

**ISOLASI MIKROBA PENGHASIL *BACTERIAL NANOCELLULOSE*
(BNC) DARI BUAH-BUAHAN BUSUK DAN KONSORSIUM KULTUR
KOMBUCA SERTA UJI PRODUKSI BNC DARI LIMBAH CAIR
MOLASE**

(Skripsi)

Oleh

**NUR KHASANAH
2117011086**



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

ABSTRAK

ISOLASI MIKROBA PENGHASIL *BACTERIAL NANOCELLULOSE* (BNC) DARI BUAH-BUAHAN BUSUK DAN KONSORSIUM KULTUR KOMBUCA SERTA UJI PRODUKSI BNC DARI LIMBAH CAIR MOLASE

Oleh

Nur Khasanah

Bacterial Nanocellulose (BNC) merupakan biopolimer alami yang memiliki potensi besar di berbagai bidang seperti biomedis, pangan, dan industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi mikroba penghasil BNC dari buah-buahan busuk dan kultur kombucha, serta menguji produksi BNC menggunakan limbah cair molase sebagai media fermentasi alternatif. Proses fermentasi dilakukan secara statis menggunakan media HS (*Hestrin-Schramm*) Standar dan HS termodifikasi (HS-T) dengan variasi konsentrasi molase. Hasil menunjukkan bahwa isolat dari buah nanas (NS-P4-1) dan konsorsium kombucha mampu memproduksi pelikel BNC dengan efisiensi yang berbeda. Fermentasi pada medium HS-T pada variasi brix 7% dengan kultur kombucha menghasilkan pelikel BNC sebesar 458 g L⁻¹ pada hari ke-14 fermentasi. Pelikel tersebut memiliki kemampuan menahan air (WHC) sebesar 95,15%. Konsumsi substrat pada medium HS-T variasi brix 7% tercatat sebesar 51,6% dan berhasil dikonversi menjadi BNC sebesar 74%. Karakterisasi pelikel BNC dilakukan menggunakan FTIR terkonfirmasi keberadaan gugus fungsi ciri khas selulosa, serta analisis SEM dengan perbesaran 20.00 kali menunjukkan serat halus pelikel berukuran nano dengan diameter 68 nm. Penelitian ini mengindikasikan bahwa limbah molase dan kultur kombucha dapat berfungsi sebagai sumber alternatif yang efisien dan berkelanjutan untuk mendukung produksi BNC secara optimal.

Kata kunci: *bacterial nanocellulose* (BNC), limbah cair molase, kultur kombucha, isolasi mikroba, selulosa bakteri.

ABSTRAK

ISOLATION OF MICROBES PRODUCING BACTERIAL NANOCELLULOSE (BNC) FROM ROTTEN FRUITS AND KOMBUCHA CULTURE CONSORTIUM AND TESTING BNC PRODUCTION FROM MOLASSES LIQUID WASTE

Oleh

Nur Khasanah

Bacterial Nanocellulose (BNC) is a natural biopolymer with great potential in various fields such as biomedicine, food, and industry. This study aims to isolate BNC-producing microbes from rotten fruits and kombucha cultures, and to test BNC production using molasses liquid waste as an alternative fermentation medium. The fermentation process was carried out statically using Standard HS (Hestrin-Schramm) medium and modified HS (HS-T) medium with varying molasses concentrations. The results showed that isolates from pineapple (NS-P4-1) and kombucha consortium were able to produce BNC pellicle with different efficiencies. Fermentation in HS-T medium at a brix variation of 7% with kombucha culture produced 458 g L⁻¹ of BNC pellicle on the 14th day of fermentation. The pellicle had a water holding capacity (WHC) of 95.15%. Substrate consumption in HS-T medium with a brix variation of 7% was recorded at 51.6% and was successfully converted into BNC by 74%. The characterization of the BNC pellicle was performed using FTIR, which confirmed the presence of characteristic cellulose functional groups, and SEM analysis with 20,000x magnification showed fine nano-sized pellicle fibers with a diameter of 68 nm. This study indicates that molasses waste and kombucha culture can serve as efficient and sustainable alternative sources to support optimal BNC production.

Keywords: bacterial nanocellulose (BNC), molasses liquid waste, kombucha culture, microbial isolation, bacterial cellulose.

**ISOLASI MIKROBA PENGHASIL *BACTERIAL NANOCELLULOSE*
(BNC) DARI BUAH-BUAHAN BUSUK DAN KONSORSIUM KULTUR
KOMBUKA SERTA UJI PRODUKSI BNC DARI LIMBAH CAIR
MOLASE**

Oleh

NUR KHASANAH

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

: **ISOLASI MIKROBA PENGHASIL
BACTERIAL NANOCELLULOSE (BNC) DARI
BUAH-BUAHAN BUSUK DAN
KONSORSIUM KULTUR KOMBUCA SERTA
UJI PRODUKSI BNC DARI LIMBAH CAIR
MOLASE**

Nama Mahasiswa

: **Nur Khasanah**

Nomor Pokok Mahasiswa

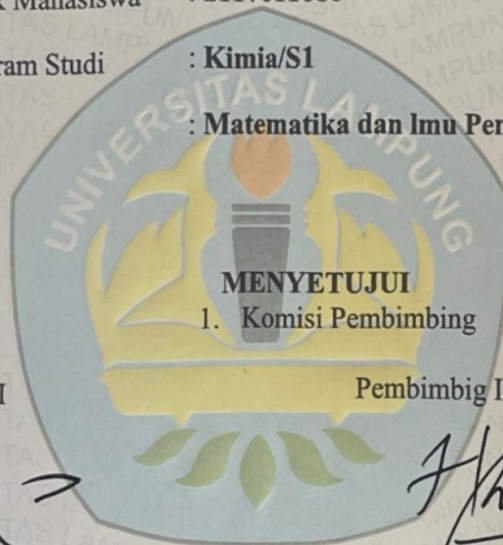
: **2117011086**

Jurusan/Program Studi

: **Kimia/S1**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Pembimbing I

Pembimbing II

Mulyono, Ph.D.

NIP. 197406112000031002

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197108062000032001

2. **Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila**

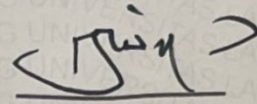
Prof. Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.

NIP. 197205302000032001

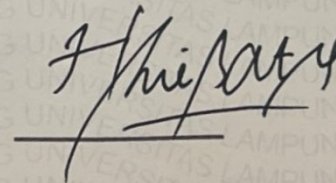
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

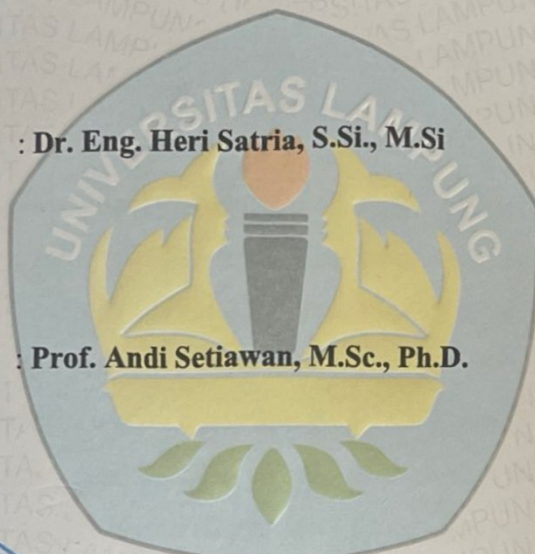
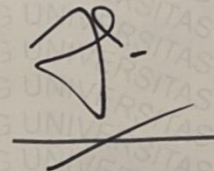
Ketua : **Mulyono, Ph.D.**



Sekretaris : **Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si**



Anggota : **Prof. Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP.197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **10 Oktober 2025**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Khasanah
NPM : 2117011086
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Isolasi Mikroba Penghasil *Bacterial Nanocellulose (BNC)* dari Buah-buahan Busuk dan konsorsium Kultur Kombucha serta Uji Produksi BNC dari Limbah Cair Molase**", merupakan hasil penelitian dan pemikiran yang telah dikerjakan oleh saya sendiri dan tidak terdapat karya atau pendapat orang lain dalam hasil penelitian saya, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Saya tidak keberatan data pada skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Demikian pernyataan ini saya buat, apabila dikemudian hari ditemukan adanya ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia dikenai sanksi hukum yang berlaku.

Panda Lamping, 16 Oktober 2025

NPM 2117011086

RIWAYAT HIDUP



Nur Khasanah lahir di Gaya Baru pada 23 Juli 2003. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, putri dari pasangan Bapak Wassono dan Ibu Surati. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar di SDIT Bustanul Ulum pada tahun 2015. Penulis melanjutkan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP TMI Roudlatul Qur'an dan menyelesaikannya pada tahun 2018. Penulis melanjutkan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP TMI Roudlatul Qur'an dan menyelesaikannya pada tahun 2018. Pada tahun yang sama penulis diterima sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Pada tahun 2021 penulis diterima sebagai santri Rumah Quran Mahasiswa Lampung.

Penulis juga aktif di kegiatan organisasi kemahasiswaan sebagai anggota Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia (PMII) UNILA pada tahun 2021, kemudian pada tahun 2023 penulis di berikan kepercayaan sebagai Ketua Korps PMII Putri (KOPRI) FMIPA dan berkerja sama penuh bersama Ketua Rayon PMII FMIPA, pada tahun 2025 penulis di berikan kepercayaan sebagai Bendahara Umum PMII Universitas Lampung. Penulis juga aktif dalam organisasi Rohani Islam (Rois) FMIPA sebagai anggota pada tahun 2021 dan di berikan kepercayaan sebagai anggota Kaderisasi pada tahun 2022.

Penulis juga telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium *Research and Development* LOB di PT Great Giant Pineapple pada tahun 2024. Selanjutnya di tahun yang sama penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Betengsari, Jabung, Lampung Timur.

Motto

“Allah akan mengangkat derajat orang-orang yang beriman dan orang-orang yang berilmu di antara kamu sekalian. “

QS. Al-Mujadilah: 11

"Raihlah ilmu dan untuk meraih ilmu, belajarlh untuk tenang dan sabar."

Umar bin Khattab

Selalu berkekal hati kepada Allah dan senantiasa berzikir

Wassono

“Semakin banyak Anda membaca, semakin banyak hal yang Anda ketahui.
Semakin banyak Anda belajar, semakin banyak tempat yang akan Anda kunjungi”

Dr. Seuss

“Tidak ada yang tidak mungkin kecuali memakan kepala sendiri”

(Penulis)

PERSEMBAHAN

Puji Syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, Sholawat serta salam semoga selalu tercurah kepada suri tauladan umat, Nabi Muhammad
SWA.



Kupersembahkan karya sederhana ini, kepada

**Kedua orang tuaku tercinta
Bapak Wassono dan Ibu Surati**

Yang senantiasa memberikan seluruh cinta, kasih sayang, doa, dukungan dan motivasi

Kepada ananda selama ini. Terima kasih untuk kesabaran yang tidak pernah habis. Beribu kebaikan ananda tidak akan pernah bisa membalas cinta dan kasih sayang yang mereka berikan.

**Bapak Mulyono, Ph.D | Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si |
Bapak Prof. Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D.**

Dan seluruh dosen Jurusan Kimia

Terima kasih telah membimbing dan mendidik penulis selama menempuh Pendidikan di kampus. Semoga Bapak dan Ibu senantiasa diberikan kesehatan dan keberkahan.

Seluruh keluarga besar, sahabat, dan teman-temanku

Dan

Almamater

SANWACANA

Alhamdulillahirrabil'alamiin. Segala puji dan syukur hanya bagi Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung yang berjudul:

ISOLASI MIKROBA PENGHASIL *BACTERIAL NANOCELLULOSE* (BNC) DARI BUAH-BUAHAN BUSUK DAN KONSORSIUM KULTUR KOMBUCA SERTA UJI PRODUKSI BNC DARI LIMBAH CAIR MOLASE

Sholawat beserta salam senantiasa tercurah kepada suri tauladan umat, Nabi Muhammad SAW, semoga kita mendapatkan syafaatnya di Yaumil Akhir kelak.

Penulis menyadari bahwa terdapat banyak pihak yang turut serta membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, melalui tulisan ini, penulis dengan tulus ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
2. Ibu Prof. Dr Mita Rilyanti, S.Si., M.Si., selaku ketua jurusan FMIPA Unila
3. Bapak Mulyono, Ph.D., sebagai dosen pembimbing yang telah membimbing, mendidik, dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran dan ketulusan hingga skripsi ini dapat terselesaikan. Terima kasih atas waktu dan ilmu yang Bapak berikan, semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan dan keberkahan untuk Bapak dan keluarga.
4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing kedua yang senantiasa memberikan bantuan, masukan dan nasihat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih atas ilmu-ilmu yang Ibu berikan, semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan dan keberkahan untuk Ibu dan keluarga.

5. Bapak Prof. Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D., selaku pembahas yang telah memberikan kritik dan saran yang begitu besar bagi penulis hingga skripsi ini dapat diselesaikan. Terima kasih atas ilmu-ilmu yang Ibu berikan, semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan dan keberkahan untuk Ibu dan keluarga.
6. Bapak Syaiful Bahri, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, nasihat dan motivasi sehingga penulis dapat menempuh pendidikan yang baik di Jurusan Kimia, FMIPA, Unila. Semoga Allah selalu memberikan rahmat kepada Ibu dan keluarga.
7. Seluruh dosen Program Studi Kimia FMIPA Universitas Lampung yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Terima kasih atas ilmu dan waktu yang Bapak dan Ibu berikan, semoga Allah membalas amal jariyah Bapak/Ibu sekalian.
8. Staf administrasi dan staf laboran, terima kasih atas kerja keras dan bantuan Bapak/Ibu, penulis amat terbantu dalam penyelesaian skripsi ini.
9. Kedua orang tuaku tercinta yang telah merawat, mendidik dan membesarkan ananda dengan penuh kasih sayang. Bapakku tersayang, Bapak Wassono sebagai teladanku atas kebijaksanaan, ketegaran dan ketegasannya yang selalu memotivasi ananda hingga saat ini. Ibuku tersayang, Ibu Surati yang senantiasa memberikan dukungan, semangat dan kesabaran yang tidak terbatas hingga ananda sampai pada tahap ini. Semoga doa tulus dan kepercayaan yang Bapak dan Ibu berikan mampu membawa ananda menjadi pribadi yang lebih baik lagi.
10. Nurul Azizah adikku tercinta yang telah memberikan kasih sayang, doa serta dukungan. Kehadiran mu membuat hidup penulis tidak terasa sepi dan menghadirkan semangat penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
11. Seluruh Keluarga Bejo dan Parso yang mendukung penulis tanpa terkecuali.
12. Seluruh jajaran guru Tarekat Naqshbandiyah yang telah mendoakan ananda tanpa terkecuali.
13. Tim Pak Mulyono Research 21 (PM 21), Agnes Mardiana Harefa, Sayyid Amanullah Gani, Titis Okti Ariandarini. Terima kasih atas waktu, ilmu,

dan semangat yang terus ditularkan. Semoga pengalaman yang kita alami bersama dapat bermanfaat kedepannya.

14. Sahabat-sahabatku tercinta, Lansa Dwanis, Alm. Husnul Khotimah, sahabat seperjuangan dan sahabat di pondok pesantren yang selalu mengisi hari-hari penulis dengan penuh kejutan dan keceriaan. Terima kasih atas dukungan dan semangat kalian hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
15. Faishal Rasyid Azhar yang telah membantu saya dalam suka maupun duka selama diperkuliahan dan menemani suka duka saya
16. Kakak-kakak Tim Riset Mulyono, Kak Hamida, Sabrina, kak Ribka, kak Ratih dan kak Gita yang banyak membantu penulis dalam memberikan referensi untuk penelitian dan skripsi. Dan juga untuk adik-adik 2022, tetap semangat dan sabar dalam menyelesaikan penelitiannya.
17. Kakak-kakak peergroup Biokimia tanpa terkecuali yang banyak membantu penulis.
18. Keluarga besar Kimia Angkatan 2021, tanpa terkecuali.
19. Sahabat-sahabat Persatuan Mahasiswa Islam Indonesia (PMII) yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.
20. Semua pihak, tanpa terkecuali yang banyak membantu dan memberikan doa baik secara langsung maupun tidak langsung selama penulis menyelesaikan studinya.
21. Terakhir penulis berterima kasih kepada sosok yang sudah berjuang sehebat ini dengan perjalanan yang sangat luar biasa. Terima kasih kepada penulis diri sendiri Nur Khasanah sebagai anak pertama yang selalu kuat karna harapan orang tua ada di pundaknya.

Akhir kata, penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya apabila skripsi ini masih terdapat kesalahan dan belum sempurna. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 16 Oktober 2025

Penulis

Nur Khasanah

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Selulosa.....	5
2.1.1. Definisi	5
2.1.2. Sumber Selulosa	6
2.1.3. Sifat-Sifat Selulosa	8
2.1.4. Produksi Selulosa.....	9
2.1.5. Isolasi Selulosa	9
2.2. <i>Bacterial Nanocellulose</i> (BNC).....	10
2.2.1. Pengertian <i>Bacterial Nanocellulose</i> (BNC).....	10
2.2.2. Ciri-Ciri <i>Bacterial Nanocellulose</i> (BNC)	10
2.2.3. Produksi <i>Bacterial Nanocellulose</i> (BNC)	11
2.2.4. Sumber Mikroba Penghasil BNC	11
2.2.5. Aplikasi <i>Bacterial Nanocellulose</i> (BNC)	12
2.2.6. Karakterisasi BNC Menggunakan SEM.....	13
2.2.7. Karakterisasi BNC Menggunakan FTIR.....	14

2.2.8. Pengukuran <i>Water Hold Capacity</i> (WHC) BNC	14
III. METODE PENELITIAN.....	17
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2. Alat dan Bahan.....	17
3.3. Prosedur Penelitian	17
3.3.1. Tahap Persiapan Alat	17
3.3.2. Tahap Pembuatan Media	18
3.3.3. Isolasi Mikroba dari Buah Busuk	19
3.3.4. Skrining Bakteri Penghasil Selulosa.....	19
3.3.5. Produksi BNC	20
3.3.6. Produksi BNC oleh Kombucha	20
3.3.7. Pengukuran <i>Water Hold Capacity</i> (WHC)	20
3.3.8. Perhitungan Efisiensi Produksi BNC	21
3.4. Karakterisasi BNC	21
3.5. Diagram Alir.....	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1. Isolasi dan Skrining	23
4.1.1. Isolasi Mikroba dari Buah Busuk	23
4.1.2. Skrining Bakteri Penghasil Selulosa	24
4.2. Produksi BNC.....	26
4.2.1. Produksi BNC oleh Kultur Kombucha.....	27
4.4. Efisiensi BNC	33
4.5. <i>Water Hold Capacity</i> (WHC) Pelikel BNC.....	34
4.6. Karakteristik <i>Bacterial Nanocellulose</i>	36
4.6.1 Spektrum IR BNC	36
4.6.2 Morfologi Permukaan BNC	38
V. KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1. Kesimpulan.....	39
5.2. Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Selulosa.....	6
2. Tampilan SEM dari BNC yang diproduksi dalam medium.....	13
3. Limbah Cair Molase (Sumber: (https://www.bing.com/ images/search?view=detailV2)).	15
4. Diagram alir .penelitian.....	22
5. Hasil <i>spread plate</i> isolat nanas.....	23
6. Hasil <i>streak plate</i> isolat nanas (A) Agar Plate dan (B) Agar Miring.	24
7. Hasil uji GEY oleh isolat nanas	25
8. (A) Isolat NS-P4-1, (B) Media HS cair.....	26
9. Fermentasi HS-Standar (A) kontrol, (B) NS-P4-1	26
10.Fermentasi HS-T (A) Kontrol, (B) HS-T cair NS-P4-1.....	27
11.Fermentasi pelikel BNC H-6 (A) 3 %, (B) 6 %, (C) 12 %, (D) 18 % HS-T, (E) HS-Standar	28
12.Fermentasi pelikel BNC H-9 (A) 3 %, (B) 6 %, (C) 12 %, (D) 18 % HS-T, (E) HS-Standar.	28
13.Fermentasi pelikel BNC H-14 (A) 3 %, (B) 6 %, (C) 12 %, (D) 18 % HS-T, (E) HS-Standar.	29
14.Perbandingan berat pelikel BNC	30
15.Fermentasi pelikel BNC H-14 (A) 5 %, (B) 6 %, (C) 7% HS-T, (D) HS- Standar.....	31
16.Spektrum IR BNC variasi brix 7%.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel	Gambar
1. Perbandingan Selulosa Tumbuhan dan Bakteri.....	8
2 Perbandingan berat pelikel BNC pada medium H-S Standar dan HS-T denga ..	30
3. Perbandingan berat pelikel BNC pada medium H-S Standar dan HS-T dengan variasi brix 5%, 6%, dan 7 %, usia kultur 14 hari	32
4. Efisiensi produksi BNC pada medium H-S Standar dan HS-T dengan variasi brix pertama HS-T 3%, 6%, 12%, 18% dan variasi kedua brix 5%, 6%, dan 7%, usia kultur 14 hari.....	33
5. Data nilai WHC pelikel BNC pada medium H-S Standar dan HS-T dengan variasi brix pertama HS-T 3%, 6%, 12%, 18% dan variasi kedua brix 5%, 6%, dan 7%, usia kultur 14 hari.....	35

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan suatu matriks polimer yang paling melimpah serta banyak diminati oleh para ilmuwan hingga kini adalah serat dari selulosa. Selulosa dianggap sebagai sumber bahan mentah yang hampir tidak ada habisnya untuk meningkatkan permintaan produk yang ramah lingkungan dan biokompatibel. Wilayah Asia Pasifik memiliki pendapatan tertinggi untuk pasar selulosa pada tahun 2015, dengan nilai sekitar USD 7,4 miliar. Pada tahun 2026, diperkirakan harga selulosa di pasar global bisa mencapai USD 305,08 miliar (Naomi *et al.*, 2020).

Selulosa merupakan polimer alam yang paling melimpah, biokompatibel, dan ramah lingkungan karena mudah terdegradasi, tidak beracun, serta dapat diperbarui. Bahan dasar selulosa adalah glukosa dengan rumus $C_6H_{12}O_6$. Keberadaan selulosa di alam tidak dalam bentuk murni tetapi masih dalam bentuk lignoselulosa. Pada jaringan tumbuhan kayu, selulosa dapat ditemukan bersamaan dengan hemiselulosa, pati dan lignin. Gabungan antara selulosa, hemiselulosa, dan lignin disebut lignoselulosa (Nurhidayah, 2022)

Ukuran selulosa yang umum digunakan dalam industri adalah mikro dan nanoselulosa. Produksi selulosa dalam skala nano sangat menarik perhatian karena sifat-sifatnya yang unggul, seperti kekuatan dan kekerasan yang tinggi dipadu dengan sifat yang ringan, terbiodegradasi, dan terbarukan (Anwar *et al.*, 2016).

Partikel nanoselulosa adalah material selulosa jenis baru yang memiliki banyak kegunaan dalam berbagai macam aplikasi, seperti bioteknologi, komposit, adsorben, emulsi dan dispersi, dan biomedis (Effendi, *et al.*, 2015), nanoselulosa sendiri dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis, yakni: (1) *nanofibrillated cellulose* (NFC); (2) *nanocrystalline cellulose* (NCC); dan (3) *bacterial nanocellulose* (BNC), juga dikenal sebagai selulosa mikroba atau bioselulosa. Ukuran nanoselulosa berkisar antara 5 nm hingga 100 nm (Abdoulhdi *et al.*, 2021).

Selulosa bakterial (BC) sering juga disebut *Bacterial Nanocellulose* (BNC) dikenal sebagai polisakarida linier yang terdiri dari monomer β -D-glukopiranososa yang dihubungkan oleh hubungan β -1,4-glikosidik. Nanoselulosa bakteri disintesis dalam dua tahap, yang pertama adalah produksi rantai β -1,4-glukan dan yang 2 kedua kristalisasi selulosa (Jacek *et al.*, 2019). *Bacterial nanocellulose* adalah polimer linier glukosa berbentuk kristalin yang disintesis oleh bakteri terutama *Gluconacetobacter xylinus*. atau *G. xylinus* merupakan produsen mikroba utama untuk BNC dan telah menjadi sistem model untuk studi mekanisme biosintesis BNC (Asthary *et al.*, 2020). BNC juga dapat diproses lebih lanjut menjadi pita nano individual atau diolah secara kimiawi untuk menghasilkan CNC yang berasal dari BNC yang cenderung lebih kristal (Ferreira, *et al.*, 2020). Produksi BNC pada umumnya dihasilkan oleh strain bakteri asam asetat dalam media yang mengandung nutrisi, termasuk glukosa sebagai sumber karbon (Stanisławska, 2016).

Penggunaan material nano termasuk BNC mengalami perkembangan pesat dalam dunia kedokteran, terutama dalam aplikasi transplantasi implan, seperti pengisian rongga pada tulang yang patah, serta mampu mengurangi peradangan (Stanisławska, 2016). Selain di bidang medis, BNC juga digunakan di berbagai sektor, misalnya dalam industri pangan, seperti pada pembuatan Nata de Coco. BNC juga bisa dimanfaatkan dalam pengemasan bersama biopoliestер mikroba, seperti polihidroksialkanoat (PHA) (Kianoush *et al.*, 2016). Potensi lainnya, BNC dapat diaplikasikan pada pembuatan kertas untuk skala komersial (Sijabat *et al.*, 2019).

Pada skala industri, produksi BNC masih menghadapi tantangan tingginya biaya fermentasi. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa limbah yang kaya glukosa memiliki potensi untuk digunakan sebagai media fermentasi alternatif dalam produksi BNC. Pemanfaatan limbah sebagai media alternatif tidak hanya dapat mengurangi biaya produksi, tetapi juga membantu mengatasi masalah lingkungan yang disebabkan oleh limbah yang tidak terkelola dengan baik (Angela *et al.*, 2020). Pengembangan dan pemanfaatan bahan-bahan alternatif ini terus dilakukan untuk mengeksplorasi potensi limbah dan menemukan media kultur baru yang lebih efisien (Costa *et al.*, 2018).

Pemanfaatan limbah yang paling umum untuk menghasilkan BNC adalah dengan memanfaatkan molase atau tetes tebu sebagai alternatif sumber glukosa. Emre *and* Kalender (2021) melakukan optimasi serta karakterisasi produksi BNC dari molase bit gula dalam kondisi statis, yang menghasilkan BNC dengan ukuran nanometer berdasarkan hasil karakterisasinya.

Isolat bakteri Kc-T-1 telah diperoleh di Laboratorium Biokimia FMIPA Unila dari kombucha asal Tangerang. Isolat tersebut berhasil memproduksi berat kering BNC sebesar 10 g/L dengan kondisi optimum produksi BNC ditunjukkan pada kondisi statis pada variasi konsentrasi medium molase sebesar 6% Brix dengan masa inkubasi selama 14 hari Azizah, (2022). Hasil yang diperoleh terhitung masih kecil. Oleh karena itu perlu dicari sumber bakteri lain yang berasal dari limbah buah busuk, karena buah busuk kaya akan gula sederhana dan nutrisi. Buah busuk juga cenderung memiliki pH asam yang cocok untuk pertumbuhan bakteri penghasil selulosa Esa *et al.*, (2014). Selain itu pada penelitian yang dilakukan oleh Hasanin *et al.*, (2023) menggunakan hidrolisat kulit buah sebagai satu-satunya sumber karbon untuk produksi bacterial cellulose oleh *Achromobacter* S33. Salah satu substrat yang digunakan adalah kulit pisang, yang hanya mampu menghasilkan $0,32 \pm 0,08$ g/L (berat kering), menyebabkan pelikel yang terbentuk jauh lebih tipis jika dibandingkan dengan media terstandar. Hal ini disebabkan oleh komposisi nutrisi kulit pisang yang kurang seimbang, adanya senyawa inhibitor alami, serta pH media yang asam sehingga menghambat pertumbuhan bakteri produsen selulosa. Kondisi tersebut menyebabkan jumlah fibril selulosa yang

terbentuk menjadi sedikit dan pelikel yang dihasilkan tipis. Rendahnya hasil BNC dari substrat buah busuk, diperlukan pendekatan alternatif yang lebih efektif. Salah satu strategi yang dapat diterapkan adalah dengan memanfaatkan konsorsium mikroba yang lebih stabil, yaitu kultur kombucha.

Penelitian oleh Guimaraes *et al.* (2024) menunjukkan bahwa dengan menggunakan substrat kaya karbon berupa medium sukrosa ± 70 g/L, inokulum SCOBY kombucha berumur ± 6 hari dan konsentrasi 7,5 % v/v mampu menghasilkan pelikel *bacterial nanocellulose* (BNC) sebesar $\pm 2,2$ g/L (berat kering) melalui fermentasi statik. adanya interaksi sinergis antara bakteri selulosa (*Komagataeibacter* sp.) dan mikroorganisme lain (ragi serta bakteri asam) di dalam konsorsium kombucha yang saling mendukung dalam pemecahan substrat, penyediaan prekursor, serta stabilisasi kondisi fermentasi. Penelitian ini mengeksplorasi produksi BNC menggunakan limbah cair molase sebagai pengganti glukosa komersial dengan memanfaatkan kultur kombucha sebagai inokulan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Memperoleh isolat bakteri penghasil BNC.
2. Memperoleh kondisi optimum produksi BNC berupa pelikel pada kultur.
3. Memahami dan mengkarakterisasi produk BNC dengan menggunakan SEM dan FTIR.

1.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan dan wawasan eksplorasi pemanfaatan molase sebagai media memproduksi BNC.

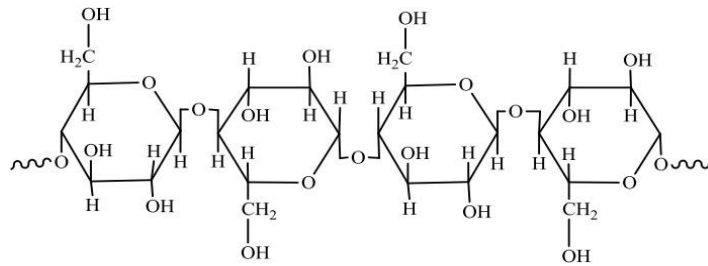
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Selulosa

2.1.1. Definisi

Selulosa termasuk polimer hidrofilik dengan tiga gugus hidroksil reaktif tiap unit hidroglukosa, tersusun atas ribuan gugus anhidroglukosa yang tersambung melalui ikatan 1,4- β -glukosida membentuk molekul berantai yang panjang dan linier. Gugus hidroksil ini telah dimanfaatkan untuk memodifikasi selulosa dengan memasukkan gugus fungsi tertentu pada selulosa melalui teknik pencangkokan (Mulyadi, 2019).

Selulosa merupakan senyawa organik yang terdapat pada dinding sel bersama lignin yang berperan dalam mengokohkan struktur tumbuhan. Struktur selulosa mempunyai potensi yang cukup besar untuk dijadikan sebagai penyerap karena gugus -OH yang terikat dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat. Mekanisme serapan yang terjadi antara gugus -OH yang terikat pada permukaan dengan ion logam yang bermuatan positif (kation) merupakan mekanisme pertukaran ion (Wulandari *et al.*, 2015). Selulosa memiliki rumus molekul $(C_6H_{10}O_5)_n$, dimana n menunjukkan derajat polimerisasi (DP) dari selulosa. Sebagai polimer hidrofilik. Struktur selulosa terdiri dari ribuan gugus anhidroglukosa yang saling terhubung melalui ikatan β -1,4 glikosidik, membentuk rantai molekul yang panjang dan linier. Gugus hidroksil pada atom karbon C2 dan C3 terikat pada karbon sekunder, sementara gugus hidroksil pada C6 terikat pada karbon primer (Mulyadi, 2019). Struktur selulosa dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1.Struktur Selulosa. (Sumber: Mulyadi, 2019).

2.1.2. Sumber Selulosa

2.1.2.1. Selulosa Tanaman

Selulosa, salah satu sumber daya alam terbarukan yang paling berlimpah di Indonesia dan merupakan komponen utama dari lignoselulosa dari dinding sel pada tanaman bersama dengan hemiselulosa, lignin, pektin, dan lilin.

Lignoselulosa bisa didapatkan dari berbagai limbah pertanian seperti bagas tebu, jerami, ampas sagu dan kelapa sawit. Keberadaan selulosa dalam tidak dalam bentuk murni tetapi masih dalam bentuk lignoselulosa. Pada jaringan tumbuhan kayu, selulosa dapat ditemukan bersamaan dengan hemiselulosa, pati dan lignin. Gabungan antara selulosa, hemiselulosa, dan lignin disebut lignoselulosa (Mulyadi, 2019). Lignoselulosa bisa didapatkan dari berbagai limbah pertanian seperti bagas tebu, jerami, ampas sagu dan kelapa sawit. Keberadaan selulosa dalam tidak dalam bentuk murni tetapi masih dalam bentuk lignoselulosa. Pada jaringan tumbuhan kayu, selulosa dapat ditemukan bersamaan dengan hemiselulosa, pati dan lignin. Gabungan antara selulosa, hemiselulosa, dan lignin disebut lignoselulosa (Mulyadi, 2019).

2.1.2.2. Selulosa Bakteri

Selulosa bakteri (BC) adalah zat gel yang disintesis oleh bakteri gram negatif dalam matriks gula cair BC memiliki rumus molekul yang sama dengan selulosa tumbuhan tetapi memiliki struktur jaringan berpori tiga dimensi yang unik. BC dapat dihasilkan melalui pembiakan mikroba, dan berbagai spesies mikroba

memiliki kemampuan untuk mensintesis BC (Zhang *et al.*, 2018).

Selulosa bakteri ditemukan dalam bentuk murni, bebas dari kontaminan seperti hemiselulosa, lignin serta produk metabolisme lainnya (Fritz *et al.*, 2016).

Selulosa yang dihasilkan oleh sel bakteri membentuk mikrofibril yang terdiri dari makromolekul yang terhubung dalam struktur yang sangat halus. Bakteri dari keluarga ini mampu mengubah etanol menjadi asam asetat (Rangaswamy *et al.*, 2015).

2.1.2.3. Perbedaan Selulosa Bakteri dan Selulosa Tanaman

Serat selulosa yang dihasilkan oleh bakteri memiliki kemurnian lebih tinggi dibandingkan dengan serat selulosa dari tumbuhan. Serat selulosa tumbuhan memerlukan proses pemurnian untuk menghilangkan hemiselulosa, lignin, serta zat ekstraktif lainnya yang terkandung dalam kayu. Sebaliknya, serat selulosa dari bakteri dapat langsung digunakan karena sudah berupa selulosa murni. Selain itu, selulosa mikroba dapat dipanen setelah proses kultivasi selama satu minggu, menjadikannya lebih efisien dibandingkan dengan selulosa dari kayu yang memerlukan waktu 4-6 tahun untuk dipanen (Harsini *and* Susilowati, 2020). Selulosa yang dihasilkan oleh bakteri memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi (lebih dari 80%) dan kemampuan penyerapan air yang sangat baik. Selain itu, selulosa mikroba memiliki luas permukaan spesifik yang lebih besar, retensi air yang lebih tinggi, serta kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan dengan selulosa yang berasal dari tumbuhan (Effendi *et al.*, 2015). Tabel 1 di bawah ini menunjukkan beberapa perbandingan antara selulosa dari tumbuhan dan selulosa dari bakteri.

Tabel 1. Perbandingan Selulosa Tumbuhan dan Bakteri (Sumber : Naomi, *et al.*, (2020)).

Karakteristik	Selulosa Bakteri	Selulosa Tanaman
Sumber	Genera <i>Agrobacterium</i> , dan <i>Gluconacetobacter</i> , <i>Sarcina</i>	Kapas, kayu, serat kulit pohon, serat biji, serat
Kemurnian	Murni secara alami	Tidak murni. Adanya lignin, dan hemiselulosa
Daya Tarik	200-300 Mpa	750–1080 MPa dengan kepadatan 1450–1590 kg.m – 23
Sifat Lunak	Tinggi. Karena modulus elastisitas yang besar secara virtual dapat dibentuk dalam bentuk apapun	Rendah. Susunan serat mikro saling silang memberikan bentuk pada lignoselulosa
pH optimal	5.4-6.3	Tidak berlaku pH
Daya hancur	Lambat. Sel hewan tidak dapat membelah. Namun, degradasi hanya mungkin terjadi dengan non enzimatis, hidrolisis dan larutan asam	Lambat. Karena susunan struktur pita yang rumit dan adanya kotoran pada nanoselulosa
Stabilitas	Tinggi. Karena degradasi rendah	Tinggi. Karena ikatan hidrogen padat di pita pengaturan struktur selulosa asli

Sumber : Naomi *et al.*, (2020).

2.1.3.Sifat-Sifat Selulosa

Selulosa memiliki karakteristik fisik dan kimia yang khas. Selulosa dengan rantai panjang menunjukkan kekuatan fisik yang lebih tinggi dan ketahanan yang lebih baik terhadap degradasi akibat panas, bahan kimia, dan faktor biologis. Stabilitas relatif selulosa disebabkan oleh adanya ikatan hidrogen di dalam strukturnya. Selulosa tidak larut dalam air dan tidak memiliki titik leleh. Selain itu, serat selulosa memiliki fleksibilitas dan elastisitas yang baik, yang memungkinkan serat tersebut mempertahankan rasio aspek (perbandingan panjang terhadap diameter (P/d)) yang tinggi selama proses produksi. Dengan sifat-sifat ini, selulosa menawarkan banyak keuntungan yang menjanjikan (Keshk, 2014).

2.1.4. Produksi Selulosa

Selulosa bakteri diproduksi dengan menggunakan tiga metode; yaitu kondisi statis, kondisi goyang dan sistem disk berputar. Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Kultur statis sangat sederhana dan metode tradisional, tetapi jumlah pelikel yang terbentuk pada permukaan media lebih sedikit dibandingkan dengan metode lain karena pertumbuhan bakteri penghasil selulosa relatif lambat. Alasan lambatnya pertumbuhan organisme aerobik ini adalah karena pelikel di antarmuka udara/cairan membentuk penghalang yang efektif antara oksigen atmosfer di satu sisi dan nutrisi di sisi lain, mengurangi laju oksigen menembus pelikel ke sel-sel di dalamnya (Sutikno, *et al.*, 2014) Produksi BNC diawali dengan proses isolasi untuk memperoleh isolat bakteri yang diinginkan lalu dimurnikan dengan cara skrining menggunakan metode spread plate, streak plate dan diseleksi pada medium GEY (Nurikasari *et al.*, 2017). Medium pertumbuhan mengandung sumber karbon, sumber nitrogen dan nutrisi lainnya yang dibutuhkan untuk pertumbuhan sel bakteri dan produksi BNC (Jacek *et al.*, 2019).

2.1.5. Isolasi Selulosa

Isolasi selulosa dapat dilakukan melalui beberapa perlakuan, seperti metode biologis atau enzimatis, mekanis, dan kimia. Pada setiap metode isolasi, selulosa tidak dapat diperoleh dalam bentuk murni, melainkan sebagai hasil yang kurang murni, yang biasa disebut α -selulosa. Istilah ini merujuk pada selulosa kayu yang tidak larut dalam larutan natrium hidroksida pekat. Bagian yang larut dalam alkali tetapi mengendap setelah larutan dinetralkan disebut beta-selulosa. Sedangkan, gamma (γ) selulosa adalah istilah untuk bagian yang tetap larut bahkan setelah larutan tersebut dinetralkan (Herawati, 2019).

2.2. Bacterial Nanocellulose (BNC)

2.2.1. Pengertian *Bacterial Nanocellulose* (BNC)

BNC adalah biomaterial berukuran nano yang juga dikenal sebagai nanoselulosa bakterial (Guo *et al.*, 2015). BNC diekskresikan pada antarmuka media sebagai fibril berbentuk pita, dengan lebar kurang dari 100 nm, yang terdiri dari nanofibril berukuran 2-4 nm yang jauh lebih halus. Dimensi ukuran yang dimiliki BNC dapat membuat BNC mempunyai luas permukaan yang tinggi serta jumlah gugus hidroksil yang tinggi sehingga memudahkan jika dilakukan modifikasi permukaan (Corral *et al.*, 2017). Bakteri penghasil BNC berasal dari jenis bakteri gram negatif seperti *Acetobacter*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Alcaligenes*. Selain itu, bakteri dari genus *Gluconacetobacter*, *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* dan *Sarcina* dapat mensintesis BNC dari glukosa dan berbagai sumber karbon lainnya. BNC dihubungkan oleh ikatan β -1,4 glikosidik yang murni secara kimiawi dan ekstraseluler, mendukung kelangsungan hidupnya di lingkungan alami karena sel-sel disimpan di permukaan media kultur, terperangkap di dalam membran seperti kulit agar-agar, yang terdiri dari serat selulosa. Imobilisasi sel mendorong pengangkutan nutrisi dan oksigen yang efisien, yang penting bagi bakteri aerob ini. Karena kapasitas menahan air yang tinggi (air menyumbang sekitar 98% berat membran basah) polisakarida ini melindungi produsennya dari pengeringan. Matriks BNC juga melindungi bakteri penghasilnya dari faktor lingkungan merugikan lainnya, seperti radiasi UV (Rojas, 2016).

2.2.2. Ciri-Ciri *Bacterial Nanocellulose* (BNC)

Ciri struktur morfologi *bacterial nanocellulose* (BNC) dapat digambarkan sebagai serat yang terbagi menjadi tiga kategori utama: fibril, mikrofibril, dan ikatan mikrofibril. Nanoselulosa memiliki dimensi panjang yang mencapai ratusan nanometer, dengan diameter berkisar antara 1,5 hingga 3,5 nm untuk fibril, 10-30 nm untuk mikrofibril, dan sekitar 100 nm untuk ikatan mikrofibril. Dalam kondisi

kering, BNC menunjukkan sifat-sifat unik, seperti kemurnian kimia yang sangat tinggi, kekuatan mekanik yang baik, fleksibilitas yang tinggi, serta daya serap yang optimal, disertai dengan struktur jaringan morfologi yang baik (Stanisławska, 2016).

Selain itu, struktur nano BNC dapat dianalisis menggunakan alat seperti *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Transmission Electron Microscope* (TEM). Analisis SEM memberikan informasi hanya mengenai tampilan permukaan, sementara TEM dapat menampilkan struktur internalnya secara lebih mendalam (Herawati, 2019).

2.2.3. Produksi *Bacterial Nanocellulose* (BNC)

Medium HS (*Hestrin-Schramm*) adalah media produksi yang umum digunakan untuk biosintesis BNC dengan nutrisi yang dapat memicu pertumbuhan sel bakteri yang dapat menghasilkan BNC. Komposisi dari medium ini adalah glukosa sebagai sumber karbon, pepton dan yeast extract (ekstrak ragi) sebagai sumber nitrogen, Na_2HPO_4 sebagai larutan penyangga, asam sitrat dan asam asetat sebagai pengatur pH, dan akuades sebagai pelarut dan sumber mineral bagi bakteri (Silitonga dan Zul, 2020).

2.2.4. Sumber Mikroba Penghasil BNC

BNC dapat dihasilkan oleh beberapa genus bakteri seperti *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Gluconacetobacter*, *Rhizobium*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Aerobacter*, *Azotobacter*, *Salmonella*, *Escherichia*, dan *Sarcina* (Park *et al.*, 2019). Bakteri ini dapat ditemukan pada sayuran busuk makanan dan minuman hasil fermentasi dan buah-buahan busuk, sayuran busuk, dan makanan hasil fermentasi (Kargarzadeh *et al.*, 2017).

2.2.4.1.Kombucha

Kombucha adalah minuman fermentasi yang dibuat dari larutan teh bergula melalui aktivitas konsorsium simbiotik antara bakteri asam asetat dan ragi yang dikenal sebagai SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast*). Selama proses fermentasi, mikroba dalam SCOBY memanfaatkan gula sebagai sumber energi, menghasilkan berbagai asam organik, vitamin, serta metabolit bioaktif, dan secara bersamaan membentuk pelikel selulosa bakteri yang mengapung di permukaan cairan. Pelikel ini berfungsi sebagai matriks pelindung bagi komunitas mikroba dan menjadi ciri khas dari fermentasi kombucha (Jayabalan *et al.*, 2014).

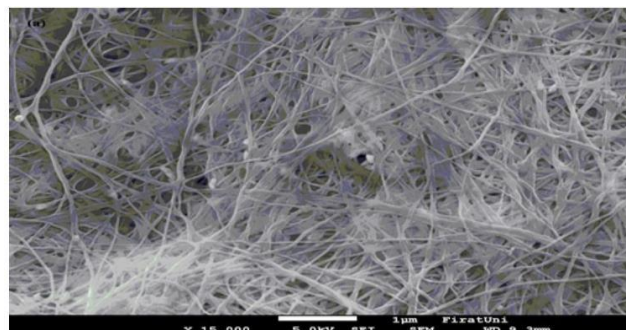
2.2.5. Aplikasi Bacterial Nanocellulose (BNC)

BNC memiliki berbagai macam aplikasi yang potensial karena sifat unik yang dimilikinya, sehingga dapat diaplikasikan dalam bidang makanan, bidang medis, produk komersial dan industri

- a. Bidang Makanan Dalam bidang makanan BNC digunakan sebagai bahan baku pembuatan nata de coco, sebagai pengental, dan texturizer (Park *et al.*, 2019).
- b. Bidang Kesehatan dan Farmasi Dalam bidang biomedis BNC digunakan untuk bahan pembalut luka (Hong *et al.*, 2015), Implan bedah, tracheotomy tube (bedah rekonstruktif) katup jantung buatan, pembuluh darah berupa tuba atau neurotubes (regenerasi saraf) dimana 17 nanoselulosa bakteri mampu menutupi jaringan epitel khusus untuk organ dimana ia ditanamkan (Stanisławska, 2016).
- c. Produk-Produk Komersial Dalam industri komersial BNC digunakan sebagai emulsifier dalam industri kosmetik dan juga digunakan sebagai bahan baku BNC juga dapat diterapkan pada pembuatan kertas dalam skala komersial (Sijabat *et al.*, 2019).

2.2.6. Karakterisasi BNC Menggunakan SEM

Karakterisasi BNC dilakukan dengan menggunakan alat instrument SEM (*Scanning Electron Microscopy*). SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang digunakan untuk mengetahui permukaan dari objek solid secara langsung dengan memindainya menggunakan sinar elektron berenergi tinggi (Okky and Bayuseno, 2014). Prinsip kerja SEM melibatkan penembakan permukaan sampel dengan berkas elektron berenergi tinggi. Ketika berkas ini mengenai permukaan sampel, sebagian elektron dipantulkan kembali atau menghasilkan elektron sekunder yang menyebar ke berbagai arah. Namun, terdapat satu arah di mana intensitas pantulan elektron paling tinggi. Detektor dalam SEM menangkap elektron yang dipantulkan dan mengidentifikasi lokasi dengan intensitas pantulan tertinggi. Informasi ini memberikan gambaran mengenai profil permukaan sampel, seperti kemiringan dan arah lerengnya. Saat pengamatan dilakukan, permukaan sampel dipindai dengan berkas elektron di seluruh area pengamatan (Syam *et al.*, 2017).



Gambar 2. Tampilan SEM dari BNC yang diproduksi dalam medium (Emre Z and Kalender, 2021).

Tampilan SEM dari BNC yang diproduksi dalam medium molase Gambar 2 diatas menunjukkan tampilan penampang struktur mikrofibril BNC dalam medium molase dibawah kondisi statis dengan perbesaran sampai 15,000 kali (Emre Z and Kalender, 2021). Struktur molekul pada BNC memberikan sifat khas yang unik seperti degradabilitas, kiralitas, dan perubahan kimia yang luas diresmikan oleh reaktivitas donor yang tinggi dari gugus OH. Kelompok hidroksil yang

terfungsionalisasi, dekstrosa homopolimer-polimerik rantai kaku linier dicirikan oleh kapasitas modifikasi kimia yang luas, hidrofilisitas yang kuat dan biokompatibilitas yang relevan. Ia memiliki daerah teratur dan tidak teratur, dimana domain teratur sebagian besar kristal dan molekul teratur memegang jalur istimewa sejajar dengan rantai di fibril yang sangat halus atau serat seperti untai yang disebut mikrofibril serta dapat membentuk guncangan permukaan pada mikrofibril. Jaringan ikatan hidrogen yang luas memberikan selulosa sejumlah struktur dan morfologi serat kristalin (Stanisławska, 2016)

2.2.7. Karakterisasi BNC Menggunakan FTIR

Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah alat instrumen yang didasarkan pada intensitas dan panjang gelombang penyerapan radiasi infrared. Instrumen FTIR digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi, dan mengidentifikasi senyawa penyusun suatu sampel yang dianalisis. Bilangan gelombang yang menjadi acuan untuk melihat vibrasi molekul suatu senyawa adalah $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$. Keuntungan dari FTIR adalah dapat memberikan hasil analisis yang cepat dan akurat tanpa merusak sampel dan memiliki tingkat efisiensi yang tinggi (Buana and Fajriati, 2019)

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

Pengukuran WHC bertujuan untuk mengukur daya serapnya, kandungan lembaran pelikel basah terdiri dari BNC (0,9%), air (99%) dan lain-lain yaitu protein, asam- asam organik dan gula (0,1%). Sehingga walaupun dilakukan proses pengeringan pelikel maka kandungan air masih tersisa dalam lembaran pelikel hasil pengeringan, karena WHC pelikel segar sangat tinggi berkisar antara 95,74% sampai 98% (Nurikasari *et al.*, 2017). Air bebas dapat dihilangkan dengan mudah melalui berbagai bentuk dehidrasi, sementara air yang terikat dipertahankan dan melekat pada serat BNC melalui adsorpsi dan pembentukan kapiler antara 0,5 dan 1 mikrometer (Rodriguez, 2017).

2.2.8.1. Tetes Tebu (*Molasses*)

Pabrik gula tebu selain menghasilkan produk utama berupa gula, juga menghasilkan molase atau tetes tebu sebagai produk sampingnya. Molase telah diketahui dapat diubah menjadi etanol karena masih mengandung gula sederhana (Hartina, *et al.*, 2014).



Gambar 3. Limbah Cair Molase (Sumber: (<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2>).

Kandungan gula molase terutama sukrosa berkisar 48 – 55%. Menurut sumber lain molase juga mengandung glukosa dan galaktosa 50 –80%, beberapa mineral seperti fosfor, kalsium, kalium, dan asam organik Berdasarkan kandungannya dapat dikatakan bahwa molase dapat menjadi sumber glukosa alternatif yang baik untuk perkembangbiakan bakteri (Punjungsari, 2017)

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2024 – Juli 2025 di Laboratorium Biokimia Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Analisis SEM dan FTIR dilakukan di Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Terpadu (LTSIT) Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah tabung reaksi, cawan petri, gelas ukur, Erlenmeyer, pipet tetes, laminar air flow, autoclave, rak tabung reaksi, neraca analitik, jarum ose, kasa, kapas, oven, tusuk gigi, hotplate, dan inkubator.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel buah-buahan busuk, D-glukosa, pepton, NaOH, yeast extract, CaCO_3 , Na_2HPO_4 , asam sitrat, NaCl, akuades, agar powder, dan etanol.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Tahap Persiapan Alat

Sterilisasi bertujuan untuk menghilangkan mikroba yang tidak diinginkan pada media maupun alat. Alat-alat gelas yang digunakan dicuci, dikeringkan, dibungkus menggunakan kertas lalu disterilisasi menggunakan autoclave selama 15 menit dengan suhu 121°C dan tekanan 1 atm. Kemudian alat-alat gelas tersebut

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

3.3.2. Tahap Pembuatan Media

a. Media *Hestrin-Schramm* Agar

Pembuatan media Hestrin-Schramm agar dilakukan dengan cara menimbang sebanyak 2 g glukosa, 0,5 g pepton, 0,5 g *yeast extract*, 0,27 g Na₂HPO₄, 0,12 g asam sitrat, 1,5 g agar powder dilarutkan dalam 100 mL aquades. Media dipanaskan sampai bahan larut dan pH menjadi 6. Media disterilisasi dengan menggunakan autoclave dengan tekanan 1 atm selama 15 menit dan suhu 121°C.

b. Media *Hestrin-Schramm* Cair

Media disiapkan dengan cara menimbang sebanyak 2 g glukosa, 0,5 g pepton, 0,5 g *yeast extract*, 0,27 g Na₂HPO₄, 0,12 g asam sitrat, dilarutkan dalam 100 mL akuades. Media dipanaskan sampai bahan larut dan pH menjadi 6. Media disterilisasi dengan menggunakan autoclave dengan tekanan 1 atm selama 15 menit dan suhu 121 °C.

c. Media Termodifikasi

Medium HS cair termodifikasi dibuat dengan melarutkan 2 g *yeast extract*, 0,5 g pepton, 0,12 g asam sitrat dan 0,27 g Na₂HPO₄ dalam 100 mL limbah cair molase yang mengandung glukosa dengan nilai Brix sebesar 6%. Kemudian, media dipanaskan sampai seluruh bahan larut sempurna dan pH medium dibuat menjadi 6,0. Media lalu disterilisasi dengan autoclave pada suhu 125 °C dan tekanan 1 atm selama 15 menit.

d. Media GEY (*Glucose, Ethanol, Yeast*)

Media disiapkan dengan cara menimbang 2 g glukosa, 1 g *yeast extract*, 2 g agar, dan 0,3 g CaCO₃ dilarutkan dalam 100 mL akuades. Media lalu dipanaskan sampai bahan larut dan disterilisasi dengan tekanan 1 atm dan suhu 121°C selama 15 menit. Media yang sudah disterilisasi kemudian ditambah etanol 5 mL saat suhu media sudah turun.

3.3.3. Isolasi Mikroba dari Buah Busuk

Sampel yang digunakan adalah buah busuk. Isolasi dilakukan dengan menggunakan media *Hestrin-Schramm* agar dengan pengenceran bertingkat dan spread plate method. Sampel buah busuk dihaluskan lalu diencerkan sampai 6 kali dengan cara 1 g sampel yang sudah dihaluskan disuspensikan ke dalam 10 mL air salin (suspensi 10^1), dari suspensi 10^1 diambil 1 mL lalu disuspensikan ke dalam 9 mL air salin (suspensi 10^{-1}), dilakukan perlakuan yang sama sampai suspensi 10^{-6} . Masing-masing pengenceran kemudian diambil sebanyak 100 μ L dituang pada media *Hestrin-Schramm* Agar lalu diratakan dengan *spreader*, kemudian diinkubasi selama 48 jam. Isolat kandidat yang dipilih adalah isolat yang mampu tumbuh dengan baik dalam waktu 48 jam, disimpan pada Agar Miring HS. Isolat kandidat tersebut kemudian dimurnikan lebih lanjut.

3.3.4. Skrining Bakteri Penghasil Selulosa

Pemurnian isolat kandidat dilakukan dengan metode streak plate, dengan cara menggoreskan isolat kandidat ke media dengan goresan empat kuadran. Tahap pemurnian dilakukan sekitar 3 kali pengulangan hingga diperoleh isolat murni (koloni tunggal) yang menunjukkan karakteristik yang tetap. Koloni tunggal yang diperoleh ditumbuhkan pada media *Hestrin-Schramm* agar miring. Selanjutnya isolat diuji dengan cara seleksi media padat dan seleksi media cair.

- a. Seleksi Media Padat : Isolat diambil dengan menggunakan tusuk gigi steril dan totolkan pada media GEY lalu diinkubasi selama 48 jam pada suhu 30 °C. Zona bening yang terbentuk kemudian diukur diameternya (Singh *et al.*, 2017).
- b. Seleksi Media Cair : Seleksi media cair dilakukan dengan cara mengambil sebanyak 1 ose isolat dari masing-masing isolat terpilih diinokulasikan kedalam 10 mL media *Hestrin-Schramm* cair pada tabung reaksi, lalu dishaker selama sehari. Setelah itu, tambahkan 5% media inokulum ke dalam media HS cair 10 mL, kemudian diinkubasi dalam kondisi statis sampai tumbuh pelikel

pada suhu 30 °C. Kultur yang menghasilkan pelikel dipilih untuk uji selanjutnya.

3.3.5. Produksi BNC

Produksi nanoselulosa bakterial dilakukan dengan penambahan inokulum yang telah dishaker selama 20 jam, setelah 20 jam masing-masing inokulum dari stok kultur (5% v/v) diinokulasikan kedalam 50 mL medium fermentasi dalam Erlenmeyer 250 mL yang mengandung glukosa dengan nilai Brix sebesar 6% sebagai sumber karbon. Selanjutnya pH disesuaikan pada 4,5 dan, fermentasi dilakukan pada suhu 30 °C selama 7-14 hari dalam kondisi statis.

3.3.6. Produksi BNC oleh Kombucha

Sebanyak 2,5 mL kultur kombucha ditumbuhkan ke dalam 47,5 mL medium HS T dengan variasi brix pertama 3%, 6%, 12%, 18%. Kultur kombucha juga ditumbuhkan dalam medium HS standar sebagai pembanding. Selanjutnya dilakukan fermentasi selama 14 hari di suhu ruang dan dalam kondisi statis. Variasi brix terbaik akan dilakukan variasi ke dua yang mendekati dari variasi brix pertama.

3.3.7. Pengukuran *Water Hold Capacity* (WHC)

Pelikel selulosa bakteri yang terdapat di permukaan medium diambil dan dibersihkan dengan akuades untuk membersihkan sisa medium, setelah itu direbus dalam larutan NaOH 0,1 M selama 30 menit pada suhu 100 °C lalu dicuci dengan akuades hingga pH menjadi 7. Selulosa basah ditimbang dan dikeringkan dalam oven selama 30 menit hingga berat konstan lalu ditimbang. Kandungan air (%w/w) selulosa bakterial diukur berdasarkan berat yang hilang saat dikeringkan. Kemampuan pelikel BNC dalam mengikat air dapat diukur dengan persamaan berikut :

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

(Tabaai and Emtiazi, 2016).

3.3.8. Perhitungan Efisiensi Produksi BNC

Setelah 14 hari masa fermentasi, efisiensi produksi BNC pada kondisi kultur yang berbeda dievaluasi berdasarkan % konsumsi substrat dan % hasil konversi substrat ke BNC yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ konsumsi substrat} = \frac{T_{Si} - T_{Sf}}{T_{Si}} \times 100\%$$

$$\% \text{ hasil konversi substrat ke BNC} = \frac{BNC \left(\frac{g}{l}\right) \text{ at } t_{end}}{T_{Si} - T_{Sf}} \times 100\%$$

3.4. Karakterisasi BNC

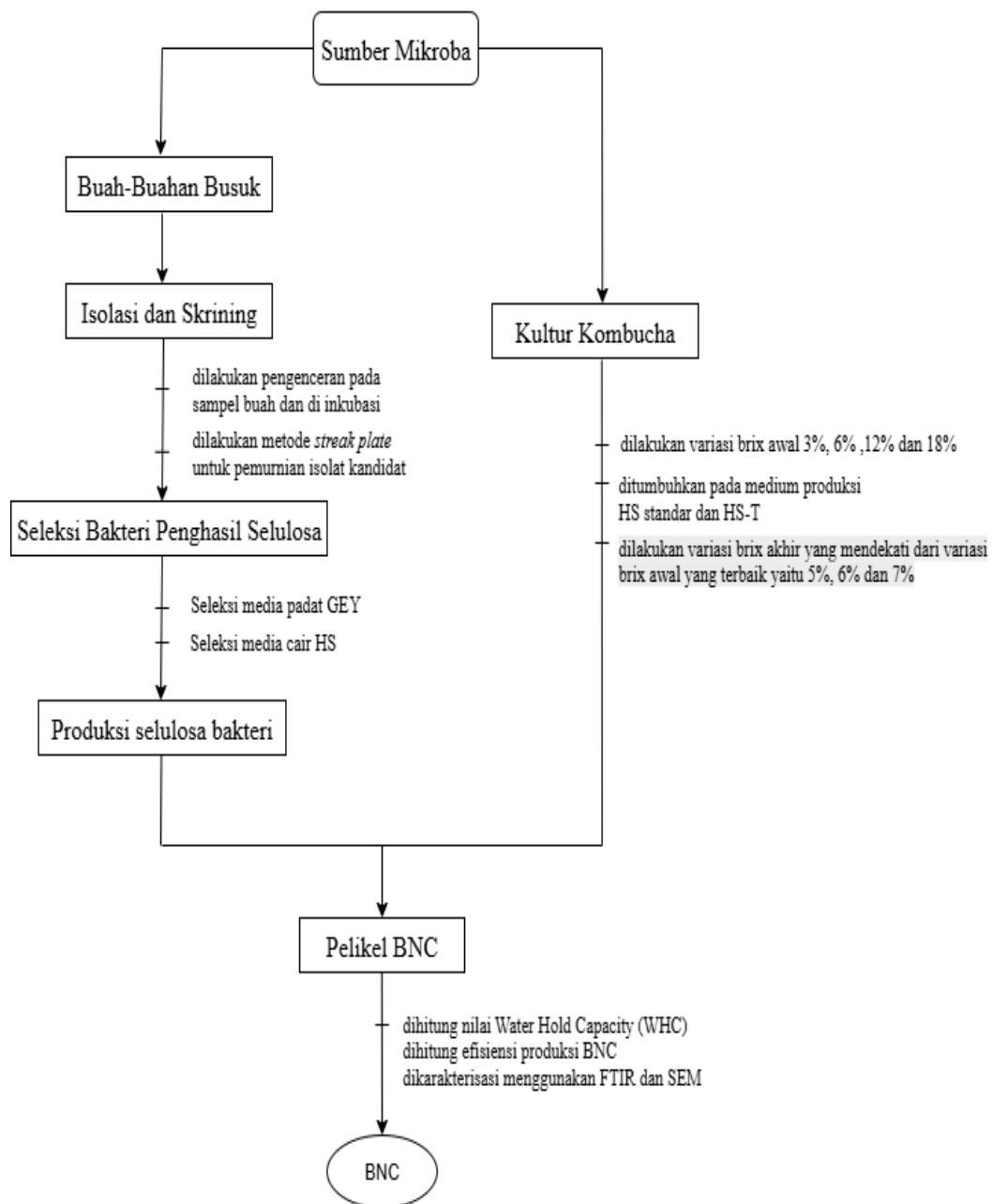
3.3.5.1. Scanning Electron Microscope (SEM)

Sampel pelikel bakteri nanoselulosa dipotong-potong dan dikeringkan sampai beratnya konstan. Sampel yang telah kering lalu dihaluskan hingga menjadi serbuk. Morfologi permukaan BNC dianalisis dengan instrumen SEM.

3.3.5.2. Fourier Transform Infra - Red (FTIR)

Sampel pelikel bakteri nanoselulosa dikeringkan sampai beratnya konstan. Sampel yang telah kering lalu dihaluskan hingga menjadi serbuk. Analisis dilakukan dengan FTIR pada range spektrum 500-4000 cm⁻¹ pada suhu ruang, dengan FTIR pada range spektrum 500-4000 cm⁻¹ pada suhu ruang.

3.5. Diagram Alir



Gambar 4. Diagram alir .penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan konsorsium mikroba (kultur kombucha) dan pada medium HS-T 7% merupakan kondisi yang optimum untuk produksi BNC dengan berat kering sebesar 22,2 g L⁻¹ dan nilai WHC 95,15%;
2. Persentase konsumsi substrat pada medium HS-T 7% mencapai 51,6%, dan dari jumlah substrat yang dikonsumsi tersebut, sebesar 74% berhasil dikonversi menjadi BNC
3. Hasil analisis menggunakan FTIR, BNC menunjukkan adanya gugus –OH stretching, CH₂, C-O, β-(1→4) glikosidik yang diperoleh adalah selulosa.
4. Hasil analisis menggunakan SEM menunjukkan bahwa BNC memiliki serat berukuran nano dengan diameter 68 nm, dan termasuk golongan selulosa .

5.2. Saran

Saran yang perlu disampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perbandingan sumber karbon optimum pada pelikel BNC terbaik
2. Memproduksi BNC menggunakan limbah cair industri lainnya

DAFTAR PUSTAKA

- Abdoulhdi, A., Omran, B., Mohammed, A., Sapuan, S., Ilyas, R., Asyraf, M., Petru, M. (2021). Micro- and Nanocellulose in Polymer Composite Materials: *Polymers*, 13(231), 1-35.
- Angela, C., Young, J., Kordayanti, S., Virgina, P., & Devanthi, P. (2020). Anwar, B., Bundjali, B., & Arcana, I. M. (2016). Isolasi Nanokristalin Selulosa Bakterial dari Jus Limbah Kulit Nanas: Optimasi Waktu Hidrolisis. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 38(1), 7-14.
- Asthary, P. B., Saepulloh, S., Sanningtyas, A., Pertiwi, G. A., Purwita, C. A., & Septiningrum, K. (2020). Optimasi Produksi Bacterial Nanocellulose dengan Metode Kultur Agitasi. *Jurnal Selulosa*, 10 (02), 89-100.
- Azeredo, H. M., Barud, H., Farinas, C. S., Vasconcellos, V. M., & Claro, A. M. (2019). Bacterial cellulose as a raw material for food and food packaging applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 7.
- Azizah, L. (2022). Produksi Bakterial Nanocellulose (BNC) Oleh Isolat Lokal Kc-T-1 Asal Kombucha dari Limbah Cair Molase. Universitas Lampung.
- Buana, D. L., & Fajriati, I. (2019). Karakterisasi Lemak Sapi dan Lemak Babi dalam Bakso Menggunakan FTIR Spectroscopy. *Indonesia Journal of Halal*, 2 (1), 15- 22.
- Chawla, P.R., Bajaj I.B., Survase, S.A., and Singhal, R.S. 2009. Microbial cellulose: fermentativ production and aplications. *Food Technology and Biotechnology*. 47(2): 107-124.

- Corral, M. L., Cerruti, P., Vazquez, A. and Califano, A. 2017. Bacterial Nanocellulose As A Potential Additive For Wheat Bread. *Food Hydrocoll.* 67. 189–196.
- Costa, A. F. D. S., Viviann, R., & Amorim, J. D. P. De. (2018). Residue From the Production of Sugar Cane : an Alternative Nutrient Used in Biocellulose Production by *Gluconacetobacter hansenii*. *Chemical Engineering Transactions.* (64) : 1-6.
- Effendi, D. B., Rosyid, N. H., Nandiyanto, A. B. D., & Mudzakir, A. (2015). Sintesis Nanoselulosa. *Jurnal integrasi proses*, 5(2).
- Emre Z, Y., & Kalender, M. (2021). Optimization of Bacterial Cellulose Production from Sugar Beet Molasses by *Gluconacetobacter xylinus* Nrrl B759 in Static Culture. *Cellulose Chemistry and Technology Optimization.* 55 (9-10). 1051–1060.
- Ferreira, F. V., Otoni, C. G., De France, K. J., Barud, H. S., Lona, L. M. F., Cranston, E. D., & Rojas, O. J. (2020). Porous nanocellulose gels and foams: Breakthrough status in the development of scaffolds for tissue engineering. *Materials Today*, 37 (20), 126–141.
- French, A. D. (2014). Idealized powder diffraction patterns for cellulose polymorphs. *Cellulose*, 21(2), 885-896.
- Guimarães, A. C., Leonarski, E., Cesca, K., & Poletto, P. (2024). Bacterial cellulose from kombucha: assessing inoculum age and concentration, and its conversion via enzymatic hydrolysis into cellobiose and glucose. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 59, 103244.
- Guo, X., Chen, L., Tang, J., Jönsson, L. J. and Hong, F. F. 2015. Production Of Bacterial Nanocellulose And Enzyme From [Amim]Cl-Pretreated Waste Cotton Fabrics: Effects Of Dyes On Enzymatic Saccharification And Nanocellulose Production. *JCTB.* 91(5). 1413–1421.
- 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

- Hasanin, M. S., Abdelraof, M., Hashem, A. H., & El Saied, H. (2023). Sustainable bacterial cellulose production by *Achromobacter* using mango peel waste. *Microbial cell factories*, 22(1), 24.
- Hartina, F., Jannah, A., & Maunatin, A. (2014). Fermentasi Tetes Tebu Dari Pabrik Gula Pagotan Madiun Menggunakan *Saccharomyces Cerevisiae* Untuk Menghasilkan Bioetanol Dengan Variasi Ph Dan Lama Fermentasi. *Alchemy*, 3(1), 93 – 100.
- Herawati dan Susilowati. (2019). Production Technology and Utilization of Nanocellulose. *Journal of Physics: Conf. Series* 1295 (2019) 012051.
- Hong, F., Wei, B., and Chen, L. 2015. Preliminary Study on Biosynthesis of Bacterial Nanocellulose Tubes in a Novel Double-Silicone-Tube Bioreactor for Potential Vascular Prosthesis. *BioMed Research Internasional*. China.
- Jacek, P., Dourado, F., Gama, M., & Bielecki, S. (2019). Molecular aspects of bacterial nanocellulose biosynthesis. *Microbial biotechnology*, 12(4), 633-649.
- Jayabalan, R., Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., & Sathishkumar, M. (2014). A review on Kombucha tea—Microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 538–550.
- Jozala, A. F., de Lencastre-Novaes, L. C., Lopes, A. M., de Carvalho Santos-Ebinuma, V., Mazzola, P. G., Pessoa-Jr, A., Grotto, D., Gerenutti, M., & Chaud, M. V. (2016). Bacterial nanocellulose production and application: a 10- year overview. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100 (5), 2063–2072.
- Kargarzadeh, H., Ioelovich, M., Ahmad, I., Thomas, S., & Dufresne, A. (2017). Methods for Extraction of Nanocellulose from Various Sources. *Handbook of Nanocellulose and Cellulose Nanocomposites*, 1–49.

- Keshk, S. M. (2014). Bacterial Cellulose Production and It's Industrial Applications. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*. 04(02). 1-10.
- Khaerunnisah. 2018. Karakterisasi Bionanokomposit Pati Sukun/PVA yang Diinkorporasi dengan Nanoserat Selulosa dan Aloe Vera. Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara.
- Kianoush, K.D., Koller, M., Akramzadeh, M.. (2016). Biointerface Research in Applied Chemistry Bacterial Nanocellulose : Biosynthesis And Medical Application. 6(5), 1511–1516.
- Maddahy, N.K., O. Ramezani, and H. Kermanian. 2012. Production of Nanocrystalline Cellulose from Sugarcane Bagasse. Dalam: Proceedings of the 4th International Conference on Nanostructures (ICNS4), Kish Island, I. R. Iran: 87–89.
- Mulyadi, I. (2019). Isolasi dan Karakterisasi Selulosa : Review. *Jurnal Saintika UNPAM*, 1(2), 177-182.
- Naomi, R., Bt, R., Idrus, H., and Fauzi, M. B. (2020). Plant vs Bacterial-Derived Cellulose for Wound Healing : A Review. *International Journal Environment Research Public Health* 2020, 17, 6803.
- Nurhidayah, N. I. (2022). Karakterisasi Biodegradable Film dari Selulosa Ampas Bonggol Nanas dengan Penambahan Polylactic Acid (pla) dan Perbandingan Variasi Gliserol
- Nurikasari, M., Puspitasari, Y. and Siwi, R. P. Y. 2017. Characterization And Analysis Kombucha Tea Antioxidant Activity Based on Long Fermentation As a Beverage Functional. *GRPH*. 2(2). 90–96.
- Okky, S.W dan Bayuseno, A.P. 2014. Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian : Mikrografi Dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin Undip*. 1(4): 33–39.
- Park, M. S., Jung, Y. H., Oh, S. Y., Kim, M. J., Bang, W. Y. and Lim, Y. W. 2019.

- Cellulosic Nanomaterial Production Via Fermentation By *Komagataeibacter* Sp. Sfc22-18 Isolated From Ripened Persimmons. *J. Microbiol. Biotechnol.* 29(4). 617–624.
- Punjungsari, T. (2017). Pengaruh Molase Terhadap Aktivitas Konsorsium Bakteri Pereduksi Sulfat Dalam Mereduksi Sulfat (SO_4^{2-}). *Jurnal Viabel Pertanian*, 11(2), 39-49.
- Rahma, H. dan Zul, D. 2020. Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Dan Buah-Buahan Asal Riau (Nanas Dan Kapsul Non-Halal. (Skripsi). Bidang Mikrobiologi Jurusan Biologi. FMIPA. Kampus Bina Widya. Pekanbaru. 3–4.
- Rangaswamy, B. E., Vanitha, K. P., & Hungund, B. S. (2015). Microbial Cellulose Production from Bacteria Isolated from Rotten Fruit. *International Journal of Polymer Science*, 1–8.
- Rodriguez, M. T. 2017. Production of Bacterial Nanocellulose by Fermentation Process. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Bagelors's Thesis.(1). 1-86.
- Rojas, O. J. 2016. Cellulose Chemistry And Properties: Fibers, Nanocelluloses And Advanced Materials. Springer. New York.
- Sijabat, E. K., Nuruddin, A., Martha, Adiwati, P., (2019). Sintesis dan Karakterisasi Nanoselulosa Bakteri dari Kulit Pisang untuk Aplikasi Membran Filtrasi Air. Konferensi IOP Seri: Jurnal Fisika: Conf. Seri. 1-9.
- Stanisławska, A. (2016). Bacterial Nanocellulose as a Microbiological Derived Nanomaterial. *Advances in Materials Science*, 16(4), 45–57.
- Sutikno., Marniza., Sari. N. 2014. Pengaruh Perlakuan Awal Basa dan Hidrolisis Asam terhadap Kadar Gula Reduksi Ampas Tebu. *Jurnal Teknologi Industri & Hasil Pertanian*. 20 (2) : 316-323.
- Tabaii, M. J., & Emtiazi, G. (2016). Comparison of bacterial cellulose production among different strains and fermented media. *Applied Food Biotechnology*, 3 (1), 35–41.

- Wibowo, N. A., dan Isroi, D. 2015. Potensi In Vivo Selulosa Bakterial Sebagai Nano Filler Karet Elastomer Thermoplastics (ETPS). Jurnal Mikrobiologi Terapan dan Bioteknologi. 14(2): 103–112.
- Wulandari, A. T. (2015). *Selulosa Kulit Buah Nangka Muda (Artocarpus heterophyllus) Sebagai Biosorben Logam Berat Tembaga (Cu)* (Doctoral dissertation, UAJY).
- Yanti, N. A., Ahmad, S. W., & Muhiddin, N. H. (2018). Evaluation of inoculum size and fermentation period for bacterial cellulose production from sago liquid waste. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1116, No. 5, p. 052076). IOP Publishing.
- Zeng, X., Small, D. P., & Wan, W. (2011). Statistical optimization of culture conditions for bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* BPR 2001 from maple syrup. *Carbohydrate Polymers*, 85(3), 506-513.
- 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 Science and Biotechnology*, 27 (3), 705–71.