jalan Raya Rungkut Madya No.1 Gunung Anyar, Kota Surabaya, Jawa Timur
60249, Indonesia

*Penulis korespondensi: sriredjeki.tk@upnjatim.ac.id

Abstrak

Bioetanol dapat dibuat dari buah sukun yang memiliki kandungan karbohidrat sebesar 35,5%.. Fermentasi glukosa dari buah sukun menjadi bioetanol menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* dimulai dengan persiapan bahan baku yaitu buah sukun. Kemudian dilanjutkan dengan proses hidrolisis secara enzimatis yang terdiri dari proses likuifikasi dengan penambahan enzim α -amilase dan proses sakarifikasi dengan penambahan enzim glukoamilase. Glukosa hasil hidrolisis dengan konsentrasi sebesar 10% kemudian difermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* pada suhu 25, 30, dan 35°C serta pada waktu 4, 5, 6, 7, dan 8 hari. Hasil fermentasi kemudian diuji kadarnya menggunakan refraktometer alkohol dan refraktometer gula. Setelah itu dapat diperoleh kinetika reaksinya yang dinyatakan dengan persamaan reaksi Monod. Konsentrasi alkohol paling besar hasil fermentasi yaitu sebesar 11% dengan waktu fermentasi selama 4 hari dan pada suhu 25°C. Serta didapatkan nilai konstanta kecepatan reaksi (k) yang didapatkan pada interval waktu 4-8 hari adalah 0,08867-0,26851 dan nilai konstanta Monod adalah 0,2286-0,5098. Persamaan kecepatan fermentasi glukosa dari buah sukun menjadi bioetanol dengan menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* pada reaktor batch optimum mengikuti persamaan $r_c = -r_A = 0,26851 C_c C_A / (C_A + 0,5098)$ mol/L.hari.

Kata kunci: bioetanol; fermentasi; kostanta Monod; *Saccharomyces cerevisiae*

REACTION KINETICS OF GLUCOSE FERMENTATION FROM BREADFRUIT INTO BIOETHANOL USING SACCHAROMYCES CEREVISIAE

Abstract

Bioethanol can be made from breadfruit which has a carbohydrate content of 35.5%. Fermentation of glucose from breadfruit into bioethanol using *Saccharomyces cerevisiae* begins with the preparation of raw materials, namely breadfruit. Then followed by an enzymatic hydrolysis process consisting of a liquefaction process with the addition of α -amylase enzyme and a saccharification process with the addition of glucoamylase enzymes. Glucose from hydrolysis with a concentration of 10% was then fermented using *Saccharomyces cerevisiae* at temperatures of 25, 30, and 35°C and at 4, 5, 6, 7, and 8 days. The results of the fermentation were then tested for levels using an alcohol refractometer and a sugar refractometer. After that, the reaction kinetics can be obtained which is expressed by the Monod reaction equation. The highest alcohol concentration from fermentation is 11% with a fermentation time of 4 days and a temperature of 25°C. And the value of the reaction rate constant obtained at time intervals of 4-8 days is 0.08867-0.26851 and the value of the Monod constant is 0.2286-0.5098. The equation for the speed of glucose fermentation from breadfruit into bioethanol using *Saccharomyces cerevisiae* in the optimum batch reactor follows the equation $r_c = -r_A = 0,26851 C_c C_A / (C_A + 0,5098)$ mol/L.day.

Keywords: bioethanol; fermentation; Monod constant; *Saccharomyces cerevisiae*

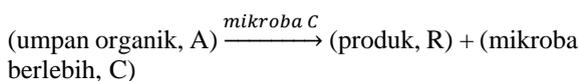
PENDAHULUAN

Latar belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki hasil pertanian yang berlimpah, salah satunya yaitu buah sukun. Buah sukun banyak ditemui di Indonesia diantaranya yaitu di daerah Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, D.I Yogyakarta, Kalimantan Timur, Nusa Tenggara Timur, Sumatera Selatan, Lampung, Sulawesi Selatan, dan Jambi. Buah sukun memiliki kandungan gizi yang cukup tinggi. Dalam 100 gram berat basah sukun mengandung karbohidrat 35,5%, protein 0,1%, lemak 0,2%, abu 1,21%, fosfor 0,048%, kalsium 0,21%, zat besi 0,0026%, kadar air 61,8%, dan serat atau fiber 2% (Supriati dkk, 2005).

Pemanfaatan buah sukun di Indonesia belum dimaksimalkan, sehingga nilai ekonomi dari buah sukun masih rendah. Buah sukun dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan bahan bakar nabati bioetanol karena memiliki kandungan karbohidrat (pati) yang cukup tinggi. Bioetanol merupakan etanol yang dibuat dari bahan baku nabati dengan cara fermentasi. Bioetanol dapat digunakan sebagai sumber alternatif untuk bahan bakar kendaraan (Siswati dkk, 2017). Penambahan bioetanol dalam jumlah kecil yaitu sebesar 10% ke dalam bensin dapat mengurangi emisi gas seperti CO dan NO yang dapat menyebabkan efek rumah kaca (Imam dkk, 2011).

Fermentasi glukosa dengan *Saccharomyces cerevisiae* merupakan fermentasi dengan bantuan mikroba. Fermentasi mikroba yaitu fermentasi yang dilakukan dan dikatalis oleh mikroorganisme atau mikroba seperti yeast, bakteri, alga, jamur, protozoa. Fermentasi mikroba dapat dilambangkan sebagai berikut:



dimana mikroba C berperan sebagai katalis dalam reaksi.

Model kinetika reaksi pada fermentasi dapat dituliskan seperti pada persamaan 1,2 dan 3.

$$A + C_{resting} \leftrightarrow C_{pregnant} \quad \text{pada } C_A \text{ tinggi}$$

$$r_R = kC_C \dots\dots\dots(1)$$

$$C_{pregnant} \rightarrow 2C_{resting} + R \quad \text{pada } C_A \text{ rendah}$$

$$r_R = kC_C C_A / C_M \dots\dots\dots(2)$$

$$C_{total} = C_{pregnant} + C_{resting} \quad \text{pada semua } C_A$$

$$r_R = \frac{kC_C C_A}{C_A + C_M} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan C_M adalah konstanta Monod (Levenspiel O, 1999).

Pembuatan bioetanol dari buah sukun menggunakan bakteri *Zymomonas mobilis* telah dilakukan

oleh Siswati, dkk pada tahun 2017, didapatkan hasil kondisi terbaik dalam fermentasi buah sukun menjadi bioetanol dicapai pada penambahan starter dengan konsentrasi 10%, waktu fermentasi selama 7 hari dan didapat bioetanol dengan kadar 9,87%. Penggunaan bakteri *Zymomonas mobilis* dipilih karena bakteri tersebut memiliki beberapa keunggulan dibandingkan *Saccharomyces cerevisiae* yaitu lebih toleran pada suhu dan pH rendah, serta terhadap konsentrasi etanol yang tinggi. Pada penelitian-penelitian kinetika reaksi pembuatan bioetanol digunakan bahan baku yang bermacam-macam, diantaranya yaitu buah salak, pati biji nangka, dan limbah kulit nanas. Bahan-bahan yang digunakan tersebut rata-rata memiliki kadar karbohidrat (pati) yang cukup tinggi. Dari penelitian kinetika reaksi fermentasi bioetanol dari buah salak diperoleh kecepatan reaksi maksimum (v_{maks})=0,099 gr/ml.jam dan konstanta Michaelis-Menten (k_m)= 169,88 gr/ml (Fatimah dkk, 2013). Sedangkan pada penelitian kinetika reaksi fermentasi bioetanol dari biji durian diperoleh konstanta Michaelis-Menten (k_m)=5,5 ppm⁻¹ dan kecepatan reaksi maksimum (v_{maks})= 5000 ppm.jam⁻¹ (Salsabila dkk, 2013). Penelitian kinetika reaksi dalam pembuatan bioetanol dari buah sukun menggunakan persamaan Monod belum pernah dilakukan.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu tersebut diambil kondisi optimum yang telah didapat untuk penelitian kinetika reaksi fermentasi glukosa menjadi bioetanol menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* yang belum pernah dilakukan. Bakteri *Saccharomyces cerevisiae* digunakan karena mudah didapat, harga relatif murah, dan mudah diaplikasikan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model kinetika reaksi fermentasi glukosa menjadi bioetanol dari buah sukun menggunakan bantuan *Saccharomyces cerevisiae*. Penentuan kinetika reaksi fermentasi ini dapat digunakan untuk merancang reaktor atau fermentor dengan spesifikasi bahan baku yang sama.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan yaitu buah sukun matang (15-19 minggu) yang diperoleh dari Desa Waru, Kecamatan Balongbendo, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Kemudian *Saccharomyces cerevisiae* merk Alcotec Turbo Yeast, enzim α -Amilase dan Glukoamilase, Aquadest, Asam Klorida (HCl) 32%, dan Natrium Hidroksida diperoleh dari Toko Nirwana, Surabaya.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pengayak 100 mesh, kertas saring, seperangkat alat hidrolisis yang meliputi beaker glass, kapsul magnet, dan hot plate. Serta seperangkat alat fermentasi yang meliputi botol, pH meter, termometer, dan selang. Kemudian digunakan juga refraktometer gula dan

refraktometer alkohol untuk menganalisa hasil hidrolisis dan fermentasi.

Prosedur

Persiapan Bahan Baku

Buah sukun yang sudah matang dikupas kulitnya, dibersihkan, dan dipotong tipis. Kemudian dioven pada suhu 60°C selama 45 menit. Setelah kering, buah sukun kemudian ditumbuk halus dan diayak menggunakan pengayak 100 mesh.

Proses Hidrolisa

Proses Likuifikasi

Tepung sukun dimasukkan ke dalam beaker glass sebanyak 135 gram dan ditambahkan aquades sebanyak 1000ml. kemudian dipanaskan, setelah mencapai suhu 90°C, ditambahkan enzim *α-amilase* 0,3ml. Proses berlangsung selama 1 jam sambil diaduk dan suhu larutan tersebut diturunkan sampai 60°C, pH diatur sampai 5-6 dengan cara ditambahkan HCl 0,1 N atau NaOH 0,1 N.

Proses Sakarifikasi

Larutan hasil likuifikasi yang telah diturunkan suhunya sampai 60°C dan diatur pH-nya hingga 5-6, kemudian ditambahkan enzim *glukoamilase* sebanyak 0,3ml. Setelah itu larutan disaring, endapannya dibuang dan filtratnya ditampung. Filtrat diukur kadar glukosanya, selanjutnya dilakukan proses fermentasi.

Proses Fermentasi

Filtrat hasil sakarifikasi sebanyak 100ml dimasukkan ke dalam botol fermentasi. Kemudian ditambahkan *Saccharomyces cerevisiae* dengan konsentrasi sebesar 10%. Botol fermentasi ditutup dengan rapat dan dialirkan gas ke dalam botol lain yang berisi air. Fermentasi dijalankan sesuai dengan variabel suhu dan waktu fermentasi. Setelah itu filtrat diambil untuk dianalisa kadar alkoholnya.

Analisa Kadar Etanol

Hasil dari proses fermentasi diambil beberapa tetes untuk dilakukan analisa menggunakan refraktometer alkohol dan refraktometer gula. Sampel yang akan dianalisa diambil menggunakan pipet kemudian diletakkan diatas prisma lalu ditutup. Setelah itu, diatur cahaya yang masuk dan diamati melalui lensa. Sehingga terlihat angka atau nilai yang tertera pada skala di bagian dalam prisma sebagai nilai konsentrasi senyawa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan fermentasi glukosa dari buah sukun menjadi bioetanol menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*, konsentrasi glukosa awal (C_{A0}) sebesar 10% dengan variabel waktu dan suhu fermentasi, didapatkan hasil penelitian seperti pada Tabel 1, 2 dan Tabel 3.

Tabel 1. Konsentrasi produk (alkohol) yang terbentuk (%)

Waktu / t (hari)	Konsentrasi Alkohol (%)		
	25°C	30°C	35°C
4	11	10,5	7
5	10,5	10,3	6,8
6	10,3	10	6,5
7	10	9,8	6
8	9	9,5	5

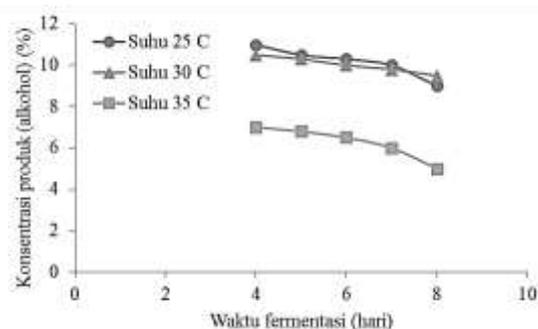
Tabel 2. Konsentrasi glukosa setiap saat / C_A (%)

Waktu / t (hari)	Konsentrasi Glukosa (%)		
	25°C	30°C	35°C
4	3,7	4,1	3,3
5	3,4	3,9	3
6	3,2	3,6	2,8
7	3,1	3,4	2,6
8	3	3	2,5

Tabel 3. Konsentrasi mikroba setiap saat / C_C (%)

Waktu / t (hari)	Konsentrasi Mikroba (%)		
	25°C	30°C	35°C
4	0,79	0,76	0,72
5	0,74	0,74	0,69
6	0,7	0,69	0,66
7	0,68	0,66	0,62
8	0,63	0,38	0,59

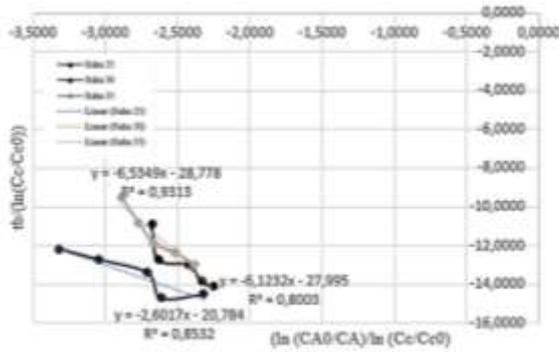
Pengaruh waktu dan suhu fermentasi terhadap konsentrasi produk dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara konsentrasi produk, suhu dan waktu fermentasi

Pada Gambar 1 terlihat bahwa konsentrasi alkohol optimal dihasilkan pada hari ke-4 sebesar 11%, setelah itu mengalami penurunan konsentrasi alkohol. Kemudian, pada suhu 25°C dan 30°C 8 hari terdapat penyimpangan bahwa kadar alkohol yang didapat lebih sedikit pada suhu 25°C, hal tersebut dapat disebabkan karena suhu yang digunakan kurang konstan. Menurut (Moede, 2017), pada penelitian Rivera, dkk. 2006 bahwa parameter

temperatur digunakan untuk mengevaluasi jumlah maksimum yang diharapkan pada proses fermentasi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, produksi etanol maksimum dapat dicapai pada temperatur 28-31°C. Hal tersebut sesuai dengan penelitian kami, bahwa pada suhu 35°C didapatkan kadar alkohol yang rendah.



Gambar 2. Hubungan antara $\ln(C_{A0}/C_A)/\ln(C_C/C_{C0})$ dengan $t_b/\ln(C_C/C_{C0})$

Dari Gambar 2 diketahui bahwa garis tersebut linear dan didapatkan nilai R^2 0,8; 0,85; dan 0,9. Garis linear tersebut dapat dibuat persamaan garis $y = ax + b$ dimana nilai a adalah slope dan nilai b adalah intersep. Nilai slope merupakan nilai konstanta Monod/konstanta kecepatan reaksi (M/k) dan nilai intersep merupakan nilai konstanta Monod + $1/konstanta$ ($(M+1)/k$). Kemudian konstanta kecepatan reaksi dan konstanta Monod dapat dihitung menggunakan persamaan 7, dengan juga menghitung parameter-parameter pada persamaan 4, 5 dan 6.

$$C_C - C_{C0} = (C/A)(C_{A0} - C_A) \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{t_b}{\ln C_C/C_{C0}} = \frac{M+1}{k} + \frac{M}{k} \frac{\ln C_{A0}/C_A}{\ln C_C/C_{C0}} \dots\dots\dots(5)$$

$$M = \frac{C_M}{C_{A0} + A/C C_{C0}} \dots\dots\dots(6)$$

$$k = \frac{\ln(C_C/C_{C0})}{t_b} - \frac{k}{M} - \left(\frac{k}{M} \times \frac{\ln(C_C/C_{C0})}{\ln(C_{A0}/C_A)} \right) \dots\dots\dots(7)$$

Dimana t_b adalah waktu fermentasi (hari), C_C adalah konsentrasi mikroba setiap saat (%), C_{C0} konsentrasi mikroba awal (%), C_A konsentrasi substrat setiap saat (%), C_{A0} konsentrasi substrat awal (%), C_M konstanta Monod, dan k adalah konstanta kecepatan reaksi.

Nilai konstanta kecepatan reaksi semakin kecil pada suhu tinggi, dan nilai konstanta Monod semakin kecil ketika waktu fermentasi semakin besar (Tabel 4). Berdasarkan data yang diperoleh, maka dapat dibuat persamaan Monod dari Levenspiel Chapter 29 (hal.630), sebagaimana dituliskan pada persamaan 8. Dengan demikian, kondisi optimum

pada fermentasi glukosa dari buah sukun menjadi bioetanol dengan menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* pada reaktor batch yaitu pada suhu 25°C dan waktu 4 hari, dengan persamaan seperti pada persamaan 9.

Tabel 4. Nilai konstanta kecepatan reaksi dan konstanta Monod

Waktu / t (hari)	25°C		30°C		35°C	
	k	C _M	k	C _M	k	C _M
4	0,26	0,51	0,1	0,39	0,09	0,42
5	0,25	0,47	0,1	0,37	0,09	0,37
6	0,24	0,36	0,09	0,29	0,09	0,33
7	0,23	0,33	0,09	0,26	0,09	0,28
8	0,21	0,24	0,09	0,22	0,08	0,24

$$r_c = k \frac{C_A C_C}{C_A + C_M} \dots\dots\dots(8)$$

$$r_c = 0,26851 \frac{C_A C_C}{C_A + 0,5098} \text{ mol/L.hari} \dots\dots\dots(9)$$

SIMPULAN

Suhu dan waktu optimum pada fermentasi glukosa menjadi bioetanol dengan menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* yaitu pada suhu 25°C dengan waktu 4 hari. Nilai konstanta reaksi pada interval waktu 4-8 hari adalah 0,08867-0,26851 dan nilai konstanta Monod adalah 0,2286-0,5098. Persamaan kecepatan fermentasi glukosa dari buah sukun menjadi bioetanol dengan menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* pada reaktor batch optimum mengikuti persamaan $r_c = -r_A = 0,26851 C_C C_A / (C_A + 0,5098)$ mol/L.hari.

SARAN

Sebaiknya penelitian menggunakan bahan lain yang memiliki kandungan glukosa yang lebih besar agar produk yang dihasilkan pada proses fermentasi semakin optimal. Sebaiknya proses dilakukan secara kontinyu agar mengetahui perbedaan hasil dari proses batch dan kontinyu.

DAFTAR PUSTAKA

Fatimah, L, G & Rahmasari G 2017, ‘Kinetika Reaksi Fermentasi Alkohol dari Buah Salak’, Jurnal Teknik Kimia USU, vol. 2, no. 2, hh. 19.
 Imam, T, Capareda, S, 2011, ‘Fermentation Kinetics and Ethanol Production From Different Sweet Sorghum Varieties’, International Journal of Agricultural & Biological Engineering, vol. 4, no. 3, hh. 33-40.
 Levenspiel, O 1999, Chemical Reaction Engineering

- Third Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Moede, F, K, Gonggo, S, T & Ratman 2017, 'Pengaruh Lama Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Bioetanol dari Pati Ubi Jalar Kuning (*Ipomea batata L*)', *J. Akad. Kim*, vol. 6, no.2, hh.86-91.
- Salsabila, U, Mardiana, D & Indahyanti, E 2013, 'Kinetika Reaksi Fermentasi Glukosa Hasil Hidrolisis Pati Biji Durian Menjadi Etanol', *Kimia Student Journal*, vol. 2, no. 1, hh. 336.
- Siswati, N, Dyah, Dara, P, Secylia & Wardana, R, Asrulywan 2017, 'Fermentasi Buah Sukun Menjadi Bioetanol', *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 11, no. 2, hh. 57.
- Supriati, Y, Mariska, I & Hutami, S 2005, 'Mikropropagasi Sukun (*Artocarpus communis Forst*)', *Tanaman Sumber Karbohidrat Alternatif*, *Jurnal Ilmiah Nasional*, vol. 7, no. 4, hh. 219 – 226