



Produksi Selulosa Bakteri Berbasis Limbah Kulit Pisang dan Limbah Kulit Pepaya dengan Penambahan Etanol

Bacterial Cellulose Production from Banana Peel Waste and Papaya Peel Waste with Ethanol Addition

Jabosar Ronggur Hamonangan Panjaitan^{*}, Agus Purnomo

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

Email: jabosar.panjaitan@tk.itera.ac.id

^{*}Penulis Korespondensi

Abstract

Banana peel and papaya peel waste are fruit waste which produced in Indonesia. Mineral and sugar that contained in these two wastes can be used as a fermentation medium to produce biomaterials like bacterial cellulose or *nata*. In this research, we examined the comparison of bacterial cellulose production from banana peel and papaya peel waste, accompanied by the effect of bacterial cellulose production on ethanol addition. This research showed that banana peels and papaya peels can be used as raw materials in bacterial cellulose production with the highest yield of 9.33% obtained from papaya peel waste media without ethanol addition. Meanwhile, the lowest yield of *nata* was 1.33% obtained from papaya skin fermentation media with 3% ethanol addition. Ethanol addition in this study was inhibited the fermentation process due to the high concentration of ethanol. Ethanol, which was originally expected to be a carbon source in this study, turned into a toxic compound for the growth of *Acetobacter xylinum*.

Keywords: Ethanol, papaya peel, banana peel, bacterial cellulose

Abstrak

Limbah kulit pisang dan limbah kulit pepaya merupakan limbah buah hasil konsumsi yang cukup banyak dihasilkan di Indonesia. Potensi kandungan mineral dan gula yang terdapat di dalam kedua limbah ini dapat digunakan sebagai media fermentasi untuk memproduksi biomaterial salah satunya adalah selulosa bakteri atau *nata*. Pada penelitian ini akan diteliti perbandingan produksi selulosa bakteri dari bahan baku limbah kulit pisang dan limbah kulit pepaya yang disertai pengaruh produksi selulosa bakteri terhadap penambahan etanol. Penelitian ini menunjukkan bahwa kulit pisang dan kulit pepaya dapat digunakan sebagai bahan baku dalam produksi selulosa bakteri dengan yield tertinggi sebesar 9,33% diperoleh dari media limbah kulit pepaya tanpa adanya penambahan etanol. Sedangkan yield terendah *nata* sebesar 1,33% diperoleh dari media fermentasi kulit pepaya dengan penambahan 3% etanol. Penambahan etanol pada penelitian ini menghambat proses fermentasi dikarenakan tingginya konsentrasi etanol yang digunakan. Etanol yang semula pada penelitian ini diharapkan sebagai sumber karbon berubah menjadi senyawa toksik bagi pertumbuhan *Acetobacter xylinum*.

Kata kunci: Etanol, kulit pepaya, kulit pisang, selulosa bakteri

Disubmit : 28 Februari 2024 ; Direvisi : 2 Februari 2025 ; Diterima : 10 Februari 2025

Pendahuluan

Pisang merupakan salah satu buah yang banyak dikonsumsi masyarakat. Seiring dengan meningkatnya konsumsi buah pisang, pengolahan pisang menghasilkan limbah kulit pisang sebesar 30 - 40% dari berat total buah

(Pereira *et al.*, 2021; Deb *et al.*, 2022). Beberapa produk dapat dihasilkan dari pengolahan limbah kulit pisang karena kandungannya yang rendah tanin dan tinggi serat seperti prebiotik, pupuk kompos, dan makanan ternak (Pereira *et al.*, 2021) (Teshome, 2022) (Mohd Zaini *et al.*, 2022).

Copyright© 2025. Jabosar Ronggur Hamonangan Panjaitan, Agus Purnomo



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

How to Cite : Panjaitan, J. R. H., & Purnomo, A. (2025). Produksi Selulosa Bakteri Berbasis Limbah Kulit Pisang dan Limbah Kulit Pepaya dengan Penambahan Etanol. Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati 10(1):96-104.

Komponen yang terdapat dalam kulit pisang antara lain protein (6 – 9%), lemak (3.8 – 11%), serat (43,2 – 49,7%), mineral, dan gula. Komposisi serat limbah kulit pisang terdiri dari selulosa (18-59%), hemiselulosa (17-20%), dan pektin (10-20%) (Pereira *et al.*, 2021).

Tanaman pepaya dengan nama latin *Carica papaya* L. merupakan salah satu tumbuhan *herbaceous fruiting* yang banyak ditemukan dan dikonsumsi di Indonesia. Pepaya kaya akan komponen bioaktif seperti karoten, fenol, mineral, folat, serat, vitamin A, B, C, dan E (Gbenga-Fabusiwa *et al.*, 2022; Pathak *et al.*, 2019; Rojas-Flores *et al.*, 2021; Trisnawaty *et al.*, 2021). Komposisi pepaya antara lain 8,5% biji, 12% kulit dan 79,5% pulp (Oladipo *et al.*, 2020). Limbah kulit pepaya umumnya mengandung komponen bioaktif yang digunakan sebagai makanan ternak, kosmetik, dan obat – obatan. Selain itu, limbah kulit pepaya dapat dikonversi menjadi biokar (Hamid & Zulkifli, 2021), bioadsorben (Abbaszadeh *et al.*, 2018), pektin (Halim & Darmawan, 2021), medium fermentasi (Hwang *et al.*, 2021).

Kandungan nutrisi yang melimpah dalam kulit pisang dan pepaya menunjukkan potensi bahwa kedua limbah kulit buah ini dapat dijadikan sebagai bahan media fermentasi. Selulosa bakteri atau *nata* adalah salah satu produk yang dapat dihasilkan dari proses fermentasi. Keunggulan selulosa bakteri adalah kemurnian yang tinggi dibandingkan selulosa tumbuhan. Selulosa bakteri merupakan polimer yang terdiri dari β -1,4 D *glucopyranose* dari mikroorganisme aerobik (Betlej *et al.*, 2021). Selulosa bakteri umumnya diproduksi oleh bakteri gram negatif (Hasanin *et al.*, 2023). *Gluconacetobacter xylinus* (*Acetobacter xylinum*) merupakan bakteri yang secara efektif dapat memproduksi selulosa bakteri (Lahiri *et al.*, 2021). Proses fermentasi selulosa bakteri dimulai dengan polimerisasi dari molekul intraseluler glukosa dan perakitan polimer selulosa menjadi *nanofiber* kristal. Proses ini dapat terjadi antara 7 – 14 hari (Liany *et al.*, 2022).

Struktur fisik selulosa bakteri dikendalikan oleh tipe kultivasi dan bioreaktor yang digunakan untuk memproduksi selulosa bakteri (Choi *et al.*, 2022). Kultur statis dan agitasi dapat digunakan untuk memproduksi selulosa bakteri (Potočnik *et al.*, 2023). Pada umumnya selulosa bakteri memiliki

karakteristik *tensile strength* yang tinggi, luas permukaan yang tinggi, kapasitas penyimpanan air yang tinggi, permeabilitas yang baik, fleksibilitas, elastisitas, dan durabilitas yang baik (Rahman *et al.*, 2021; Zhong, 2020). Adapun aplikasinya dalam industri teknologi selulosa bakteri dapat digunakan untuk membuat komposit yang diaplikasikan pada sektor medis ataupun tekstil.

Etanol yang termasuk sumber karbon dapat mempengaruhi produksi selulosa bakteri sehingga beberapa penelitian telah dilakukan untuk mencari pengaruh etanol terhadap produksi selulosa bakteri. Naritomi *et al.* (1998) meneliti produksi selulosa bakteri menggunakan *Acetobacter xylinum* dengan bahan baku fruktosa (Naritomi *et al.*, 1998). Etanol yang ditambahkan ternyata meningkatkan ATP, konsentrasi sel, dan laju konsumsi fruktosa. Pengaruh etanol dan sodium sitrat dalam produksi selulosa bakteri juga diteliti Li *et al.* (2012) yang menunjukkan etanol menjadi sumber energi pada jalur fermentasi *hexose monophosphate pathway* (HMP) serta dapat mengurangi pembentukan gliserol (Li *et al.*, 2012). Lu *et al.* (2011) meneliti pengaruh berbagai jenis alkohol terhadap produksi selulosa bakteri dan diperoleh bahwa terjadinya peningkatan jumlah sel dan selulosa bakteri dengan adanya penambahan senyawa alkohol (Lu *et al.*, 2011). Agustin dan Padmawijaya (2018) membandingkan penambahan asam asetat dan etanol terhadap produksi selulosa bakteri dari *Acetobacter xylinum* yang menunjukkan kandungan air dan *swelling ratio* dari *nata* dengan penambahan etanol lebih tinggi dibandingkan *nata* dengan penambahan asam asetat (Agustin & Padmawijaya, 2018). Yunoki *et al.* (2004) melakukan analisis *nuclear magnetic resonance* (NMR) pada produksi selulosa bakteri dengan penambahan etanol. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa etanol dapat digunakan sebagai sumber karbon pengganti glukosa dan asam glukonat dalam produksi selulosa bakteri (Yunoki *et al.*, 2004).

Produksi selulosa bakteri telah banyak diteliti dengan bahan baku komersil yang disertai analisis pengaruh penambahan etanol. Akan tetapi, penelitian yang membandingkan dua jenis limbah dalam memproduksi selulosa bakteri dan pengaruh produksi terhadap penambahan etanol belum ada dilakukan. Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan diteliti

produksi selulosa bakteri dengan bahan baku limbah kulit pisang dan pepaya serta pengaruh produksinya terhadap penambahan etanol.

Metode Penelitian

Alat Dan Bahan Yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah blender, *Beaker glass* 1000 ml, Oven, pH, wadah plastik, gelas ukur 200 ml, pipet tetes, timbangan analitik, desikator, botol *Schott* 500 ml, kertas koran, kertas saring, karet gelang, loyang plastik, panci kompor, dan cawan porselin. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit pisang kepok, kulit pepaya matang dari daerah way huwi lampung selatan, *Acetobacter xylinum* (Biotechno), air (*Aquadest*) 1000 mL, asam asetat glasial 150 mL, NaOH 2 M, amonium sulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 200 gram, gula pasir 100 gram, Etanol p.a 98% (0%, 1%, 2% dan 3%).

Pembuatan Sari Kulit Pisang

Pembuatan sari kulit pisang dibuat sesuai Aprianto (2019) dengan modifikasi. Kulit pisang dicuci dengan air bersih yang kemudian diserut bagian dalamnya dan ditimbang sebesar 600 gram. Bahan kulit pisang lalu ditambahkan 400 mL akuades dan diblender hingga halus. Campuran kulit pisang kemudian disaring dengan menggunakan saringan hingga diperoleh larutan sari kulit pisang sebanyak ± 1000 ml.

Pembuatan Sari Kulit Pepaya

Pembuatan sari kulit pepaya diproduksi sesuai Zahan *et al.* (2017) dengan modifikasi. Kulit pepaya direndam dengan air bersih selama satu lalu diserut bagian dalam kulit pepaya dan ditimbang hingga mencapai 600 gram. Kulit pepaya yang telah diserut lalu ditambahkan 1200 ml akuades dan diblender hingga halus. Produk kemudian disaring hingga diperoleh sari kulit pepaya sebanyak ± 1200 ml.

Pembuatan Selulosa Bakteri Dari Kulit Pisang Dan Kulit Pepaya

Metode pembuatan selulosa bakteri dilakukan sesuai Zahan *et al.* (2017) dengan modifikasi. 1000 ml larutan sari kulit pisang dimasukkan ke dalam panci dan dididihkan di atas kompor. Larutan kulit pisang yang telah

mendidih ditambahkan gula sebanyak 5%(b/v), asam asetat glasial 0,8%(v/v), amonium sulfat sebanyak 0,4%(b/v) sambil diaduk secara perlahan. Larutan kulit pisang yang telah dicampurkan dengan berbagai bahan telah menjadi larutan media fermentasi untuk memproduksi selulosa bakteri. Larutan media fermentasi kemudian diangkat dan dituang sebanyak 125 ml ke dalam masing-masing wadah fermentasi yang telah disterilisasi. Setelah medium fermentasi dingin, 15 ml inokulum *Acetobacter xylinum* ditambahkan dan ditutup menggunakan kain. Kemudian masing-masing sampel diinkubasi pada temperatur $\pm 28^\circ\text{C}$ selama 5 hari. Metode pembuatan selulosa bakteri dengan bahan baku kulit pepaya dilakukan dengan metode yang sama. Sedangkan untuk selulosa bakteri dengan penambahan etanol dapat dilakukan dengan penambahan etanol sebelum dilakukan penambahan inokulum *Acetobacter xylinum*. Etanol yang ditambahkan sesuai dengan berbagai variasi konsentrasi antara lain 0%, 1%, 2%, dan 3% (Zahan *et al.*, 2017).

Analisis

Penentuan Berat Basah Dan Berat Kering *Nata*

Berat basah selulosa bakteri (*nata*) adalah berat *nata* yang dihasilkan setelah fermentasi. Sedangkan berat kering *nata* adalah kandungan serat yang tersisa setelah *nata* dikeringkan. Pengukuran berat basah dan kering *nata* dilakukan berdasarkan prosedur yang dilakukan Zahan *et al.* (2017) dengan modifikasi. Pada tahap pertama, *nata* hasil fermentasi diambil dari cetakan dan dibilas dengan air suling. *Nata* kemudian direndam dengan 200 mL larutan NaOH 2M selama 2 jam untuk menghilangkan bakteri yang menempel. Selanjutnya *nata* dicuci dengan air bersih sampai residu NaOH hilang. Kemudian keringkan *nata* dengan kertas tisu dan timbang beratnya. Berat yang diperoleh merupakan berat basah. Setelah mendapat berat basah *nata*, *nata* kemudian dikeringkan selama 24 jam menggunakan oven pada suhu 60°C . Kemudian timbang kembali berat *nata* sehingga diperoleh berat kering *nata* (Zahan *et al.*, 2017).

Penentuan Kadar Air

Metode pengukuran kadar air diambil dari penelitian sebelumnya oleh Purwanto

(2013) dengan modifikasi. Sampel *nata* yang akan ditentukan kadar airnya ditimbang pada cawan porselin. Cawan kemudian dimasukkan ke dalam oven selama tiga hingga empat jam pada suhu 100-105°C. Setelah dikeluarkan dari oven, sampel lalu dimasukkan ke dalam desikator yang kemudian sampel ditimbang untuk mengetahui beratnya (Purwanto, 2013). Perhitungan dilakukan pengulangan sampai beratnya konstan (selisih antara penimbangan berturut-turut tidak lebih dari 0,2 mg). Kehilangan berat tersebut dapat dihitung sebagai persentase dari kandungan air dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{Berat awal nata (g)} - \text{Berat akhir nata (g)}}{\text{Berat awal nata (g)}} \quad (1)$$

Penentuan Yield

Yield merupakan persentase produk yang diperoleh dengan membandingkan berat kering *nata* dan sumber karbon dikalikan 100% (Syakur & Pagari, 2019). Perhitungan *yield* dihitung menggunakan rumus berikut (Kazemi *et al.* (2015):

$$\text{Yield} = \frac{mo}{c} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana *mo* adalah berat kering dari selulosa bakteri (gram) dan *C* adalah berat sumber karbon (gram).

Hasil dan Pembahasan

Hasil Produksi Nata

Hasil untuk analisis *yield*, berat basah-kering, serta kandungan air pada produksi selulosa bakteri dari limbah kulit pisang dan kulit pepaya yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

Analisis Yield Selulosa Bakteri

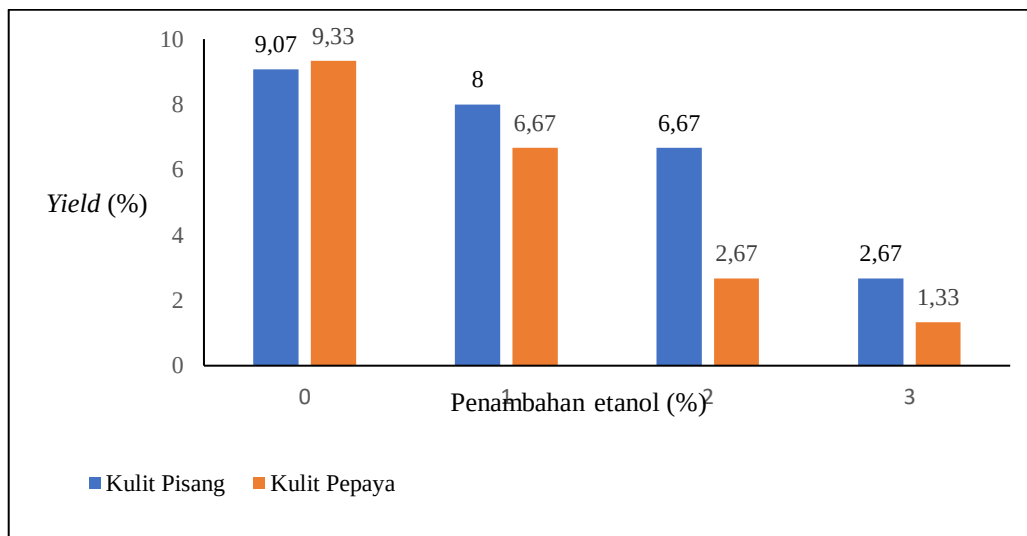
Terlihat dari Gambar 1. terdapat perbedaan *yield* yang dihasilkan akibat penambahan berbagai konsentrasi etanol pada bahan baku media fermentasi kulit pisang dan kulit pepaya. Sesuai Gambar 1. diketahui pengaruh penambahan etanol mengakibatkan kecenderungan *yield* yang menurun seiring dengan bertambahnya konsentrasi etanol. *Yield* terendah diperoleh dari media fermentasi kulit pepaya dengan penambahan etanol sebesar 3% dengan nilai *yield* sebesar 1,33%.

Tabel 1. Hasil produksi *nata* dari limbah kulit pisang

Sampel	Variasi Etanol	Yield (%)	Berat Nata (gram)		Kadar air (%)
			Basah	Kering	
1	0%	9,07	82	68	17,1
2	1%	8	90	60	33,3
3	2%	6,67	100	50	50
4	3%	2,67	130	20	85

Tabel 2. Hasil produksi *nata* dari limbah kulit pepaya

Sampel	Variasi Etanol	Yield (%)	Berat (gram)		Kadar air (%)
			Basah	Kering	
1	0%	9,33	80	70	12,5
2	1%	6,67	100	50	50
3	2%	2,67	130	30	85
4	3%	1,33	140	10	93



Gambar 1. Pengaruh penambahan etanol terhadap persentase *yield* selulosa bakteri

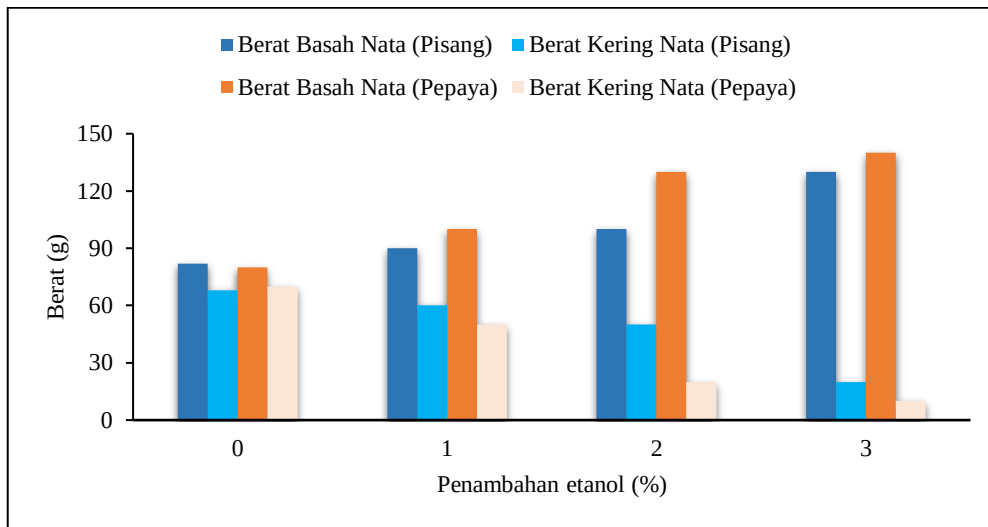
Yield tertinggi *nata* diperoleh dari media limbah kulit pepaya tanpa adanya penambahan etanol sebesar 9,33%. *Nata* pada sampel kulit pepaya menghasilkan *yield* lebih tinggi dibandingkan limbah kulit pisang dikarenakan kulit pepaya yang digunakan adalah sisa-sisa buah yang masih menempel pada kulit pepaya dibandingkan dengan kulit pisang yang menggunakan serat-serat yang terdapat pada kulit pisang. Mineral makro dan mikro dari bagian buah pada kulit pepaya pepaya matang adalah natrium, kalium, kalsium, magnesium, fosfor, besi, nikel, dan mangan. Kulit papaya mengandung vitamin C, niasin, riboflavin, tiamin, vitamin B-6 dan vitamin K (Bari *et al.*, 2006).

Sedangkan untuk limbah kulit pisang menghasilkan *yield* yang tidak terlalu jauh berbeda dengan limbah kulit pisang yaitu sebesar 9,07%. Hal ini dapat disebabkan kandungan dari limbah kulit pisang dan limbah kulit pepaya dapat digunakan untuk memproduksi selulosa bakteri. Selulosa bakteri memerlukan sumber karbon dan nitrogen yang optimal agar dapat terbentuk. Kandungan karbon dan nitrogen yang cukup akan meningkatkan aktivitas pertumbuhan dan pembentukan bakteri *Acetobacter xylinum* sehingga dapat menghasilkan kandungan selulosa yang tinggi. Pertumbuhan bakteri yang

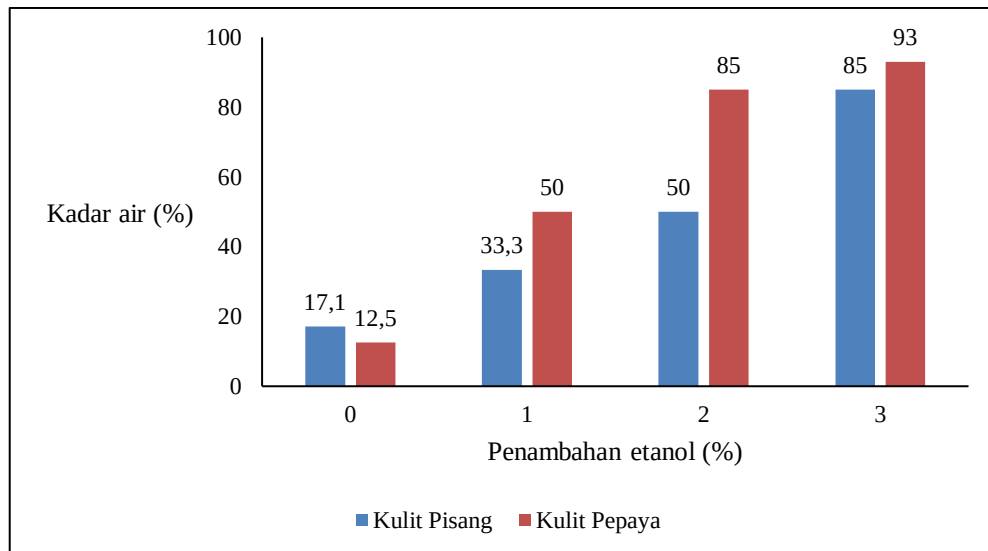
baik dan optimal mempengaruhi tingginya *yield* yang dihasilkan. Semakin tinggi tingkat rendemen menunjukkan bahwa nutrisi yang terkandung dalam proses fermentasi bakteri *Acetobacter xylinum* terpenuhi.

Analisis Berat Basah-Kering Dan Kadar Air *Nata*

Pada Gambar 2. menunjukkan hasil pengukuran berat basah dan kering pada *nata* dengan berbagai variasi etanol berbahan baku media limbah kulit pisang dan limbah kulit pepaya. Berat basah *nata* yang dihasilkan merupakan banyaknya *nata* yang dihasilkan dari fermentasi *Acetobacter xylinum* (Yanti *et al.*, 2020) Berat basah *nata* berhubungan dengan kandungan air yang terdapat di dalam selulosa bakteri. Sedangkan berat kering *nata* merupakan banyaknya serat selulosa yang tersisa setelah *nata* dikeringkan. Semakin tinggi berat kering *nata* yang diperoleh maka semakin tinggi serat selulosa yang dihasilkan. Pengaruh etanol pada berat kering *nata* menunjukkan penurunan seiring dengan bertambahnya konsentrasi etanol. Hal ini dapat disebabkan karena konsentrasi etanol yang tinggi menghambat produksi selulosa bakteri pada *Acetobacter xylinum* yang secara langsung mempengaruhi jumlah serat selulosa yang dihasilkan dari proses fermentasi.



Gambar 2. Pengaruh penambahan etanol terhadap berat basah dan kering selulosa



Gambar 3. Pengaruh penambahan etanol terhadap kadar air perlakuan fermentasi

Gambar 3. menunjukkan hasil pengujian kadar air *nata* dengan berbagai konsentrasi etanol untuk masing-masing sampel kulit pisang dan kulit pepaya. Kadar air selulosa menggambarkan persentase air yang terperangkap di dalam selulosa. Kandungan air pada selulosa dapat mempengaruhi elastisitas selulosa. Aktivitas bakteri yang mengubah gula menjadi selulosa mengurangi jumlah air pada lingkungan fermentasi karena pada saat terbentuknya lapisan selulosa, rongga-rongga pada selulosa akan terisi air sehingga selulosa menjadi padat dan mengandung air $\pm 95\%$ – 98% dan $2\text{-}5\%$ selulosa (Pratiwi & Aryawati, 2012).

Sesuai Gambar 3., kadar air media kulit pisang dan kulit pepaya tertinggi terdapat pada

etanol 3% yaitu sebesar 85% dan 93%. Hasil yang diperoleh dari menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi etanol yang diberikan untuk produksi *nata* maka semakin tinggi pula kadar air yang diperoleh. Kadar air yang lebih tinggi ini disebabkan oleh pengaruh konsentrasi etanol yang digunakan pada proses fermentasi selulosa bakteri menggunakan kulit pisang dan pepaya. Kandungan air yang cukup tinggi disebabkan karena ikatan antar selulosa kurang kuat sehingga menyebabkan banyak air yang tertahan. Air yang terperangkap dalam pelikel selulosa membuat lembaran selulosa menjadi lebih tebal (Pratiwi & Aryawati, 2012). Selulosa bakteri dengan kadar air rendah, seperti selulosa bakteri dari media kontrol (menggunakan sumber nitrogen urea),

menunjukkan bahwa jaringan selulosa terbentuk rapat sehingga tidak terbentuk rongga-rongga untuk penyerapan air (Sixin & Congfa, 2004).

Pengaruh Penambahan Etanol Pada Media Fermentasi Dan Kontaminasi

Penambahan etanol pada media fermentasi *nata* menunjukkan bahwa *nata* dapat terbentuk akan tetapi adanya muncul kontaminasi. Hal ini ditandai dengan kondisi media yang sebagian besar dalam kondisi cair dan adanya pertumbuhan jamur pada media sehingga menghambat terbentuknya *nata*. Penambahan etanol mempengaruhi pertumbuhan *Acetobacter xylinum* sehingga menyebabkan produksi *nata* tidak berjalan dengan baik. Hal ini ditunjukkan dengan munculnya jamur berwarna putih dan media fermentasi yang sebagian besar masih berupa cairan (Basuki & Fahadha, 2020). Hal ini dapat terjadi karena konsentrasi etanol yang digunakan pada penelitian ini terlalu tinggi, sekitar 1%-3% dari medium, sehingga etanol yang semula diharapkan sebagai sumber karbon berubah menjadi senyawa toksik bagi *Acetobacter xylinum*. Dalam kondisi anaerobik, etanol dapat dioksidasi menjadi asam asetat (Yunoki *et al.*, 2004). Asam asetat dalam jumlah besar dapat menghambat produksi selulosa bakteri (Naritomi *et al.*, 1998). Faktor lain yang tidak dapat dilepaskan dalam produksi selulosa bakteri adalah ketelitian dan kebersihan alat juga menjadi hal yang penting dalam pembuatan *nata* (Alfarisy & Rahmadhia, 2022).

Kesimpulan

Pada penelitian ini diteliti produksi selulosa bakteri dari bahan baku limbah kulit pisang dan limbah kulit pepaya dengan penambahan etanol. Limbah kulit pisang dan limbah kulit pepaya dapat digunakan dalam produksi selulosa bakteri karena memiliki kandungan mineral. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit pisang dan kulit pepaya dapat digunakan sebagai media dalam produksi selulosa bakteri dengan yield tertinggi *nata* diperoleh dari media limbah kulit pepaya tanpa adanya penambahan etanol sebesar 9,33%. Sedangkan yield terendah *nata* diperoleh dari media fermentasi kulit pepaya dengan penambahan etanol sebesar 3%

dengan nilai yield sebesar 1,33%. Pengaruh penambahan etanol pada proses fermentasi selulosa bakteri dalam media kulit pisang dan kulit pepaya dapat menghambat proses fermentasi. Hal ini disebabkan tingginya konsentrasi etanol yang digunakan sehingga etanol yang semula diharapkan sebagai sumber karbon berubah menjadi senyawa toksik bagi *Acetobacter xylinum*.

Daftar Pustaka

- Abbaszadeh, S., Nodeh, H. R., & Alwi, S. R. W. (2018). Bio-adsorbent derived from papaya peel waste and magnetic nanoparticles fabricated for lead determination. *Pure and Applied Chemistry* 90(1): 79–92.
- Agustin, Y. E., & Padmawijaya, K. S. (2018). Effect of acetic acid and ethanol as additives on bacterial cellulose production by *acetobacter xylinum*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 209(1): 1 - 5.
- Alfarisy, M., & Rahmadhia, S. N. (2022). An Analysis of the Causes of Damage to *Nata* de Coco in the Fermentation Process. *Journal of Agri-Food Science and Technology* 2(1): 96–103.
- Aprianto, S. (2019). Pengaruh Konsentrasi Bakteri dan Ph pada Proses Fermentasi Kulit Pisang menjadi *Nata* De Banana Peel. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Bari, L., Hassan, P., Absar, N., Haque, M., Khuda, M., Pervin, M., Khatun, S., & Hossain, M. (2006). Nutritional analysis of two varieties of papaya (*Carica papaya*) at different maturation stages. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 9(1): 137–140.
- Basuki, M., & Fahadha, R. U. (2020). Identification of The Causes *Nata* de Coco Production Defects for Quality Control. *Journal Industrial Engineering* 18(2): 175–181.
- Betlej, I., Krajewski, K. J., Boruszewski, P., & Zakaria, S. (2021). Bacterial cellulose-properties and its potential application. *Sains Malaysiana* 50(2): 493–505.
- Choi, S. M., Rao, K. M., Zo, S. M., Shin, E. J., & Han, S. S. (2022). Bacterial Cellulose and Its Applications. *Polymers* 14(6): 1-44.
- Deb, S., Kumar, Y., & Saxena, D. C. (2022). Functional, Thermal and Structural Properties of Fractionated Protein from Waste Banana Peel. *Food Chemistry X*, 13(100205): 1-9.
- Gbenga-Fabusiwa, F. J., Jeff-Agboola, Y. A., Ololade, Z. S., Akinrinmade, R., & Agbaje,

- D. O. (2022). Waste-to-wealth; nutritional potential of five selected fruit peels and their health benefits: A review. *African Journal of Food Science* 16(7): 172–183.
- Halim, Y., & Darmawan, C. R. (2021). Characteristics of Edible Film Made from Pectin of Papaya Peel. *Reaktor* 21(3): 116–123.
- Hamid, N. A. A., & Zulkifli, N. Z. (2021). Papaya peels as source of hydro char via hydrothermal carbonization. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 765(1): 1–11.
- Hasanin, M. S., Abdelraof, M., Hashem, A. H., & El Saied, H. (2023). Sustainable bacterial cellulose production by *Achromobacter* using mango peel waste. *Microbial Cell Factories* 22(1): 1–12.
- Hwang, T. Y., Qi, H. A., Kin, C. M., Shing, W. L., Djearmane, S., & Thirunavukkarasu, C. (2021). Potential of Fruit Peel Waste in Growing Cyanobacteria *Anabaena cylindrica*. *International Journal of Technology* 12(4): 711–719.
- Kazemi, M., Faranak, Doosthoseini, K., & Azin, M. (2015). Effect of Ethanol and Medium on Bacterial Cellulose (Bc) Production By *Gluconacetobacter Xylinus* (Ptcc 1734). *Cellulose Chemistry Technology* 49(6): 455–462.
- Lahiri, D., Nag, M., Dutta, B., Dey, A., Sarkar, T., Pati, S., Edinur, H. A., Kari, Z. A., Noor, N. H. M., & Ray, R. R. (2021). Bacterial cellulose: Production, characterization and application as antimicrobial agent. *International Journal of Molecular Sciences* 22(23): 1–18.
- Li, Y., Tian, C., Tian, H., Zhang, J., He, X., Ping, W., & Lei, H. (2012). Improvement of bacterial cellulose production by manipulating the metabolic pathways in which ethanol and sodium citrate involved. *Applied Microbiology and Biotechnology* 96(6): 1479–1487.
- Liany, S. A., Syafira, W., Putri, A., & Khasanah, A. U. (2022). Effect of Bacterial Cellulose (BC) Formation on Various Substrate Variations and Combinations. *Berkala Ilmiah Biologi* 13(2): 13–20.
- Lu, Z., Zhang, Y., Chi, Y., Xu, N., Yao, W., & Sun, B. (2011). Effects of alcohols on bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* 186. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 27(10): 2281–2285.
- Mohd Zaini, H., Roslan, J., Saallah, S., Munsu, E., Sulaiman, N. S., & 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.
- Naritomi, T., Kouda, T., Yano, H., & Yoshinaga, F. (1998). Effect of ethanol on bacterial cellulose production from fructose in continuous culture. *Journal of Fermentation and Bioengineering* 85(6): 598–603.
- Oladipo, B., Ojumu, T. V., Latinwo, L. M., & Betiku, E. (2020). Pawpaw (*Carica papaya*) peel waste as a novel green heterogeneous catalyst for moringa oil methyl esters synthesis: Process optimization and kinetic study. *Energies* 13(21): 1–25.
- Pathak, P. D., Mandavgane, S. A., & Kulkarni, B. D. (2019). Waste to Wealth: A Case Study of Papaya Peel. *Waste and Biomass Valorization* 10(6): 1755–1766.
- Pereira, M. A. F., Cesca, K., Poletto, P., & de Oliveira, D. (2021). New perspectives for banana peel polysaccharides and their conversion to oligosaccharides. *Food Research International* 149(110706): 1–4.
- Potočník, V., Gorgieva, S., & Trček, J. (2023). From Nature to Lab: Sustainable Bacterial Cellulose Production and Modification with Synthetic Biology. *Polymers* 15(16): 1–25.
- Pratiwi, A., & Aryawati, R. (2012). Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Sifat Fisik dan Kimia pada Pembuatan Minuman Kombucha dari Rumput Laut *Sargassum* sp. *Journal Marine Science* 04:131–136.
- Purwanto, A. (2013). Produksi Nata Menggunakan Limbah Beberapa Jenis Kulit Pisang. *Universitas Katolik Widya Mandala Madiun* 02: 332–341.
- Rahman, S. S. A., Vaishnavi, T., Vidyasri, G. S., Sathya, K., Priyanka, P., Venkatachalam, P., & Karuppiyah, S. (2021). Production of bacterial cellulose using *Gluconacetobacter kombuchae* immobilized on *Luffa aegyptiaca* support. *Scientific Report* 11(1): 1–15.
- Rojas-Flores, S., Pérez-Delgado, O., Nazario-Naveda, R., Rojas-Alfaro, H., Benites, S. M., De La Cruz-Noriega, M., & Otiniano, N. M. (2021). Potential use of papaya waste as a fuel for bioelectricity generation. *Processes* 9(10): 1–11.
- Sixin, L., & Congfa, L. (2004). Isolation and Control of Contaminating Fungi in Production of Nata de Coco. *Department of Food Science and Engineering* 25(3): 3–7.
- Syakur, A., & Pagari, I. (2019). Analisis Organoleptik Nata de Sagu. *Biogenerasi* 4(2): 1–7.
- Teshome, Z. T. (2022). Effects of Banana Peel

- Compost Rates on Swiss Chard Growth Performance and Yield in Shirka District. *Heliyon* 8:e10097.
- Trisnawaty, K., Rauna, A. E., Dewi, S. R. P., & Handayani, P. (2021). In vitro study of antifungal effect of carica papaya peel var. California extract against *Candida albicans*. *Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan Publikasi Ilmiah Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya* 8(1): 61–68.
- Yanti, N. A., Ambardini, S., Isra, W. O., & Parakkasi, V. N. R. (2020). Potensi limbah cair tahu sebagai sumber nitrogen pada produksi selulosa bakteri. *Jurnal Bioma: Biologi Makassar* 5(1): 9–17.
- Yunoki, S., Osada, Y., & Kono, H. (2004). Role of Ethanol in Improvement of Bacterial Analysis Using ¹³C-Labeled Carbon Sources D20 containing one drop of DMSO-d the Biosynthesized. *Food Science and Technology* 10(3): 307–313.
- Zahan, K. A., Hedzir, M. S. A., & Mustapha, M. (2017). The potential use of papaya juice as fermentation medium for bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* 0416. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* 40(3): 343–350.
- Zhong, C. (2020). Industrial-Scale Production and Applications of Bacterial Cellulose. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 8(605374):1–19.