

Pengaruh Pembentukan BC (*Bacterial cellulose*) dengan Berbagai Variasi dan Kombinasi Substrat

Effect of Bacterial Cellulose (BC) Formation on Various Substrate Variations and Combinations

Siti Assyifa Liany¹, Wilda Syafira¹, Adelia Putri¹, Anis Uswatun Khasanah^{1*}

¹Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Sains UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten, Jl. Syekh Nawawi Al Bantani No 30, Serang, Banten Indonesia.

*Corresponding Author: anis.uk@uinbanten.ac.id

Abstrak: Selulosa merupakan salah satu polimer paling melimpah di bumi dan sering digunakan sebagai bahan baku utama di berbagai industri. *Bacterial Cellulose* (BC) adalah senyawa organik yang dihasilkan oleh bakteri tertentu dengan berbagai variasi dan kombinasi substrat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis substrat terhadap pembentukan BC seperti air kelapa, leri, tomat, campuran tomat-leri, air kelapa-tomat, dan air kelapa-leri dengan uji fisik pada masing-masing sampel. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen pada masing-masing substrat dan dianalisis secara deskriptif dan kualitatif. Formula pembuatan BC adalah 50 mL substrat, 5 gram gula pasir, 2 gram amonium sulfat (ZA), 2 gram asam asetat glasial, dan 2 mL starter komersial (*Acetobacter xylinum*). Hasil penelitian ini menunjukkan ketebalan terbaik diperoleh dari substrat air kelapa-leri sebesar 2,3 cm, dan rendemen terbaik ditunjukkan pada substrat air kelapa-leri sebesar 80%. Sedangkan kadar air tertinggi diperoleh dari substrat air kelapa, air kelapa-tomat, dan air kelapa-leri dengan presentase yang sama yaitu sebesar 99%. Kadar serat tertinggi diperoleh dari substrat air leri, air tomat, dan kombinasi air leri--tomat masing-masing sebesar 3%.

Kata kunci: selulosa bakteri; fisik; substrat

Abstract: Cellulose is one of the most abundant polymers on the earth's surface and is often used as the main raw material in various industries. Bacterial Cellulose (BC) is an organic compound produced by certain bacteria with various variations and combinations of substrates. This study aims to determine the effect of the type of substrate on the formation of BC such as coconut water, leri, tomatoes, and a mixture of tomato-leri, coconut-tomato water, and coconut water-leri with physical tests on each sample. This study used experimental methods on each substrate and analyzed descriptively and qualitatively. The formula for making BC was 50 mL of each substrate, 5 grams of sugar, 2 grams of ZA (ammonium sulfate), 2 grams of glacial acetic acid, and 2 mL of starter (*Acetobacter xylinum*). The results of this study obtained the highest thickness and yield on the coconut-leri substrate treatment of 2.3 cm, and 80% yield, the highest water content on the coconut water, coconut-tomato water, and coconut-leri substrate treatments, respectively, each of 99% and the highest fiber content in leri, tomato water, and tomato-leri substrates were 3% each.

Keywords: bacterial cellulose; physical; substrate

Dikumpulkan: 11 April 2022 Direvisi: 19 Juni 2022

Diterima: 9 Agustus 2022

Dipublikasi: 23 Agustus 2022

Pendahuluan

Selulosa adalah makromolekul biologi yang keberadaannya melimpah. Selulosa merupakan komponen penting pada dinding sel tumbuhan yang ditemukan juga pada alga dan

bakteri (Morgan *et al.*, 2013). Selulosa yang dihasilkan oleh bakteri (*Bacterial cellulose*) memiliki kelebihan dibandingkan selulosa dari tanaman (*Plant cellulose*). Kelebihan BC (*Bacterial cellulose*) dibanding PC (*Plant cellulose*) diantaranya memiliki kemurnian yang

tinggi (dibandingkan PC (*Plant cellulose*) yang masih mengandung lignin, pektin, dan hemiselulosa), memiliki porositas tinggi, dan mudah diuraikan (Naomi *et al.*, 2020).

BC (*Bacterial cellulose*) sudah lama dikenal sebagai bahan baku pangan yang dikenal dengan nama Nata dan umumnya diproduksi oleh industri dalam skala besar. Tidak hanya industri pangan, dalam era modern ini BC (*Bacterial cellulose*) telah banyak diaplikasikan secara komersial, contohnya pada bidang medis untuk pembalut luka dan rekayasa jaringan, serta bahan baku kertas, kemasan, dan tekstil (Blanco Parte *et al.*, 2020). Di Indonesia sendiri pada tahun 2018 aplikasi BC (*Bacterial cellulose*) telah diproduksi secara komersial oleh PT Supra Natami Utama yang bekerja sama dengan Nanollose, perusahaan tekstil dari Australia untuk mengembangkan produksi tekstil dengan fermentasi BC (*Bacterial cellulose*) menggunakan media kultur air kelapa (Zhong, 2020).

BC (*Bacterial cellulose*) dapat disintesis melalui proses fermentasi oleh bakteri diantaranya genus *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Aerobacter*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Komagataeibacter/Acetobacter*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Sarcina*, dan *Rhodobacter* (Lin *et al.*, 2020). Namun, yang sering digunakan dan banyak dipelajari adalah *Acetobacter xylinum* (Cheng Zhong *et al.*, 2013), karena memiliki efektivitas dalam penghasilan BC (*Bacterial cellulose*) (Ross *et al.*, 1991).

Pembentukan serat selulosa oleh bakteri melalui serangkaian proses fermentasi memakan waktu 7 – 14 hari. Proses fermentasi BC (*Bacterial cellulose*) dapat dibagi dalam dua tahap yaitu polimerisasi dari molekul intraseluler glukosa menjadi polimer selulosa dan tahap perakitan rantai polimer selulosa menjadi nanofiber kristal (Czaja *et al.*, 2007).

BC (*Bacterial cellulose*) adalah polimer dari monomer β -(1 \rightarrow 4)-D-glukosa yang terbentuk ketika glukosa dimodifikasi untuk mengikat gugus uridin difosfat (UDP) dan selanjutnya UDP-glukosa dipolimerisasi oleh kompleks selulosa sintase di membran dalam sel. Setelah polimer terbentuk, polimer langsung disekresikan keluar dari sel membentuk fibril yang nantinya menjadi serat-serat selulosa (Jacek *et al.*, 2019). Serat selulosa yang dikeluarkan terus bertambah dan saling terjalin satu sama

lain, sehingga menambah volume dan kepadatan permukaan medium kultur dan membentuk lapisan material yang dikenal sebagai 'pelikel' (Singh *et al.*, 2020).

Biaya medium fermentasi adalah salah satu masalah umum yang membatasi pengaplikasian BC (*Bacterial cellulose*) dalam skala besar (Ramana *et al.*, 2000). Medium fermentasi mencapai 30% dari biaya produksi secara keseluruhan (Rivas *et al.*, 2004). Komposisi utama medium fermentasi BC (*Bacterial cellulose*) terdiri dari sumber karbon, nitrogen, dan pH asam pada mediumnya (Anam *et al.*, 2019). Komposisi tersebut menjadi faktor keberhasilan pembuatan BC (*Bacterial cellulose*). Kebutuhan terbesar suatu medium fermentasi adalah sumber karbon, oleh karena itu dilakukan berbagai penelitian untuk mencari alternatif sumber karbon lain di antaranya dengan memanfaatkan limbah agro-industrial yang menyediakan sumber nutrisi penting untuk produksi BC (*Bacterial cellulose*), sehingga mengurangi biaya produksinya (Güzel & Akpinar, 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pembentukan BC (*Bacterial cellulose*) pada berbagai variasi dan kombinasi substrat seperti air kelapa, air cucian beras (leri), tomat, dan campuran leri- tomat, air kelapa-tomat, air kelapa-leri.

Bahan dan Metode

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi autoklaf (Faithful), mikropipet, *blue tip*, *hot plate stirrer* (Faithful), timbangan analitik (Faithful), botol kaca, seperangkat alat gelas, spatula, karet gelang, aluminium foil, bunsen, dan spiritus.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah berbagai bahan baku atau substrat (air kelapa tua, tomat, dan leri), ZA (*zwavelzure ammoniak*) atau ammonium sulfat, ekstrak kecambah, gula, starter komersial *Acetobacter xylinum*, dan asam asetat glasial.

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Sains UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini diawali dengan

pembuatan BC (*Bacterial cellulose*). Selanjutnya dilakukan uji fisik seperti ketebalan, rendemen, kadar air, dan kadar serat.

1. Alasan Pemilihan Substrat

Substrat yang mengandung gula menjadi salah satu pertimbangan dalam pembuatan BC (*Bacterial cellulose*). Pada substrat tomat kandungan gula terdiri dari fruktosa dan glukosa (Ishma *et al.*, 2018), substrat air kelapa mengandung glukosa, fruktosa, dan sukrosa (Defla, 2021), dan substrat leri mengandung glukosa sebagai sumber utama (Muli *et al.*, 2017). Perbedaan kandungan substrat berpengaruh terhadap jalur sintesis BC (*Bacterial cellulose*). Masing-masing substrat tersebut dilakukan kombinasi seperti campuran leri-tomat, air kelapa-tomat, dan air kelapa.

2. Pembuatan BC (*Bacterial cellulose*)

Pembuatan BC (*Bacterial cellulose*) diawali dengan persiapan bahan dan alat yang sudah disterilisasi, kemudian dipersiapkan substrat medium masing-masing sebanyak 50 mL, dididihkan dan ditambah dengan 5 gram gula, 2 gram ZA, 2 mL asam asetat glasial, dan ditutup dengan alumunium foil. Selanjutnya diamankan dan tunggu hingga suhu substrat sama dengan suhu ruang, selanjutnya ditambah 2 mL starter komersial (*Acetobacter xylinum*). Proses fermentasi dilakukan pada botol kaca tertutup selama 7-14 hari.

3. Uji Fisik

Uji fisik meliputi ketebalan yang diukur menggunakan penggaris, uji rendemen dihitung melalui perbandingan volume total medium dan BC (*Bacterial cellulose*) yang terbentuk. Sedangkan, uji kadar air dan serat dihitung dengan cara; (a) sampel awal dikeringkan ke dalam oven sampai beratnya konstan (b) kemudian ditimbang. Sedangkan uji kadar serat dapat dihitung dengan cara dihitung selisih dari 100% dikurang dengan kadar air (c).

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

$$\text{Kadar serat (\%)} = 100\% - c$$

Keterangan: Uji kadar serat dapat langsung dihitung jika kadar air telah ditentukan. BC memiliki tingkat kemurnian yang tinggi

karena tidak mengandung pektin, lignin, dan hemiselulosa (Naomi *et al.*, 2020).

Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen pada berbagai variasi dan kombinasi substrat yaitu substrat air kelapa, tomat, leri, air kelapa dan leri, air kelapa dan tomat, serta leri dan tomat. Selanjutnya data dari hasil uji fisik dianalisis secara deskriptif kualitatif. (Budiastuti, 2018).

Pembahasan

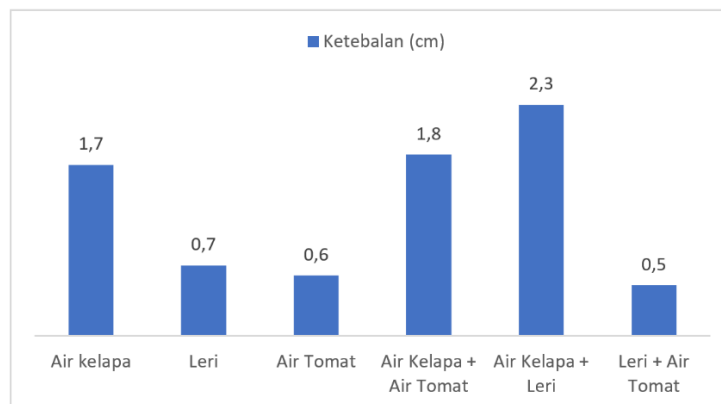
Hasil dari penelitian pembuatan BC (*Bacterial cellulose*) didapatkan pada hari ke-7 sudah terdapat lapisan-lapisan selulosa. Namun, agar hasil lebih optimal proses pemanenan baru dilakukan pada hari ke-14 karena lama waktu fermentasi yang dilakukan mempengaruhi ketebalan BC (*Bacterial cellulose*) yang dihasilkan. Lapisan selulosa terbentuk dari hasil sintesis bakteri *Acetobacter xylinum* karena terpenuhinya berbagai nutrisi penting seperti karbon, glukosa, dan nitrogen pada mediumnya. Lapisan BC (*Bacterial cellulose*) yang terbentuk selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap uji fisik seperti ketebalan, rendemen, kadar air, dan kadar serat.

Uji Fisik

Uji fisik atau mutu fisik adalah uji yang berhubungan dengan karakteristik fisik BC. Analisis ini meliputi ketebalan, rendemen, kadar air dan kadar serat pada masing-masing substrat sampel.

1. Ketebalan

Ketebalan BC (*Bacterial cellulose*) dipengaruhi oleh lama waktu fermentasi yang dilakukan dan perbedaan substrat yang digunakan. Ketebalan BC (*Bacterial cellulose*) diperoleh dari hasil fermentasi oleh bakteri *Acetobacter xylinum* sehingga membentuk padatan selulosa (Novia *et al.*, 2021). Syarat mutu ketebalan BC (*Bacterial cellulose*) menurut SNI adalah 1-1,5 cm (Rose *et al.*, 2018). Berdasarkan hasil penelitian ini ketebalan yang memenuhi SNI adalah substrat air kelapa, air kelapa-tomat, dan air kelapa-leri (1,7, 1,8, dan 2,3 cm). Ketebalan BC (*Bacterial cellulose*) terbaik ditunjukkan oleh kombinasi substrat air kelapa-leri memiliki ketebalan terbesar yaitu 2,3 cm dan terendah ditempati tomat-leri 0,5 cm.



Gambar 1. Perbedaan ketebalan BC yang dihasilkan pada berbagai variasi dan kombinasi substrat

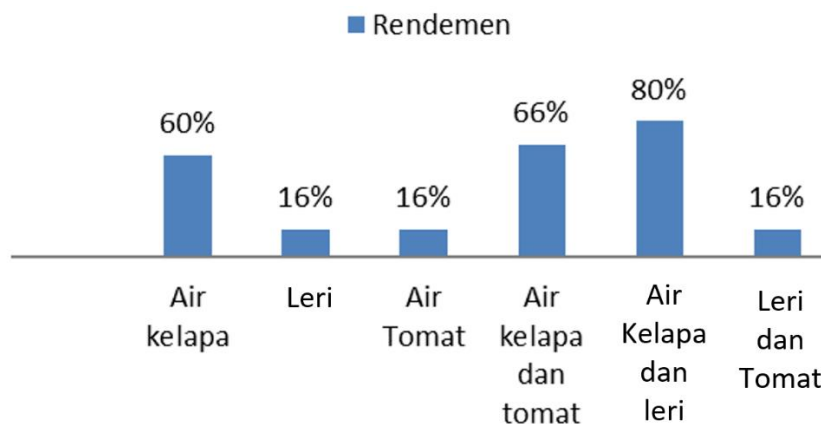
Ketebalan yang dihasilkan dipengaruhi oleh kandungan sumber karbon pada substrat BC (*Bacterial cellulose*). Pada substrat tomat terdiri dari fruktosa dan glukosa (Ishma *et al.*, 2018), substrat air kelapa mengandung glukosa, fruktosa, dan sukrosa (Defla, 2021), dan substrat leri mengandung glukosa sebagai sumber utama (Muli *et al.*, 2017). Perbedaan kandungan substrat berpengaruh terhadap jalur sintesis BC (*Bacterial cellulose*).

Glukosa merupakan monosakarida yang jalur sintesisnya langsung sehingga lebih cepat dalam sintesis BC (*Bacterial cellulose*) dan berpengaruh terhadap ketebalan BC (*Bacterial cellulose*). Adapun sumber gula yang lain berupa fruktosa harus terlebih dahulu dikonversi sebelum masuk jalur utama sintesis sehingga berpengaruh terhadap lama waktu dan ketebalan BC (*Bacterial cellulose*). Sumber gula sukrosa termasuk disakarida (gabungan dari dua monosakarida) yaitu fruktosa dan glukosa harus terlebih dahulu dihidrolisis menjadi monosakarida berupa glukosa dan fruktosa sehingga proses sintesis BC (*Bacterial cellulose*) tidak dapat langsung dilakukan. Walaupun sudah dihidrolisis, fruktosa hasil hidrolisis sukrosa tersebut juga harus dikonversi sebelum masuk ke jalur utama sintesis BC, sehingga berpengaruh terhadap lama waktu dan ketebalan BC (*Bacterial cellulose*).

Substrat leri yang mengandung glukosa seharusnya lebih cepat membentuk lapisan-lapisan BC (*Bacterial cellulose*) karena proses sintesisnya tanpa melalui proses konversi atau hidrolisis. Tetapi, hasil penelitian menunjukkan bahwa substrat leri ketebalannya sebesar 0,7 cm dan cukup rendah dibanding substrat lainnya. Hal ini dapat disebabkan oleh kandungan gula yang terlalu banyak dapat mengganggu sintesis BC.. Hal ini sesuai dengan pendapat Herawaty & Moulina (2015) bahwa kandungan gula yang berlebih akan menyebabkan pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri terganggu, karena banyak gula yang diubah menjadi asam dan secara drastis menyebabkan penurunan pH. Hal inierakibat pada BC yang dihasilkan ketebalannya tidak maksimal.

2. Rendemen

Rendemen adalah jumlah BC (*Bacterial cellulose*) yang dihasilkan dari fermentasi dibandingkan dengan jumlah substrat. Rendemen dipengaruhi oleh variasi substrat, kondisi lingkungan, komposisi bahan, dan kemampuan starter *Acetobacter xylinum* dalam menghasilkan selulosa (Novia *et al.*, 2021). Rendemen terbaik terdapat pada perlakuan kombinasi substrat air kelapa-leri yaitu sebesar 80% dan terendah pada perlakuan substrat leri, air tomat dan kombiansi leri-tomat yaitu sebesar 16%.



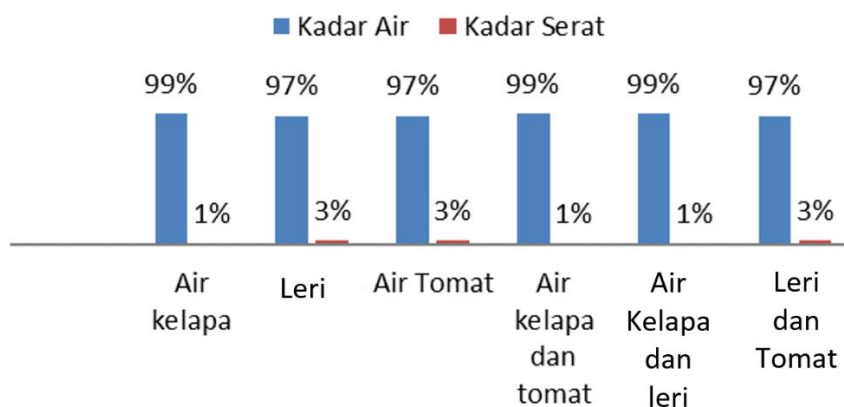
Gambar 2. Perbedaan rendemen BC yang dihasilkan pada berbagai variasi dan kombinasi substrat

Faktor nutrisi seperti sumber karbon dan nitrogen berpengaruh terhadap rendemen yang terbentuk (Lempang, 2006). Selain itu, perbedaan substrat ini berpengaruh terhadap suplai sumber karbon pada medium fermentasi BC (*Bacterial cellulose*) yang berperan dalam efektivitas *Acetobacter xylinum* untuk merombak gula dari sumber karbon menjadi selulosa. Hal ini didukung dengan pernyataan Tubagus *et al.* (2019) bahwa pembentukan rendemen dipengaruhi oleh adanya aktivitas bakteri *Acetobacter xylinum* dalam menghasilkan enzim ekstraseluler (gluko polimerase) yang menyusun (mempolimerisasi) zat gula (glukosa) menjadi ribuan rantai (homopolimer) serat atau selulosa.

3. Kadar Air dan Serat

Hasil uji dari kadar air berkisar 97% sampai 99%. Substrat dengan kadar air

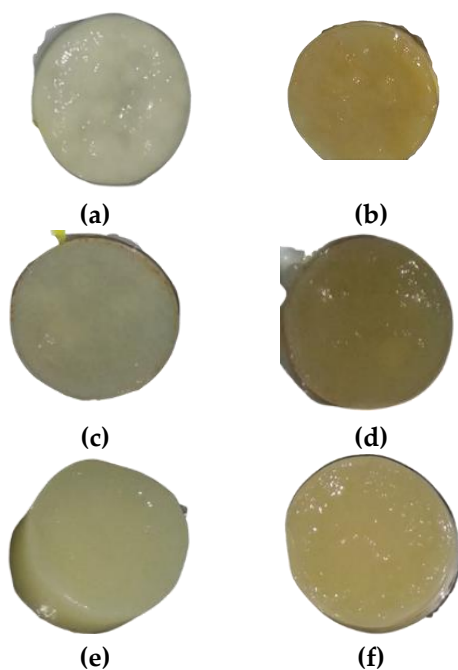
tertinggi adalah air kelapa, kombinasi air kelapa-tomat, dan kelapa-leri sebesar 99%. Substrat dengan kadar air terendah adalah leri, air tomat, dan kombinasi leri-tomat sebesar 97%. Hasil pengujian kadar serat berkisar 1% sampai 3%. Semakin besar kadar air pada BC maka kadar serat semakin kecil. Hasil ini sesuai dengan SNI 01-4317-1996, bahwa syarat mutu kandungan serat pada makanan maksimal 4.5% (Sulistiyana, 2020). Kadar serat terbesar mencapai 3% ditunjukkan pada substrat leri, air tomat, dan kombinasi leri-tomat. Kadar serat terendah sebesar 1% ditunjukkan pada substrat air kelapa, kombinasi air kelapa-tomat, dan air kelapa-leri. Perbedaan kadar serat tersebut dapat terjadi karena substrat yang digunakan memiliki perbedaan sumber karbon. Sumber karbon berperan penting dalam aktivitas *Acetobacter xylinum* merombak gula di dalam media menjadi selulosa.



Gambar 3. Perbedaan kadar air dan serat BC yang dihasilkan pada berbagai variasi dan kombinasi substrat

Prospek Aplikasi BC

BC (*Bacterial cellulose*) terbukti menjadi biomaterial yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti produk kertas, elektronik, perangkat biomedis seperti rekayasa jaringan, perawatan luka, regenerasi organ yang rusak dan sakit (Czaja *et al.*, 2007). Selain itu, karena sifat dari BC (*Bacterial cellulose*) yang lebih baik dari PC (*Plant cellulose*) dalam hal kemampuan menahan air, luas permukaan tinggi, dan berkalori rendah sangat menjanjikan sebagai pengembangan pangan baru seperti bahan makanan mentah, bahan aditif, dan pengembangan menjadi kemasan pangan (Lin *et al.*, 2020). Sehingga, eksplorasi pemanfaatan BC (*Bacterial cellulose*) berpeluang untuk diaplikasikan pada berbagai bidang lainnya.



Gambar 4. BC dari berbagai substrat: (a) leri (b) air kelapa-tomat (c) leri-tomat (d) tomat (e) air kelapa-leri (f) air kelapa

Kesimpulan

Pada uji fisik BC diperoleh ketebalan terbaik substrat air kelapa-leri 2,3 cm, rendemen terbaik pada substrat air kelapa-leri 80%, kadar air tertinggi pada perlakuan substrat air kelapa, air kelapa-tomat, dan air kelapa-leri masing-masing sebesar 99%, dan kadar serat

tertinggi pada perlakuan substrat leri, air tomat, dan air tomat-leri masing-masing sebesar 3%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Sains UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten yang telah memberikan dana hibah penelitian untuk menyelesaikan penelitian ini.

Referensi

- Anam, C., Zaman, Z., & Khoirunnisa, U. (2019). Mengungkap Senyawa Pada Nata de Coco sebagai Pangan Fungsional. *Jurnal Ilmu Pangan Dan Hasil Pertanian*, 3(1). <https://doi.org/10.26877/jiphp.v3i1.3453>
- Blanco Parte, F. G., Santoso, S. P., Chou, C. C., Verma, V., Wang, H. T., Ismadji, S., & Cheng, K. C. (2020). Current progress on the production, modification, and applications of bacterial cellulose. *Critical Reviews in Biotechnology*, 40(3), 397–414. <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1713721>
- Budiastuti, D. dan A. B. (2018). *Validitas dan Realibilitas Penelitian Dengan Analisis NVIVO, SPSS dan AMOS*. Mitra wacana media.
- Czaja, W. K., Young, D. J., Kawecki, M., & Brown, R. M. (2007). The future prospects of microbial cellulose in biomedical applications. *Biomacromolecules*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.1021/bm060620d>
- Defla, R. (2021). *Pengaruh Konsentrasi Sukrosa Terhadap Karakteristik Minuman Probiotik Air Kelapa Bibir Merah (Coco nucifera L. var. Rubescens)*. UIN Raden Intan Lampung.
- Güzel, M., & Akpınar, Ö. (2019). Production and Characterization of Bacterial Cellulose from Citrus Peels. *Waste and Biomass Valorization*, 0(0), 2165–2175. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0241-x>
- Herawaty, N., & Moulina, M. A. (2015). Kajian Variasi Konsentrasi Sukrosa terhadap Karakteristik Nata Timun Suri (Cucumis

- sativus L.). *AGRITEPA: Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pertanian*, 2(2).
<https://doi.org/10.37676/agritepa.v2i2.185>
- Ishma, S. N., Nurwantoro, N., & Setiani, B. E. (2018). Total Bakteri Asam laktat, Total Asam, Nilai pH, viskositas, dan Sifat Organoleptik Yoghurt dengan penambahan Jus Buah Tomat. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 6(4).
- Jacek, P., Dourado, F., Gama, M., & Bielecki, S. (2019). Molecular aspects of bacterial nanocellulose biosynthesis. *Microbial Biotechnology*, 12(4), 633–649.
<https://doi.org/10.1111/1751-7915.13386>
- Lempang, M. (2006). Rendemen dan Kandungan Nutrisi Nata Pinnata yang Diolah Dari Nira Aren. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24(2), 133–144.
<https://doi.org/https://doi.org/10.20886/jph.2006.24.2.133-144>
- Lin, D., Liu, Z., Shen, R., Chen, S., & Yang, X. (2020). Bacterial cellulose in food industry: Current research and future prospects. *International Journal of Biological Macromolecules*, 158, 1007–1019.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.230>
- Morgan, J. L. W., Strumillo, J., & Zimmer, J. (2013). Crystallographic snapshot of cellulose synthesis and membrane translocation. *Nature*, 493(7431), 181–186. <https://doi.org/10.1038/nature11744>
- Muli, N., Tiwow, V. M. ., & Mustapa, K. (2017). Analisis Kadar Glukosa pada Nasi Putih dan Nasi Jagung dengan Menggunakan Metode Spektrometri. *Jurnal Akademi Kimia*, 6(2), 107–112.
- Naomi, R., Idrus, R. B. H., & Fauzi, M. B. (2020). Plant-vs. Bacterial-derived cellulose for wound healing: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 1–25.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17186803>
- Novia, S., Putri, Y., Syaharani, W. F., Virgiani, C., Utami, B., Safitri, D. R., Arum, Z. N., Prihastari, Z. S., & Sari, A. R. (2021). *Pengaruh Mikroorganisme, Bahan Baku, dan Waktu Inkubasi Pada Karakter Nata : Review*. 14(1), 62–74.
<https://doi.org/10.20961/jthp.v14i1.47654>
- Ramana, K. V., Tomar, A., & Singh, L. (2000). Effect of various carbon and nitrogen sources on cellulose synthesis by acetobacter xylinum. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 16(3), 245–248.
<https://doi.org/10.1023/A:1008958014270>
- Rivas, B., Moldes, A. B., Domínguez, J. M., & Parajó, J. C. (2004). Development of culture media containing spent yeast cells of *Debaryomyces hansenii* and corn steep liquor for lactic acid production with *Lactobacillus rhamnosus*. *International Journal of Food Microbiology*, 97(1), 93–98.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.05.006>
- Rose, D., Ardiningsih, P., & Idiawati, N. (2018). Karakteristik Nata de Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) dengan Variasi Konsentrasi Starter *Acetobacter xylinum*. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(4).
- Ross, P., Mayer, R., & Benziman, M. (1991). Cellulose biosynthesis and function in bacteria. *Microbiological Reviews*, 55(1), 35–58.
<https://doi.org/10.1128/mbr.55.1.35-58.1991>
- Singh, A., Walker, K. T., Ledesma-Amaro, R., & Ellis, T. (2020). Engineering bacterial cellulose by synthetic biology. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(23), 1–13.
<https://doi.org/10.3390/ijms21239185>
- Sulistiyana. (2020). Analisis Kualitas Nata De Corn Dari Ekstrak Jagung Kuning muda Dengan Variasi Lama Fermentasi. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 8(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.30598/10.30598/ijcr.2020.8-sul>
- Tubagus, R. A., Chairunnissa, H., & Balia, R. . (2019). Karakteristik Fisik Dan Kimia Nata De Milko Dari Susu Substandar Dengan Variasi Lama Inkubasi. *Jurnal*

Ilmu Ternak Universitas Padjadjaran,
18(2), 86–94.
<https://doi.org/10.24198/jit.v18i2.19926>

Zhong, Cheng, Zhang, G. C., Liu, M., Zheng, X.
T., Han, P. P., & Jia, S. R. (2013).
Metabolic flux analysis of
Gluconacetobacter xylinus for bacterial
cellulose production. *Applied
Microbiology and Biotechnology*, 97(14),
6189–6199.
<https://doi.org/10.1007/s00253-013-4908-8>

Zhong, Chunyan. (2020). Industrial-Scale
Production and Applications of Bacterial
Cellulose. *Frontiers in Bioengineering and
Biotechnology*, 8(December), 1–19.
<https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.605374>