

## KARAKTERISTIK FISIK NATA DE COCO YANG DITAMBAHKAN EKSTRAK KELAPA DENGAN VARIASI LAMA INKUBASI

*Physical Characteristics of Nata de Coco Supplemented with Coconut Extract at Various Incubation Durations*

Robi Tubagus A<sup>1\*</sup>, Neng Fika Nurhakiki<sup>2</sup>, Atia Fizriani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>. Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Garut, Indonesia

<sup>2</sup> Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Garut, Indonesia

\*Korespondensi penulis: [robi.tubagus@outlook.com](mailto:robi.tubagus@outlook.com)

### ABSTRAK

Nata de coco adalah produk pangan selulosa ekstraseluler yang dihasilkan melalui proses fermentasi oleh bakteri *Acetobacter xylinum* yang sangat diminati dalam industri pangan fungsional karena kandungan seratnya yang tinggi. Keberhasilan pembentukan jaringan mikrofibril selulosa sangat bergantung pada ketersediaan nutrisi medium dan efisiensi waktu metabolisme bakteri selama masa inkubasi. Penambahan ekstrak kelapa pada media pertumbuhan berfungsi sebagai sumber organik. Pertumbuhan bakteri *Acetobacter xylinum* memerlukan kondisi lingkungan dan media yang sesuai agar proses fermentasi berlangsung secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi lama inkubasi terhadap karakteristik fisik nata de coco yang ditambahkan ekstrak kelapa serta menentukan lama inkubasi terbaik berdasarkan karakteristik fisik yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga taraf perlakuan lama inkubasi, yaitu P1 (8 hari), P2 (11 hari), dan P3 (14 hari). Data dianalisis menggunakan ANOVA dan dilanjutkan dengan uji Tukey pada taraf signifikansi 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama inkubasi berpengaruh nyata terhadap ketebalan dan rendemen, namun tidak berpengaruh nyata terhadap tekstur. Berdasarkan hasil analisis indeks efektivitas, lama inkubasi terbaik yakni perlakuan P3 yang menghasilkan nata de coco dengan ketebalan  $1.68 \pm 0,12$  cm, rendemen  $40.23 \pm 1,27\%$ , dan tekstur  $70.03 \pm 2,22$  mm/g/dt.

**Kata kunci:** *Acetobacter xylinum*, Ekstrak kelapa, Lama Inkubasi; Nata de coco; Karakteristik Fisik

### ABSTRACT

*Nata de coco is an extracellular cellulose food product generated through the fermentation process by \*Acetobacter xylinum\* bacteria; it is highly sought after in the functional food industry due to its high fiber content. The successful formation of the cellulose microfibril*

*network relies heavily on the availability of nutrients in the medium and the efficiency of bacterial metabolism during the incubation period. The addition of coconut extract to the growth medium serves as an organic nutrient source. \*Acetobacter xylinum\* growth requires suitable environmental conditions and media for the fermentation process to proceed optimally. This study aimed to examine the effect of varying incubation periods on the physical characteristics of nata de coco supplemented with coconut extract and to determine the optimal incubation duration based on the resulting physical properties. A Completely Randomized Design (CRD) was employed, featuring three treatment levels for incubation duration: P1 (8 days), P2 (11 days), and P3 (14 days). Data were analyzed using ANOVA followed by Tukey's test at a 5% significance level. The results indicated that incubation duration had a significant effect on thickness and yield but did not significantly affect texture. Based on the effectiveness index analysis, the optimal incubation duration was treatment P3, which produced nata de coco with a thickness of  $1.68 \pm 0.12$  cm, a yield of  $40.23 \pm 1.27\%$ , and a texture of  $70.03 \pm 2.22$  mm/g/s.*

**Keywords:** *Acetobacter xylinum*; Coconut extract; Incubation time, Nata de coco; Physical characteristics

## PENDAHULUAN

Nata de coco adalah produk selulosa ekstraseluler hasil aktivitas fermentasi yang dilakukan dengan memanfaatkan aktivitas bakteri *Acetobacter xylinum* sebagai agen utama dalam pembentukan nata yang dikenal sebagai pangan fungsional tinggi serat (Santosa, 2020). Produk ini terbentuk dari lapisan biofilm selulosa yang disintesis oleh bakteri pada permukaan medium cair yang mengandung sumber karbon dan nitrogen, dengan komponen kimia dominan berupa air dan serat dalam bentuk selulosa (Santosa, 2020). Air kelapa digunakan sebagai substrat utama dalam proses fermentasi nata de coco memiliki keterbatasan kandungan nutrisi, sehingga penambahan sumber karbon berupa gula sukrosa serta sumber nitrogen seperti ZA food grade diperlukan untuk mendukung pertumbuhan optimal bakteri (DKBM, 2010).

*Acetobacter xylinum* dapat tumbuh optimal Media fermentasi harus mengandung karbohidrat sebagai sumber karbon serta sumber nitrogen yang diperlukan untuk mendukung pertumbuhan bakteri dan pembentukan selulosa melalui jalur biosintesis UDP-glukosa, Keberadaan sumber nitrogen berperan dalam mengoptimalkan aktivitas enzim ekstraseluler, sedangkan pH optimum mendukung aktivitas metabolisme bakteri secara maksimal (Lempang, 2013; Lestari *et al.*, 2014). Keberhasilan pembentukan jalinan mikrofibril selulosa sangat bergantung pada ketersediaan nutrisi makro (karbon dan nitrogen) serta efisiensi waktu metabolisme bakteri selama masa inkubasi (Gullo *et al.*, 2018; Putriana dan Aminah, 2013).

Air kelapa secara alami mengandung mineral dalam jumlah terbatas, sehingga penambahan ekstrak kelapa (berupa santan atau emulsi lipid-karbohidrat) pada media pertumbuhan dilakukan untuk memperkaya profil nutrisi medium fermentasi (Phisalaphong dan Chiaoprakobkij, 2012). Ekstrak kelapa mengandung komponen asam lemak, protein, dan

karbohidrat kompleks yang dapat meningkatkan aktivitas enzimatis bakteri *Acetobacter xylinum*, sehingga berpotensi mendukung pembentukan selulosa yang lebih optimal (Chawla *et al.*, 2009).

Selain faktor nutrisi, lama inkubasi merupakan parameter krusial yang menentukan efisiensi konversi glukosa menjadi selulosa oleh *Acetobacter xylinum* (Klemm *et al.*, 2011). Layuk *et al.* (2012) menegaskan bahwa perbedaan lama fermentasi air kelapa memberikan pengaruh nyata terhadap rendemen dan ketebalan nata de coco yang dihasilkan. Hal ini diperkuat oleh Putri *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa jenis mikroorganisme, bahan baku, dan lama inkubasi merupakan tiga faktor utama yang secara konsisten memengaruhi karakteristik nata pada berbagai substrat fermentasi. Durasi inkubasi yang tidak tepat, baik terlalu singkat maupun terlalu lama, dapat memengaruhi rendemen, ketebalan, dan struktur mekanik (tekstur) nata yang dihasilkan (Phisalaphong dan Chiaoprakobkij, 2012), sejalan dengan temuan Nurdin *et al.* (2023) kombinasi konsentrasi starter dengan lama fermentasi diketahui berpengaruh terhadap karakteristik nata yang dihasilkan. Temuan terbaru oleh Fei *et al.* (2024) turut menunjukkan bahwa lama fermentasi media menghasilkan profil metabolit yang berbeda-beda, yang pada akhirnya memberikan pengaruh berbeda terhadap rendemen selulosa bakteri yang disintesis. Waktu fermentasi standar umumnya berkisar antara 7 hingga 14 hari (Putri *et al.*, 2021).

Berdasarkan uraian tersebut, kajian mengenai pengaruh lama inkubasi terhadap karakteristik fisik nata de coco yang ditambahkan ekstrak kelapa penting dilakukan untuk menentukan lama inkubasi optimal yang menghasilkan karakteristik fisik terbaik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh lama inkubasi terhadap karakteristik fisik nata de coco yang ditambahkan ekstrak kelapa serta menentukan lama inkubasi terbaik berdasarkan karakteristik fisik yang dihasilkan. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi produksi nata de coco serta manfaat ekonomi bagi masyarakat melalui peningkatan nilai tambah produk olahan air kelapa.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi air kelapa (limbah) umur 1 minggu, gula sukrosa komersil 15%, asam asetat komersil, ekstrak kelapa komersil 1% dan 0,7%, *ZA food grade*, serta starter *bulk culture Acetobacter xylinum* 15%. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas meliputi wadah plastik, timbangan analitik, penetrometer, jangka sorong digital, dan alat-alat gelas untuk keperluan analisis.

### Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian mengacu pada Haq, *et al.*, (2025) yang dimodifikasi, meliputi: 1) persiapan bahan baku berupa limbah air kelapa umur 1 minggu, 2) penyaringan untuk memisahkan kotoran/serat kasar, 3) pemanasan air kelapa hasil penyaringan yang telah ditambah gula sukrosa 15%, asam asetat (hingga pH 4,5), ekstrak kelapa 1% dan 0,7%, serta *ZA food grade*, pada suhu  $85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  selama 15 menit, 4) pendinginan I hingga suhu  $30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , 5) inokulasi dengan penambahan starter *bulk culture Acetobacter xylinum* 15%, dan 6) inkubasi

pada suhu 28–29°C selama 8, 11, dan 14 hari. Parameter pengamatan nata de coco dilakukan terhadap karakteristik fisik yang meliputi ketebalan (AOAC, 2007), rendemen (AOAC, 2007), dan tekstur (Amiarsih, *et al.*, 2015).

### Rancangan Penelitian

Penelitian ini menerapkan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor, yaitu lama inkubasi, yang terdiri atas 3 taraf perlakuan: P1 (8 hari), P2 (11 hari), dan P3 (14 hari), diulang sebanyak 3 kali sehingga diperoleh 9 satuan percobaan. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan Analysis of Variance (ANOVA) satu arah pada taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ). Apabila hasil ANOVA menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan ( $P < 0,05$ ), dilanjutkan dengan uji lanjut Tukey (Tukey's Honestly Significant Difference/HSD) untuk mengetahui pasangan perlakuan yang berbeda nyata. Seluruh analisis dilakukan menggunakan *software* SPSS versi 30.

### Penentuan Perlakuan Terbaik

Perlakuan terbaik ditentukan berdasarkan metode Indeks Efektivitas dengan mempertimbangkan seluruh parameter pengamatan (De Garmo *et al.*, 1984) berdasarkan tiga parameter fisik nata de coco, yaitu ketebalan, rendemen, dan tekstur. Setiap parameter dinormalisasi menjadi nilai efektivitas ( $N_e$ ) pada rentang 0–1 berdasarkan nilai tertinggi dan terendah di antara ketiga perlakuan, dengan arah penilaian “semakin tinggi semakin baik” untuk ketebalan dan rendemen, serta “semakin rendah semakin baik” untuk tekstur, karena nilai penetrasi yang rendah menandakan tekstur yang lebih kenyal dan kokoh sesuai kriteria mutu nata. Bobot kepentingan yang setara (0,333) diberikan pada ketiga parameter tersebut karena ketiganya dianggap berkontribusi sama besar terhadap mutu fisik nata de coco secara keseluruhan. Nilai hasil ( $N_h$ ) tiap perlakuan diperoleh dari penjumlahan ( $N_e \times \text{bobot}$ ) seluruh parameter, Perlakuan yang memperoleh nilai indeks efektivitas tertinggi ditetapkan sebagai perlakuan terbaik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Tabel 1. Hasil Analisis Fisik Nata De Coco**

| Pengamatan      | Perlakuan          |                    |                    |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                 | P1 (8 hari)        | P2 (11 hari)       | P3 (14 hari)       |
| Ketebalan (cm)  | $0.64 \pm 0,04^a$  | $1.26 \pm 0,15^b$  | $1.68 \pm 0,12^c$  |
| Rendemen %(b/v) | $18.28 \pm 0.43^a$ | $35.92 \pm 2.02^b$ | $40.23 \pm 1,27^c$ |
| Tekstur mm/g/dt | $78.23 \pm 1,99^a$ | $74.57 \pm 5,75^a$ | $70.03 \pm 2,22^a$ |

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama pada baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata, sedangkan huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf signifikansi 5%.

### Ketebalan Nata De Coco

Hasil analisis ragam (ANOVA) menunjukkan bahwa lama inkubasi berpengaruh nyata terhadap ketebalan nata de coco ( $P < 0,05$ ), kemudian dilanjutkan uji lanjut Tukey yang menyatakan bahwa ketiga perlakuan berbeda nyata satu sama lain. Dari data ini diperoleh semakin lama waktu inkubasi, semakin tinggi ketebalan nata de coco yang dihasilkan. Peningkatan ketebalan nata de coco mengindikasikan bahwa proses pembentukan lapisan selulosa oleh bakteri berlangsung secara progresif selama masa fermentasi. Dengan kata lain, lama inkubasi yang lebih panjang memberikan kesempatan yang lebih besar bagi bakteri untuk terus mensintesis selulosa pada permukaan medium. Kecenderungan ini juga mengindikasikan bahwa hingga hari ke-14, aktivitas metabolisme bakteri belum mencapai titik jenuh yang menghentikan pertambahan ketebalan gel nata.

Peningkatan ketebalan ini sejalan dengan teori kinetika pertumbuhan mikrobial. Menurut Chawla *et al.* (2009), bakteri *Acetobacter xylinum* mensintesis selulosa secara ekstraseluler yang diakumulasi secara berlapis-lapis di permukaan medium cair, membentuk matriks gel tiga dimensi. Penambahan ekstrak kelapa menyediakan suplai karbon tambahan dan lipid yang bertindak sebagai stimulator metabolisme, memperpanjang fase eksponensial bakteri (Gullo *et al.*, 2018). Pada P1 (8 hari), ketebalan masih rendah karena bakteri berada pada transisi akhir fase log menuju stasioner, di mana jalinan mikrofibril baru mulai memadat di permukaan (Chawla *et al.*, 2009). Seiring bertambahnya waktu inkubasi hingga P3 (14 hari), akumulasi jalinan rantai ( $\beta$ -1,4 glukosa) terus menumpuk secara vertikal. Selama ketersediaan sumber karbon (glukosa/fruktosa) dan nitrogen dalam medium fermentasi masih mencukupi, enzim selulosa sintase di dalam sel bakteri akan terus aktif mengonversi UDP-glukosa menjadi selulosa ekstraseluler, yang secara visual meningkatkan ketebalan nata (Gullo *et al.*, 2018).

Hasil ini sejalan dengan penelitian Layuk *et al.* (2012) yang melaporkan bahwa perbedaan lama fermentasi air kelapa Perlakuan yang diberikan menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap ketebalan nata de coco yang dihasilkan. Kesesuaian temuan ini juga diperkuat oleh Putri *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa lama inkubasi merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi karakteristik fisik nata pada berbagai substrat fermentasi. Selain itu, Nurdin *et al.* (2023) juga melaporkan pengaruh signifikan lama fermentasi terhadap ketebalan nata de coco.

### Rendemen Nata De Coco

Hasil analisis ragam (ANOVA) menunjukkan bahwa lama inkubasi berpengaruh nyata terhadap rendemen nata de coco ( $P < 0,05$ ). Uji lanjut Tukey menunjukkan bahwa ketiga perlakuan berbeda nyata satu sama lain. Data ini juga menunjukkan bahwa semakin lama waktu inkubasi, semakin tinggi rendemen nata de coco yang dihasilkan, meskipun laju peningkatannya melambat pada masa inkubasi yang lebih panjang. Peningkatan rendemen yang tajam pada awal fermentasi mengindikasikan bahwa sebagian besar konversi substrat menjadi selulosa terjadi pada periode ini. Melambatnya laju peningkatan pada perlakuan berikutnya mengindikasikan bahwa efisiensi konversi mulai menurun seiring mendekati akhir masa fermentasi. Pola ini

secara umum konsisten dengan kurva pertumbuhan mikrobial yang menunjukkan fase pertumbuhan cepat diikuti fase perlambatan menjelang fase stasioner.

Rendemen mengindikasikan efisiensi konversi komponen cair medium menjadi biomassa gel selulosa padat (Phisalaphong dan Chiaoprakobkij, 2012). Kenaikan tajam dari P1 ke P2 (17,64%) membuktikan terjadinya pembelahan sel dan aktivitas metabolik yang sangat masif; komponen lipid dari ekstrak kelapa diduga turut membantu menyediakan antarmuka udara-medium yang lebih baik bagi *Acetobacter xylinum* yang bersifat aerob obligat, sehingga mendukung transfer oksigen yang optimal (Phisalaphong dan Chiaoprakobkij, 2012). Namun, dari P2 menuju P3, laju kenaikan rendemen mulai melandai, yaitu hanya meningkat sekitar 4,31%. Perlambatan ini mengindikasikan bahwa sistem fermentasi mulai memasuki fase stasioner akhir menuju fase kematian (*death phase*). Menurut Gullo *et al.* (2018), penurunan laju sintesis biomassa pada inkubasi yang terlalu lama pada bakteri asam asetat umumnya disebabkan oleh penurunan jumlah nutrisi esensial di dalam medium serta akumulasi asam asetat secara berlebihan yang menurunkan pH lingkungan hingga di bawah ambang batas toleransi bakteri. Implikasinya, lama inkubasi 14 hari (P3) merupakan titik mendekati maksimum efektivitas produksi sebelum selulosa berpotensi mengalami degradasi atau fiksasi pertumbuhan.

Kecenderungan peningkatan rendemen seiring bertambahnya lama inkubasi ini sejalan dengan penelitian Layuk *et al.* (2012) yang juga melaporkan pengaruh nyata lama fermentasi air kelapa terhadap rendemen nata de coco. Nurdin *et al.* (2023) turut melaporkan bahwa lama fermentasi memberikan pengaruh nyata terhadap rendemen nata de coco ketika diuji berdasarkan faktor tunggal, sejalan dengan hasil penelitian ini. Putri *et al.* (2021) dalam kajiannya juga menegaskan bahwa lama inkubasi merupakan salah satu parameter yang paling konsisten memengaruhi hasil rendemen pada berbagai jenis substrat pembuatan nata.

### Tekstur Nata De Coco

Berbeda dengan ketebalan dan rendemen, hasil analisis ragam (ANOVA) menunjukkan bahwa lama inkubasi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai tekstur nata de coco ( $P > 0,05$ ). Hal ini ditunjukkan oleh notasi huruf yang sama (a) pada seluruh perlakuan dalam uji lanjut Tukey. Nilai tekstur pada P1  $78,23 \pm 1,99$  mm/g/dt, P2  $74,57 \pm 5,75$  mm/g/dt, dan P3  $70,03 \pm 2,22$  mm/g/dt. Meskipun rata-rata nilai tersebut menurun seiring bertambahnya lama inkubasi, besarnya simpangan baku pada masing-masing perlakuan, terutama pada P2, menunjukkan variasi antarulangan yang cukup tinggi sehingga selisih rata-rata antarperlakuan tidak terdeteksi sebagai perbedaan yang nyata secara statistik.

Dalam pengukuran tekstur pangan, semakin rendah nilai penetrasi (mm/g/dt), semakin keras, kompak, dan kenyal tekstur gel nata de coco (Bourne, 2002). Dengan demikian, kecenderungan penurunan angka ini tetap mengindikasikan arah peningkatan kekerasan fisik gel, ini diduga terjadi karena ikatan hidrogen antar-rantai selulosa yang semakin rapat dan padat seiring waktu, sejalan dengan karakteristik nanoselulosa yang derajat kristalinitasnya meningkat seiring pematangan struktur mikrofibril (Klemm *et al.*, 2011). Pada P1, air yang terperangkap di dalam matriks gel masih tinggi dengan struktur yang renggang, sehingga menghasilkan tekstur

yang lebih lunak dan mudah dipenetrasi oleh jarum alat ukur. Sebaliknya, pada P3, struktur selulosa diduga membentuk kristalinitas yang lebih tinggi sehingga memperkuat integritas gel (Keshk, 2014).

### Perlakuan Terbaik

Hasil penentuan perlakuan terbaik menggunakan metode indeks efektivitas (De Garmo *et al.*, 1984) berdasarkan tiga parameter fisik nata de coco menunjukkan bahwa P3 (14 hari) memperoleh nilai hasil tertinggi karena secara konsisten unggul pada ketiga parameter tersebut, yaitu memiliki ketebalan dan rendemen tertinggi serta nilai penetrasi tekstur terendah yang mengindikasikan tekstur paling kenyal dan kokoh. Sebaliknya, P1 (8 hari) memperoleh nilai hasil terendah karena berada pada posisi terendah untuk seluruh parameter yang dinilai, sedangkan P2 (11 hari) berada pada posisi menengah di antara keduanya. Dengan demikian, P3 (14 hari) ditetapkan sebagai perlakuan terbaik dalam penelitian ini, sejalan dengan hasil uji ANOVA dan Tukey yang menunjukkan keunggulan nyata P3 pada parameter ketebalan dan rendemen.

### KESIMPULAN

Temuan penelitian mengindikasikan bahwa lama inkubasi Memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketebalan dan rendemen nata de coco, kedua parameter meningkat signifikan seiring bertambahnya lama inkubasi dengan ketebalan meningkat dari 0,64 cm (P1) menjadi 1,68 cm (P3) dan rendemen meningkat dari 18,28% (P1) menjadi 40,23% (P3). Sebaliknya, lama inkubasi tidak berpengaruh nyata terhadap tekstur nata de coco, meskipun nilai tekstur cenderung menurun (menjadi lebih keras dan kenyal) dari 78,23 mm/g/dt (P1) menjadi 70,03 mm/g/dt (P3).

Berdasarkan hasil analisis indeks efektivitas, P3 (14 hari) merupakan lama inkubasi terbaik, dengan karakteristik ketebalan  $1.68 \pm 0,12$  cm, rendemen  $40.23 \pm 1,27\%$ , dan tekstur  $70.03 \pm 2,22$  mm/g/dt.

### DAFTAR PUSTAKA

- Amiarsi, D., Arif, A. B., Budiyanto, A., & Diyono, W. (2015). Analisis parametrik dan non parametrik pengaruh konsentrasi sukrosa dan amonium sulfat terhadap mutu nata de melon. *Informatika Pertanian*, 24(1), 101–108.
- AOAC. (2007). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (18th ed.). AOAC International.
- Bourne, M. C. (2002). *Food texture and viscosity: Concept and measurement* (2nd ed.). Academic Press.
- Chawla, P. R., Bajaj, I. B., Survase, S. A., & Singhal, R. S. (2009). Microbial cellulose: Fermentative production and applications. *Food Technology and Biotechnology*, 47(2), 107–124.

- De Garmo, E. D., Sullivan, W. G., & Canada, J. R. (1984). Engineering economy. Macmillan Publishing Company.
- Direktorat Gizi. (2010). Daftar komposisi bahan makanan (DKBM). Persatuan Ahli Gizi Indonesia (Persagi).
- Fei, S., Fu, M., Kang, J., Luo, J., Wang, Y., Jia, J., Liu, S., & Li, C. (2024). Enhancing bacterial cellulose production of *Komagataeibacter nataicola* through fermented coconut water by *Saccharomyces cerevisiae*: A metabonomics approach. *Current Research in Food Science*, 8, 100761. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100761>
- Gullo, M., La China, S., Falcone, P. M., & Giudici, P. (2018). Biotechnological production of cellulose by acetic acid bacteria: Current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(16), 6885–6898.
- Haq, M., Farid, U. M., Romdhani, A. M., & Hidayatullah, M. N. (2025). Pengaruh pH dan lama fermentasi terhadap karakteristik pada nata de papaya. *Biofoodtech: Journal of Bioenergy and Food Technology*, 4(2), 84–95. <https://doi.org/10.55180/biofoodtech.v4i2.2107>
- Keshk, S. M. (2014). Bacterial cellulose production and its industrial applications. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, 4, 150. <https://doi.org/10.4172/2155-9821.1000150>
- Klemm, D., Kramer, F., Moritz, S., Lindström, T., Ankerfors, M., Gray, D., & Dorris, A. (2011). Nanocelluloses: A new family of nature-based materials. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(24), 5438–5466. <https://doi.org/10.1002/anie.201001273>
- Layuk, P., Lintang, M., & Joseph, G. H. (2012). Pengaruh waktu fermentasi air kelapa terhadap produksi dan kualitas nata de coco. *Buletin Palma*, 13(1), 41–45.
- Lempong, M. (2013). Produksi nata fruticans dari nira nipah. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 31(2), 110–119. <https://doi.org/10.20886/jphh.2013.31.2.110-119>
- Lestari, P., Elfrida, N., Suryani, A., & Suryadi, Y. (2014). Study on the production of bacterial cellulose from *Acetobacter xylinum* using agro-waste. *Jordan Journal of Biological Sciences Short Communication*, 7(1), 75–80.
- Nuridin, G. M., Nurhidayah, & Aminah. (2023). Pengaruh konsentrasi starter *Acetobacter xylinum* dan lama fermentasi terhadap kualitas produk nata de coco. *BIOMA: Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 5(2), 116–125. <https://doi.org/10.31605/bioma.v5i2.3098>
- Phisalaphong, M., & Chiaoprakobkij, N. (2012). Applications and products—Nata de coco. In M. Gama, P. Gatenholm, & D. Klemm (Eds.), *Bacterial nanocellulose: A sophisticated multifunctional material* (pp. 143–156). CRC Press.
- Putri, S. N. Y., Syaharani, W. F., Utami, C. V. B., Safitri, D. R., Arum, Z. N., Prihastari, Z. S., & Sari, A. R. (2021). The effect of microorganism, raw materials, and incubation time on

- 
- the characteristic of nata: A review. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 14(1), 62–74.  
<https://doi.org/10.20961/jthp.v14i1.47654>
- Putriana, I., & Aminah, S. (2013). Mutu fisik, kadar serat dan sifat organoleptik nata de cassava berdasarkan lama fermentasi. *Jurnal Pangan dan Gizi*, 4(1), 29–38.
- Santosa, B. (2020). Proses pembuatan bubuk probiotik *Lactobacillus plantarum* menggunakan filler bacterial cellulose [Disertasi]. *Universitas Brawijaya Malang*.