

Pengaruh durasi fermentasi terhadap karakteristik selulosa bakterial dan rendemen dalam produksi *nata de soya*

Effect of fermentation duration on bacterial cellulose characteristics and yield in nata de soya production

Nur Isnaeni ^{1)*}, Rury Eryna Putri ¹⁾

^{1)*} Program Studi Magister Ilmu Forensik, Sekolah Pascasarjana Universitas Airlangga, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

*Email korespondensi: nur.isnaeni-2024@pasca.unair.ac.id

Informasi artikel:

Dikirim: 02/06/2025; disetujui: 22/09/2025; diterbitkan: 30/09/2025

ABSTRACT

Cellulose is widely used in industries such as paper, textiles, and pharmaceuticals. A method to obtain pure cellulose is *nata de soya* production using *Acetobacter xylinum*, which converts glucose into cellulose through fermentation. Tofu wastewater serves as a suitable medium due to its rich organic content. Besides cellulose production, this process also helps reduce environmental pollution. This study aims to determine the effect of fermentation duration on biomass, yield, and microscopic characteristics of bacterial cellulose *nata de soya*. Fermentation process was carried out with time variations of 6, 12, 18, 24 and 30 days with three replicates each. The *nata de soya* product then measured for wet weight, washed, and pressed to reduce the moisture content before dried at 50°C until get a constant weight. Cellulose characterization was carried out using a dino-Lite microscope and a Scanning Electron Microscope (SEM) instrument to observe the structure of bacterial cellulose fibres. The results showed that the duration of medium fermentation affected the thickness of *nata de soya* and the amount of cellulose yield. Based on the *nata* biomass, the best fermentation duration is 24 days, which demonstrate the highest average wet weight of 494 grams/L medium. However, for the dry weight and the percentage of yield, the best result was obtained at the fermentation duration on the 30th day, which was 26.23 grams/L medium; 5,28%, respectively. It is concluded as the longer fermentation duration, the more fibre tendrils and bacterial cellulose content the *nata de soya* is produced.

Keywords: *Acetobacter xylinum*, fermented food, SEM, tofu wastewater, yield

ABSTRAK

Selulosa merupakan bahan penting dalam berbagai industri seperti kertas, tekstil, dan farmasi. Salah satu metode untuk memperoleh selulosa murni adalah melalui sintesis *nata de soya* menggunakan *Acetobacter xylinum*, bakteri yang mampu mengonversi glukosa menjadi selulosa melalui fermentasi. Pada proses tersebut diperlukan medium yang cukup mengandung senyawa organik kompleks yang dapat diubah menjadi glukosa, salah satunya yaitu air limbah tahu. Selain mensintesis selulosa, pengolahan air limbah tahu dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama fermentasi terhadap biomassa, rendemen, serta karakteristik mikroskopis selulosa bakterial *nata de soya*. Fermentasi dilakukan dengan variasi waktu 6, 12, 18, 24 dan 30 hari dengan masing-masing tiga ulangan. *Nata de soya* yang dihasilkan ditimbang untuk bobot basah, dicuci, dipres untuk mengurangi kadar air dan dikeringkan pada suhu 50°C hingga bobot konstan. Karakterisasi selulosa dilakukan

dengan menggunakan mikroskop *dino-Lite* dan *Scanning Elctron Microscope* (SEM) untuk mengamati struktur serat selulosa bakterial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa durasi fermentasi medium mempengaruhi ketebalan *nata de soya* dan jumlah rendemen selulosa. Berdasarkan bobot basah nata, durasi fermentasi terbaik adalah 24 hari dengan rata-rata bobot basah terbanyak yaitu 494 gram/L medium. Bobot kering dan persen rendemen terbesar didapat pada durasi fermentasi hari ke-30 yaitu 26,23 gram/L medium; 5,28%. Semakin lama durasi fermentasi, *nata de soya* yang dihasilkan semakin memiliki banyak sulur serat dan kandungan selulosa bakterial.

Kata kunci: *Acetobacter xylinum*, limbah cair tahu, olahan fermentasi, rendemen, SEM

PENDAHULUAN

Limbah cair tahu (*whey* tahu) merupakan salah satu limbah dominan yang dihasilkan dari produksi tahu. Air limbah tahu biasanya langsung dibuang ke sungai tanpa melalui proses pengolahan sebelumnya sehingga menimbulkan permasalahan lingkungan. Limbah cair tahu memiliki kandungan 90,74% air, 7,36% serat kasar, 1,8% protein, 1,2% lemak, dan 0,32% abu (Marliyana *et al.*, 2021). Salah satu upaya penanganan limbah cair tahu ini yakni melalui proses fermentasi menjadi produk nata. Komposisi yang masih ada pada limbah cair tahu berpotensi menjadi media produksi *nata de soya*. Produksi nata dapat mencegah dampak negatif lingkungan serta meningkatkan nilai ekonomi dari *whey* tahu.

Nata adalah lapisan selulosa yang terbentuk dari proses fermentasi oleh bakteri *Acetobacter xylinum* dengan polimerasi glukosa pada karbohidrat sehingga membentuk selulosa dan diperoleh nata (Azahra *et al.*, 2024). Beragam substrat fermentasi dapat menghasilkan nata, seperti limbah air kelapa (*nata de coco*), kulit pisang (*nata de banana skin*), limbah tapioka (*nata de cassava*) dan limbah cair tahu (*nata de soya*). Di antara beragam media tersebut, limbah cair tahu memiliki potensi besar karena ketersediaannya yang melimpah di Indonesia dan memiliki dampak pencemaran lingkungan jika tidak diolah dengan baik. Pemanfaatan limbah cair tahu dalam produksi nata merupakan solusi efektif untuk mengelola dan memanfaatkan limbah sekaligus menghasilkan produk bernilai tambah (Marlinda dan Basuki, 2023).

Selulosa merupakan komponen utama lignoselulosa yang banyak digunakan dalam berbagai sektor, seperti tekstil, farmasi, dan material komposit. Proses konvensional untuk memperoleh selulosa biasanya dari tumbuhan dalam bentuk lignoselulosa. Selulosa (*nata de soya*) mengandung sekitar 98% air (Hardianti *et al.*, 2019). Bakteri *Acetobacter xylinum* adalah bakteri yang paling umum digunakan untuk memproduksi selulosa. Selulosa yang dihasilkan bakteri disebut dengan selulosa bakterial atau nata. Selulosa yang dihasilkan dari nata berbentuk selulosa murni yang bebas dari lignin dan hemiselulosa sehingga tidak diperlukan proses pemisahan yang kompleks (Putri dan Ind, 2021).

Produksi nata yang merupakan bentuk selulosa bakterial, dipengaruhi oleh beberapa parameter, salah satunya adalah durasi fermentasi (Armi, 2014). Durasi yang tidak tepat dapat mempengaruhi kualitas nata secara signifikan. Fermentasi yang terlalu singkat menghasilkan nata dengan tekstur lembek dan lapisan tipis, sementara fermentasi yang terlalu lama berisiko meningkatkan kontaminasi, menghasilkan nata yang sangat asam, keras, dan kurang ideal. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan variasi dalam durasi fermentasi optimal tergantung jenis nata yang diproduksi. Pada penelitian yang dilakukan Nurhayati (2006) yang mengolah air limbah tahu menjadi *nata de soya* dengan variasi waktu fermentasi 7 dan 14 hari menunjukkan bahwa lama fermentasi hanya berpengaruh pada biomassa nata yang dihasilkan, tetapi tidak berpengaruh terhadap ketebalan, temperatur, derajat keasaman (pH), kadar protein, kadar serat, dan kadar air *nata de*

soya. Biomassa tertinggi dicapai pada fermentasi hari ke-7(418,1 g/L), tetapi mengalami penurunan biomassa pada hari ke-14 (247,6 g/L). Hasil ini menunjukkan bahwa fermentasi yang lebih lama tidak selalu menghasilkan peningkatan biomassa nata.

Sementara itu, penelitian lain oleh Dewi dan Fitriana (2021) terkait lama fermentasi *nata de soya* selama 7, 10 dan 13 hari menunjukkan bahwa semakin lama waktu fermentasi nilai rendemen dan ketebalan nata semakin tinggi. Penelitian lain yang dilakukan Nasor dan Palupi (2024) mengamati pengaruh lama fermentasi (10 hari, 13 hari dan 16 hari) dan penambahan asam asetat berpengaruh terhadap kadar air, kadar abu, protein, pH, ketebalan, rendemen dan kekerasan hasil *nata de soya*. Lama fermentasi selama 16 hari dengan penambahan konsentrasi asetat 2% menjadi perlakuan terbaik. Perbedaan hasil ini bisa dipengaruhi oleh sejumlah faktor antara lain tipe starter, jenis media, dan metode fermentasi. Menurut Sutarminingsih (2004) produksi nata dipengaruhi oleh nutrien yang diberikan (sumber karbon dan nitrogen), suhu fermentasi, pH medium, durasi fermentasi dan konsentrasi *Acetobacter xylinum*.

Meskipun telah banyak penelitian mengenai durasi fermentasi nata tetapi belum ada standar waktu spesifik untuk pembuatan nata dari limbah cair tahu. Penentuan durasi fermentasi yang optimal menjadi penting karena berdampak pada ketebalan lapisan nata, tekstur, dan kandungan selulosa bakterial (Putri *et al.*, 2021). Oleh karena itu, Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama fermentasi terhadap biomassa, rendemen, serta karakteristik mikroskopis selulosa bakterial *nata de soya*. Selain menghasilkan produk bernilai ekonomi, pemanfaatan limbah ini mendukung strategi pengelolaan limbah berkelanjutan karena air limbah tahu dengan kandungan glukosa tinggi, memiliki potensi besar sebagai bahan baku untuk sintesis nata serta dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

METODE

Bahan

Bahan yang dipakai meliputi bakteri *Acetobacter xylinum* Ax-NS-UNS22 (Fakultas Pertanian, UNS), gula pasir, nutrient tambahan (*yeast extract*, K_2HPO_4 , $MgSO_4$, dan ZA), air limbah tahu yang didapatkan dari UMKM pabrik pembuatan tahu, dan asam asetat.

Alat

Peralatan yang digunakan adalah nampan (ukuran 22,5 x 18 x 3,5 cm³), gelas ukur, labu erlenmeyer, *incubator shaker*, autoclave, neraca, dan oven. Uji karakteristik *nata de soya* dilakukan dengan mikroskop digital Dino-Lite Edge 5MP AM7515 *series* untuk menganalisis struktur permukaan dan serat pada *nata de soya*.

Pembuatan *nata de soya*

Formulasi bahan pembuatan *nata de soya* dari limbah cair tahu mengacu pada penelitian Fitriana dan Dewi (2021) dengan komposisi jumlah bahan yang dimodifikasi menjadi dua kali lipat. Limbah cair tahu sebanyak 1 L digunakan sebagai media fermentasi *Acetobacter xylinum* Ax-NS-UNS22. ZA (zwavelzure ammoniak) sebanyak 26 gr sebagai sumber nitrogen untuk mendukung pertumbuhan bakteri. Asam asetat 20 mL sebagai pengatur pH media fermentasi agar sesuai dengan kondisi optimal bagi produksi nata. Gula pasir sebanyak 100 gr sebagai sumber karbon yang berperan dalam proses sintesis selulosa oleh *Acetobacter xylinum*. Starter dengan konsentrasi 10% (v/v) dari total volume larutan fermentasi untuk memastikan pembentukan *nata de soya* yang optimal.

Inkubasi starter *Acetobacter xylinum*

Medium starter untuk fermentasi dibuat dengan memanaskan air limbah tahu sebanyak 1 L hingga mendidih. Saat Kondisi hangat, air limbah tahu lalu ditambahkan dengan 90 gr gula pasir, 2 gr *yeast extract*, 4 gr K_2HPO_4 , 0,5 gr $MgSO_4$ dan 13 gr ZA. Medium starter tersebut didinginkan kemudian disterilkan, disaring, dan dicampur

dengan 10% (v/v) bibit *Acetobacter xylinum*. Campuran media dan starter tersebut dihomogenkan menggunakan *incubator shaker* pada kecepatan 75 rpm selama 48 jam, lalu dilanjutkan dengan inkubasi selama 7 hari hingga jumlah bakteri dalam starter mencapai sekitar 6×10^8 CFU/mL, di dalam *incubator shaker*.

Proses fermentasi nata de soya

Sebanyak 1 L air limbah tahu segar dipanaskan hingga mendidih, kemudian ditambahkan 100 gr gula pasir, 26 gr ZA, dan 20 mL asam asetat glasial. Medium limbah tahu tersebut disterilkan menggunakan *autoclave*, lalu didinginkan hingga hangat dan disaring menggunakan kertas saring. Setelah itu, sebanyak 10% (v/v) starter *Acetobacter xylinum* yang telah dibuat sebelumnya ditambahkan ke dalam medium limbah tahu steril, dihomogenisasi dengan *incubator shaker* (90 rpm, 15 menit), lalu dituang ke wadah nampan yang ditutup kain steril. Selanjutnya, medium yang mengandung *Acetobacter xylinum* tersebut difermentasi selama 30 hari dengan tiga kali ulangan. *Nata de soya* yang terbentuk di bagian atas kultur fermentasi dipanen dan dihasilkan biomassa nata, lalu dicuci, dan ditekan untuk mengurangi kandungan air, dan dikeringkan dalam oven (Memmert, UN110-Jerman) dengan temperatur 50°C hingga biomassa konstan. Pengamatan dan pemanenan *nata de soya* dilakukan pada 6, 12, 18, 24, dan 30 hari proses fermentasi.

Rendemen nata

Rendemen nata dihitung menggunakan metode gravimetri, yaitu dengan cara menghitung perbandingan antara biomassa nata yang dihasilkan dibandingkan dengan volume media cair yang dipakai. Biomassa nata ditimbang dengan timbangan analitik serta perhitungan rendemen nata yang tersisa dihitung dengan persamaan berikut (Fatimah *et al.*, 2019).

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\text{Bobot nata (g)}}{\text{Bobot media (g)}} \times 100$$

Pengujian karakteristik selulosa bakterial

Pengujian karakteristik hasil fermentasi *nata de soya* dilakukan menggunakan mikroskop digital *Dino-Lite Edge 5MP AM7515 series* (*Dino Capture 2.0* versi 1.5.46, Taiwan) untuk mengetahui karakteristik struktur mikro dan morfologi permukaan selulosa bakterial. Sampel *nata de soya* yang telah dikeringkan ditempatkan pada objek kaca dan diamati menggunakan perbesaran 850 kali untuk menganalisis permukaan serat dari selulosa nata yang dihasilkan. Lensa mikroskop diarahkan tegak lurus ke permukaan sampel. Fokus disesuaikan hingga citra yang jelas diperoleh pada layar komputer, kemudian gambar disimpan untuk analisis. Pengamatan bertujuan mengidentifikasi karakteristik fisik, seperti keberadaan pori-pori atau struktur fibril pada permukaan selulosa bakterial. Metode ini mengacu pada penelitian yang dilakukan Satria dan Ulfa (2018) dengan menggunakan mikroskop digital untuk menganalisis permukaan serbuk selulosa bakterial dari *nata de soya* hingga perbesaran 1000 kali.

Uji morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Pusat Unggulan IPTEK Teknologi Penyimpanan Energi Listrik (PUI TPEL) UNS. Spesifikasi SEM merek JEOL Series JCM-7000 buatan Jepang digunakan untuk pengujian morfologi selulosa. Sampel berupa lembaran selulosa (non powder) dengan dimensi maksimal 1x1 cm dan ketebalan 2 mm, untuk uji SEM *cross-section* dengan perbesaran maksimal 100.000 kali. Sampel yang sudah disiapkan kemudian dilapisi emas (*coating*) selama 1 menit. Selanjutnya sampel ditempatkan dalam ruang tertutup khusus lalu disinari menggunakan pancaran elektron berenergi 15 kV menyebabkan sampel memancarkan elektron sekunder dan pantulan elektron yang bisa dideteksi oleh *detector scientor* dan diperkuat melalui sistem rangkaian listrik yang kemudian menghasilkan tampilan citra melalui tabung sinar CRT (*Chatode Ray Tube*)

(Aulia *et al.*, 2013). Pemotretan dilakukan dengan *software* bawaan NeoSpace setelah menentukan area spesifik dari objek dan tingkat perbesaran yang sesuai sehingga didapatkan citra yang optimal dan jelas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik produk *nata de soya*

Karakteristik fisik dari hasil uji organoleptik *nata de soya* menunjukkan

perubahan signifikan seiring bertambahnya durasi fermentasi. Proses fermentasi mempengaruhi pembentukan jaringan selulosa bakterial yang berdampak pada ketebalan, warna, aroma dan tekstur produk. Tabel 1 menyajikan data pengamatan karakteristik *nata de soya* pada berbagai durasi fermentasi.

Tabel 1. Karakteristik *nata de soya*

Durasi Fermentasi	Uji fisikawi dan sensoris <i>nata de soya</i>			
	tebal (cm)	Warna	Aroma	Tekstur
6 hari	0,12	putih transparan	asam ringan	tipis agak rapuh
12 hari	0,68	putih bening	asam lemah	agak kenyal, cukup padat
18 hari	1,07	putih susu	asam bau fermentasi	kenyal, padat
24 hari	1,22	putih pekat	asam, tidak menyengat	padat, permukaan halus
30 hari	1,20	putih kekuningan	asam menyengat	lembek, mulai terdegradasi

Dapat dilihat dari Tabel 1 bahwa durasi fermentasi memberikan dampak pada karakteristik *nata de soya* yang terbentuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan nata meningkat seiring waktu fermentasi dengan kondisi produk terbaik tercapai pada fermentasi hari ke-18 hingga 24, dengan kualitas yang mendekati nata komersial di pasaran. Produk *nata de soya* umumnya memiliki ketebalan antara 1–1,5 cm, tekstur kenyal, dan warna putih sesuai dengan SNI 01-4317-1996. Penelitian lain yang dilakukan oleh Alayda *et al.* (2024) melaporkan bahwa *nata de soya* dari whey tahu dengan penambahan gula semut aren menghasilkan ketebalan 0,45 cm, rendemen 21,20%, dan tekstur putih kenyal yang menyerupai nata komersial. Sementara itu, Azahra *et al.* (2024) menunjukkan bahwa *nata de soya* dengan penambahan gula batu mencapai ketebalan 1 cm, kadar air 96,7%, dan serat kasar 5,0%, yang telah sesuai dengan standar SNI sehingga layak disetarakan dengan *nata de coco* di pasaran. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa fermentasi pada rentang 18–24 hari berpotensi menghasilkan *nata de soya* dengan

karakteristik tekstur, warna, dan ketebalan yang mendekati nata komersial.

Sebaliknya fermentasi yang terlalu singkat (6-12 hari) menghasilkan nata yang belum optimal dan terbentuk dengan baik dilihat dari nata yang masih tipis dan transparan. Sementara itu, fermentasi yang terlalu lama (30 hari) menunjukkan produk nata sudah mulai terdegradasi dan kontaminasi berdasarkan karakteristik yang dihasilkan. Pernyataan ini diperkuat oleh penelitian Tamimi *et al.* (2015) menyatakan bahwa perlakuan (kondisi medium fermentasi) dapat mempengaruhi hasil rendemen, serat, kadar air, aroma, rasa, tekstur (kekenyalan) nata. Variasi durasi fermentasi ini memungkinkan pengamatan aktivitas mikroba memanfaatkan nutrisi medium secara optimal dalam pembentukan selulosa sebelum terjadi penurunan kualitas akibat kehabisan substrat.

Biomassa produk *nata de soya* dan rendemen

Proses fermentasi *nata de soya* berpengaruh terhadap biomassa yang dihasilkan. Selama fermentasi, parameter seperti bobot basah, bobot kering dan

rendemen produk diukur untuk menilai efisiensi proses fermentasi. Tabel 2 menyajikan data kuantitatif hasil fermentasi *nata de soya* selama variasi durasi fermentasi

yang menunjukkan peningkatan bobot biomassa dari durasi fermentasi hari ke-6 hingga hari ke-30 dan persentase rendemen terhadap medium awal nata.

Tabel 2. Data kuantitatif biomassa produk *nata de soya* dan rendemen

Durasi Fermentasi	Biomassa dan Rendemen <i>Nata de soya</i>		
	bobot basah (gr)	bobot kering (gr)	rendemen (%)
6 hari	47,97 ± 31,55	1,64 ± 3,07	3,41
12 hari	276,29 ± 31,55	2,78 ± 3,07	1,01
18 hari	431,33 ± 31,55	12,60 ± 3,07	2,92
24 hari	494,00 ± 31,55	13,07 ± 3,07	2,64
30 hari	486,67 ± 31,55	26,23 ± 3,07	5,39

Pengamatan terhadap pengaruh proses fermentasi dilakukan melalui pengukuran biomassa *nata de soya* pada berbagai durasi fermentasi. Tabel 2 menyajikan hubungan antara lamanya fermentasi dan biomassa yang dihasilkan, baik berdasarkan bobot basah dan kering. Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa seiring durasi fermentasi hingga 30 hari, terjadi peningkatan biomassa selama proses berlangsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biomassa *nata de soya* mengalami peningkatan bobot basah yang signifikan dari hari ke-6 hingga hari ke-24 yang menandakan fase pertumbuhan optimal selama periode tersebut. Namun, pada hari ke-30, bobot basah mulai mengalami fase stasioner (stagnan) dengan sedikit penurunan. Penurunan ini dapat terjadi karena terbatasnya ketersediaan nutrisi atau terjadinya penumpukan hasil samping yang dapat mengganggu perkembangan bakteri penghasil selulosa. Hal ini juga sejalan dengan penelitian (Wahyungingsih dan Zulaika, 2019) mengenai pengaruh medium terhadap pertumbuhan bakteri, dimana fase kematian bisa lebih cepat akibat keterbatasan nutrisi.

Sementara itu, bobot kering menunjukkan kenaikan yang lebih stabil dibandingkan bobot basah. Kenaikan signifikan mulai terjadi setelah hari ke-18, mengindikasikan bahwa proses pembentukan selulosa bakteri *Acetobacter xylinum* berjalan secara berkelanjutan. Berbeda dengan bobot basah yang mulai menurun setelah hari ke-24, bobot kering terus meningkat hingga hari ke-

30. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kadar air mulai berkurang, sintesis dan pemadatan serat selulosa tetap berlangsung akibat aktivitas enzimatik. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Aulia *et al.* (2020) mengatakan bahwa seiring dengan bertambahnya waktu fermentasi, kandungan air nata dapat mengalami penurunan tetapi komponen serat kasar cenderung mengalami peningkatan. *Acetobacter xylinum* mampu memproduksi enzim ekstraseluler polimerase untuk merangkai polimer glukosa menjadi selulosa.

Selain itu, penurunan bobot basah setelah hari ke-24 dapat terjadi karena adanya peningkatan aktivitas enzimatik yang menyebabkan degradasi struktur nata sehingga durasi fermentasi nata optimal terjadi dalam rentang 18-24 hari. Pada hari ke-30 bobot basah menurun tetapi bobot kering meningkat mengindikasikan bahwa sebagian besar air di dalam nata mulai terserap membentuk struktur fibril pembentuk selulosa. Hal ini menunjukkan bahwa fermentasi yang terlalu lama dapat menyebabkan variasi hasil yang lebih besar, baik dalam kadar air maupun struktur nata (Alayda *et al.*, 2024). Dalam proses industri pembuatan *nata de soya*, kadar air yang tinggi ini perlu dikontrol karena dapat mempercepat kontaminasi dan mempengaruhi tekstur nata saat penyimpanan.

Rendemen

Rendemen nata menjadi salah satu parameter yang dievaluasi untuk mengetahui

efisiensi proses produksi nata. Persentase rendemen dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk durasi fermentasi yang menentukan biomassa selulosa nata yang terbentuk dibandingkan dengan volume medium fermentasi awal. Berdasarkan hasil penelitian (Tabel 2) didapatkan bahwa rendemen *nata de soya* bervariasi bergantung pada durasi fermentasi. Pada fermentasi hari ke-6, rendemen mencapai 3,41% kemudian mengalami penurunan pada hari ke-12 menjadi 1,01%. Penurunan rendemen ini dapat disebabkan oleh fase adaptasi bakteri yang memerlukan waktu untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan fermentasi atau terjadi kontaminasi yang menghambat pembentukan bakteri.

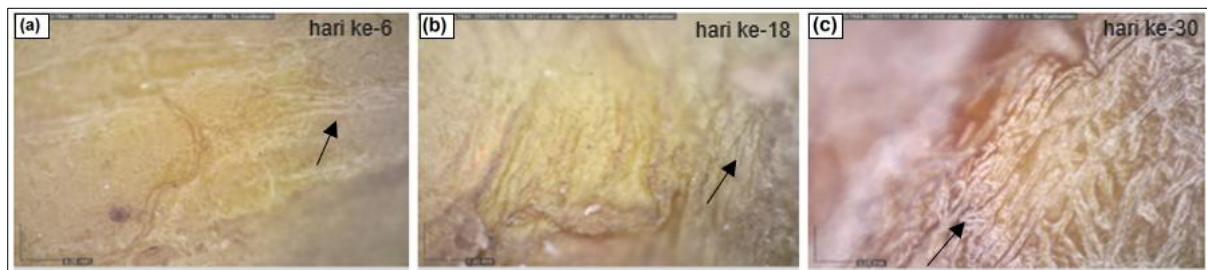
Menurut penelitian Awwaly *et al.* (2011), pertumbuhan *Acetobacter xylinum* dalam membentuk selulosa dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi dalam medium fermentasi. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Putriana dan Aminah (2013), yang mengatakan bahwa kandungan gula dan sumber karbon dalam medium menentukan aktivitas bakteri memproduksi selulosa.

Pada hari ke-18 dan ke-24, rendemen mengalami peningkatan yang menunjukkan

bahwa bakteri telah beradaptasi dengan baik. Peningkatan signifikan hasil rendemen terjadi pada fermentasi hari ke-30 yang menunjukkan bahwa *Acetobacter xylinum* telah mencapai batas optimal dalam menghasilkan selulosa. Sejalan dengan penelitian Wardhana *et al.* (2016), durasi fermentasi yang lebih lama memungkinkan terbentuknya lebih banyak lapisan selulosa nata. Namun, fermentasi yang terlalu lama ini dapat menyebabkan degradasi nata akibat penurunan ketersediaan nutrisi dalam medium.

Karakteristik selulosa bakterial

Karakteristik morfologi serat selulosa bakterial pada *nata de soya* mencerminkan proses biosintesis yang berlangsung selama fermentasi. Pengamatan morfologi bertujuan untuk melihat kerapatan dan tampak serat pada permukaan selulosa yang terbentuk. Gambar 1 menyajikan morfologi permukaan serat nata pada durasi fermentasi hari ke-6, ke-18 dan ke-30 menggunakan mikroskop digital dengan perbesaran 850 kali, dengan tanda panah menunjukkan keberadaan serat pada selulosa nata.



Gambar 1. Morfologi serat selulosa nata dengan mikroskop digital dengan perbesaran 850 kali (a) morfologi serat *nata de soya* fermentasi 6 hari, (b) morfologi serat *nata de soya* fermentasi 18 hari, (c) morfologi serat *nata de soya* fermentasi 30 hari. Panah hitam menunjukkan serat selulosa.

Berdasarkan hasil pengamatan menunjukkan bahwa kerapatan serat dari fermentasi nata hari ke-6 sampai ke-30 semakin banyak seiring lamanya durasi fermentasi. Pada durasi fermentasi 6 hari, struktur serat nata masih longgar dengan sulur yang belum terjalin rapat, menunjukkan bahwa proses biosintesis selulosa oleh *Acetobacter xylinum* masih dalam tahap awal.

Seiring dengan bertambahnya waktu fermentasi menjadi 18 hari, sulur serat mulai lebih rapat dan teratur, mengindikasikan peningkatan produksi selulosa. Pada fermentasi 30 hari, serat semakin banyak dengan struktur serat yang lebih padat dan erat, menunjukkan bahwa produksi selulosa telah maksimal. Semakin lama durasi fermentasi maka serat dalam bentuk selulosa

yang dapat memperangkap air juga semakin tinggi yang dapat mempengaruhi biomassa nata. Hal ini sesuai dengan penelitian Mustofa dan Kurniawati (2017) yang mengungkapkan bahwa *Acetobacter xylinum* mampu memproduksi selulosa. Selulosa membentuk serat-serat berwarna putih. Semakin besar jumlah selulosa yang dihasilkan, maka kekuatan serat yang terbentuk semakin kuat disertai tekstur nata menjadi lebih padat dan kenyal (Aini dan Nur 2019).

Hasil ini juga sejalan dengan penelitian Kornmann *et al.* (2003) yang menyatakan bahwa faktor nutrisi dalam medium memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik, kuantitasi, serta struktur selulosa yang dihasilkan. Ketersediaan sumber karbon yang cukup dalam media fermentasi dapat mendorong *Acetobacter xylinum* untuk mensintesis selulosa dalam jumlah lebih banyak, menghasilkan nata dengan ikatan serat selulosa yang lebih kuat dan padat. Ikatan selulosa yang kuat ini mengakibatkan peningkatan jumlah serat nata, sebagaimana yang terlihat pada fermentasi hari ke-30 dalam pengamatan mikroskopis. Selain itu, penelitian Purtrato dan Taofik (2017) menjelaskan bahwa selulosa nata yang terbentuk merupakan hasil sekresi ekstraseluler *Acetobacter xylinum*, yang menggunakan glukosa sebagai sumber karbon utama dalam medium fermentasi. Glukosa ini berperan sebagai prekursor dalam pembentukan selulosa pada membran sel bakteri, yang kemudian dipolimerisasi menjadi serat nata. Dengan bertambahnya waktu fermentasi, jumlah selulosa yang terbentuk semakin meningkat, sehingga struktur nata menjadi lebih padat, sebagaimana yang diamati pada fermentasi hari ke-18 dan ke-30.

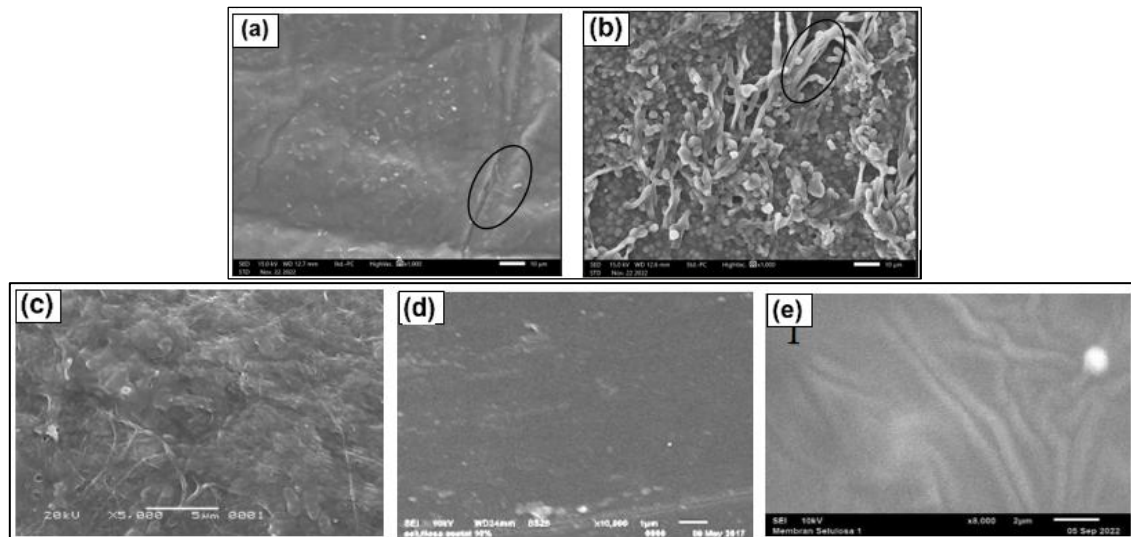
Morfologi mikrostruktur selulosa nata de soya menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM)

Analisis morfologi permukaan selulosa dilakukan untuk mengamati struktur mikro yang terbentuk selama 30 hari durasi fermentasi dengan SEM. Teknik analisis

Scanning Electron Microscope (SEM) digunakan untuk mengevaluasi kekasaran, porositas dan kerapatan serat pada berbagai jenis selulosa dari bahan baku yang berbeda. Gambar 4 menyajikan perbandingan morfologi selulosa nata de soya pada hari ke-12 dan ke-30 dengan lingkaran penanda menunjukkan keberadaan selulosa yang diamati. Disajikan juga berbagai sumber selulosa lainnya, seperti nata de coco, tandan kosong kelapa sawit dan limbah cangkang biji pala sebagai pembanding.

Berdasarkan hasil analisis SEM yang disajikan pada gambar 2, morfologi permukaan berbagai jenis selulosa menunjukkan perbedaan struktur yang signifikan akibat proses fermentasi, asal bahan baku dan perlakuan yang diberikan. Gambar 2(a) dan 2(b) menunjukkan struktur morfologi selulosa nata de soya dengan durasi fermentasi 12 dan 30 hari dengan perbesaran SEM 1000 kali. Pada fermentasi 12 hari (Gambar 2a), permukaan selulosa terlihat lebih halus dengan sedikit retakan yang mengindikasikan tahap awal pembentukan serat selulosa. Setelah fermentasi 30 hari (Gambar 2b), terjadi peningkatan dalam kerapatan serat dan menunjukkan adanya degradasi selulosa yang dihasilkan.

Perbandingan morfologi permukaan dengan jenis selulosa lain bertujuan untuk memahami pengaruh bahan baku terhadap karakteristik selulosa yang dihasilkan. Gambar 2(c) menunjukkan morfologi selulosa nata de coco memiliki struktur selulosa yang lebih padat karena perbedaan sumber karbon selama fermentasi sehingga mempengaruhi sifat fisik selulosa dalam aplikasi tertentu (Lindu *et al.*, 2010). Gambar 2(d) menunjukkan permukaan selulosa asetat yang lebih halus dengan kerapatan serat yang merata karena berasal dari tandan kosong kelapa sawit (Apriani *et al.*, 2017). Sementara itu, pada gambar 2(e) menunjukkan morfologi selulosa dengan membran berserat dengan daya tarik dan ketahanan termal yang kuat karena berasal dari cangkang biji pala (Bhernama *et al.*, 2023).



Gambar 2. Morfologi permukaan selulosa dengan SEM perbesaran 1000 kali (a) selulosa *nata de soya* fermentasi 12 hari, (b) selulosa *nata de soya* fermentasi 30 hari, (c) selulosa mikrobial *nata de coco* (Lindu *et al.*, 2010), (d) selulosa asetat dari tandan kosong kelapa sawit (Apriani *et al.*, 2017), (e) selulosa asetat dari limbah cangkang biji pala (Bhernama *et al.*, 2023). Lingkaran hitam menunjukkan serat selulosa.

Perbedaan hasil SEM menunjukkan bahwa jenis bahan baku dan metode perlakuannya mempengaruhi karakteristik morfologi selulosa yang mempengaruhi sifat fisik dan strukturnya, yang berkaitan dengan pengembangan produk berbasis selulosa dari limbah agroindustri yang berkelanjutan dan bernilai ekonomi tinggi.

KESIMPULAN

Durasi fermentasi berpengaruh signifikan terhadap biomassa, rendemen, serta karakteristik mikroskopis selulosa bakterial *nata de soya*. Fermentasi optimal berada pada rentang 18–24 hari dengan biomassa tinggi, rendemen stabil, serta serat selulosa yang rapat dan teratur. Fermentasi 30 hari meningkatkan rendemen kering, tetapi struktur serat mulai terdegradasi. Dengan demikian, durasi fermentasi tidak hanya menentukan kuantitas hasil, tetapi juga kualitas mikroskopis selulosa bakterial yang terbentuk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik UNS, serta Laboratorium Bioproses

atas dukungan fasilitas selama penelitian dalam rangka memenuhi mata kuliah penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Vika Amelia atas kerja sama dan kontribusinya sebagai *partner* penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, S., & Nur, F. (2019). Penambahan ekstrak jeruk nipis dan konsentrasi inokulum terhadap karakteristik *nata de soya* dari limbah cair industri tahu kabupaten klaten. *Jurnal Kimia Riset*, 4(2), 133. <https://doi.org/10.20473/jkr.v4i2.16137>
- Alayda, V. R., Yuliasari, F., & Hasannah, C. S. (2024). Karakteristik *nata de soya* dari whey tahu dengan penambahan gula semut aren menggunakan *Acetobacter xylinum*. 5, 67–75. <https://doi.org/10.21460/sciscitatio.2024.52.176>
- Armi. (2014). Pemanfaatan limbah cair industri tahu dengan menggunakan *Acetobacter xylinum* menjadi *nata de soya* dan masa inkubasi terhadap karakteristik nata. *Jurnal Serambi Ekonomi & Bisnis*, 1(1), 27–34. <https://doi.org/10.32672/jseb.v1i1.659>

- Aulia, F., Marpongahtun, & Gea, S. (2013). Studi penyediaan nanokristal selulosa dari tandan kosong sawit (TKS). *Jurnal Saintia Kimia*, 1(2), 1–5. <https://jurnal.usu.ac.id/index.php/skimia/article/view/1638/1139>
- Aulia, N., Susanti, S., Rizqiati, H., & Budi Abduh, S. M. (2020). Pengaruh periode fermentasi terhadap karakteristik fisik, kimia dan hedonik nata sari jambu biji merah. *Jurnal Teknologi Pangan*, 4(2), 131–136. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/tekpangan/article/view/24217>
- Apriani, R., Rohman, T., & Mustikasari, K. (2017). Synthesis and characterization of cellulose acetate membranes from oil palm empty fruit bunches. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 9(2), 91–98. <https://doi.org/10.24111/jrihh.v9i2.3305>
- Awwaly Umam Al, K., Puspawati, A., & Radiati Eka, L. (2011). Pengaruh penggunaan persentase starter dan lama inkubasi yang berbeda terhadap tekstur, kadar lemak. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 6(2), 26–35.
- Azahra, Rismantika Ika, Desi Ambar Wati, Lara Ayu Lestari, D. E. J. (2024). Karakteristik nata de soya limbah cair tahu dengan penambahan gula batu. *Jurnal Gizi Aisyah*, 7(1), 17–22. <http://dx.doi.org/10.30604/jnf.v7i1.1761>
- Bhernama, B. G., Nurhayati, Saputra, S. A., & Jihan Amalia. (2023). Characterization of cellulose acetate membrane from nutmeg shells. *Jurnal Sains Natural*, 13(3), 152–160. <https://doi.org/10.31938/jsn.v13i3.465>
- Dina Hardianti, B., & Wahyudiati, D. (2019). The effect of adding sugar to the weight and thickness of nata de soya. *SainsTech Innovation Journal*, 2(1), 12–18. <http://dx.doi.org/10.37824/sij.v2i1.2019.107>
- Fatimah, Hairiyah, N., & Rahayu, R. Y. (2019). Pengaruh konsentrasi gula pasir dan gula aren pada pembuatan nata de coco effect of sugar and palm sugar concentration in making nata de coco. *Jurnal Teknologi Agro-industri*, 6(2), 141. <http://dx.doi.org/10.34128/jtai.v6i2.97>
- Kornmann, H., Duboc, P., Marison, I., & Von Stockar, U. (2003). Influence of nutritional factors on the nature, yield, and composition of exopolysaccharides produced by *Gluconacetobacter xylinus* I-2281. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(10), 6091–6098. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.10.6091-6098.2003>
- Kuncorojati, D., & Kusumawardani, F. (2021). Pembuatan nata de soya dari limbah cair tahu dengan penambahan ekstrak buah naga (*Hylocereus polyrhizus*). *Program Studi Diploma III Teknik Kimia Sekolah Vokasi UNS, Surakarta*.
- Lindu, Muhammad, Tita Puspitasari, & Erna Ismi. (2010). Sintesis dan karakterisasi selulosa asetat dari nata de coco sebagai bahan baku membran ultrafiltrasi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12(1), 17–23. <https://doi.org/10.17146/JSMI.2010.12.1.4555>
- Marlinda, & Basuki, M. (2023). Processing of liquid waste in the tofu industry to become high quality fibrous food. *International Journal of Engineering Inventions*, 12(4), 140–144. <https://www.ijejournal.com/papers/Vo112-Issue4/1204140144.pdf>
- Marliyana, S. D., Fatrozi, S., Inas, D., Wibowo, F. R., Firdaus, M., Kusumaningsih, T., Handayani, D. S., & Suryanti, V. (2021). Pengolahan limbah cair tahu menjadi nata de soya melalui proses fermentasi. *Proceeding of Chemistry Conferences*, 6, 34. <https://doi.org/10.20961/pcc.6.0.55087.34-37>
- Mustofa, A., & Kurniawati, L. (2017). Pemanfaatan limbah leri beras (hitam, merah, putih) untuk pembuatan nata de leri dengan faktor lama fermentasi (using of rice washing waste water (leri, indonesia) as a substrate of nata de leri fermentation with the variation of

- fermentation duration). *Jitipari*, 1(2), 116–123. <https://doi.org/10.33061/jitipari.v1i2.1524>
- Nasor, M., & Palupi, H. T. (2024). Pengaruh lama fermentasi dan penambahan asam asetat terhadap karakteristik *nata de soya* dari limbah tahu. *Teknologi Pangan: Media Informasi Dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 15(36), 328–336. <https://doi.org/10.35891/tp.v15i2.5759>
- Nurhayati, S. (2006). Kajian pengaruh kadar gula dan lama fermentasi terhadap kualitas *nata de soya*. *Jurnal Matematika Sains Dan Teknologi*, 7(1), 40–47. <https://doi.org/10.33830/jmst.v7i1.627.2006>
- Tamimi, A., Hs, S., & Hendrawan, Y. (2015). *Influence of sucrose and urea addition to nata de soya lime acid characteristics. Bioproses Komoditas Tropis*, 3(1), 1–10. <https://jbkt.ub.ac.id/index.php/jbkt/article/viewFile/154/145>
- Putranto, K., & Taofik, A. (2017). *Penambahan ekstrak toge pada media nata de coco*. *Jurnal ISTEK*, 10(2), 138–149. <https://journal.uinsgd.ac.id/index.php/istek/article/view/1484>
- Putri, F., & Ind, J. (2021). Karakteristik *nata de soya* dari limbah cair tahu dengan pengaruh penambahan ekstrak jeruk nipis dan gula. *Indonesian Journal of Chemical Analysis*, 04(02), 47–57. <https://journal.uui.ac.id/IJCA>
- Putri, S. N. Y., Syaharani, W. F., Utami, C. V. 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. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 14(1), 62. <https://doi.org/10.20961/jthp.v14i1.47654>
- Putriana, I., & Aminah, S. (2013). Physical quality, dietary fiber and organoleptic characteristic from nata de cassava based time of fermentation. *Jurnal Pangan Dan Gizi*, 04(07). <https://doi.org/10.26714/jpg.4.1.2013.%25p>
- Satria, R. M., Hamdiani, S., & Ulfa, M. (2018). Potensi selulosa bakteriall dan selulosa asetat limbah cair tahu sebagai adsorben ion logam Cu(II) dan Cr(VI). *Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Mataram, Nusa Tengg*, 1–10.
- Sutarminingsih, L. (2004). *Peluang usaha nata de coco*. Yogyakarta: Kanisius.
- Wahyuningsih, N., & Zulaika, E. (2019). Perbandingan pertumbuhan bakteri selulolitik pada media nutrient broth dan carboxy methyl cellulose. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(2), 7–9. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.36283>
- Wardhana, E., Rusmarilin, H., & Yusraini, E. (2016). Pengaruh konsentrasi gula dan ph terhadap mutu nata de yammy dari limbah cair pati bengkuang. *Ilmu Dan Teknologi Pangan J.Rekayasa Pangan Dan Pert*, 4(3), 323–331. <https://repository.usu.ac.id/handle/123456789/58292>
- Wati, Desti Ambar Wati, Rismantika Ika Azahra, D. E. J. (2024). Berat basah dan kadar vitamin c pada *nata de soya* limbah cair tahu dengan pemanis gula batu. *Jurnal Gizi Aisyah*, 7(1), 32–36. <http://dx.doi.org/10.30604/jnf.v7i1.1764>