

**PRODUKSI *BACTERIAL NANOCELLULOSE* (BNC) DARI LIMBAH
CAIR NANAS MENGGUNAKAN ISOLAT TUNGGAL DAN KULTUR
KOMBUCHA**

(Skripsi)

Oleh

**Hamida
2017011080**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PRODUKSI *BACTERIAL NANOCELLULOSE* (BNC) DARI LIMBAH CAIR NANAS MENGGUNAKAN ISOLAT TUNGGAL DAN KULTUR KOMBUCHA

Oleh

Hamida

Bacterial Nanocellulose (BNC) merupakan biopolimer hasil fermentasi bakteri yang memiliki aplikasi luas di bidang biomedis, pangan, dan material. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi BNC dengan memanfaatkan limbah cair nanas sebagai sumber gula alternatif, serta membandingkan efektivitas produksi antara penggunaan isolat tunggal dan konsorsium mikroba dari kultur kombucha. Produksi BNC dilakukan dalam keadaan statis selama 14 hari menggunakan medium Hestrin-Schramm (HS) dan medium HS termodifikasi yang glukosanya diganti dengan limbah cair nanas (Brix 8%). Isolat tunggal Kc-D-4 dan isolat baru Kc-A-1 tidak mampu menghasilkan pelikel pada kedua jenis media yang digunakan. Oleh karena itu, selanjutnya digunakan mikroba kultur kombucha sebagai inokulan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa mikroba kultur kombucha mampu menghasilkan pelikel pada kedua jenis media, dengan hasil terbaik diperoleh pada medium HS termodifikasi berupa berat kering pelikel sebesar 8,64 g/L dan memiliki nilai *Water Hold Capacity* (WHC) sangat baik yaitu sebesar 96,92%. Analisis efisiensi konversi substrat menunjukkan bahwa pada medium HS termodifikasi substrat dikonsumsi hingga 40% dan dikonversi menjadi pelikel hingga 27%. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR menunjukkan bahwa pelikel yang diperoleh memiliki gugus fungsi sebagai material selulosa, dan analisis morfologi menggunakan SEM menunjukkan struktur jaringan nanofibril dengan diameter 65-92 nm. Kedua hasil tersebut secara bersama-sama mengonfirmasi bahwa pelikel yang dihasilkan merupakan BNC. Dengan demikian, hasil eksperimen menunjukkan bahwa limbah cair nanas dan mikroba kultur kombucha dapat menjadi alternatif yang menjanjikan dalam produksi BNC.

Kata Kunci : *Bacterial Nanocellulose* (BNC), Limbah Cair Nanas, Kultur Kombucha, Konsorsium Mikroba, WHC

ABSTRACT

PRODUCTION OF BACTERIAL NANOCELLULOSE (BNC) FROM PINEAPPLE LIQUID WASTE USING SINGLE ISOLATE AND KOMBUCHA CULTURE

By

Hamida

Bacterial Nanocellulose (BNC) is a bacterially fermented biopolymer that has wide applications in biomedical, food, and material fields. This study aims to produce BNC by utilizing pineapple liquid waste as an alternative sugar source, as well as comparing the effectiveness of production between the use of a single isolate and microbial consortium from kombucha culture. BNC production was carried out in a static state for 14 days using Hestrin-Schramm (HS) medium and modified HS medium whose glucose was replaced with pineapple liquid waste (Brix 8%). The single isolate Kc-D-4 and the new isolate Kc-A-1 were unable to produce pellicle on both types of media used. Therefore, kombucha culture microbes were used as inoculants. The experimental results showed that kombucha culture microbes were able to produce pellicles on both types of media, with the best results obtained on modified HS medium in the form of pellicle dry weight of 8.64 g/L and had an excellent Water Hold Capacity (WHC) value of 96.92%. Analysis of substrate conversion efficiency showed that in the modified HS medium the substrate was consumed up to 40% and converted into pellicles up to 27%. Characterization results using FTIR show that the pellicles obtained have functional groups as cellulose material, and morphological analysis using SEM shows a nanofibril network structure with a diameter of 65-92 nm. Both results together confirm that the pellicles produced are BNCs. Thus, the experimental results show that pineapple wastewater and kombucha microbial culture can be a promising alternative in the production of BNCs.

Keywords : Bacterial Nanocellulose (BNC), Pineapple Liquid Waste, Kombucha Culture, Microbial Consortium, WHC

**PRODUKSI *BACTERIAL NANOCELLULOSE* (BNC) DARI LIMBAH
CAIR NANAS MENGGUNAKAN ISOLAT TUNGGAL DAN KULTUR
KOMBUCHA**

Oleh

Hamida

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Penelitian : **Produksi *Bacterial Nanocellulose* (BNC) dari Limbah Cair Nanas Menggunakan Isolat Tunggal dan Kultur Kombucha**

Nama Mahasiswa : **Hamida**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2017011080**

Jurusan : **Kimia**

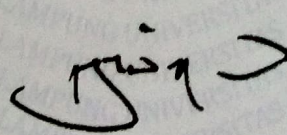
Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 19740611 200003 1 002

Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.
NIP. 19720530 200003 2 001

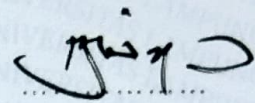
2. Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kerja Sama
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam


Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 19740611 200003 1 002

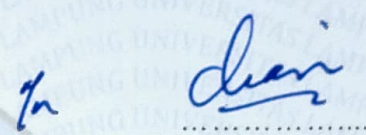
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

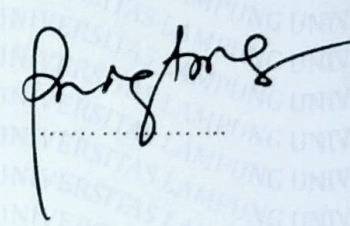
Ketua : **Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D.**



Sekretaris : **Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.**



Anggota : **Prof. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **17 Juni 2025**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hamida
Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011080
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang berjudul **“Produksi *Bacterial Nanocellulose* (BNC) dari Limbah Cair Nanas Menggunakan Isolat Tunggal dan Kultur Kombucha”** adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, maupun analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data di dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 26 Juni 2025

Yang menyatakan



Hamida

NPM. 2017011080

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Hamida yang lahir di Lampung Tengah, pada tanggal 24 Maret 2002. Anak pertama dari dua bersaudara, putri dari pasangan Bapak Ngateman dan Ibu Sriyana. Penulis mengawali jenjang Pendidikan dari Taman Kanak-kanak Al-Hidayah 1 Sari Bakti yang diselesaikan pada tahun 2008. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar di SDN 5 Tanjang Kerajan 2014, kemudian melanjutkan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Seputih Banyak yang diselesaikan pada tahun 2017, dan melanjutkan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Seputih Banyak diselesaikan pada tahun 2020. Pada tahun 2020, penulis diterima sebagai mahasiswi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri) yang diselesaikan pada tahun 2025.

Selama di perguruan tinggi, penulis pernah bergaung dalam bidang organisasi kemahasiswaan, sebagai Kader Muda Himpunan Mahasiswa Kimia (KAMI) periode 2020. Penulis melaksanakan KKN (Kuliah Kerja Nyata) pada bulan Januari-Februari 2023 di Desa Lombok Selatan Kecamatan Lumbok Seminung, Kabupaten Lampung Barat, dan menerbitkan jurnal bersama anggota tim KKN yang berjudul “Upaya Penanganan Hama Kutu Putih (*Phenacoccus manihoti*) pada Tanaman Alpukat di Perkebunan Pekon Lombok Selatan”. Pada tahun 2024, penulis menyelesaikan PKL (Praktik Kerja Lapangan) di Laboratorium Biokimia, Universitas Lampung dengan judul “Uji Aktivitas Isolat Kc-D-4 Sebagai Penghasil *Bacterial Nanocellulose* (BNC) Pada Medium GEY”. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Biokimia untuk mahasiswa S1 Jurusan Biokimia Terapan FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2024.

MOTTO

“Put your trust in Allah, and keep going”

(My reminder to myself)

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(QS Al-Insyirah: 6)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS Al-Baqarah: 286)

“Perjalanan seribu mil dimulai dari satu langkah kecil”

(Lao Tzu)

“I gave me the best of me, and I’ll keep trying to do that”

(Magic Shop - BTS)

“I don’t know where to go, but I keep walking, even in the dark ”

(Quarter Life - TXT)

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan mengucapkan *alhamdulillah robbil'alamin* atas ridho Allah SWT dengan segala rasa syukur kupersembahkan karya sederhanaaku sebagai wujud bukti dan tanggung jawab kepada:

Kedua orang tuaku

Bapakku Ngateman dan Ibukku Sriyana

Yang selalu memberikan dukungan serta do'a terbaik sepanjang waktu
Terima kasih atas restu yang tiada henti dalam setiap langkah penulis hingga
sekarang dan sampai nanti.

Adikku

Munif Syah Rudin

Terima kasih atas segala dukungan dan semangat yang telah diberikan kepada
penulis.

Dengan rasa hormat kepada:

Bapak Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D.

Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.

Bapak Prof. Rudy Tahan Mangapul Situmeang, M.Sc., Ph.D.

Terima kasih atas bimbingan yang tak hanya mengajarkan ilmu, tapi juga
ketulusan, kesabaran, dan kepercayaan terhadap proses.

Bapak Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

Terima kasih atas ilmu dan inspirasi yang tak ternilai.

Universitas Lampung

Almamater tercinta

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karean atas nikmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Produksi *Bacterial Nanocellulose* (BNC) dari Limbah Cair Nanas Menggunakan Isolat Tunggal dan Kultur Kombucha**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Sains di Universitas Lampung.

Dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan rintangan, namun itu semua dapat penulis lalui berkat rahmat dan ridho Allah SWT serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, dengan rasa hormat dan tulus dari hati yang paling dalam, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak dan Ibu tercinta, atas cinta dan kasih sayang yang tulus, doa yang tak pernah putus, serta dukungan, nasihat, dan pengorbanan yang menjadi kekuatan terbesar penulis.
2. Bapak Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga, kesabaran, memberikan ilmu, nasihat, arahan, bantuan, motivasi, dan saran kepada penulis selama penelitian sampai selesainya skripsi ini. Semoga Allah membalas segala kebaikan Bapak.
3. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing kedua dan juga Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung, atas waktu, bimbingan, dan nasihat yang sangat berarti. Semoga Allah membalas kebaikan Ibu.
4. Prof. Rudy Tahan Mangapul Situmeang, M.Sc. Ph.D., selaku dosen pembahas yang telah memberikan kritik, saran, arahan, dan ilmu pengetahuan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

5. Bapak Prof. Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T., selaku pembimbing akademik atas ketersediannya memberikan arahan, motivasi, saran dan kritik dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Ibu Dr. Dian Herasasi, S.Si., M.Si., selaku sekretaris jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Lampung.
8. Seluruh dosen dan staf Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung, atas ilmu, bimbingan, dan motivasi yang telah diberikan selama masa studi.
9. Adik penulis, Munif Syah Rudin atas doa, dukungan, dan semangat yang selalu diberikan.
10. Keluarga besar penulis, atas doa dan dukungan yang terus mengalir selama proses penelitian hingga penulisan skripsi ini.
11. Mba Della selaku PLP Laboratorium Biokimia, atas bantuan dan fasilitas selama penelitian berlangsung.
12. Teman-teman seperjuanganku, *Mulyono Research 2020*, Gita Fitria, Ratih Nurhidayati, Ribka Angelina Gultom, dan Sabrina Zulaika yang telah berjuang bersama menyelesaikan studi ini.
13. Sahabat-sahabatku: Agil, Alda, Ester, Eva, Fathia, Gita, Ida, dan Sabrina, yang telah memberikan semangat, tawa, dan dukungan dalam berbagai bentuk selama proses penyusunan skripsi ini.
14. Kak Alinil Masruroh, S.Si., dan kak Virginia Nuh Reza Amanda, S.Si., atas bimbingan, semangat, dan motivasi selama penelitian.
15. Keluarga Laboratorium Biokimia, Agil, Umi, kak Ejak, kak Nindy, Biokimia'20, Biokimia'21, terima kasih atas kebersamaan dan dukungannya.
16. Kakak-kakak Tim Riset Mulyono, kak Alinil, Kak Dira, Kak Dita dan Kak Natasya yang banyak membantu penulis memberikan saran untuk penelitian dan skripsi. Dan untuk adik-adik Tim Mulyono Riset 2021, tetap semangat dalam penelitiannya.
17. Teman-teman "Standhalu" Refi, Sintia, dan Tami, yang telah berbagi keceriaan kepada penulis dan menjadi teman yang baik bagi penulis sejak masa SMA

18. Teman-teman seperjuangan sejak bangku SMA hingga menapaki dunia perkuliahan di Universitas Lampung: Ajeng, Ayu, Kanti, dan Ridho, terima kasih telah menjadi teman yang senantiasa mendukung.
19. Rekan-rekan KKN Desa Lomobok Selatan; Ahmad, Amel, Irfan, Linda, Nita, dan Kak Rey, yang selalu memberi dukungan dan semangat kepada penulis.
20. Ayu Nadia, teman sedari kecil penulis, atas bantuan dan dukungan selama masa perkuliahan daring.
21. Seluruh teman-teman Kimia angkatan 2020, tanpa terkecuali, terima kasih atas kebersamaan dalam suka dan duka selama masa kuliah.
22. Almamater tercinta, Universitas Lampung, tempat penulis tumbuh, belajar, dan menempa diri.
23. Serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah banyak membantu dan mendoakan baik secara langsung maupun tidak langsung selama penulis menyelesaikan studinya.

Semoga segala bantuan dan dukungan yang diberikan mendapatkan balasan pahala dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk penyempurnaan di masa yang akan datang.

Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi sumbangan kecil bagi dunia ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, Juni 2025

Hamida

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Manfaat Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Nanas	4
2.1.1. Pengertian Nanas	4
2.1.2. Limbah Nanas	4
2.2. Selulosa	6
2.2.1. Pengertian Selulosa.....	6
2.2.2. Struktur Selulosa.....	6
2.2.3. Sumber Selulosa	7
2.2.3.1. Tanaman.....	7
2.2.3.2. Tunikata	7
2.2.3.3. Alga	8
2.2.3.4. Bakteri	8
2.2.4. Perbedaan Selulosa Tumbuhan dan Selulosa Bakteri.....	8
2.3. <i>Bacterial Nanocellulose</i> (BNC)	9
2.3.1. Pengertian <i>Bacterial Nanocellulose</i> (BNC)	9
2.3.2. Struktur <i>Bacterial Nanocellulose</i> (BNC).....	10

2.4.	Mekanisme Biosintesis BNC	10
2.5.	Kombucha	11
2.6.	Perbandingan Strain Tunggal dan Konsorsium Mikroba	11
2.7.	Medium Hestrin-Schramm (HS)	12
2.8.	Pengukuran <i>Water Hold Capacity</i> (WHC) BNC.....	12
2.9.	Karakterisasi BNC.....	12
2.9.1.	<i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	12
2.9.2.	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	14
2.10.	Aplikasi BNC	14
2.10.1.	Bidang Makanan	15
2.10.2.	Bidang Kesehatan dan Farmasi	15
2.10.3.	Produk-Produk Komersial.....	15
III.	METODE PENELITIAN.....	16
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian.....	16
3.2.	Alat dan Bahan	16
3.3.	Prosedur Penelitian.....	16
3.3.1.	Tahap Persiapan Alat	16
3.3.2.	Tahap Pembuatan Media.....	17
3.3.2.1.	Medium Hestrin-Schramm (HS)	17
3.3.2.2.	Medium Hestrin-Schramm Cair	17
3.3.2.3.	Medium Hestrin-Schramm Cair Termodifikasi	17
3.3.2.4.	Medium GEY (<i>Glucose, Ethanol, Yeast Extract</i>)	18
3.3.3.	Peremajaan Isolat Kc-D-4.....	18
3.3.4.	Isolasi Bakteri Penghasil BNC	18
3.3.5.	Penyiapan Inokulum	19
3.3.6.	Produksi BNC	19
3.3.6.1.	Produksi menggunakan strain tunggal.....	19
3.3.6.2.	Produksi menggunakan kultur kombucha	19
3.4.	Pengukuran Efisiensi Produksi BNC	19
3.5.	Pengukuran <i>Water Hold Capacity</i>	20
3.6.	Karakterisasi BNC.....	20
3.7.	Diagram Alir.....	21

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1. Isolat Kc-D-4 Hasil Peremajaan.....	22
4.2. Evaluasi Produksi BNC oleh Isolat Kc-D-4.....	23
4.3. Isolat Bakteri Penghasil BNC dari Kultur Kombucha	25
4.4. Evaluasi Produksi BNC oleh Isolat Kc-A-1	28
4.5. Evaluasi Produksi BNC oleh Kultur Kombucha.....	29
4.7. <i>Water Hold Capacity</i> (WHC) Pelikel BNC.....	34
4.8. Karakteristik <i>Bacterial Nanocellulose</i> (BNC)	37
4.8.1. Spektrum IR BNC.....	37
4.8.2. Morfologi Permukaan BNC.....	40
V. KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1. Kesimpulan.....	43
5.2. Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN	51

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi Kimia Limbah Nanas	5
2. Kandungan Asam Organik Limbah Nanas	5
3. Komposisi Kimiawi Dari Beberapa Tanaman Penghasil Selulosa.....	7
4. Perbedaan Selulosa Tumbuhan dan Bakteri	9
5. Panjang Gelombang Gugus Fungsi Selulosa	13
6. Pengukuran Indeks Halo	27
7. Perbandingan Berat pelikel BNC	32
8. Kadar Gula (Brix) Awal dan Akhir Produksi	33
9. Nilai WHC Pelikel BNC	36
10. Nilai Absorbansi Bilangan Gelombang Penentu Indeks TCI dan LOI	40
11. Nilai Indeks TCI dan LOI	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Selulosa	7
2. Spektrum FTIR Dari BNC	13
3. Hasil Uji SEM BNC Pada Pembesaran 30.000×	14
4. Diagram Alir Penelitian.....	21
5. Hasil <i>Spread Plate</i> Isolat Kc-D-4.....	22
6. Hasil <i>Streak</i> Isolat Kc-D-4, A) Agar Plate, B) Agar Miring	23
7. Hasil Adaptasi	25
8. Hasil Isolasi Dari Kombucha	26
9. Hasil Uji pada Medium GEY	27
10. Hasil Fermentasi Menggunakan Kultur Kombucha A) Medium HS, B) Medium HS Termodifikasi.....	30
11. Grafik Perbandingan Berat Kering Pelikel BNC	32
12. Grafik Perbandingan Konsumsi dan Konversi Substrat.....	33
13. A) Hasil Pelikel BNC Pada Medium HS (i) Pelikel Basah, (ii) Pelikel Kering, B) Medium HS Termodifikasi (i) Pelikel Basah, (ii) Pelikel Kering	36
14. Grafik Perbandingan Nilai WHC	36
15. Hasil FTIR Pelikel BNC	38
16. Hasil SEM Pelikel BNC (a) Pembesaran 10.000x, (b) Pembesaran 20.000x .	41

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Nanas merupakan salah satu jenis buah yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Buah ini memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi dan berpotensi besar untuk pasar domestik maupun ekspor. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistika, (2023) produksi nanas di Indonesia mencapai 3,2 juta ton pada tahun 2022, dengan Provinsi Lampung sebagai produsen terbesar yakni sebesar 861.706 ton.

Sebagian besar nanas dipasarkan dalam bentuk segar atau diolah menjadi produk seperti nanas kalengan. Proses pengolahan ini menghasilkan limbah padat dan cair dalam jumlah besar. Limbah hasil produksi nanas dapat mencapai 60% dari total produksi, sedangkan limbah pengalengan nanas terdiri dari 56% kulit, 17% mahkota, 15% pucuk, 7% hati, dan 5% ampas nanas (Oktaviani *et al.*, 2018). Selain itu, industri pengalengan nanas seperti PT. Great Giant Pineapple (PT GGP) dilaporkan menghasilkan sekitar 5.000 m³ limbah cair per hari dari pengolahan 2500 ton buah (Sutanto dan Lubis, 2018). Limbah ini berpotensi mencemari lingkungan dan menyumbang emisi gas rumah kaca karena kandungan bahan organik yang tinggi, termasuk 81% air dan material organik seperti, protein 4%, serat kasar 20%, serta karbohidrat 17% (Kusuma *et al.*, 2019). Kandungan karbohidrat tersebut memungkinkan limbah nanas untuk menjadi alternatif sumber glukosa dalam pertumbuhan mikroorganisme.

Bacterial Nanocellulose (BNC) merupakan selulosa berukuran nano dengan diameter < 100 nm yang diproduksi oleh bakteri (Perumal *et al.*, 2022). BNC merupakan selulosa yang mempunyai sifat unik seperti memiliki kemurnian tinggi, kapasitas menyerap air yang tinggi, *biodegradable*, mempunyai struktur *nanofibrous*, serta biokompatibilitas yang baik (Suryanto, 2017). BNC lebih

disukai dan banyak diproduksi serta dikembangkan karena sifatnya yang lebih unggul. BNC sudah banyak diaplikasikan dalam berbagai, seperti pada bidang biomedis yang dimanfaatkan sebagai pembalut luka, pembungkus obat, rekayasa jaringan, dan antimikroba, sementara itu pada bidang komersial BNC dimanfaatkan sebagai kosmetik, dan kertas serta industri lainnya (Barja, 2021).

Beberapa mikroba mampu memproduksi BNC, salah satu di antaranya adalah strain *Acetobacter xylinum*, yang biasanya diisolasi dari buah dan sayuran busuk, makanan fermentasi, serta minuman fermentasi seperti kombucha (Nurbaiti, 2022). Produksi BNC dipengaruhi oleh kemampuan strain bakteri, kondisi lingkungan, dan komposisi dari medium fermentasi. Umumnya medium yang digunakan dalam produksi BNC di laboratorium adalah Hestrin-Schramm (HS) yang menggunakan glukosa komersial sebagai sumber gulanya. Penggunaan glukosa komersial pada medium HS menyebabkan tingginya harga produksi. Oleh karena itu, perlu dicari alternatif lain yang dapat menggantikan glukosa komersial dalam produksi BNC, salah satunya adalah limbah cair nanas yang masih memiliki kandungan karbohidrat yang cukup tinggi.

Pada Laboratorium Biokimia Universitas Lampung telah berhasil diisolasi beberapa bakteri penghasil BNC, salah satunya adalah isolat Kc-D-4 yang diisolasi dari kombucha, isolat tersebut telah dilaporkan oleh Akbar (2023) mampu menghasilkan BNC sebesar 6,3 g/L dengan kondisi optimum produksi pada pH 4,5 dan diinkubasi selama 14 hari dalam kondisi statis serta menggunakan limbah cair nanas sebagai pengganti sumber glukosa komersial pada medium HS, yang kemudian disebut dengan HS termodifikasi. Namun, produksi BNC menggunakan isolat tunggal belum menghasilkan pelikel yang stabil dan konsisten. Menurut Reshmy *et al.*, (2021) isolat tunggal sering kali mengalami penurunan spontan dalam kemampuan sintesis selulosa, bahkan dalam beberapa kasus isolat tunggal kehilangan kemampuan sintesis selulosa sepenuhnya. Oleh karena itu, pendekatan alternatif dilakukan dengan menggunakan konsorsium mikroba berupa kultur kombucha.

Kultur kombucha terdiri atas berbagai genus bakteri seperti *Komagataeibacter*, *Gluconobacter*, *Bifidobacterium*, serta genus khamir seperti *Candida*, *Lachancea*,

Kluyveromyces, *Zygosaccharomyces*, dan *Schizosaccharomyces*, yang berpotensi menciptakan lingkungan metabolik yang lebih kompleks dan sinergis untuk produksi BNC. Penelitian oleh Skiba *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa kultur simbiotik *Medusomyces gisevii* Sa-12 (kombucha) mampu menghasilkan BNC sebesar 1,8 g/L dari substrat kulit gandum 44-65% lebih tinggi dibandingkan produksi oleh strain tunggal *komagataeibacter xylinus* B-12429 dan B-12431. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara bakteri dan khamir dalam kultur kombucha dapat meningkatkan efisiensi dan konsistensi produksi BNC. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan eksplorasi produksi BNC menggunakan limbah cair nanas sebagai pengganti glukosa komersial dengan kultur kombucha sebagai inokulan.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Menguji produksi *Bacterial Nanocellulose* (BNC) dengan isolat tunggal dan konsorsium mikroba dari kultur kombucha.
2. Menilai potensi dan efisiensi limbah cair nanas sebagai pengganti glukosa komersial pada medium HS dalam memproduksi BNC.
3. Mengetahui karakteristik pelikel BNC berupa WHC dan strukturnya dengan menggunakan FTIR dan SEM.

1.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat menambah wawasan atau ilmu pengetahuan bagi para pembaca, serta dapat dijadikan referensi atau rujukan bagi penelitian BNC selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Nanas

2.1.1. Pengertian Nanas

Nanas (*Ananas comosus L.*) merupakan tanaman tropis yang berasal dari Brasil, Bolivia, dan Paraguay. Tanaman ini digolongkan ke dalam kelas monokotil yang bersifat tahunan. Tanaman nanas mempunyai tunas yang merayap pada bagian pangkalnya, memiliki daun berbentuk pedang dengan ujung lancip menyerupai duri, berwarna hijau atau hijau kemerahan. Buah nanas berbentuk bulat panjang, berwarna hijau ketika masih muda, dan berwarna kuning ketika sudah masak, serta mempunyai rasa asam hingga manis (Bethan dan Fadillah, 2018).

2.1.2. Limbah Nanas

Limbah nanas merupakan bagian dari kulit buah, daun, maupun bagian inti nanas yang terbuang pada saat pengolahan. Sebagian besar dari limbah tersebut mengandung sisik dan duri yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti gatal, iritasi, atau bahkan infeksi. Produksi nanas di Indonesia mencapai 3,2 juta ton per tahun. Jika diasumsikan 30% dari total berat buah merupakan kulit, maka limbah kulit nanas yang dihasilkan dapat mencapai 960.000 ton. Hal tersebut tentu belum mencakup daun maupun jantung nanas. Kusuma *et al.* (2019) menyatakan bahwa kulit nanas mengandung air sebesar 81% dan material organik seperti, protein 4%, serat kasar 20%, serta karbohidrat 17%. Kandungan karbohidrat yang tinggi pada limbah nanas dapat digunakan sebagai sumber karbon bagi pertumbuhan suatu mikroorganisme dalam menghasilkan suatu lapisan putih yang ada dipermukaan media yang dikenal sebagai pelikel (Susanto dan Suarsini, 2011). Limbah nanas mengandung beberapa komponen berikut dicantumkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Limbah Nanas

Komposisi	Berat kering			
	Buah	Kulit	Mahkota	Bubur
Selulosa	19,4	14	29,8	14,3
Hemiselulosa	22,4	20,2	23,2	22,1
Lignin	4,7	1,5	4,5	2,3
CSM (<i>cell soluble matter</i>)	53,4	64,8	42,5	61,4

Sumber : (Casabar *et al.*, 2019)

Nanas mempunyai derajat keasaman (pH) pada rentang 2-4 dan mengandung enzim bromelin serta protease, sehingga limbah nanas dapat menimbulkan kerusakan lingkungan jika dibuang begitu saja. Kerusakannya berupa turunya kesuburan tanah akibat pH yang rendah. pH yang rendah tersebut disebabkan oleh tingginya kandungan asam organik pada buah nanas (Susanto dan Suarsini, 2011). Kandungan asam organik dalam limbah nanas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Asam Organik Limbah Nanas

Asam Organik	Satuan (ppm)
Asam sitrat	400,0
Asam suksinat	161,0
Asam fosfat	23,0
Asam oksalat	13,8
Asam glutamat	13,0
Asam laktat	9,0
Asam sulfat	4,4
Asam isoklinal	4,0
Asam format	3,0
Asam malonat	3,0
Asam klorida	2,0
Asam propionat	1,9
Asam asetat	0,5
Asam nitrat	0,1

Sumber: (Susanto dan Suarsini, 2011)

2.2. Selulosa

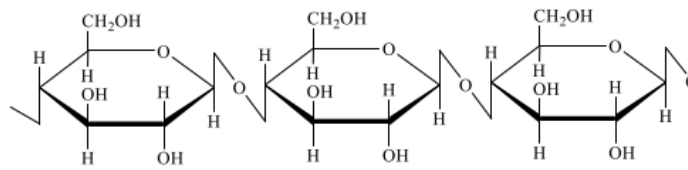
2.2.1. Pengertian Selulosa

Selulosa merupakan biopolimer alami terbarukan yang jumlahnya melimpah di bumi, dan ditemukan dalam berbagai spesies hidup termasuk tumbuhan, hewan, dan beberapa bakteri. Selulosa merupakan komponen struktural utama tanaman dan dapat dimanfaatkan menjadi sumber daya kimia terbarukan untuk menggantikan bahan berbasis minyak bumi (Khalil *et al.*, 2014). Selulosa merupakan polimer hidrofilik yang mempunyai tiga gugus hidroksil reaktif pada tiap unit hidroglukosa-nya, dan tersusun oleh ribuan gugus anhidroglukosa yang terhubung dengan ikatan 1,4- β -glikosidik membentuk molekul berantai yang panjang dan linier atau tidak bercabang (Mulyadi, 2019).

Selulosa diproduksi sekitar 100 miliar ton per tahunnya, sebagian selulosa berada dalam bentuk murni seperti yang terdapat pada rambut biji tanaman kapas. Tetapi selulosa paling banyak ditemukan dalam bentuk kombinasi dengan lignin dan polisakarida lain seperti hemiselulosa dalam dinding sel tumbuhan berkayu, baik pada kayu lunak seperti jerami, atau pada kayu keras seperti bambu. Selain itu selulosa juga dihasilkan oleh bakteri seperti *Acetobacter xylinum* secara ekstraseluler. Senyawa ini juga ditemukan dalam plankton bersel satu atau alga di lautan, dan juga pada jamur (Siagian *et al.*, 2019).

2.2.2. Struktur Selulosa

Selulosa mempunyai rumus empirik $(C_6H_{10}O_5)_n$ dimana n merupakan derajat polimerisasi (DP) dari selulosa. Nilai n berada di kisaran 1.500 dan berat molekul selulosa yaitu sekitar 243.000 (Siagian *et al.*, 2019). Selulosa memiliki tiga gugus hidroksil reaktif dalam setiap unit glukosa, yaitu satu gugus primer HO-6 dan dua gugus sekunder (HO-2 dan HO-3) (Kunusa, 2017). Struktur selulosa dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Struktur Selulosa (Kunusa, 2017)

2.2.3. Sumber Selulosa

2.2.3.1. Tanaman

Tanaman merupakan sumber utama dari selulosa, dimana selulosa menjadi komponen utama penyusun dinding sel tanaman. Selulosa pada tanaman jarang ditemukan dalam bentuk murni, selulosa akan berikatan dengan zat lain seperti lignin, yang disebut sebagai hemiselulosa. Hemiselulosa mempunyai struktur yang sangat bercabang dan amorf. Oleh karena itu diperlukan perlakuan khusus untuk mengisolasi selulosa dari tanaman (Pine *et al.*, 2021). Beberapa komposisi kimia dari tanaman penghasil selulosa dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Kimiawi Dari Beberapa Tanaman Penghasil Selulosa

Sumber	Komposisi (%)			
	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin	Ekstrak
Kayu keras	43-47	25-35	16-24	2-8
Kayu lunak	40-44	25-29	25-31	1-5
Bagasse	40	30	20	10
Bonggol jagung	45	35	15	5
Batang jagung	35	25	35	5
Kapas	95	2	1	0.4
Jerami gandum	30	35	15	5

Sumber : (Gea, 2010)

2.2.3.2. Tunikata

Tunikata merupakan makhluk hidup laut golongan vertebrata yang seringkali disalahartikan sebagai golongan invertebrata. Nama tunikata sendiri berasal dari kata *tunic*, semacam mantel yang menutupi tubuhnya (Ayuningrum *et al.*, 2020). Tunikata menghasilkan selulosa di bagian luar jaringan yang disebut sebagai tunik

dan fraksi selulosa yang dimurnikan disebut dengan tunikin. Selulosa tunikata terdiri dari selulosa yang hampir murni dengan tipe alomorf CI β dan kristalinitas yang tinggi (Kargarzadeh *et al.*, 2017).

2.2.3.3. Alga

Alga tersusun dari dinding sel, dimana komponen utama penyusun dinding sel tersebut adalah selulosa. Berbagai jenis alga seperti alga merah, hijau, dan kuning, dikenal sebagai penghasil selulosa. Alga penghasil selulosa yang umum termasuk dalam ordo *Cladophorales* (*Cladophora*, *Chaetomorpha*, *Rhizoclonium*, dan *Microdictyon*) dan Siphonocladales (*Valonia*, *Dictyosphaeria*, *Siphonocladus*, dan *Boergesenia*) (George dan Sabapathi, 2015).

2.2.3.4. Bakteri

Bacterial nanocellulose (BNC) adalah produk dari proses metabolisme utama jenis bakteri tertentu. Spesies bakteri penghasil BNC yang paling banyak digunakan adalah *Gluconacetobacter xylinus* (Kargarzadeh *et al.*, 2017). BNC merupakan polimer dari monomer β -(1 $\rightarrow$ 4)-D-glukosa yang dihasilkan ketika glukosa dimodifikasi untuk mengikat gugus uridin difosfat (UDP) molekul tersebut selanjutnya dipolimerisasikan oleh kompleks selulosa sintase di dalam membran sel. Setelah polimer terbentuk, polimer tersebut langsung disekresikan keluar dari sel dan membentuk fibril yang nantinya menjadi serat-serat selulosa (Liany *et al.*, 2022). Selulosa bakteri mempunyai rumus molekul yang sama dengan selulosa tumbuhan tetapi mempunyai struktur jaringan yang unik yaitu berpori tiga dimensi. Dengan strukturnya yang unik, BC mempunyai banyak keunggulan salah satunya yaitu, polimerisasi tingkat tinggi (hingga 8000) (Zhang *et al.*, 2018).

2.2.4. Perbedaan Selulosa Tumbuhan dan Selulosa Bakteri

Selulosa bakteri atau BNC adalah hasil aktivitas metabolisme primer yang menghasilkan eksopolisakarida dan berfungsi sebagai lapisan pelindung, sementara pada tumbuhan selulosa lebih banyak berfungsi secara struktural karena berasosiasi dengan hemiselulosa, lignin, dan pektin (Umami, 2023).

Selulosa bakteri dan tumbuhan memiliki perbedaan mendasar dalam hal kemurnian, ukuran serat, derajat polimerisasi, serta tingkat kristalinitas. Selulosa tumbuhan umumnya mengandung lignin, hemiselulosa, dan pektin, sehingga memerlukan tahap pemurnian sebelum digunakan, sedangkan BNC hampir murni secara alami (Umami, 2023). Perbandingan dari sifat selulosa bakteri dengan selulosa tumbuhan dicantumkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbedaan Selulosa Tumbuhan dan Bakteri

Sifat	Selulosa Bakteri	Selulosa Tumbuhan
Kemurnian (%)	>99	<80
Derajat Kristalinitas	60-90	40-78
Skala Diameter Serat	Nanometrik	Mikrometrik
Modulus Elastisitas (GPa)	15-30	1,5-23

Sumber: (Souza *et al.*, 2023)

2.3. *Bacterial Nanocellulose* (BNC)

2.3.1. Pengertian *Bacterial Nanocellulosa* (BNC)

Bacterial Nanocellulose (BNC) merupakan homopolimer dengan ikatan 1,4- β -glikosidik, yang disintesis oleh bakteri seperti *Acetobacter* dengan menggunakan metode sederhana untuk produksi skala kecil dan besar yang murah serta ramah lingkungan. BNC memiliki kemurnian yang tinggi karena tidak mengandung lignin, hemiselulosa, dan pektin, memungkinkan tingkat polimerisasi dan kristalisasi yang lebih tinggi (Barja, 2021). Umumnya selulosa ini disintesis oleh bakteri gram negatif dalam matriks gula cair, spesies mikroba yang dapat mensintesis BNC adalah *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Rhizobium*, *Sarine*, *Pseudomonas*, *Aerobacter*, *Achromobacter*, *Alcaligenes* dan *Azotobacter* (Zhang *et al.*, 2018). BNC secara umum dikenal sebagai bahan yang aman dan merupakan salah satu bahan yang paling biokompatibel. BNC telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang terutama dalam bidang medis seperti penggunaan sebagai pembalut luka, implan katup jantung, dan penghantar obat (Barja, 2021).

2.3.2. Struktur *Bacterial Nanocellulose* (BNC)

BNC merupakan *nanofiber* dengan panjang sekitar 100 μm dan diameter 100 nm. Struktur BNC merupakan kumpulan pita nanofibril selulosa dengan diameter 2-4 nm (Stanisławska, 2016). BNC terdiri dari jaringan tiga dimensi *fibril* selulosa *ultra* halus dengan diameter dalam kisaran 80–150 nm dan dapat menampung hingga 99% air dalam keadaan awal yang tidak pernah kering sehingga inilah alasan selulosa bakteri sangat murni (tidak mengandung hemiselulosa dan lignin) dan hanya terdapat sedikit gugus karbonil dan karboksil (Gea, 2010). BNC memiliki rumus molekul yang sama dengan selulosa tumbuhan, tetapi BNC memiliki struktur jaringan tiga dimensi berpori yang unik dan canggih (Zhang *et al.*, 2018).

BNC terdiri dari serat yang tebalnya 100 kali lebih tipis dari serat selulosa tumbuhan. Hal tersebut memungkinkan BNC mempertahankan hingga 200 kali berat keringnya didalam air, yang membuktikan bahwa BNC tahan terhadap kondisi basah dan memiliki elastisitas serta kesesuaian yang sangat baik (Barja, 2021). BNC memiliki kapasitas menyimpan air, derajat polimerisasi, dan struktur jaringan yang lebih baik daripada selulosa dari tanaman. BNC menjadi salah satu bahan baku nano komposit yang menjanjikan, karena lebih kuat daripada selulosa yang berasal dari tanaman (Wibowo dan Isroi, 2015).

2.4. Mekanisme Biosintesis BNC

BNC merupakan produk dari proses fermentasi oksidatif yang melibatkan oksidasi gula dan asam organik dalam gula sintesis maupun non-sintetis dan media yang kaya akan nitrogen pada suhu berkisar antara 25-30 °C, dan pH 4,5 hingga 7,5 (Jozala *et al.*, 2016). Jalur biosintesis produksi BNC melibatkan empat tahap enzimatik utama yaitu, (i) konversi glukosa menjadi glukosa-6-fosfat melalui fosforilasi menggunakan glukokinase ; (ii) produksi isomer glukosa-1-fosfat dari glukosa-6-fosfat oleh fosfoglukomutase ; (iii) produksi glukosa uridin difosfat (UDP-Glc) dari glukosa-1-fosfat menggunakan UDP-glukosa pirofosforilase ; dan (iv) terakhir, produksi selulosa melalui polimerisasi UDP-glukosa melalui ikatan β -1,4 glukukan dengan adanya selulosa sintase. Jalur dan

metode produksi UDP-Glc secara umum telah dipahami, namun mekanisme polimerisasi glukosa dalam rantai tidak bercabang dan panjang masih belum diketahui (Reshmy *et al.*, 2021).

2.5. Kombucha

Kombucha merupakan hasil fermentasi dari konsorsium mikroba yang terdiri atas bakteri dan khamir, yang tumbuh bersama dalam larutan teh dan gula. Meskipun sering disebut sebagai *Manchurian mushroom* atau *tea fungus*, kombucha sebenarnya bukan jamur sejati, melainkan komunitas mikroba yang membentuk massa gelatinosa di permukaan media fermentasi. Konsorsium ini dikenal dengan nama SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast*), yang berperan penting dalam proses fermentasi serta pembentukan lapisan selulosa di permukaan cairan (Jarrell *et al.*, 2000).

2.6. Perbandingan Strain Tunggal dan Konsorsium Mikroba

Produksi BNC umumnya melibatkan mikroorganisme dari genus *Komagataeibacter*, yang sering digunakan dalam bentuk strain tunggal karena kemampuannya dalam mensintesis selulosa murni dengan struktur *nanofibrous*. Salah satu strain yang banyak digunakan adalah *Komagataeibacter hansenii*, yang terbukti efektif menghasilkan BNC pada berbagai substrat (Tureck *et al.*, 2021). Selain itu, metabolisme strain tunggal lebih mudah diprediksi, sehingga lebih mudah dikontrol baik terhadap jumlah maupun kondisi populasi mikroorganisme selama proses fermentasi (Amorim *et al.*, 2023).

Namun dalam beberapa tahun terakhir, pendekatan menggunakan konsorsium mikroba, seperti kultur kombucha mulai banyak dikaji sebagai alternatif. Konsorsium ini terdiri atas berbagai spesies bakteri dan khamir yang bekerja secara sinergis dalam proses fermentasi. Misalnya, khamir menghidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa, yang kemudian digunakan oleh bakteri untuk sintesis BNC. Mekanisme ini memungkinkan pemanfaatan substrat yang lebih kompleks dan murah seperti sukrosa atau limbah pertanian tanpa perlu pra-perlakuan kimia yang mahal (Nóvak *et al.*, 2024).

2.7. Medium Hestrin-Schramm (HS)

Medium HS merupakan media standar untuk produksi BNC yang terdiri dari glukosa, pepton, asam sitrat, *yeast extract*, dan disodium phosphate. Media ini dirancang untuk mendukung pertumbuhan bakteri asam asetat seperti *Komagataeibacter xylinus* (Hestrin dan Schramm, 1954). Dalam penelitian ini, medium HS digunakan sebagai kontrol dan dimodifikasi dengan mengganti glukosa dengan limbah cair nanas.

2.8. Pengukuran *Water Hold Capacity* (WHC) BNC

Water Hold Capacity (WHC) adalah kemampuan suatu material dalam menahan atau menyerap air. BNC yang berkualitas baik adalah BNC yang mengandung WHC lebih dari 85%. Nilai WHC yang tinggi mengakibatkan pelikel BNC memiliki tekstur yang kenyal. Pelikel BNC yang mengandung WHC tinggi dapat dimanfaatkan untuk pembalut luka karena membran tersebut akan mengatur kelembaban area luka, sehingga penyembuhan luka akan lebih cepat (Nurbaiti, 2022).

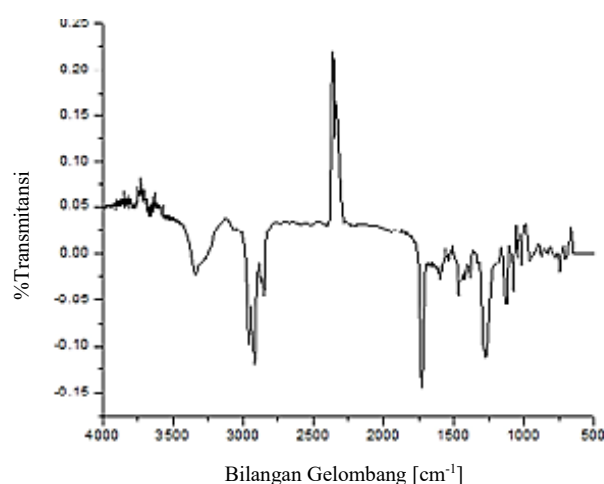
2.9. Karakterisasi BNC

2.9.1. *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

FTIR (*Fourier Transform Infrared*) adalah salah satu instrumen yang menggunakan prinsip spektroskopi. FTIR dipakai untuk memprediksi struktur senyawa kimia dengan memanfaatkan vibrasi molekul sebagai deteksinya. Prinsip kerja dari FTIR adalah interaksi antara energi dan materi. *Infrared* akan ditembakkan ke sampel, kemudian beberapa *infrared* akan diserap oleh sampel, dan sisanya akan ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar *infrared* lolos ke detektor dan sinyal tersebut akan ditampilkan dalam komputer berupa puncak-puncak (Sari *et al.*, 2018)

Hasil analisis menggunakan FTIR dapat membuktikan bahwa pelikel BNC yang diperoleh adalah selulosa. Berdasarkan hasil spektrum yang ditunjukkan pada Gambar 2, BNC menunjukkan puncak serapan khas pada beberapa bilangan

gelombang tertentu. Puncak pada daerah 3347 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi regangan (*stretching*) dari gugus hidroksil (-OH), yang merupakan ciri utama dari struktur selulosa. Selain itu, vibrasi regangan dari gugus metilena (-CH₂) dan metil (-CH) teramati pada bilangan gelombang 2896 cm^{-1} . Adanya air kristalisasi dalam struktur BNC ditunjukkan oleh vibrasi HOH pada sekitar 1640 cm^{-1} . Sementara itu deformasi vibrasi dari gugus -OH dan -CH tampak pada bilangan gelombang 1281 cm^{-1} dan 1205 cm^{-1} . Vibrasi regangan asimetris dari jembatan C-C juga terlihat pada bilangan gelombang 1163 cm^{-1} . Puncak-puncak tersebut sesuai dengan spektrum khas dari selulosa, sehingga dapat digunakan sebagai indikator keberadaan dan kemurnian BNC dalam sampel hasil fermentasi (Pooja *et al.*, 2019). Panjang gelombang gugus fungsi yang ada pada selulosa dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 2. Spektrum FTIR dari BNC (Pooja *et al.*, 2019)

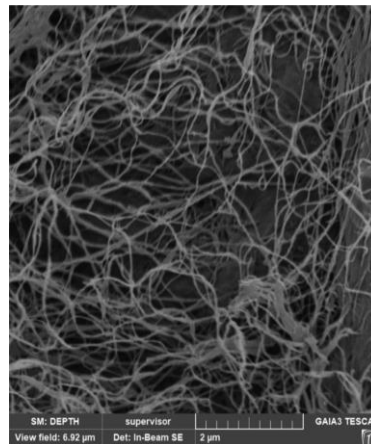
Tabel 5. Panjang Gelombang Gugus Fungsi Selulosa

Gugus Fungsi	Panjang Gelombang (cm^{-1})
O-H	~ 3650 atau $3400\text{-}3300$
C-H <i>stretch</i>	$2950\text{-}2800$
C-O	$1260\text{-}1000$

Sumber : (Gama *et al.*, 2016)

2.9.2. Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan suatu mikroskop elektron yang memanfaatkan berkas elektron untuk menganalisis bentuk permukaan material. Fungsi SEM adalah untuk memindai balok halus elektron yang terdapat pada sampel secara terfokus. Elektron akan berinteraksi dengan sampel pada komposisi molekul. Energi pada elektron akan melewati sampel dalam proporsi dan jenis interaksi elektron yang dapat dihasilkan sampel. Serangkaian energi elektron yang terukur dihasilkan dan dianalisis dengan mikroprosesor menciptakan gambar tiga dimensi atau spektrum elemen khusus pada sampel yang dianalisis (Budiarti, 2023). BNC mempunyai morfologi dengan struktur ultra halus yang tersusun dari pita berukuran nano. Pita selulosa yang tumpang tindih menghasilkan struktur BNC yang lebih padat. Sifat struktural BNC yang unik ini bertanggung jawab terhadap sifat mekanik dan fisiknya yang sangat baik (Abba, *et al.*, 2018). Hasil uji SEM BNC ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Uji SEM BNC pada pembesaran 30.000× (Avcioglu *et al.*, 2021)

2.10. Aplikasi BNC

BNC mempunyai berbagai macam aplikasi yang potensial karena sifat unik yang dimilikinya, sehingga BNC dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti, bidang makanan, bidang media produk komersial dan industri.

2.10.1. Bidang Makanan

Sejak tahun 1992 BNC telah diakui “aman” oleh *Food and Drug Administration* (FDA), karena kemurnian yang tinggi, tekstur dan bentuk yang bervariasi, serta proses produksi yang mudah membuat BNC digunakan sebagai bahan pembantu dalam industri makanan (Choi *et al.*, 2022). Dalam bidang makanan BNC digunakan sebagai bahan baku pembuatan *nata de coco*, dan *texturizer* (Park *et al.*, 2014).

2.10.2. Bidang Kesehatan dan Farmasi

Dalam bidang kesehatan BNC digunakan untuk bahan pembalut luka, bahan untuk rekayasa jaringan, dan digunakan dalam bedah rekonstruktif. BC mendorong reepitelisasi dengan menstimulasi adhesi sel, proliferasi, migrasi, dan diferensiasi, sehingga mempercepat penyembuhan luka untuk pengobatan regeneratif (Choi *et al.*, 2022).

2.10.3. Produk-Produk Komersial

Dalam industri komersial BNC digunakan sebagai *emulsifier* dalam industri kosmetik dan juga digunakan sebagai bahan baku pembuatan kertas berkualitas, membran filtrasi *ultra* dan audio *speaker* diagram (Reshmy, *et al.*, 2021)

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2024 – Maret 2025 di Laboratorium Biokimia Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Analisis SEM dan FTIR dilakukan di Unit Pelayanan Terpadu Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung reaksi, Erlenmeyer, gelas beaker, pipet tetes, spatula, corong pisah, gelas ukur, mikropipet, cawan petri, autoklaf, neraca digital, jarum ose, inkubator, rak tabung reaksi, *hot plate*, bunsen, oven, refraktometer (0-32%), *shaker*, *Laminar Air Flow* (LAF), *Scanning Electron Microscope* (SEM), dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolat Kc-D-4, kultur kombucha, limbah nanas, glukosa, pepton, *yeast extract*, *agar powder*, Na_2HPO_4 , asam sitrat, NaOH, akuades, etanol 70%, NaCl, kasa, kapas, dan kertas saring

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Tahap Persiapan Alat

Alat-alat gelas yang akan digunakan dicuci bersih, dikeringkan, dibungkus menggunakan kertas lalu disterilisasi menggunakan autoklaf selama 15 menit dengan suhu 121°C dan tekanan 1 atm. Kemudian alat-alat tersebut dikeringkan

menggunakan oven dengan suhu 100°C selama 15 menit. Sterilisasi ini bertujuan untuk menghilangkan mikroba atau kontaminan yang tidak diinginkan.

3.3.2. Tahap Pembuatan Media

Isolat bakteri Kc-D-4 ditumbuhkan di medium standar Hestrin-Schramm (HS).

Untuk media agar miring digunakan media HS agar, sedangkan untuk media starter dan media fermentasi menggunakan HS cair standar dan HS cair termodifikasi. Adapun komposisi dan cara pembuatan sebagai berikut:

3.3.2.1. Medium Hestrin-Schramm (HS)

Pembuatan medium HS agar terdiri dari 6 bahan yaitu, 2 g glukosa, 0,5 g pepton, 0,5 g *yeast extract*, 0,27 g Na₂HPO₄, 0,12 g asam sitrat dan 2 g *agar powder* ditimbang dengan teliti selanjutnya dilarutkan dengan 100 mL aquades, lalu disterilisasi menggunakan autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm.

3.3.2.2. Medium Hestrin-Schramm Cair

Pembuatan medium HS cair terdiri dari 2 g glukosa , 0,5 g pepton, 0,5 g *yeast extract*, 0,27 g Na₂HPO₄, dan 0,12 g asam sitrat, dilarutkan dengan 100 mL aquades, lalu disterilisasi menggunakan autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm.

3.3.2.3. Medium Hestrin-Schramm Cair Termodifikasi

Pembuatan medium HS cair termodifikasi terdiri dari 0,5 g pepton, 0,5 g *yeast extract*, 0,27 g Na₂HPO₄, dan 0,12 g asam sitrat, dilarutkan dengan 100 mL limbah cair nanas yang mengandung glukosa dengan nilai *Brix* 8%, selanjutnya pH medium dibuat 4,5. Selanjutnya disterilisasi menggunakan autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm.

3.3.2.4. Medium GEY (*Glucose, Ethanol, Yeast Extract*)

Pembuatan medium GEY terdiri dari 2% glukosa 1% yeast extract, 2% bubuk agar, 0,3% CaCO_3 , dan 5% etanol, dilarutkan dengan aquades, lalu disterilisasi menggunakan autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm.

3.3.3. Peremajaan Isolat Kc-D-4

Kultur isolat Kc-D-4 diremajakan dengan teknik sebar (*spread plate*) pada medium HS agar yang dilakukan secara aseptis dengan cara mengambil 100 μL stok gliserol isolat Kc-D-4 kemudian dituangkan di atas medium HS agar, selanjutnya dituang 200 μL air salin (0,96 g NaCl dalam 100 ml akuades) ke atas media HS agar, lalu diratakan dengan batang L. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Selanjutnya diambil 1 ose dari hasil *spread plate* tersebut, lalu digores secara aseptis pada media agar *plate* dan media agar miring. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Tahap peremajaan ini bertujuan untuk mendapatkan isolat bakteri yang murni, dan memiliki aktivitas yang baik.

3.3.4. Isolasi Bakteri Penghasil BNC

Bakteri diisolasi dari kombucha, sebelumnya dibuat medium adaptasi berupa 40 ml HS cair, kemudian 10 ml inokulan kombucha ditambahkan ke medium tersebut, lalu diinkubasi selama 3 hari. Selanjutnya diambil sebanyak 1 ml media adaptasi diencerkan secara bertingkat hingga 10^{-5} menggunakan NaCl 0,96%, kemudian disebar ke HS agar dan diinkubasi 48 jam pada suhu 37°C . Isolat yang tumbuh kemudian diseleksi untuk memperoleh isolat yang mampu menghasilkan BNC.

Isolat yang terpilih kemudian dimurnikan menggunakan metode *streak plate* empat kuadran dan diuji kembali pada medium GEY dengan cara penotolan untuk memperoleh koloni tunggal yang mampu menghasilkan BNC. Hasil positif pada uji GEY ditunjukkan dengan terbentuknya zona bening disekitar koloni, yang menunjukkan bahwa bakteri telah memanfaatkan sumber karbon dan nitrogen dalam medium

3.3.5. Penyiapan Inokulum

Sebanyak 2 ose diambil dari hasil peremajaan, lalu diinokulasi pada 25 mL media *Hestrin-Schramm* cair. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 30°C selama 20 jam dan dalam kondisi agitasi (di-*shaker*) dengan kecepatan 150 rpm.

3.3.6. Produksi BNC

3.3.6.1. Produksi menggunakan strain tunggal

Media yang digunakan adalah HS standar dan HS cair termodifikasi yang menggunakan limbah cair nanas dengan *Brix* 8% sebagai sumber glukosa alternatif. Sebanyak 5% (v/v) kultur inokulum diinokulasikan ke dalam 50 mL media fermentasi. Selanjutnya pH disesuaikan pada 4,5 lalu difermentasi selama 14 hari dengan kondisi statis.

3.3.6.2. Produksi menggunakan kultur kombucha

Media yang digunakan adalah HS standar dan HS cair termodifikasi yang menggunakan limbah cair nanas dengan *Brix* 8% sebagai sumber glukosa alternatif. Sebanyak 5% (v/v) kultur kombucha ditambahkan ke dalam 50 mL media fermentasi. Selanjutnya pH disesuaikan pada 4,5 lalu difermentasi selama 14 hari dengan kondisi statis.

3.4. Pengukuran Efisiensi Produksi BNC

Efisiensi produksi BNC pada kondisi yang berbeda-beda perlu diukur untuk mengetahui kondisi optimal yang baik untuk produksi BNC. Efisiensi produksi BNC dihitung menggunakan Persamaan 1, 2, dan 3.

$$\text{Berat Kering} = \frac{\text{Berat BNC (g)}}{\text{Volume media (L)}} \quad (1)$$

$$\% \text{ konsumsi substrat} = \frac{S_i - S_f}{S_i} \times 100 \quad (2)$$

$$\% \text{ konversi substrat ke BNC} = \frac{\text{BNC(g/L)}}{S_i - S_f} \times 100 \quad (3)$$

Dimana S_i merupakan konsentrasi awal glukosa dan S_f adalah konsentrasi akhir glukosa setelah fermentasi selesai.

3.5. Pengukuran *Water Hold Capacity*

Pelikel BNC yang telah terbentuk pada permukaan medium diambil lalu ditimbang untuk mengetahui berat basahya. Selanjutnya, pelikel BNC dibersihkan dengan menggunakan akuades untuk menghilangkan sisa medium. Kemudian pelikel direndam dalam larutan NaOH 0,1 M pada suhu 100°C selama 30 menit, lalu pelikel dicuci kembali menggunakan akuades hingga pH mencapai 7. Selanjutnya, pelikel dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 48 jam dan ditimbang kembali untuk mendapatkan berat keringnya. Pengukuran kandungan air (%w/w) dalam pelikel didasarkan pada keadaan hilangnya berat pelikel ketika dilakukan pemanasan. Pengukuran berat air dilakukan untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam pelikel selulosa, sehingga kemampuan selulosa dalam menahan air dan kualitas selulosa yang dihasilkan dapat diketahui. Pengukuran nilai WHC dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$WHC\% = \frac{(\text{berat basah} - \text{berat kering})}{\text{berat basah}} \times 100\% \quad (4)$$

3.6. Karakterisasi BNC

3.6.1. *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Sampel BNC dengan hasil yang paling baik dikarakterisasi menggunakan SEM dengan cara dipotong-potong dan dikeringkan sampai beratnya konstan. Sampel tersebut kemudian dihaluskan hingga menjadi serbuk. Morfologi permukaan BNC dianalisis menggunakan instrumen SEM.

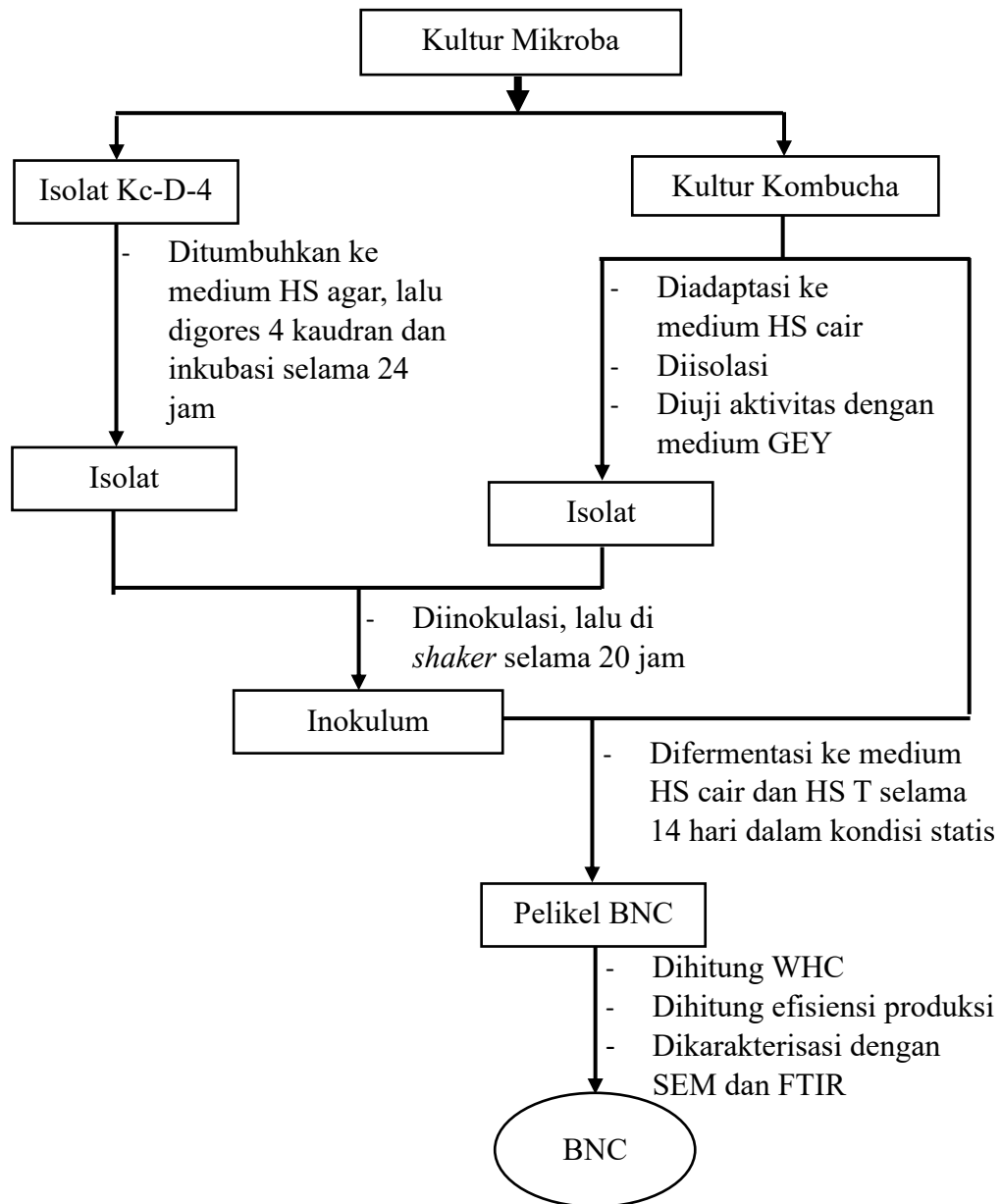
3.6.2. *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR)

Sampel BNC dengan hasil yang paling baik dikarakterisasi menggunakan FTIR dengan cara dikeringkan sampai beratnya konstan, lalu sampel tersebut dihaluskan

hingga menjadi serbuk. Analisis dilakukan dengan FTIR pada range spektrum 500-4000 cm^{-1} pada suhu ruang.

3.7. Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini yaitu:



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian produksi BNC menunjukkan bahwa isolat tunggal Kc-D-4 dan Kc-A-1 tidak mampu menghasilkan pelikel, sedangkan konsorsium mikroba dari kultur kombucha berhasil menghasilkan pelikel BNC.
2. Produksi BNC pada medium HS dengan sumber glukosa dari limbah cair nanas (HS termodifikasi) jauh lebih tinggi dibandingkan HS standar, dengan berat kering 8,64 g/L, menunjukkan peningkatan produksi sebesar 8 kali lipat.
3. Efisiensi konversi substrat menjadi pelikel pada medium HS termodifikasi mencapai 27%, lebih unggul dibandingkan dengan 13,5% pada medium HS standar, menunjukkan pemanfaatan yang lebih optimal.
4. Pelikel yang dihasilkan pada medium HS termodifikasi memiliki WHC yang tinggi, yaitu 96,92%.
5. Hasil analisis menggunakan FTIR menunjukkan bahwa pelikel yang dihasilkan memiliki gugus fungsi khas selulosa, seperti O–H, C–H, dan C–O, serta puncak serapan yang sesuai dengan selulosa tipe I, selain itu analisis menggunakan SEM menunjukkan pelikel berukuran nano dengan diameter 65-92 nm, yang mengonfirmasi bahwa pelikel yang dihasilkan merupakan BNC.

5.2. Saran

Adapun saran yang perlu disampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Memproduksi BNC menggunakan teknik lain seperti *static intermittent fed-batch* (SIFB).
2. Melakukan karakterisasi yang lebih detail dan spesifik yang melibatkan XRD dan TEM.
3. Melakukan uji terhadap kemampuan BNC dalam mempertahankan air yang terserap dalam struktur jaringannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abba, M., Abdullahi, M., Nor, M. H., Chong, C. S., & Ibrahim, Z. (2018). Isolation and Characterisation of Locally Isolated *Gluconacetobacter xylinus* BCZM sp. With Nanocellulose Producing Potentials. *IET Nanobiotechnology*, 12(1), 52-56.
- Afolabi, A. F., Oluyamo, S. S., & Fuwape, I. A. (2021). Synthetic Characterization and Structural Properties of Nanocellulose From *Moringa Oleifera* Seeds. *Journal of the Nigerian Society of Physical Sciences*, 3, 148-153.
- Ahmad, S. W., Yanti, N. A., & Muhiddin, N. H. (2019). Pemanfaatan Limbah Cair Sagu untuk Memproduksi Selulosa Bakteri (Utilization of Sago Liquid Waste for Bacterial Cellulose Production). *Jurnal Biologi Indonesia*, 15(1), 33-39.
- Akbar, N. N. (2023). *Optimasi Kondisi Kultur Produksi Bacterial Nanocellulose (BNC) oleh Isolat Lokal Kc-D-4 dari Limbah Cair Industri Nanas*. Lampung: Universitas Lampung.
- Amorim, L. F., Li, L., Gomes, A. P., Fangueiro, R., & Gouveia, I. C. (2023). Sustainable Bacterial Cellulose Production by Low Cost Feedstock: Evaluation of Apple and Tea by-Products as Alternative Sources of Nutrients. *Cellulose*, 30, 5589–5606 .
- Avcioglu, N. H., Birben, M., & Bilkay, S. (2021). Optimization and Physicochemical Characterization of Enhanced Microbial Cellulose Production With a New Kombucha Consortium. *Process Biochemistry*, 108(2021), 60-68.
- Ayuningrum, D., Kristiana, R., & Asagabaldan, M. A. (2020). Potensi Bakteri Asosiasi Tunikata Sebagai Penghasil Senyawa Antibakteri Guna Menghambat Pertumbuhan Bakteri Multidrug Resistant. *Jurnal Pasir Laut*, 4(2), 102-107.
- Badan Pusat Statistika. (2023). *Produksi Tanaman Buah-buahan 2022*. Dipetik September Jumat, 2023, dari Badan Pusat Statistika: <https://www.bps.go.id/indicator/55/62/1/produksi-tanaman-buah-buahan.html>

- Barja, F. (2021). Bacterial Nanocellulose Production and Biomedical Applications. *Journal of Biomedical Research*, 35(4), 310-317.
- Bethan, M. S., & Fadillah, H. N. (2018). Making Nata De Pina from Pineapple Skin Waste (*Ananas Comusus L.Merr*) with Fermentation Process Using Bacteria *Acetobacter Xylinum*. Surabaya: ITS.
- Budiarti, F. D. (2023). *Optimasi Kondisi Kultur Produksi Bacterial Nanocellulose (BNC) oleh Isolat Kc-T-1 dari Limbah Cair Industri Tebu*. Lampung: Universitas Lampung.
- Casabar, J. T., Unpaprom, Y., & Ramaraj, R. (2019). Fermentation of Pineapple Fruit Peel Wastes for Bioethanol Production. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
- Choi, S. M., Rao, K. M., Zo, S. M., Shin, E. J., & Han, S. S. (2022). Bacterial Cellulose and Its Applications. *polymers*, 14(1080), 1-44.
- Chou, Y. C., Lin, H. W., Wang, C. Y., Hsieh, C. C., Santoso, S. P., Lin, S. P., & Cheng, K. C. (2024). Enhancing Antioxidant Benefits of Kombucha Through Optimized Glucuronic Acid by Selected Symbiotic Fermentation Culture. *Antioxidants*, 13(1323), 1-17.
- El-Askri, T., Yatim, M., Sehli, Y., Rahou, A., Belhaj, A., Castro, R., . . . Zouhair, R. (2022). Screening and Characterization of New *Acetobacter fabarum* and *Acetobacter pasteurianus* Strains with High Ethanol–Thermo Tolerance and the Optimization of Acetic Acid Production. *Microorganisms*, 10(1741), 1-14.
- Gama, M., Dourado, F., & Bielecki, S. (2016). *Bacterial Nanocellulose From Biotechnology to Bio-Economy*. Amsterdam: Elsevier.
- Gea, S. (2010). *Innovative Bio-nanocomposites Based on Bacterial Cellulose*. Queen Mary University of London.
- George, J., & Sabapathi, S. N. (2015). Cellulose Nanocrystals: Synthesis, Functional Properties, and Applications. *Nanotechnology, Science and Applications*, 8, 45-54.
- Gorgieva, S., & Trcek, J. (2019). Bacterial Cellulose: Production, Modification and Perspectives in Biomedical Applications. *Nanomaterials*, 9(1352), 1-20.
- Gullo, M., China, S. L., Falcone, P. M., & Giudici, P. (2018). Biotechnological Production of Cellulose by Acetic Acid Bacteria: Current State and Perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1-14.
- Hagar, O. E., & Fotouh, D. A. (2022). A Turning Point in the Bacterial Nanocellulose Production Employing Low Doses Of Gamma Radiation. *Scientific Reports*, 12(7012), 1-14.

- Hestrin, S., & Schramm, M. (1954). Synthesis of Cellulose by *Acetobacter Xylinum*. 2. Preparation of Freeze-Dried Cells Capable of Polymerizing Glucose to Cellulose. *Biochemical Journal*, 58(2), 345-352.
- Hubalek, Z. (2003). Protectants Used in The Cryopreservation of Microorganisms. *Cryobiology*, 46, 205-209.
- Jarrell, J., Cal, T., & Bennett, J. W. (2000). The Kombucha Consortia of Yeasts and Bacteria. *Mycologist*, 14(4), 166-170.
- Jozala, A. F., Novaes, L. C., Lopes, A. M., Ebinuma, V. D., Mazzola, P. G., Pessoa, A. J., . . . Chaud, M. V. (2016). Bacterial Nanocellulose Production and Application: A 10-Year Overview. *Appl Microbiol Biotechnol*, 100, 2063-2072.
- Kargarzadeh, H., Ioelovich, M., Ahmad, I., Thomas, S., & Dufresne, A. (2017). Methods for Extraction of Nanocellulose from Various Sources.
- Keshk, S. M., & Sameshima, K. (2005). Evaluation of Different Carbon Sources For Bacterial Cellulose Production. *African Journal of Biotechnology*, 4(6), 478-482.
- Khalil, H. A., Davoudpour, Y., Islam, M. N., Mustapha, A., Sudesh, K., Dungani, R., & Jawaid, M. (2014). Production and Modification of Nanofibrillated Cellulose Using Various Mechanical Processes: A review. *Carbohydrate Polymers*, 99, 649-665.
- Krishnan, V. N., & Ramesh, A. (2017). Synthesis and Characterization of Surface Modified Cellulose Nanofibers from Banana Peel. *Journal of Applied Chemistry*, 10(1), 15-19.
- Kunusa, W. R. (2017). Kajian Tentang Isolasi Selulosa Mikrokrystalin (SM) dari Limbah Tongkol Jagung . *Jurnal Entropi*, 12(1), 105-108.
- Kusuma , P. A., Chuzaemi , S., & Mashudi. (2019). Pengaruh Lama Waktu Fermentasi Limbah Buah Nanas (*Ananas Comosus* L. Merr) Terhadap Kualitas Fisik dan Kandungan Nutrien Menggunakan *Aspergillus Niger*. *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis*, 2(1), 1-9.
- 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.
- Lubis, E. R. (2020). *Hujan Rezeki Budidaya Nanas*. Jakarta: Bhuana Ilmu Populer.
- Mulyadi, I. (2019). Isolasi Dan Karakterisasi Selulosa : Review. *Jurnal Sainika Unpam*, 1(2), 177-182.

- Nelson, M. L., & O'Connor, R. T. (1964). Relation of Certain Infrared Bands to Cellulose Crystallinity Lattice Type (Part II): A New Infrared Ratio For Estimation of Crystallinity in Celluloses I and II. *Journal of Applied Polymer Science*, 8, 1325-1341.
- Nóvak, I. C., Segat, B., Garcia, M. C., Pezzin, A. P., & Schneider, A. L. (2024). Alternative Production of Bacterial Cellulose by *Komagataeibacter Hansenii* and Microbial Consortium. *Polímeros*, 34(2), 1-9.
- Nurbaiti. (2022). *Produksi Bacterial Nanocellulose (Bnc) Dari Limbah Nanas Oleh Mikroba Isolat Lokal Kc-D-4*. Lampung: Universitas Lampung.
- Oh, S. Y., Yoo, D. I., Shin, Y., & Seo, G. (2005). FTIR Analysis of Cellulose Treated With Sodium Hydroxide and Carbon Dioxide. *Carbohydrate Research*, 340, 417-428.
- Oktaviani, R., Rahayu, K., & Suhartatik, N. (2018). Pemanfaatan Limbah Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) Pada Pembuatan Kecap Ikan Lele (*Clarias* Sp) Dengan Variasi Lama Fermentasi. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 1(2), 134-143.
- Park, S. U., Lee, B. K., Kim, M. S., & Sung, W. J. (2014). The Possibility of Microbial Cellulose for Dressing and Scaffold Materials. *International Wound Journal*, 11, 35-43.
- Perumal, A. B., Nambiar, R. B., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2022). Nanocellulose: Recent Trends and Applications in the Food Industry. *Food Hydrocolloids*, 127.
- Pine, A. T., Base, N. H., & Angelina, J. B. (2021). Produksi dan Karakterisasi Serbuk Selulosa Dari Batang Pisang (*Musa paradisiaca* L.). *Jurnal Kesehatan Yamsi Makassar*, 5(2), 115-120.
- Pooja, R., Vadodaria, K., & Vidhya, S. (2019). Synthesis of Bacterial Cellulose and Herbal Extract for the Development of Wound Dressing. *Materials Today: Proceedings*, 15, 284-293.
- Reshmy, R., Philip, E., Thomas, D., Madhavan, A., Sindhu, R., Binod, P., . . . Pandey, A. (2021). Bacterial Nanocellulose: Engineering, Production, and Applications. *Bioengineered*, 12(2).
- Sari, N. W., Fajri, M. Y., & Anjas, W. (2018). Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi Dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa acuminata* (L)). *Ijobb*, 2(1), 30-34.
- Shafiei, R., & Delvigne, F. (2019). Isolation, identification and Characterization of Thermo-Tolerant Acetic Acid Bacteria for Semi-Continuous Acetous Fermentation at High Temperature. *Advanced Research in Microbial Metabolites & Technology*, 2, 1-14.

- Shah, N., Ul-Islam, M., Khattak, W. A., & Park, J. K. (2013). Overview of Bacterial Cellulose Composites: A Multipurpose Advanced Material. *Carbohydrate Polymers*, 98(2), 1585-1598.
- Sharma, C., & Bhardwaj, N. K. (2019). Biotransformation of Fermented Black Tea into Bacterial Nanocellulose via Symbiotic Interplay of Microorganisms. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1-31.
- Sharma, C., Bhardwaj, N. K., & Pathak, P. (2020). Static Intermittent Fed-Batch Production of Bacterial Nanocellulose From Black Tea and its Modification Using Chitosan to Develop Antibacterial Green Packaging Material. *Journal of Cleaner Production*, 279, 1-20.
- Siagian, H. S., Gultom, R. P., & Anggreani, R. (2019). *Modifikasi Alang-Alang Sebagai Filler Adsorben Logam Berat*. Yogyakarta: Deepublish.
- Sijabat, E. K., Nuruddin, A., Aditiawati, P., & Purwa, B. S. (2020). Optimization on the Synthesis of Bacterial Nano Cellulose (BNC) From Banana Peel Waste For Water Filter Membrane Applications. *Mater. Res. Express*, 7(2020), 1-10.
- Skiba, E. A., Shavyrkina, N. A., Skiba, M. A., Mironova, G. F., & Budaeva, V. V. (2023). Biosynthesis of Bacterial Nanocellulose from Low-Cost Cellulosic Feedstocks: Effect of Microbial Producer. *International Journal of Molecular Sciences*, 24 (14401), 1-16.
- Souza, T. C., Amorim, J. D., Junior, C. J., Medeiros, A. D., Costa, A. F., Vinhas, G. M., & Sarubbo, L. A. (2023). Magnetic Bacterial Cellulose Biopolymers: Production and Potential Applications in the Electronics Sector. *Polymers*, 15(853), 1-15.
- Stanisławska, A. (2016). Bacterial Nanocellulose As a Microbiological Derived Nanomaterial . *Advances in Materials Science*, 16(4 (50)), 45-57.
- Suryanto, H. (2017). Analisis Struktur Serat Selulosa Dari Bakteri. *Prosiding SNTT 2017 Politeknik Negeri Malang*, 3(3), 17-22.
- Susanto, A., & Suarsini, E. (2011). *Nata De Pina dari Limbah Cair Nanas*. Malang: UMM Press.
- Sutanto, A., & Lubis, D. (2018). Zero Waste Management PT Great Giant Pineapple (GGP) Lampung Indonesia. *Prosiding Konferensi Nasional Ke-5*, 104-110.
- Tureck, B. C., Hackbarth, H. G., Neves, E. Z., Garcia, M. C., Apati, G. P., Recouvreux, D. d., . . . Schneider, A. L. (2021). Obtaining and Characterization of Bacterial Cellulose Synthesized by *Komagataeibacter*

Hansenii From Alternative Sources of Nitrogen and Carbon. *Revista Matéria*, 26(3), 1-13.

Ullah, M. W., Alabbosh, K. F., Fatima, A., Islam, S. U., Manan, S., Ul-Islam, M., & Yang, G. (2024). Advanced Biotechnological Applications of Bacterial Nanocellulose-Based Biopolymer Nanohybrids: A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 7, 100-121.

Umami, R. (2023). *Produksi Selulosa oleh Strain Bakteri Acetobacter lovaniensis dan Glucanobacter oxidans*. Mataram: Pustaka Bangsa.

Wibowo, N. A., & Isroi. (2015). In-Vivo Potency of Bacterial Cellulose As Nano-Filler Elastomer Thermoplastics Rubber (ETPS). *Perspektif*, 14(2), 103-112.

Zhang, W., Wang, X., Qi, X., Ren, L., & Qiang, T. (2018). Isolation and Identification of a Bacterial Cellulose Synthesizing Strain From Kombucha in Different Conditions: *Gluconacetobacter xylinus* ZHCJ618. *Food Sci Biotechnol*, 27(3), 705-713.

Zhong, C. (2020). Industrial-Scale Production and Applications of Bacterial Cellulose. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 1-19.