

## Kinetika Produksi Selulosa Bakteri dari Limbah Kulit Pisang

### Kinetics of Bacterial Cellulose Production from Banana Peel Waste

Jabosar Ronggur Hamonangan Panjaitan\*, Devi Monika Sitompul

Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Lampung 35365, Indonesia

#### Artikel histori :

Diterima 25 Agustus 2023  
Diterima dalam revisi 15 Januari 2024  
Diterima 18 Januari 2024  
Online 23 Januari 2024

**ABSTRAK:** Limbah kulit pisang dengan kandungan yang kaya akan nutrisi dan mineral memiliki potensi untuk dibuat selulosa bakteri. Pada penelitian ini akan diteliti kinetika reaksi pembuatan selulosa bakteri dari limbah kulit pisang. Model kinetika yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode kinetika fermentasi. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa produksi selulosa bakteri berada pada tahap eksponensial dengan lama waktu fermentasi selama 14 hari. Waktu fermentasi mempengaruhi selulosa bakteri yang dihasilkan dimana semakin lama waktu fermentasi yang digunakan akan menghasilkan semakin besar massa selulosa bakteri. Kulit pisang sebagai bahan baku pada penelitian ini dapat memenuhi kebutuhan karbon untuk fermentasi selain glukosa. Parameter kinetika produksi selulosa bakteri dari limbah kulit pisang sesuai hasil optimasi antara data dan model kinetika diperoleh nilai parameter kinetika reaksi yaitu  $\mu_{\max}$  (*maximum specific growth rate*),  $k_s$  (konstanta monod),  $k_d$  (konstanta laju kematian sel) dan  $m$  (konstanta sel *maintanance*). sebesar 0,29/hari, 2,05 g/L, 1,13/hari dan 1,32/hari.

**Kata Kunci:** kinetika, kulit pisang, selulosa bakteri.

**ABSTRACT:** Banana peel waste, which is rich in nutrients and minerals, has potential to be converted into bacterial cellulose. In this research, reaction kinetics for bacterial cellulose production from banana peel was investigated. The kinetic model used in this research were fermentation kinetics method. Based on the results, it showed that bacterial cellulose production was at an exponential stage for 14 days fermentation. Fermentation time affects the bacterial cellulose production where longer fermentation time used will produce higher bacterial cellulose. Banana peel as a raw material can be used for carbon source in fermentation besides glucose. Kinetic parameters of bacterial cellulose production from banana peel according to the optimization results between data and kinetic model produced kinetics reaction parameters, such as  $\mu_{\max}$  (maximum specific growth rate),  $k_s$  (monod constant),  $k_d$  (cell death rate constant) and  $m$  (cell maintenance constant) were 0.29/day, 2.05 g/L, 1.13/day, and 1.32/day.

**Keywords:** kinetic reaction, banana peel, bacterial cellulose.

## 1. Pendahuluan

Selulosa bakteri adalah polimer yang dapat dihasilkan dari berbagai bakteri seperti *Acetobacter*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Aerobacter* dan lain sebagainya (Sulaeva et al., 2015; Foresti et al., 2017). *Gluconacetobacter xylinus* atau yang lebih dikenal sebagai *Acetobacter xylinum* adalah bakteri yang paling sering digunakan untuk memproduksi selulosa bakteri karena jumlah produksi yang dihasilkan lebih besar dan lebih ekonomis. Pada prosesnya bakteri ini dapat mengkonversi 108 molekul gula/jam menjadi selulosa (Foresti et al., 2017).

Selulosa bakteri termasuk produk bioteknologi yang dihasilkan pada permukaan antara udara dan cairan fermentasi pada kondisi suhu 25 – 30 °C dan rentang pH sebesar 4 – 7. Metode produksi selulosa bakteri dapat dilakukan secara statis, agitated, dan bioreaktor (Wang et al., 2019). Metode statis adalah metode yang paling banyak dipakai karena paling sederhana dan umum untuk menghasilkan selulosa bakteri dalam skala besar. Berbeda dengan selulosa dari tanaman, selulosa dari bakteri tidak mengandung komponen lignin dan hemiselulosa. Menurut strukturnya, selulosa bakteri berstruktur tiga dimensi dengan ikatan (1-4)-glycosidic, kristalinitas mencapai lebih 80%, dan memiliki kandungan air mencapai 99% (Foresti et al.,

\* Corresponding Author

Email: [jabosar.panjaitan@tk.itera.ac.id](mailto:jabosar.panjaitan@tk.itera.ac.id)

2017). Pada aplikasinya, spesifik di Asia, selulosa bakteri lebih dikenal sebagai produk makanan dengan nama nata de coco (Sulaeva et al., 2015). Selain makanan, selulosa bakteri juga dapat dimanfaatkan pada berbagai aplikasi seperti pada bidang medis (Sulaeva et al., 2015; Picheth et al., 2017), kosmetik (Bianchet et al., 2020) dan material komposit (Sriplai dan Pinitsoontorn, 2021).

Pisang merupakan buah yang umum dikonsumsi pada wilayah tropis dan subtropis (Zaini et al., 2022). Pisang termasuk buah yang populer karena memiliki memiliki aroma khas, lembut, tinggi flavonoid dan antioksidan (Deb et al., 2022). Pada tahun 2019, pisang merupakan komoditas yang umum diproduksi oleh berbagai negara termasuk Indonesia (Zaini et al., 2022). Salah satu limbah dalam buah pisang adalah kulit pisang yaitu sekitar 35 – 50% dari total buah yang umumnya digunakan untuk produksi pupuk organik, makanan ternak (Zaini et al., 2022), dan karbon aktif (Fadlilah et al., 2023; Khamkeaw et al., 2023). Secara umum kulit pisang memiliki kandungan serat, protein, asam lemak, dan mikronutrien (Badilla et al., 2022). Limbah kulit pisang memiliki kandungan mikronutrien yang dapat dimanfaatkan untuk metabolisme mikroorganisme seperti fosfor, magnesium, dan potassium. Selain itu, limbah kulit pisang memiliki kandungan gula dan asam organik (Moyo et al., 2022). Oleh sebab itu, limbah kulit pisang sangat cocok sebagai bahan baku media fermentasi.

Beberapa penelitian telah melakukan produksi selulosa bakteri dengan menggunakan limbah kulit pisang sebagai bahan baku. Purwanto (2012) memproduksi selulosa bakteri dan membandingkan sifat fisikokimia selulosa bakteri yang dihasilkan dengan bahan baku kulit pisang kepok kuning, raja, ambon, dan khluthuk. Fadlilah et al. (2016) memproduksi selulosa bakteri dari kulit pisang untuk produksi hydrogel cellulose-acrylamide. Sijabat et al. (2020) dan Sijabat et al. (2019) mensintesis nanoselulosa selulosa bakteri untuk aplikasi membrane filter. Khami et al. (2014) meneliti produksi selulosa bakteri dari limbah kulit pisang sebagai bioplastik. Muhsinin et al. (2017) memproduksi selulosa bakteri kulit pisang untuk aplikasi *biocellulose mask*. Moukamnerd et al. (2020) memproduksi selulosa bakteri dari limbah kulit pisang dan *passion fruit*. Masri et al. (2020) membandingkan produksi selulosa bakteri dari bahan baku limbah kulit cassava, limbah kulit pisang dan limbah kulit durian. Marlinda and Hartati (2019) meneliti optimalisasi produksi selulosa bakteri dari limbah kulit pisang dengan perubahan konsentrasi *Acetobacter xylinum*. Rossi et al. (2008) mengoptimalkan pemberian ammonium sulfat pada produksi selulosa bakteri dari limbah kulit pisang. Ramirez et al. (2020) meneliti *scale up* produksi selulosa bakteri berbahan baku kulit pisang. Oleh sebab itu, limbah kulit pisang sangat potensial untuk digunakan dalam produksi selulosa bakteri.

Kinetika reaksi merupakan ilmu untuk mempelajari suatu mekanisme reaksi. Parameter kinetika reaksi diperlukan untuk mengetahui laju reaksi dan perancangan reaktor. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi kinetika reaksi dan model produksi selulosa bakteri. Hornung (2010) meneliti tentang optimasi produksi

selulosa bakteri pada permukaan kultur dan membuat pemodelan tentang produksi selulosa bakteri. Taylor (1999) meneliti studi kinetika produksi selulosa bakteri secara batch. Aydin and Aksoy (2015) meneliti pemodelan kinetika produksi selulosa bakteri oleh *Gluconacetobacter hansenii* P2A. Sulaiman et al. (2018) memonitori produksi selulosa bakteri oleh *Acetobacter xylinum* 0416 dengan simulasi Fuzzy Logic. Budhiono et al. (1999) meneliti aspek kinetika pembentukan selulosa bakteri pada sistem kultur nata-de-coco.

Pada skala industri, data kinetika produksi selulosa bakteri yang dihasilkan diperlukan dalam perancangan reaktor. Data kinetika menentukan seberapa banyak selulosa bakteri yang terbentuk. Penentuan kinetika produksi selulosa bakteri dengan model kinetika fermentasi belum pernah dilakukan. Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan diproduksi nata berbahan baku kulit pisang yang akan dievaluasi kinetika produksinya. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat diperoleh parameter kinetika produksi selulosa bakteri berbahan baku kulit pisang.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain limbah kulit pisang, aquadest, gula pasir, urea food grade (Biotechno), asam asetat (Merck), NaOH (Merck), *Acetobacter xylinum* (Biotechno).

### 2.2. Pembuatan Selulosa Bakteri

Produksi selulosa bakteri untuk menghitung nilai kinetika dimulai dengan mengambil bagian dalam kulit pisang menggunakan sendok. Kemudian timbang 300 gram bahan kulit pisang dan campurkan dengan akuades dengan perbandingan 1:3 lalu diblender hingga halus. Larutan kulit pisang hasil blender kemudian disaring dengan kain untuk mendapatkan 500 ml jus kulit pisang. Selanjutnya tambahkan gula pasir sebanyak 10% (50 gram) dan urea *food grade* sebanyak 1% (5 gram) kedalam media. Larutan diaduk hingga homogen dan atur pH medium dengan asam asetat sampai pH 5,0 menggunakan pH meter. Semua bahan lalu dipanaskan menggunakan kompor hingga mendidih. Kemudian tuang 500 ml medium fermentasi tersebut ke dalam wadah plastik yang sudah disterilisasi menggunakan uap air. Medium fermentasi didinginkan hingga temperatur  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ . 10% (v/v) (50 ml) *Acetobacter xylinum* dimasukkan secara aseptik ke dalam media fermentasi dan tutup campuran dengan menggunakan kertas koran yang sudah disterilkan. Media fermentasi kemudian dibiarkan pada temperatur ruang selama 4, 7, 10, dan 14 hari. Sampel dibuat sebanyak 2 kali pengulangan. Selulosa bakteri yang terbentuk kemudian diukur beratnya.

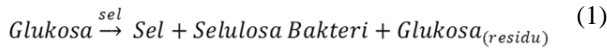
### 2.3 Pengukuran Berat Selulosa Bakteri

Selulosa bakteri hasil fermentasi diambil dari cetakan dan dibilas menggunakan akuades. Selanjutnya, selulosa bakteri direndam menggunakan 200 mL larutan NaOH 2M selama 2 jam untuk menghilangkan bakteri yang menempel.

Selulosa bakteri kemudian dicuci menggunakan air bersih sampai NaOH hilang dan pH netral. Setelah proses pencucian dengan air, selulosa bakteri kemudian dikeringkan dengan kertas tisu lalu ditimbang untuk menentukan beratnya.

## 2.4 Penentuan Model Kinetika Produksi Selulosa Bakteri

Kinetika reaksi proses produksi selulosa bakteri disesuaikan dengan kinetika fermentasi pada Fogler (2006), dengan skema reaksi proses produksi selulosa bakteri sebagai berikut.



Persamaan reaksi diatas kemudian dapat dibagi dan model kinetika dapat dibuat untuk masing - masing komponen yang terbentuk pada proses fermentasi secara *batch*. Persamaan kinetika selulosa bakteri terbagi atas persamaan kinetika pembentukan sel, produk yang terbentuk dan substrat dengan modifikasi tidak ada nilai inhibitor produk sesuai persamaan sebagai berikut

a. Persamaan kinetika pembentukan sel:

$$\frac{dC_c}{dt} = \left\{ \left( \mu_{\max} \frac{C_c \cdot C_s}{k_s + C_s} \right) - kd \cdot C_c \right\} \quad (2)$$

b. Persamaan kinetika komponen produk yang terbentuk (Selulosa Bakteri):

$$\frac{dC_p}{dt} = \left\{ Y_{\frac{p}{c}} \cdot \left( \mu_{\max} \frac{C_c \cdot C_s}{k_s + C_s} \right) \right\} \quad (3)$$

c. Persamaan kinetika substrat sisa (Glukosa):

$$\frac{dC_s}{dt} = \left\{ Y_{\frac{s}{c}} \cdot \left( \mu_{\max} \frac{C_c \cdot C_s}{k_s + C_s} \right) - m \cdot C_c \right\} \quad (4)$$

Perhitungan nilai  $Y_{P/C}$  dan  $Y_{S/C}$  dihitung sesuai Fogler (2006) dengan rumus berikut

$$Y_{P/C} = \frac{\text{massa produk yang terbentuk}}{\text{massa sel baru yang terbentuk}} \quad (5)$$

$$Y_{S/C} = \frac{\text{massa substrat yang dikonsumsi}}{\text{massa sel baru yang terbentuk}} \quad (6)$$

Keterangan:

$dC_c/dt$	persamaan kinetika pembentukan sel
$dC_p/dt$	persamaan kinetika pembentukan produk
$dC_s/dt$	persamaan kinetika pembentukan substrat sisa
$C_c$	konsentrasi sel
$C_s$	konsentrasi substrat
$\mu_{\max}$	<i>maximum specific growth rate</i>
$k_s$	konstanta monod
$kd$	konstanta laju kematian sel

m konstanta sel *maintenance*

## 2.5 Perhitungan Nilai Konstanta Selulosa Bakteri

Penentuan nilai konstanta kinetika produksi selulosa bakteri diperoleh dengan menggunakan simulasi *software* MATLAB dengan memasukkan data berat selulosa bakteri yang dihasilkan di laboratorium dengan persamaan kinetika selulosa bakteri yang terbagi atas persamaan kinetika pembentukan sel, produk yang terbentuk dan substrat sesuai persamaan 4, 5, dan 6. Dari persamaan – persamaan kinetika tersebut ditentukan 4 konstanta reaksi ( $\mu_{\max}$ ,  $k_s$ ,  $kd$ , dan  $m$ ). Prediksi konsentrasi sel dan glukosa serta konstanta reaksi diprediksi dengan minimisasi nilai *sum of square error* antara data eksperimen berat selulosa bakteri dan model yang dipakai sesuai rumus:

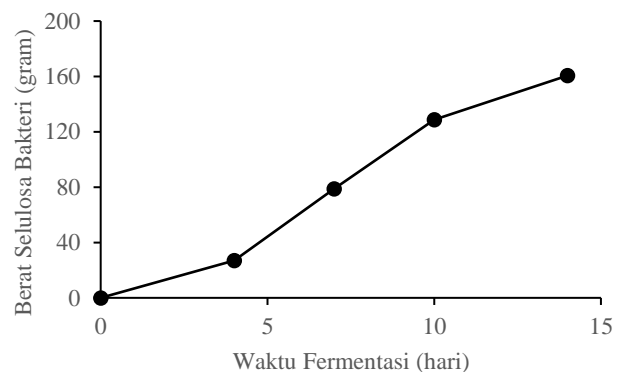
$$SS = \sum_i \sum_j ([j]_{i \text{ exp}} - [j]_{i \text{ predicted}})^2 \dots \quad (7)$$

Nilai *sum of square error* (SS) dapat ditentukan dengan optimasi *fminsearch* (*Nedler – Mead Method*) menggunakan *software* MATLAB.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Produksi Selulosa Bakteri

Setelah dilakukan proses produksi selulosa bakteri didapat data berupa massa selulosa bakteri pada setiap variasi waktu. Data tersebut akan digunakan untuk analisis kinetika produksi selulosa bakteri menggunakan *software* MATLAB. Massa selulosa bakteri hasil fermentasi dapat dilihat pada Gambar 1.

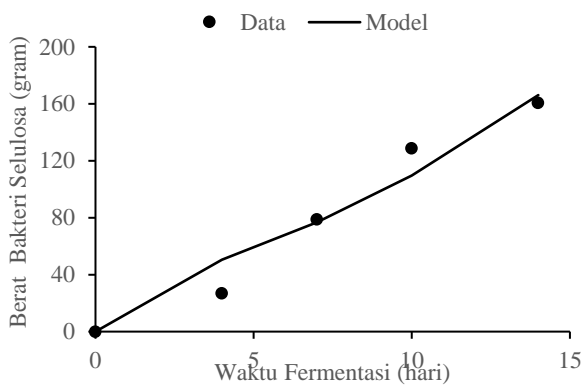


**Gambar 1.** Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Massa Selulosa Bakteri

Pada Gambar 1 memperlihatkan pengaruh waktu fermentasi terhadap massa selulosa bakteri yang dihasilkan. Massa selulosa bakteri paling besar yaitu 160,60 gram yang didapat pada fermentasi hari ke-14. Sedangkan massa selulosa bakteri paling kecil dihasilkan pada hari ke-4 fermentasi yaitu sebesar 26,94 gram. Berdasarkan Gambar 1 diketahui bahwa hubungan waktu fermentasi terhadap massa selulosa bakteri adalah berbanding lurus dimana semakin lama waktu fermentasi maka massa selulosa bakteri yang dihasilkan juga

akan semakin besar (Layuk et al., 2012). Penyebabnya adalah karena selulosa bakteri merupakan hasil dari aktivitas *Acetobacter xylinum* yang mengubah glukosa menjadi benang-benang selulosa berbentuk jalinan yang terus menebal membentuk lapisan selulosa. Limbah kulit pisang yang digunakan pada penelitian ini juga mempengaruhi produksi selulosa bakteri yang dihasilkan.

Pisang mengandung karbohidrat, makronutrien dan mikronutrien yang mendukung pertumbuhan sel dan produksi selulosa bakteri (Purwanto, 2012). Karbohidrat dari limbah kulit pisang yang besar mencapai 58,28% dapat digunakan sebagai sumber karbon pada proses fermentasi (Moukamnerd et al., 2020). Karbohidrat dari kulit pisang dapat dipecah menjadi gula untuk digunakan sebagai bahan baku pada proses fermentasi sehingga semakin tinggi kandungan gula maka semakin tinggi produksi selulosa bakteri (Sijabat et al., 2020; Khami et al., 2014). Gula digunakan sebagai bahan baku fermentasi dikarenakan gula merupakan sumber karbon dan energi bagi mikroba untuk memproduksi selulosa bakteri (Toda, 2016; Marlinda dan Hartati, 2019).



**Gambar 2.** Optimasi massa selulosa bakteri terhadap model kinetika produksi selulosa bakteri

Massa selulosa bakteri yang dihasilkan pada fermentasi hari ke-4 belum besar disebabkan oleh pada rentang waktu tersebut *Acetobacter xylinum* masih berada dalam fase adaptasi untuk menyesuaikan dengan substrat dan media fermentasi (lingkungan barunya) (Layuk et al., 2012). Oleh sebab itu, pada fermentasi hari ke-4 massa selulosa bakteri yang dihasilkan masih rendah. Pada hari ke-7 hingga hari ke-14 *Acetobacter xylinum* memasuki fase eksponensial dimana sel tumbuh dan membelah diri pada kecepatan maksimum, sehingga massa selulosa bakteri yang dihasilkan meningkat pesat.

### 3.2. Kinetika Fermentasi Selulosa Bakteri

#### 3.2.1 Penentuan Nilai YP/C dan YS/C

Data massa produk yang terbentuk diambil dari berat selulosa bakteri yang dihasilkan dari proses fermentasi selama 4, 7, 10, dan 13 hari yaitu 26,94 gram, 78,77 gram, 128,8 gram, dan 160,6 gram. Sedangkan massa sel baru yang

terbentuk merupakan fungsi linear dari massa produk yang terbentuk sehingga massa sel baru yang terbentuk diasumsikan sama dengan berat selulosa bakteri yang dihasilkan. Massa substrat yang dikonsumsi merupakan besar glukosa yang digunakan dalam media yaitu 50 gram. Oleh sebab itu, berdasarkan data yang ada nilai diperoleh nilai YP/C dan YS/C adalah 1 dan 1,34.

Optimasi pengaruh waktu fermentasi terhadap model konsentrasi selulosa bakteri pada produksi selulosa bakteri dari kulit pisang dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat hasil optimasi perbandingan antara berat selulosa bakteri yang dihasilkan dengan model yang digunakan menggunakan metode minimasi nilai sum of square error. Sum of square error (SSE) merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi nilai error dari model kinetika dengan data yang diperoleh dari laboratorium. Prediksi nilai eror dinyatakan baik jika nilai eror tersebut kurang dari 10% (Indarwati et al., 2018). Nilai SSE dari hasil optimasi model kinetika pada penelitian ini adalah 2%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai SSE yang diperoleh sudah cukup untuk mengoptimasi data terhadap model.

Dari hasil optimasi model kinetika dengan konsentrasi selulosa bakteri maka diperoleh berbagai konstanta kinetika reaksi fermentasi selulosa bakteri. Konstanta kinetika reaksi fermentasi selulosa bakteri disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Data hasil nilai konstanta reaksi fermentasi selulosa bakteri

Konstanta reaksi	Nilai
$\mu_{max}$	0,29/hari
Ks	2,05 g/L
Kd	1,13/hari
m	1,32/hari

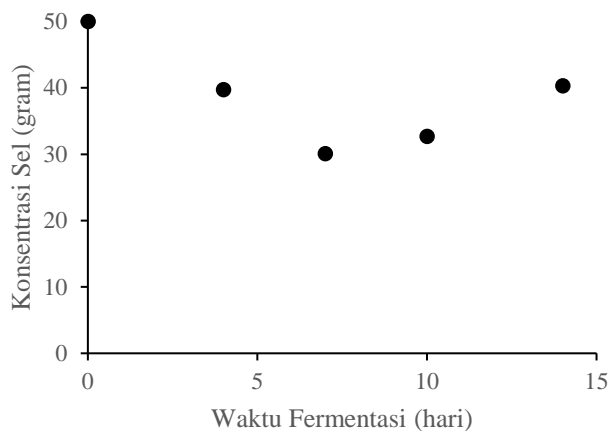
Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa terdapat berbagai nilai konstanta reaksi seperti  $\mu_{max}$  (*maximum specific growth rate*), ks (konstanta monod), kd (konstanta laju kematian sel) dan m (konstanta sel *maintanance*). Pada Tabel 1 hasil optimasi dengan menggunakan MATLAB diperoleh nilai konstanta reaksi fermentasi selulosa bakteri yaitu  $\mu_{max}$  sebesar 0,29/hari; Ks sebesar 2,05 g/L; Kd sebesar 1,13/hari dan m sebesar 1,32/hari.

#### 3.2.2 Prediksi Konsentrasi Sel

Prediksi konsentrasi sel dapat diperoleh dari hasil optimasi massa selulosa bakteri dengan model kinetika yang digunakan. Prediksi konsentrasi sel dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa prediksi konsentrasi sel yang telah dioptimasi terhadap kinetika produksi selulosa bakteri pada penelitian ini cenderung naik turun seiring dengan semakin lamanya waktu fermentasi. Hal ini menunjukkan proses pembentukan sel masih dalam tahap eksponensial. Fenomena pertumbuhan sel seperti *lag phase*, *stationary phase* dan *death phase* sesuai Fogler (2006) belum terlihat pada proses fermentasi yang

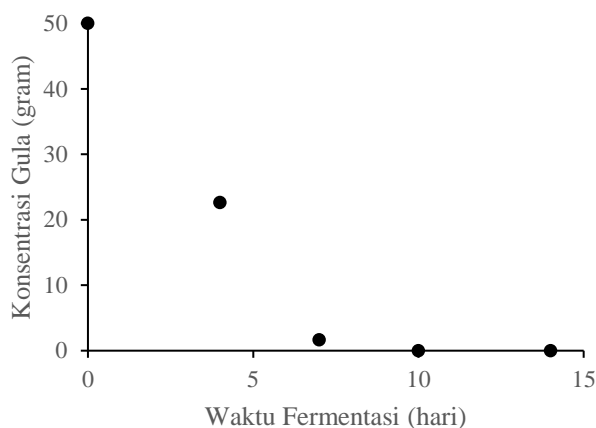
dilakukan. Hal ini bisa disebabkan karena rentang waktu fermentasi yang dianalisis masih terlalu singkat.



Gambar 3. Prediksi Konsentrasi Sel Hasil Optimasi

### 3.2.3 Prediksi Konsentrasi Glukosa

Sumber karbon yang digunakan pada penelitian ini adalah glukosa. Glukosa inilah yang dipakai oleh sel *Acetobacter xylinum* untuk melakukan proses pertumbuhan. Pengaruh waktu fermentasi terhadap prediksi konsentrasi glukosa pada produksi selulosa bakteri dari kulit pisang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Prediksi Konsentrasi Glukosa Hasil Optimasi

Berdasarkan Gambar 4 konsentrasi glukosa cenderung menurun seiring dengan semakin lamanya waktu fermentasi dalam produksi selulosa bakteri. Penurunan tertinggi terlihat pada fermentasi hari ke-4 dan ke-7. Sedangkan fermentasi hari ke-10 hingga hari ke-14 konsentrasi glukosa diprediksi sudah tidak ada. Gula sebagai sumber karbon utama dalam penelitian ini ternyata dapat didukung dengan adanya sumber karbon lain yang dapat berasal dari bahan baku kulit pisang. Hal ini dapat dibuktikan dengan masih terbentuknya selulosa bakteri hingga hari ke-10 dan ke-14 sesuai Gambar 1.

## 4. Kesimpulan

Produksi selulosa bakteri dari limbah kulit pisang untuk penentuan parameter kinetika reaksi dilakukan pada penelitian ini. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa waktu fermentasi mempengaruhi produksi selulosa bakteri yang dihasilkan dimana semakin lama waktu fermentasi akan menghasilkan semakin besar massa selulosa bakteri. Pada penelitian ini produksi selulosa bakteri berada pada tahap eksponensial dengan lama waktu fermentasi selama 14 hari. Selain itu, kulit pisang sebagai bahan baku dapat memenuhi kebutuhan karbon selain glukosa. Parameter kinetika produksi selulosa bakteri limbah kulit pisang dari hasil optimasi model kinetika dengan data selulosa bakteri menghasilkan nilai parameter kinetika reaksi yaitu  $\mu_{max}$  (*maximum specific growth rate*),  $k_s$  (konstanta monod),  $k_d$  (konstanta laju kematian sel) dan  $m$  (konstanta sel *maintanance*). sebesar 0,29/hari, 2,05 g/L, 1,13/hari, dan 1,32/hari.

## Daftar Pustaka

- Aydin, Y.A., and Aksoy, N.D. (2015). Kinetic modelling of bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter hansenii* P2A. *Anadolu University Journal of Science and Technology – Applied Sciences and Engineering*, 239 – 247.
- Badilla, S.O., Garcia, A.K., Vazquez, J.M., Sanchez, R.A.S., Velasco, C.O., Carranza, P.H., and Cruz, A.R.N. (2022). Potential use of banana peel (*Musa cavendish*) as ingredient for pasta and bakery products. *Heliyon*, 8 (e11044), 1 – 9.
- Bianchet, R.T., Cubas, A.L.V., Machado, M.M., and Moecke, E.H.S. (2020). Applicability of bacterial cellulose in cosmetics – bibliometric review. *Biotechnology Reports*, 27 (e00502), 1 – 6.
- Budhiono, A., Rosidi, B., Taher, H. and Iguchi, M. (1999). Kinetic aspects of bacterial cellulose formation in nata-de-coco culture system. *Carbohydrate Polymers*, 40, 137 – 143.
- Deb, S., Kumar, Y., and Saxena, D.C. (2022). Functional, thermal and structural properties of fractionated protein from waste banana peel. *Food Chemistry: X*, 13 (100205), 1 – 9.
- Fadhilah, R. and Kurniawan, R.A. (2016). Synthesis and characterization of bacterial cellulose-acrylamide hydrogel prepared from banana peels. *Asian Journal of Chemistry*, 28(6), 1311 – 1314.
- Fadlilah, I., Pramita, A., Triwuri, N.A., and Anggorowati, H. (2023). Pemanfaatan karbon aktif kulit pisang kapok dan karbon aktif tempurung nipah sebagai biosorbent untuk pengolahan limbah cair laundry. *Eksergi Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 20(2), 118 – 123.
- Fogler, H.S. (2006). *Elements of Chemical Reaction Engineering Fifth Edition*. Prentice Hall International Series, USA, 53 (9), 91-98.
- Foresti, M.L., Vazquez, A., and Boury, B. (2017). Applications of bacterial cellulose as precursor of

- carbon and composites with metal oxide, metal sulfide and metal nanoparticles: a review of recent advances. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 157, pp. 447-467.
- Hornung, M. (2010). Optimising the production of bacterial cellulose in suface culture. Dissertation, Martin Luther Universitat Halle-Wittenberg.
- Indarwati, T., Irawati, T., dan Rimawati, E. (2018). Penggunaan Metode Linear Regression Untuk Prediksi. *J. TIKomSIN*, 6, (2), 2-7.
- Khami, S., Khamwicheit, W., Suwannahong, K., and Sanongraj, W. (2014). Characteristics of bacterial cellulose production from agricultural wastes. *Advance Materials Research*, 931, 693 – 697.
- Khamkeaw, A., Sanprom, W., and Phisalaphong, M. (2023). Activated carbon from bacterial cellulose by potassium hydroxide activation as an effective adsorbent for removal of ammonium ion from aqueous solution. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8(100499), 1 – 7.
- Layuk, P., Lintang, M., and Joseph, G.H. (2012). Pengaruh waktu fermentasi air kelapa terhadap produksi dan kualitas nata de coco. *Buletin Palma*, 13 (1), 41 – 45.
- Marlinda and Hartati, R. (2019). Optimalisasi karakteristik nata de banana skin melalui perubahan konsentrasi *Acetobacter xylinum*. *Jurnal Optimalisasi*, 5(2), 52 – 59.
- Masri, M., Irhamniah, Latif, U.T.A., and Rusny. (2020). Comparison of nata quality from cassava peels, ladyfinger bananas peels, and durian peels. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, 6(1), 146 – 155.
- Moukamnerd, C., Ounmuang, K., Konboa, N. and Insomphun, C. (2020). Bacterial cellulose production by *Komagataeibacter nataicola* TISTR 2661 by agro-waste as a carbon source. *Chiang Mai Journal Science*, 47(1), 16 – 27.
- Moyo, L.B., Simate, G.S., and Mutsatsa, T. (2022). Biological acidification of pig manure using banana peel waste to improve the dissolution of particulate phosphorus: A critical step for maximum phosphorus recovery as struvite. *Heliyon*, 8 (e10091), 1 – 7.
- Muhsinin, S., Putri, N.T., Ziska, R., and Jafar, G. (2017). Bacterial cellulose from fermented banana peels (*musa paradisiaca*) by *Acetobacter xylinum* as matrix of biocellulose mask. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 9(2), 159 – 162.
- Picheth, G.F., Pirich, C.L., Sierakowski, M.R., Woehl, M.A., Sakakibara, C.N., Souza, C.F., Martin, A.A., Silva, R., Freitas, R.A. (2017). Bacterial cellulose in biomedical applications: a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 97 – 106.
- Purwanto, A. (2012). Produksi nata menggunakan limbah beberapa jenis kulit pisang. *Widya Warta*, 2, 210 – 224.
- Ramirez, C.M., Gutierrez, A.C., Castro, C., Zuluaga, R., and Ganán, P. (2020). Effect of production process scale-up on the characteristics and properties of bacterial nanocellulose obtained from overripe banana culture medium. *Carbohydrate Polymers*, 240 (116341), 1 – 9.
- Rossi, E., Pato, U., and Damanik, S.R. (2008). Optimalisasi pemberian ammonium sulfat terhadap produksi nata de banana skin. *Sagu*, 7(2), 30 – 36.
- Sijabat, E.K., Nuruddin, A., Aditiawati, P., and Purwasasmita, B.S. (2020). Optimization on the synthesis of bacterial nano cellulose (BNC) from banana peel waste for water filter membrane application. *Materials Research Express*, 7 (055010), 1 – 10.
- Sijabat, E.K., Nuruddin, A., Aditiawati, P., and Purwasasmita, B.S. (2019). Synthesis and characterization of bacterial nanocellulose from banana peel for water filtration membrane application. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1230 (012085) pp. 1 – 9.
- Sriplai, N., and Pinitsoontorn, S. (2021). Bacterial cellulose-based magnetic nanocomposites: a review. *Carbohydrate Polymers*, 254 (117228), 1 – 55.
- Sulaiman, N.N., Rahman, N.A., and Esa, F. (2018). Monitoring production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* 0416 with fuzzy logic via simulation. *Jurnal Kejuruteraan SI* 1(7), 21 – 26.
- Sulaeva, I., Henniges, U., Rosenau, T., and Potthast, A. (2015). Bacterial cellulose as a material for wound treatment: properties and modification. a review. *Biotechnology Advances*, 33(8), 1547 – 1571.
- Taylor, M.A. (1999). A kinetic study of bacterial cellulose production by a batch process. Faculty of Graduate Studies, University of Western Ontario, London.
- Toda, T. (2016). Cellulose Nanofiber “Nata de coco”. *Cellulose Communication*, 23(2), 78 – 80.
- Wang, J., Tavakoli, J., and Tang, Y. (2019). Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods – a review. *Carbohydrate Polymers*, 219, 63-76.
- Zaini, H.M., Roslan, J., Saallah, S., Munsu, E., Sulaiman, N.S., and Pindi, W. (2022). Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in the food industry. *Journal of Functional Foods*, 92 (105054), 1 – 12.