

**PEMANFAATAN LIMBAH CAIR (SKIM) PENGOLAHAN MINYAK
KELAPA (MINYAK MANDAR) SEBAGAI MEDIA BIOSINTESIS
SELULOSA BAKTERI: STUDI PEMANFAATAN SKIM
TERFERMENTASI DAN NON-FERMENTASI**

**M. FATKHUL FAWZI
A 0420503**



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN DAN KEHUTANAN
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT
MAJENE
2025**



**UNIVERSITAS SULAWESI BARAT
FAKULTAS PERTANIAN DAN KEHUTANAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL
PERTANIAN
PROGRAM SARJANA**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Fatkhul Fawzi

Nim : A 0420503

Program Studi : Teknologi Hasil Pertanian

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Pemanfaatan Limbah Cair (Skim) Pengolahan Minyak Kelapa (Minyak Mandar) sebagai Media Biosintesis Selulosa Bakteri: Studi Pemanfaatan Skim Terfermentasi dan Non-Fermentasi”** adalah benar merupakan hasil karya saya di bawah arahan dosen pembimbing dan belum pernah diajukan ke perguruan tinggi mana pun serta seluruh sumber yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Majene, 20 April 2025


M. Fatkhul Fawzi
NIM A 0420503

HALAMAN PENGESAHAN

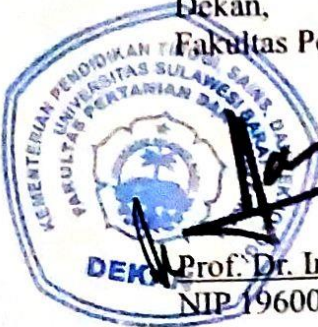
Judul Proposal : Pemanfaatan Limbah Cair (Skim) Pengolahan Minyak kelapa
(Minyak Mandar) Sebagai Media Biosintesis Selulosa Bakteri:
Studi Pemanfaatan Skim Terfermentasi dan Non-Fermentasi
Nama : M. Fatkhul Fawzi
NIM : A 0420503

Disetujui oleh:


Nurlaela, S.P., M.Si
Pembimbing I


Ikrar Tanmah Syah, S.TP., M.Sc
Pembimbing II

Diketahui oleh:


Dekan,
Fakultas Pertanian dan Kehutanan
Prof. Dr. Ir. Kaimuddin, M.Si
NIP 19600512198931001

Ketua Program Studi
Teknologi Hasil Pertanian


Indrastuti, S. TP., M.Si
NIP 198612052019032021

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul:

**Pemanfaatan Limbah Cair (Skim) Pengolahan Minyak Kelapa (Minyak
Mandar Sebagai Media Biosintesis Selulosa Bakteri: Studi Pemanfaatan
Skim Terfermentasi dan Non-Fermentasi**

Disusun oleh:

M.FATKHUL FAWZI

A 0420503

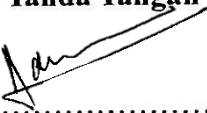
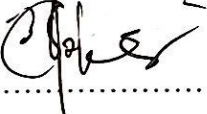
Telah dipertahankan didepan Tim Penguji Skripsi

Fakultas Pertanian dan Kehutanan

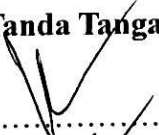
Universitas Sulawesi Barat

Pada tanggal 02 Mei 2025 dan dinyatakan **LULUS**

SUSUNAN TIM PENGUJI

Tim Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1. Prof. Dr. Ir. Kaimuddin, M.Si		06 / 05 / 2025
2. Margaretha Hanna Tiffany, S.ST., M.T.P.		06 / 05 / 2025
Syahmidarni Al Islamiyah, 3. S.TP., M.Si		06 / 05 / 2025

SUSUNAN KOMISI PEMBIMBING

Tim Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1. Nurlaela, S.P., M.Si		06 / 05 / 2025
2. Ikrar Taruna Syah, S.TP., M.Sc		07 / 05 / 2025

ABSTRAK

M. FATKHUL FAWZI. Pemanfaatan Limbah Cair (Skim) Pengolahan Minyak Kelapa (Minyak Mandar) sebagai Media Biosintesis Selulosa Bakteri: Studi Pemanfaatan Skim Terfermentasi dan Non-Fermentasi. Skripsi. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Sulawesi Barat. Dibimbing oleh **NURLAELA** dan **IKRAR TARUNA SYAH**

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah cair (skim) hasil pengolahan minyak kelapa tradisional (minyak Mandar) sebagai media fermentasi dalam produksi selulosa bakteri, serta membandingkan efektivitas skim yang difermentasi dan non-fermentasi. Limbah cair skim, yang selama ini dibuang langsung ke lingkungan, mengandung senyawa organik yang berpotensi mencemari, namun juga kaya nutrisi yang dapat dimanfaatkan oleh bakteri penghasil selulosa. Metode yang digunakan melibatkan fermentasi statis menggunakan bakteri *Acetobacter xylinum* dengan variasi konsentrasi starter pada tiga jenis media: air kelapa (kontrol), skim fermentasi, dan skim non-fermentasi. Parameter yang diamati meliputi rendemen, ketebalan, kadar air, dan kadar serat selulosa bakteri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan skim fermentasi memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan skim non-fermentasi, dengan peningkatan signifikan pada rendemen dan kualitas selulosa bakteri yang dihasilkan. Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah cair dari industri minyak kelapa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif yang berkelanjutan untuk produksi selulosa bakteri, mendukung konsep zero waste serta berkontribusi terhadap pengurangan pencemaran lingkungan dan peningkatan nilai ekonomi produk limbah.

Kata Kunci: Selulosa bakteri, skim limbah cair, fermentasi, minyak kelapa Mandar, *Acetobacter xylinum*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber daya alam yang sangat besar. Khususnya pada sektor pertanian seperti perkebunan kelapa. Saat ini, komoditas pertanian Indonesia semakin dikenal dan permintaannya meningkat di berbagai negara seiring dengan berkembangnya teknologi yang semakin maju (Nursyam *et al.*, 2013). Tanaman kelapa (*Cocos nucifera* L.) merupakan salah satu jenis tanaman yang mempunyai peranan penting dalam budidaya dan perekonomian daerah tropis, khususnya Indonesia.

Kelapa merupakan salah satu tanaman perkebunan yang mempunyai kepentingan strategis bagi masyarakat Indonesia. Pada dasarnya, tanaman kelapa terbagi dalam satu kategori tanaman semusim, merupakan tanaman yang sangat bermanfaat karena mulai dari daun, daging buah, batang hingga akar dapat dimanfaatkan oleh masyarakat, terutama daging buahnya yang dapat diolah menjadi minyak kelapa (Winarno, 2015).

Minyak kelapa merupakan bagian berharga pada buah kelapa dan banyak digunakan sebagai bahan baku industri atau sebagai minyak nabati (Andaka & Arumsari, 2016). Proses produksi minyak kelapa dapat dilakukan dengan metode kering maupun basah. Masyarakat Provinsi Sulawesi Barat khususnya di Kabupaten Majene dan Polewali Mandar umumnya menggunakan cara basah dengan metode tradisional. Pada proses pengolahan kelapa tersebut, sisa skim dengan persentase sekitar 70% (Gambar 2.1), langsung dibuang begitu saja ke lingkungan. Salah satu cara yang dapat dilaksanakan untuk mengatasi banyaknya limbah produksi hasil olahan yang belum dimanfaatkan secara optimal adalah dengan menerapkan produksi bersih dan pengurangan limbah.

Berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup, produksi bersih adalah tindakan pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif, terintegrasi, dan diterapkan secara berkelanjutan pada seluruh tahap kegiatan, mulai dari hulu hingga hilir dalam proses produksi (Azzahro *et al.*, 2022).

Berdasarkan data dari Dinas Perkebunan Daerah Provinsi Sulawesi Barat, terdapat 13 unit usaha pengolahan hasil (UPH) yang terdiri dari unit pengolahan minyak kelapa dan minyak kelapa murni (VCO) (Pemerintah Provinsi Sulawesi Barat Dinas Perkebunan Daerah, 2023). Dari 13 UPH tersebut, tidak satupun yang mengolah limbah cairnya (skim)-nya. Limbah tersebut dibuang langsung ke lingkungan, baik ke tanah maupun ke saluran pembuangan air, yang berdampak negatif karena tingginya kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dalam limbah cair tersebut.

Menurut salah satu anggota UPH Kelompok Tani Siario di Desa Buku, Kabupaten Polewali Mandar, limbah cair ini menjadi masalah karena jumlahnya yang terus bertambah dan menimbulkan bau busuk yang mengganggu. Limbah cair yang dibuang ke badan air atau permukaan tanah dapat mencemari air dan tanah, sehingga mengganggu kesehatan dan mengurangi estetika lingkungan (Purba *et al.*, 2023). Sebagai alternatif, limbah ini dapat dimanfaatkan untuk produksi selulosa bakteri.

Selulosa adalah salah satu biopolimer yang mudah ditemukan di alam dan memiliki sifat biokompatibilitas, yakni kemampuan suatu bahan untuk berinteraksi dengan sistem biologis (misalnya jaringan atau cairan tubuh) tanpa menimbulkan reaksi negative. *Biodegradable*, (mudah terurai) dan ekonomis, yakni hemat biaya, efisien dalam penggunaan sumber daya (Macías-Almazán *et al.*, 2020). Selulosa juga menjadi salah satu sumber daya alam yang jumlahnya cukup banyak di Indonesia. Selulosa ini banyak dimanfaatkan dalam pembuatan kertas, plastik, tekstil dan produk turunannya (glukosa, selulosa asetat, alkohol) dan juga bahan industri lainnya.

Skim yang diperoleh dari hasil fermentasi, baik untuk produksi VCO maupun minyak mandar (misalnya yang dilakukan di UPH Siario), memiliki pH yang rendah. Dengan rendahnya pH yang dimiliki memungkinkan untuk tidak ditamhakkannya asam asetat glasial selama proses pengolahan selulosa asetat. Sehingga dengan demikian biaya produksi yang dibutuhkan untuk pembuatan selulosa bakteri menjadi lebih rendah.

Dengan memanfaatkannya dalam produksi selulosa bakteri, limbah cair dari pengolahan minyak kelapa dapat diatasi dan memberikan nilai tambah ekonomi

bagi UPH. Selain itu, hal ini mendukung penerapan konsep *zero waste* di seluruh UPH yang ada di Sulawesi Barat, khususnya di Kabupaten Majene dan Polewali Mandar.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijabarkan diatas, peneliti mengidentifikasi beberapa permasalahan yang akan diteliti, diantaranya:

1. Bagaimana pemanfaatan limbah cair dari pengolahan minyak kelapa (skim) dapat digunakan untuk produksi selulosa bakteri?
2. Bagaimana perbedaan limbah cair pengolahan minyak kelapa (skim) fermentasi dalam produksi selulosa bakteri dibandingkan dengan limbah cair yang tidak mengalami fermentasi?
3. Apa saja faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas fermentasi limbah cair pengolahan minyak kelapa (skim) dalam pembuatan selulosa bakteri?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang dijabarkan diatas, peneliti memiliki beberapa tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Menggunakan limbah cair dari pengolahan minyak kelapa (skim) sebagai media fermentasi dalam pembuatan selulosa bakteri.
2. Menganalisis perbedaan limbah cair pengolahan minyak kelapa (skim) dalam produksi selulosa bakteri yang melalui proses fermentasi dibandingkan dengan yang tidak mengalami proses fermentasi.
3. Menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas fermentasi limbah cair pengolahan minyak kelapa (skim) dalam pembuatan selulosa bakteri.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi lingkungan: Penggunaan dan pemanfaatan limbah cair dari pengolahan minyak kelapa (skim) yang mengandung kadar COD yang tinggi sebagai media fermentasi dalam pembuatan selulosa bakteri dapat membantu mengurangi jumlah limbah industri pengolahan hasil yang dibuang ke lingkungan yang akan berdampak pada pencemaran lingkungan karena tidak diolah secara berkelanjutan.

2. Bagi industri: Dengan mengolah limbah cair menjadi produk bernilai tambah seperti selulosa bakteri, bagi UPH dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan untuk pembuangan dan pengelolaan limbah. Hal ini akan mendukung prinsip ekonomi sirkular dan membantu industri memaksimalkan penggunaan bahan baku yang ada, mengurangi limbah, mengurangi beban pencemaran lingkungan dan meningkatkan efisiensi produksi.
3. Bagi ilmu pengetahuan: Penelitian ini dapat memperkaya wawasan dan literatur ilmiah di bidang pengelolaan limbah dan bioteknologi, terutama dalam konteks pengelolaan limbah cair pengolahan minyak kelapa (Skim) yang dimanfaatkan dalam pembuatan selulosa bakteri. Ini juga membantu dalam pengembangan teknologi ramah lingkungan dan inovatif. Dengan membandingkan hasil fermentasi dan tanpa fermentasi, penelitian ini memberikan wawasan mendalam mengenai mekanisme fermentasi dan bagaimana proses ini mempengaruhi komposisi kimia limbah serta efisiensi produksi selulosa bakteri.
4. Bagi masyarakat: Meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya pengelolaan limbah yang ramah lingkungan. Membantu mengurangi pencemaran air dan tanah (lingkungan) di sekitar area industri, yang sering kali menjadi sumber masalah kesehatan bagi masyarakat setempat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Kelapa

Kelapa (*Cocos nucifera* L.) merupakan satu-satunya spesies dalam genus *Cocos* dari keluarga *Arecaceae* (suku aren-arenan). Tanaman ini sangat berguna bagi manusia, dengan hampir semua bagiannya dapat dimanfaatkan, sehingga dikenal sebagai tanaman serba guna, terutama bagi masyarakat pesisir. Buah yang dihasilkan oleh tanaman ini juga disebut kelapa. Kelapa biasanya tumbuh di daerah pantai dan pohonnya bisa mencapai tinggi hingga 30 meter. Asalnya dari pesisir Samudera Hindia, tetapi sekarang sudah menyebar ke seluruh wilayah tropis (Riyadi & Muhtar, 2014). Kelapa merupakan tanaman yang seluruh bagiannya dapat dimanfaatkan, mulai dari batang, daun, daging buah, kulit kelapa bahkan air kelapa juga dapat dimanfaatkan menjadi minuman penyegar.

Tanaman kelapa dapat diklasifikasikan berdasarkan kingdom (Plantae), Sub kingdom (Tracheobionata), kelas (Liliopsida), sub kelas (Arrecidae), divisi (Spermatophyta), ordo (Palmales), famili (*Palmae*), genus (*Cocos*) dan dengan nama spesies (*Cocos nucifera* L.) (Rukmana, Yadirachman, & Suyantoro, 2016).



Gambar 2.1. Tanaman Kelapa

Saat ini tanaman kelapa telah tersebar di 200 negara di dunia. Di Indonesia, tanaman kelapa dapat ditemukan hampir di seluruh provinsi, dari daerah pantai yang datar sampai ke daerah pegunungan yang agak tinggi (Irawan *et al.*, 2022). Sulawesi barat yang sebagian besar wilayahnya adalah pesisir pantai memiliki potensi tanaman kelapa yang menjanjikan. Berdasarkan data dari BPS Tahun 2023, produksi kelapa di Provinsi Sulawesi Barat pada tahun 2022, mencapai 37.268,55 ton (data sementara tahun 2023 tercatat sebesar 35.799 ton), dimana produksi

terbesar terdapat di Kabupaten Polewali Mandar yang mencapai 20.059,12 ton yang diikuti oleh Kabupaten Majene dengan produksi mencapai 8.876,74 ton (BPS Provinsi Sulawesi Barat, 2024). Adapun perinciannya adalah sebagai berikut:

Tabel 2 1. Produksi Tanaman Kelapa di Provinsi Sulawesi Barat

Kabupaten	Tahun 2022	Tahun 2023*
Kabupaten Polewali Mandar	20.059	20.059
Kabupaten Majene	8.834	7.517
Kabupaten Pasangkayu	4.396	4.430
Kabupaten Mamuju	3.005	3.482
Kabupaten Mamuju Tengah	924	302
Kabupaten Mamasa	9	9
Total	37.227	35.799

Sumber: Data BPS Sulawesi Barat dalam Angka, 2024

Secara etnofarmakologi (kesehatan), kelapa sering digunakan sebagai obat tradisional oleh masyarakat, termasuk sebagai pengobatan untuk penyakit panas dalam (Eni *et al.*, 2019), mencegah uban dan sebagai campuran air mandi bayi agar terhindar dari batuk dan pilek (Leksikowati *et al.*, 2020), memperlancar buang air kecil, menghilangkan dehidrasi, mengurangi rasa mual saat hamil, mengobati sakit perut, dan dipercaya dapat membantu mengurangi nyeri saat haid (Ryandita *et al.*, 2020), serta dapat dimanfaatkan sebagai obat alternatif apabila keracunan makanan (Fauzana *et al.*, 2021). Selain itu, kelapa juga dimanfaatkan sebagai media pembuatan VCO (virgin coconut oil), obat mata, dan obat pelangsing (Erawan *et al.*, 2018).

2.2. Minyak Kelapa Mandar

Minyak adalah trigliserida yang terdiri dari asam lemak dan berbentuk cair pada suhu kamar (25°C). Minyak ini mengandung lebih banyak asam lemak tak jenuh, sehingga lebih mudah teroksidasi. Padatan minyak tersebut biasa disebut lemak (Mu'nisa & Aرسال, 2014). Minyak dapat dibuat dari beberapa jenis bahan baku salah satunya kelapa dalam.

Minyak kelapa adalah salah satu minyak nabati yang diperoleh dari daging buah kelapa. Terdapat dua macam jenis minyak kelapa yang sering digunakan yaitu minyak kelapa biasa yang digunakan untuk menggoreng dan minyak kelapa

murni yang dikenal dengan nama *Virgin Coconut Oil* (VCO). Minyak kelapa biasa cenderung berwarna kuning kecoklatan, memiliki aroma yang kurang harum, dan mudah menjadi tengik, sehingga masa simpannya relatif singkat (kurang dari dua bulan) (Marlina *et al.*, 2017).

Minyak mandar merupakan minyak kelapa yang oleh masyarakat Suku Mandar dikenal dengan sebutan minyak mandar, yang diproduksi secara tradisional. Minyak ini dikenal karena khasiatnya dalam pengobatan tradisional dan biasanya dibuat dari campuran berbagai bahan alami (Rahman *et al.*, 2022).

Proses pengolahan kelapa menjadi minyak kelapa telah dilakukan oleh masyarakat Suku Mandar sejak zaman dahulu kala. Pengolahan ini tidak hanya sekadar aktivitas ekonomi, tetapi juga merupakan bagian integral dari warisan budaya yang diturunkan dari generasi ke generasi. Sebagai hasilnya, minyak kelapa tidak hanya menjadi produk sehari-hari yang digunakan dalam berbagai aspek kehidupan, tetapi juga menyimpan nilai-nilai budaya lokal yang mendalam dan berharga bagi etnis Suku Mandar.

Tradisi ini mencerminkan kearifan lokal dan keberlanjutan praktik-praktik leluhur yang masih dipertahankan hingga saat ini (Musmawati *et al.*, 2021). Minyak goreng tradisional yang dihasilkan oleh masyarakat Suku Mandar ini memiliki beberapa sebutan, antara lain minyak kelapa Mandar, *Lomo'* Mandar, atau *Minna'* Mandar. Minyak ini tidak hanya digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan berbagai masakan khas yang mencerminkan kekayaan kuliner etnis Mandar, tetapi juga memiliki berbagai manfaat lain. Selain sebagai bahan kuliner, minyak kelapa Mandar juga dimanfaatkan sebagai minyak gosok untuk keperluan pengobatan tradisional, sebagai minyak rambut untuk perawatan dan kesehatan rambut, serta sebagai pelumas dalam berbagai aktivitas sehari-hari. Kegunaan yang beragam ini menunjukkan betapa pentingnya minyak kelapa Mandar dalam kehidupan masyarakat Suku Mandar, baik dari segi budaya dan Kesehatan (Nuraeni, 2018).



Gambar 2.2. Minyak Kelapa Mandar

Pembuatan minyak kelapa oleh Suku Mandar biasanya menggunakan teknik yang masih sangat sederhana, sehingga minyak tersebut memiliki tingkat kerusakan yang tinggi selama penyimpanan. Kerusakan ini dapat berupa perubahan warna dan timbulnya bau tengik jika disimpan lebih dari 30 hari. Kerusakan pada minyak dapat memicu pembentukan radikal bebas yang dapat menyebabkan penyakit degeneratif, seperti hiperkolesterolemia. Salah satu cara untuk mencegah oksidasi pada minyak adalah dengan menambahkan antioksidan alami. Keunikan minyak goreng asal Suku Mandar adalah memiliki aroma yang khas dan cara pembuatannya masih tradisional yang masih dipertahankan sampai saat ini (Mu'nisa & Aarsal, 2014).

2.3. Limbah Skim Pengolahan Minyak Mandar

Industri pengolahan minyak kelapa menghasilkan limbah padat dan cair. Limbah padat yang dihasilkan mencakup tempurung kelapa dan ampas kelapa. Tempurung kelapa telah dimanfaatkan untuk diolah menjadi arang aktif, sementara ampas kelapa biasanya digunakan sebagai pakan ternak. Sedangkan limbah cair yang dihasilkan berupa air kelapa dan limbah cair skim.

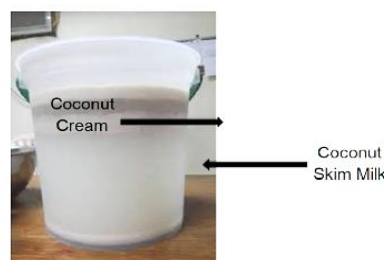
Tabel 2.2. Komposisi Media Limbah Cair

Komponen Kimia		
Karakteristik	Air kelapa	Limbah Cair Skim
Air (%)	96.77	99.64
Abu (%)	0.45	0.36
Protein (%)	0.024	0.051
Serat (%)	3.23	2.73
Lemak (%)	0.45	1.15
Sukrosa (%)	0.45	0.15
Karbohidrat berdasarkan perbedaan (%)	2.43	1.26

Mineral		
Mo (mg/l)	0.031	0.016
Zn (mg/l)	0.035	0.018
Cu (mg/l)	0.488	0.071
Mn (mg/l)	0.224	0.041
Fe (mg/l)	0.610	0.207
Al (mg/l)	0.238	0.107
Mg (mg/l)	1.176	1.941
Ca (mg/l)	1.180	1.640
K (mg/l)	2.250	2.167

Sumber: Andasuryani *et al*, (2021).

Saat ini, air kelapa telah diolah, diantaranya menjadi nata de coco dan kecap. Namun berbeda dengan limbah dari pengolahan minyak kelapa yang belum mengalami pengolahan dan langsung dibuang ke bak penangkap minyak sebelum dialirkan ke sungai. Limbah cair ini terutama berasal dari proses akhir pemisahan antara minyak kelapa dan limbah cair skim.



Gambar 2.3. Pemisahan Krim dan Skim Santan pada Pembuatan Minyak Kelapa

Sumber: Bawalan, D. D. (2011). *Processing Manual for Virgin Coconut Oil, its Products and By-products for Pacific Island Countries and Territories*. Secretariat of the Pacific Community. Noumea, New Caledonia

Limbah cair yang dihasilkan oleh industri pengolahan kelapa, terutama industri yang memproduksi *Virgin Coconut Oil* (VCO), umumnya mengandung sejumlah besar minyak dan lemak. Selain itu, limbah ini memiliki nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), serta *Total Dissolved Solid* (TDS) yang sangat tinggi. Apabila limbah cair ini dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan yang memadai, tingginya konsentrasi zat organik di dalamnya dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut di dalam air. Penurunan oksigen terlarut ini dapat memberikan dampak

negatif yang signifikan terhadap kehidupan organisme yang tinggal di dalam air, karena mereka sangat bergantung pada ketersediaan oksigen untuk kelangsungan hidup mereka. Oleh karena itu, pengelolaan limbah cair industri VCO sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem air dan mencegah kerusakan lingkungan yang lebih luas (Sukron *et al.*, 2019). Karena belum dilakukan pengelolaan lebih lanjut, limbah cair ini dapat berdampak buruk terhadap lingkungan. Limbah cair pengolahan minyak kelapa biasanya memiliki kadar asam yang melebihi batas aman, sehingga jika dibuang sembarangan atau langsung ke tanah, dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Viantini *et al.*, 2022). Adapun mengenai penjelasannya adalah sebagai berikut:

1. *Biochemical oxygen Demand* (BOD)

Biological Oxygen Demand, yang disingkat sebagai BOD, merupakan suatu parameter yang mengukur jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme, khususnya bakteri, untuk memecah bahan organik yang terdapat di dalam air melalui proses aerobik. Proses ini melibatkan penggunaan oksigen oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik menjadi bentuk yang lebih sederhana, seperti karbon dioksida dan air. Oleh karena itu, BOD menjadi indikator penting dalam menilai tingkat pencemaran air, karena nilai BOD yang tinggi menunjukkan adanya jumlah besar bahan organik yang memerlukan oksidasi, yang pada gilirannya dapat mengurangi ketersediaan oksigen terlarut di dalam air yang sangat penting bagi kehidupan akuatik. Dengan demikian, pemantauan BOD sangatlah penting dalam manajemen kualitas air dan pengelolaan lingkungan (Santoso, 2018).

Proses dekomposisi bahan organik dapat diartikan sebagai suatu proses di mana mikroorganisme memperoleh energi melalui oksidasi bahan organik yang terdapat di dalam air. Dalam proses ini, mikroorganisme menggunakan bahan organik sebagai sumber makanan, yang kemudian dipecah melalui reaksi oksidasi. Mengetahui nilai BOD di suatu perairan memiliki manfaat yang sangat penting, karena dapat memberikan informasi mengenai jumlah beban pencemaran yang ada di perairan tersebut, baik akibat air buangan domestik maupun industri. Informasi ini sangat berguna untuk menilai tingkat polusi dan merancang sistem pengolahan biologis yang efektif untuk perairan yang telah tercemar. Dengan memahami nilai

BOD, kita dapat menentukan seberapa besar pengaruh limbah terhadap kualitas air dan mengembangkan strategi pengelolaan yang tepat untuk mengurangi dampak negatif pencemaran terhadap ekosistem perairan. Selain itu, pemantauan nilai BOD secara teratur juga dapat membantu dalam mengidentifikasi sumber-sumber polusi dan mengambil langkah-langkah preventif untuk mencegah pencemaran lebih lanjut, sehingga keberlanjutan lingkungan akuatik dapat terjaga dengan baik (Pour *et al.* , 2014).

Kondisi ini dapat menyebabkan kerusakan pada komposisi kimiawi air dan mengakibatkan penurunan drastis kandungan oksigen terlarut dalam perairan, sehingga mencapai tingkat yang kritis. Ketika kadar kimiawi air mengalami kerusakan, hal ini akan berdampak langsung pada peran dan fungsi alami dari perairan tersebut. Jumlah polutan yang terakumulasi dalam badan air akan mempengaruhi tingkat pencemaran yang terjadi, yang disebabkan oleh air buangan domestik dari penduduk maupun limbah yang dihasilkan dari berbagai proses industri. Akibatnya, peningkatan jumlah polutan ini dapat menambah beban pencemaran yang harus ditanggung oleh badan perairan, sehingga menurunkan kualitas air secara keseluruhan.

Dampak dari pencemaran ini tidak hanya terbatas pada komposisi kimiawi air, tetapi juga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem akuatik, membahayakan kehidupan organisme yang bergantung pada oksigen terlarut, dan mengurangi kemampuan perairan untuk mendukung aktivitas biologis dan ekologis yang sehat (Daroini & Arisandi, 2020). Kandungan BOD yang tinggi dalam limbah cair kelapa memiliki konsekuensi serius bagi lingkungan perairan. Tingginya BOD mengindikasikan banyaknya bahan organik yang memerlukan oksigen untuk diuraikan oleh mikroorganisme, yang pada akhirnya menyebabkan penurunan oksigen terlarut dalam air. Kondisi ini dapat mengakibatkan kematian organisme akuatik, gangguan pada rantai makanan, dan pertumbuhan alga yang berlebihan. Selain itu, limbah cair dengan BOD tinggi dapat menyebabkan bau tidak sedap dan menurunkan kualitas air, membuatnya tidak layak untuk keperluan domestik, pertanian, atau rekreasi. Oleh karena itu, penting untuk menerapkan pengelolaan limbah yang efektif dan pengawasan ketat untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada ekosistem perairan.

2. *Chemical oxygen Demand (COD)*

Chemical oxygen Demand (COD) adalah salah satu parameter kunci dalam pengolahan air limbah yang menggambarkan jumlah total oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi zat-zat organik secara kimiawi. COD atau kebutuhan oksigen kimia merupakan indikator jumlah oksigen yang dibutuhkan agar limbah organik yang terkandung dalam air dapat mengalami oksidasi melalui reaksi kimia tertentu. Nilai COD menjadi ukuran yang signifikan bagi tingkat pencemaran oleh bahan organik dalam air limbah. Seiring dengan proses pengolahan air limbah, kadar COD akan berkurang seiring dengan menurunnya konsentrasi bahan organik yang ada dalam air tersebut. Namun, perlu dicatat bahwa meskipun konsentrasi bahan organik dalam air limbah sudah rendah, pengurangan lebih lanjut tidak selalu bisa dicapai dengan metode pengolahan konvensional yang biasa digunakan (Rahmawati *et al.*., 2013).

Dampak COD tinggi pada limbah cair pengolahan minyak kelapa menunjukkan pentingnya pengelolaan limbah yang efektif untuk melindungi lingkungan dan kesehatan manusia. Pengurangan COD diperlukan untuk mencegah penurunan oksigen terlarut yang mematikan organisme akuatik dan mengganggu ekosistem. Pengolahan yang baik juga mencegah eutrofikasi dan kontaminasi sumber air minum, menjaga kesehatan dan kenyamanan masyarakat sekitar. Selain itu, mengelola limbah dengan efisien mengurangi biaya pengolahan air di masa depan. Secara keseluruhan, pendekatan komprehensif diperlukan untuk menjaga keberlanjutan sumber daya air dan keseimbangan ekosistem.

2.4. *Selulosa Bakteri (Nata)*

Salah satu metode untuk menangani limbah cair skim adalah dengan memanfaatkannya dalam proses biosintesis selulosa bakteri. Selulosa merupakan polimer alami yang dapat diproduksi baik oleh bakteri maupun tumbuhan. Selulosa yang dihasilkan oleh bakteri sering kali disebut sebagai selulosa bakteri. Meskipun selulosa bakteri dan selulosa yang dihasilkan oleh tumbuhan memiliki rumus molekul yang sama, yaitu $(C_6H_{10}O_5)_n$, keduanya memiliki karakteristik fisik dan kimia yang berbeda. Selulosa bakteri dan selulosa tanaman mungkin serupa dalam hal struktur molekul dasar, tetapi mereka berbeda dalam sifat-sifat tertentu, seperti kekuatan mekanik, kristalinitas, dan tingkat kemurnian (Donini *et al.*, 2010).

Penyebutan nata disesuaikan dengan jenis substrat yang digunakan untuk pertumbuhan bakteri *Acetobacter xylinum*, sehingga terdapat beberapa variasi nama nata yang dikenal berdasarkan substrat tersebut. Misalnya, *nata de pina* adalah jenis nata yang diperoleh dari fermentasi sari buah nanas, sementara *nata de mango* dihasilkan dari sari buah mangga. Selain itu, ada juga *Nata de Soya* yang dibuat dari limbah pengolahan tahu, serta *nata de cacao* yang berasal dari limbah pengolahan kakao. Dengan demikian, berbagai jenis *nata* diberi nama sesuai dengan bahan dasar yang digunakan dalam proses fermentasinya, mencerminkan keragaman substrat yang dapat dimanfaatkan untuk produksi selulosa bakteri (Putriana & Aminah, 2013).

Selulosa bakteri dikenal memiliki tingkat kemurnian yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan selulosa yang dihasilkan oleh tumbuhan. Selain itu, selulosa bakteri memiliki karakteristik struktural dan mekanik yang unik dan berbeda, yang membuatnya sangat berharga untuk berbagai aplikasi industri. Karena sifat-sifat unggul ini, selulosa bakteri dapat dimanfaatkan dalam berbagai sektor industri, termasuk industri makanan, di mana digunakan sebagai bahan pengental atau pengisi, industri plastik sebagai bahan baku untuk bioplastik, bidang medis untuk pembuatan bahan pembalut luka atau *scaffold* jaringan, serta dalam industri kertas sebagai bahan aditif untuk meningkatkan kualitas dan kekuatan produk kertas (Ahmad *et al.*, 2019).

Selulosa bakteri ini adalah suatu biopolimer yang diproduksi oleh bakteri *Acetobacter xylinum*. Selulosa yang dihasilkan oleh bakteri ini memiliki sifat yang dapat dikonsumsi oleh manusia (*edible*). Melalui proses biosintesis ini, limbah cair skim tidak hanya dapat diolah, tetapi juga diubah menjadi produk yang bermanfaat dan bernilai tambah, yaitu selulosa bakteri yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk di industri pangan dan medis (Lee *et al.*, 2024). Berbagai usaha untuk memanfaatkan limbah yang dihasilkan dari proses produksi pangan dalam pembuatan selulosa bakteri telah berhasil dilaksanakan melalui metode yang terjangkau dan mudah diperoleh (El-Gendi *et al.*, 2022).

Upaya-upaya ini telah menunjukkan bahwa limbah produksi pangan dapat diubah menjadi bahan yang bernilai tinggi, seperti selulosa bakteri, dengan menggunakan teknik yang tidak memerlukan biaya besar dan dapat diakses dengan

mudah. Melalui pendekatan ini, tidak hanya masalah limbah dapat teratasi, tetapi juga menciptakan peluang untuk menghasilkan produk yang berguna dengan cara yang efisien dan berkelanjutan.

2.5. Bakteri Penghasil Selulosa Bakteri

Selulosa bakteri adalah salah satu jenis biopolimer yang memiliki struktur berupa pita-pita kecil berukuran nanometer. Panjang pita-pita tersebut umumnya kurang dari 100 nanometer, sementara lebarnya berkisar antara 2 hingga 4 nanometer. Ada beberapa jenis bakteri yang diketahui mampu memproduksi selulosa ini, di antaranya adalah bakteri dari genus *Acetobacter xylinum*, (Liany *et al.*, 2022), *Rhizobium* (Jumiati, 2019), *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Sarcina*, dan *Alcaligenes*. Setiap jenis bakteri ini memiliki kemampuan khusus dalam mensintesis selulosa bakteri, yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi industri karena sifat fisik dan kimianya yang unik serta ukurannya yang sangat kecil (Wibowo & Isroi, 2015). Adapun penelitian terbaru telah menunjukkan bahwa selulosa bakteri juga dapat diproduksi oleh bakteri *Salmonella*. Dari semua jenis bakteri tersebut, *Acetobacter xylinum* diketahui sebagai bakteri yang paling efektif dalam memproduksi selulosa (Wang *et al.*, 2019). Berikut penjelasan mengenai bakteri tersebut dibawah ini:

2.5.1. *Acetobacter xylinum*

Selulosa tidak hanya dihasilkan oleh tumbuhan, tetapi juga dapat disintesis oleh beberapa jenis mikroorganisme. Mikroorganisme yang mampu memproduksi selulosa ini mencakup fungi, bakteri, dan alga. Setiap kelompok mikroorganisme tersebut memiliki mekanisme khusus untuk mensintesis selulosa, sehingga memungkinkan mereka untuk menjadi sumber alternatif dalam produksi selulosa selain tumbuhan. Pertama kali selulosa dari bakteri jenis *Acetobacter xylinum* ditemukan oleh Brown pada tahun 1886. *Acetobacter xylinum* adalah salah satu bakteri yang mampu menghasilkan selulosa dalam jumlah besar. Untuk dapat membentuk selulosa, bakteri ini memerlukan sejumlah unsur makro yang esensial. Unsur-unsur tersebut meliputi karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), sulfur (S), fosfor (P), dan selenium (Se). Semua unsur ini dapat diperoleh dari berbagai macam substrat.

Contoh substrat yang dapat digunakan oleh *Acetobacter xylinum* untuk memperoleh unsur-unsur tersebut antara lain air kelapa, air hasil cucian beras, dan tomat. Substrat-substrat ini menyediakan nutrisi yang dibutuhkan bakteri untuk menjalankan proses biosintesis selulosa secara efektif (Liany *et al.*, 2022). Dengan demikian, potensi mikroorganisme seperti fungi, bakteri, dan alga dalam menghasilkan selulosa membuka peluang baru dalam berbagai aplikasi industri dan penelitian ilmiah.

Acetobacter xylinum merupakan jenis bakteri yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan selulosa dari sumber glukosa melalui suatu proses yang dikenal sebagai fermentasi. Dalam proses ini, bakteri tersebut memanfaatkan glukosa yang tersedia sebagai substrat, yang kemudian diubah menjadi selulosa melalui serangkaian reaksi biokimia yang kompleks (Rahmayetty *et al.*, 2021).

Acetobacter xylinum adalah bakteri yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan selulosa bakteri dengan tingkat hasil atau yield yang tinggi. Bakteri ini memanfaatkan substrat yang kaya glukosa dan, melalui proses metabolisme dan biosintesis yang efisien, mampu memproduksi selulosa dalam jumlah yang signifikan. Oleh karena itu, *Acetobacter xylinum* dikenal karena potensinya dalam menghasilkan selulosa bakteri dengan kuantitas yang tinggi, menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi dalam berbagai industri yang memerlukan selulosa bakteri (Esa *et al.*, 2014). *Acetobacter xylinum* merupakan bakteri yang tumbuh dengan baik pada media yang memiliki rentang pH antara 3 hingga 4. Jika kondisi pH di dalam media tersebut berada di luar rentang ini, yaitu lebih tinggi dari 4 atau lebih rendah dari 3, maka proses fermentasi yang dilakukan oleh bakteri ini tidak akan berlangsung secara optimal. Suhu yang paling ideal untuk pertumbuhan *Acetobacter xylinum* adalah pada suhu kamar, yaitu berkisar antara 28 hingga 31 derajat Celsius. Dalam rentang suhu ini, bakteri dapat mencapai tingkat pertumbuhan dan aktivitas fermentasi yang maksimal (Chunshom., 2018).

Dari hasil penelitian (Rahmayetty *et al.*, 2021). Pemanfaatan Limbah Cair Industri Tepung Aren Sebagai Media Fermentasi dalam Sintesis Selulosa Bakteri (*Nata de Arenga*). Metode yang diterapkan adalah fermentasi *batch*, menggunakan variasi medium substrat berupa limbah cair dari industri tepung aren dan air kelapa, dengan konsentrasi *Acetobacter xylinum* sebanyak 10% v/v. Diperoleh hasil

penelitian yang menunjukkan bahwa medium berupa limbah cair tepung aren menghasilkan ketebalan nata sebesar 1,4 cm, sedangkan medium air kelapa menghasilkan ketebalan nata sebesar 1,8 cm. Yield nata yang dihasilkan dari limbah cair industri tepung aren mencapai 41,3%, sementara dari air kelapa mencapai 50,9%. Konsentrasi *Acetobacter xylinum* yang menghasilkan selulosa bakteri tertinggi pada medium limbah cair industri tepung aren adalah 15% (v/v) dengan yield sebesar 60,8%.

Dari hasil penelitian (Ahmad *et al.*, 2019). Pemanfaatan Limbah Cair Sagu untuk Memproduksi Selulosa Bakteri (*Utilization of Sago Liquid Waste for Bacterial Cellulose Production*). Penelitian ini memiliki tujuan utama untuk mengeksplorasi potensi pemanfaatan limbah cair sagu sebagai substrat dalam produksi selulosa bakteri, serta menentukan konsentrasi gula pasir yang optimal untuk memfasilitasi proses tersebut. Proses produksi selulosa bakteri dari limbah cair sagu ini dilaksanakan dalam kondisi statis, di mana campuran dibiarkan diam selama periode 14 hari. Dalam eksperimen ini, variasi konsentrasi gula pasir yang digunakan adalah 5%, 10%, 15%, dan 20% (b/v), dengan menggunakan bakteri *Acetobacter xylinum* sebagai agen penghasil selulosa.

Beberapa parameter penting yang diukur selama penelitian ini mencakup ketebalan selulosa yang dihasilkan, rendemen produksi, kadar serat kasar, serta kadar air yang terkandung dalam selulosa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan gula pasir sebesar 10% (b/v) merupakan kondisi yang paling optimal untuk produksi selulosa bakteri menggunakan limbah cair sagu. Pada konsentrasi gula tersebut, dihasilkan selulosa dengan ketebalan mencapai 21,73 mm, rendemen produksi sebesar 34,97%, kandungan serat kasar sebanyak 4,5%, dan kadar air mencapai 91,35%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa limbah cair sagu memiliki potensi yang signifikan sebagai substrat dalam produksi selulosa bakteri, khususnya ketika dikombinasikan dengan penambahan gula pasir dalam konsentrasi yang tepat.

Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dilakukan, tidak ditemukan penelitian yang melaporkan isolasi selulosa bakteri dengan menggunakan media fermentasi dari limbah cair (skim) hasil pengolahan minyak kelapa. Oleh karena itu, pembuatan selulosa bakteri dengan memanfaatkan media limbah cair (skim)

kelapa merupakan suatu inovasi baru yang patut diperhatikan. Industri pengolahan minyak kelapa di Provinsi Sulawesi Barat, termasuk di Kabupaten Majene dan Polewali Mandar, memiliki jumlah yang cukup signifikan. Dengan demikian, penggunaan limbah cair dari proses ini tidak hanya menjadi solusi untuk masalah pencemaran lingkungan akibat limbah, tetapi juga dapat membuka peluang baru dalam produksi selulosa bakteri. Pendekatan ini dapat mengurangi dampak negatif dari limbah cair yang dihasilkan oleh industri tersebut, sekaligus memberikan nilai tambah melalui produksi bahan bernilai ekonomi tinggi seperti selulosa bakteri.

2.5.2. *Rhizobium*

Rhizobium memiliki potensi yang sangat besar dalam memproduksi selulosa bakteri yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi. Selulosa bakteri yang dihasilkan oleh *Rhizobium* ini mampu berperan sebagai penghubung yang sangat kuat serta memberikan perlindungan yang efektif terhadap berbagai gangguan, baik dari segi kimia maupun fisik. Potensi ini menjadikan selulosa bakteri sebagai material yang sangat berguna dalam berbagai bidang teknologi dan industri (Wibowo & Isroi, 2015).

2.5.3. *Agrobacterium*

Proses produksi selulosa bakteri oleh *Agrobacterium* melibatkan sintesis selulosa yang dikatalisis oleh enzim pensintesis selulosa yang terikat pada membran sel bakteri. *Agrobacterium* dapat menghasilkan selulosa melalui proses fermentasi yang sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor fisikokimia, termasuk suhu, pH, dan konsentrasi nutrisi dalam medium fermentasi. Selulosa bakteri yang diproduksi oleh *Agrobacterium* menunjukkan potensi aplikasi yang luas di berbagai bidang. Dalam industri medis, selulosa ini dapat digunakan untuk pembuatan perban penyembuh luka, kulit buatan, dan pembuluh darah sintesis. Dalam industri, selulosa bakteri ini dapat berfungsi sebagai bahan dasar untuk berbagai produk inovatif. Selain itu, dalam industri makanan, selulosa bakteri dapat digunakan sebagai bahan pengental atau penstabil. Dengan kemampuan *Agrobacterium* untuk menghasilkan selulosa melalui fermentasi yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tertentu, potensi aplikasi selulosa bakteri ini semakin luas dan menjanjikan untuk pengembangan teknologi dan produk masa depan (Umami, 2023).

2.5.4. *Pseudomonas*

Pseudomonas adalah genus bakteri Gram-negatif yang terkenal karena kemampuannya dalam memproduksi enzim selulase. Enzim ini sangat penting karena berfungsi untuk menghidrolisis kompleks selulosa menjadi oligosakarida yang lebih kecil. *Pseudomonas*, melalui aktivitas enzim selulase yang dihasilkannya, mampu memecah struktur selulosa yang kompleks menjadi unit-unit oligosakarida yang lebih sederhana, yang kemudian dapat digunakan dalam berbagai proses biokimia dan aplikasi industri. Potensi ini membuat *Pseudomonas* menjadi subjek penting dalam penelitian yang berkaitan dengan pemanfaatan selulosa, baik dalam konteks pemrosesan biomassa, produksi bahan bakar hayati, maupun pengembangan berbagai produk berbasis selulosa lainnya (Tayubi, 2020)

Proses produksi selulosa bakterial oleh bakteri dari genus *Pseudomonas* melibatkan sintesis polisakarida polimer yang terdiri dari unit-unit glukosa yang dihubungkan oleh ikatan beta-1,4. Proses kompleks ini terjadi melalui aktivitas enzim selulase yang diproduksi oleh bakteri tersebut. Enzim selulase ini memainkan peran penting dengan menghidrolisis kompleks selulosa menjadi oligosakarida yang lebih kecil. Oligosakarida ini kemudian digunakan sebagai substrat dalam proses sintesis selulosa bakterial. Dengan memanfaatkan oligosakarida hasil hidrolisis ini, *Pseudomonas* dapat menghasilkan selulosa bakterial secara efektif, yang memiliki berbagai potensi aplikasi dalam bidang industri dan bioteknologi. Proses produksi ini menunjukkan bagaimana *Pseudomonas* dapat mengkonversi material selulosa kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana dan kemudian menyintesisnya kembali menjadi selulosa bakterial yang berguna (Nuryanti *et al.*, 2021)

2.5.5. *Sarcina*

Bakteri *Sarcina ventriculi* merupakan jenis bakteri Gram-positif yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan selulosa. Namun, efektivitas bakteri ini dalam produksi selulosa tidak sebanding dengan *Acetobacter xylinum*, yang dikenal luas sebagai bakteri paling efektif dalam menghasilkan selulosa. Meskipun *Sarcina ventriculi* memiliki potensi untuk memproduksi selulosa, kemampuan dan efisiensinya dalam hal ini masih jauh tertinggal dibandingkan dengan *Acetobacter xylinum*, yang dianggap sebagai produsen selulosa yang paling unggul dan efisien.

Oleh karena itu, *Acetobacter xylinum* sering menjadi pilihan utama dalam penelitian dan aplikasi industri yang memerlukan produksi selulosa dalam jumlah besar dan dengan kualitas tinggi (Liany *et al.*, 2022)

Sarcina ventriculi mengkonversi gula menjadi selulosa melalui proses metabolisme glukosa yang kompleks. Selulosa yang dihasilkan dari proses ini memiliki karakteristik struktural dan mekanik yang unik, menjadikannya bahan yang sangat berharga untuk berbagai aplikasi industri. Dalam industri makanan, selulosa ini dapat digunakan sebagai bahan pengental atau pengisi. Dalam bidang medis, selulosa yang dihasilkan oleh *Sarcina ventriculi* dapat dimanfaatkan untuk pembuatan perban penyembuh luka atau sebagai bahan dasar dalam pembuatan jaringan buatan. Selain itu, selulosa ini juga memiliki aplikasi potensial dalam industri plastik sebagai bahan penguat atau komposit, serta dalam industri kertas sebagai bahan aditif untuk meningkatkan kekuatan dan kualitas kertas. Dengan demikian, meskipun *Sarcina ventriculi* bukanlah penghasil selulosa yang paling efektif, selulosa yang dihasilkannya memiliki berbagai kegunaan yang signifikan dalam berbagai sektor industri (Ahmad *et al.*, 2019)

2.5.6. *Alcaligenes*

Bakteri dari genus *Alcaligenes* dikenal memiliki kemampuan untuk memproduksi selulosa bakterial (BC). Selulosa bakterial ini merupakan sebuah polimer linier yang tersusun dari molekul-molekul glukosa yang saling terikat melalui ikatan β -1,4 glikosidik dan memiliki berat molekul yang tinggi. Selain *Alcaligenes*, ada beberapa genus bakteri lainnya yang juga mampu menghasilkan selulosa, seperti *Acetobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, dan *Sarcina*. Masing-masing bakteri ini memiliki mekanisme dan kondisi spesifik yang mendukung proses produksi selulosa, yang merupakan komponen penting dalam berbagai aplikasi bioteknologi dan industri (Rudiansyah *et al.*, 2017).

2.5.7. *Salmonella*

Bakteri dari genus *Salmonella* diketahui memiliki kemampuan untuk memproduksi selulosa bakterial. Salah satu spesies yang menonjol dalam hal ini adalah *Salmonella typhimurium*, yang telah terbukti mampu menghasilkan enzim selulase, enzim yang berperan penting dalam proses sintesis selulosa. Selain *Salmonella*, ada juga beberapa bakteri lain yang termasuk dalam kelompok bakteri

Gram-negatif yang memiliki kemampuan serupa dalam memproduksi selulosa. Contoh-contoh bakteri tersebut mencakup berbagai genus seperti *Acetobacter*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, dan *Alcaligenes*. Masing-masing genus ini memiliki mekanisme tersendiri yang memungkinkan mereka memproduksi selulosa, yang merupakan polimer penting dengan berbagai aplikasi industri dan bioteknologi (Rahman, 2020).

2.6. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Biosintesis Selulosa Bakteri

Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi selulosa oleh bakteri dapat dikategorikan menjadi dua kelompok utama, yaitu faktor strain dan faktor lingkungan. Faktor strain mencakup jenis dan karakteristik genetik dari bakteri yang digunakan dalam proses produksi selulosa, sementara itu, faktor lingkungan terbagi menjadi dua subkategori, yaitu faktor fisikawi dan faktor kimiawi (Umami, 2023).

Faktor fisikawi mencakup kondisi-kondisi fisik yang mempengaruhi lingkungan tempat bakteri tumbuh dan memproduksi selulosa. Dua faktor fisikawi yang sangat penting adalah agitasi dan temperatur. Agitasi mengacu pada pengadukan atau pencampuran medium fermentasi yang membantu dalam distribusi substrat dan oksigen secara merata, serta mencegah terbentuknya lapisan-lapisan yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Temperatur, di sisi lain, berkaitan dengan suhu lingkungan di mana bakteri berkembang. Suhu yang tepat sangat penting untuk aktivitas enzimatik dan metabolisme bakteri, sehingga mempengaruhi efisiensi produksi selulosa (Umami, 2023).

Faktor kimiawi melibatkan komposisi kimia dari medium fermentasi yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri dan produksi selulosa. Faktor kimiawi ini mencakup pH, sumber karbon, dan sumber nitrogen. pH merupakan tingkat keasaman atau kebasaan medium, yang sangat mempengaruhi aktivitas enzim dan metabolisme bakteri. Sumber karbon adalah bahan baku utama yang digunakan bakteri sebagai energi dan bahan dasar untuk sintesis selulosa. Sumber karbon yang umum digunakan termasuk glukosa, sukrosa, atau lignoselulosa. Sumber nitrogen, yang bisa berupa senyawa organik atau anorganik, diperlukan untuk sintesis protein dan asam nukleat, yang mendukung pertumbuhan dan aktivitas bakteri. Beberapa

faktor utama yang mempengaruhi proses fermentasi selulosa oleh bakteri antara lain:

2.6.1. Faktor Agitasi (Pengadukan atau Pencampuran)

Agitasi adalah salah satu faktor fisik yang memiliki kemampuan untuk mempengaruhi produksi selulosa. Hal ini disebabkan oleh efek agitasi terhadap kelarutan oksigen dalam medium fermentasi. Dengan kata lain, ketika medium fermentasi diaduk atau digoyang, kelarutan oksigen dalam medium tersebut meningkat. Peningkatan kelarutan oksigen ini sangat penting karena oksigen adalah komponen vital dalam proses fermentasi yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk memproduksi selulosa. Oleh karena itu, intensitas dan keefektifan agitasi dapat berdampak signifikan pada efisiensi dan hasil akhir dari produksi selulosa dalam proses fermentasi tersebut (Umami, 2023).

2.6.2. Faktor Temperatur

Temperatur adalah salah satu parameter yang memiliki peranan sangat penting dalam mempengaruhi baik pertumbuhan maupun produksi selulosa. Suhu yang sesuai dapat meningkatkan laju metabolisme mikroorganisme yang terlibat dalam proses fermentasi, sehingga memungkinkan mereka untuk berkembang biak dan memproduksi selulosa dengan lebih efisien. Sebaliknya, suhu yang tidak tepat dapat menghambat aktivitas mikroorganisme, mengurangi laju pertumbuhan mereka, dan secara signifikan menurunkan produksi selulosa. Oleh karena itu, pemantauan dan pengaturan temperatur yang optimal menjadi krusial dalam memastikan keberhasilan dan efisiensi produksi selulosa dalam proses fermentasi tersebut (Umami, 2023).

2.6.3. Faktor Strain (Jenis Bakteri)

Salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi produksi selulosa adalah jenis strain bakteri yang digunakan dalam proses fermentasi. Strain bakteri yang berbeda memiliki kemampuan yang bervariasi dalam menghasilkan selulosa. Dengan menggunakan strain bakteri yang tepat, efisiensi produksi selulosa dapat ditingkatkan secara signifikan. Strain bakteri yang memiliki kapasitas tinggi dalam memproduksi selulosa akan memberikan hasil yang lebih optimal dalam proses fermentasi. Oleh karena itu, pemilihan strain bakteri yang sesuai merupakan

langkah krusial untuk mencapai tingkat produksi selulosa yang maksimal dalam proses fermentasi (Umami, 2023).

2.6.4. Sumber Nitrogen

Nitrogen adalah salah satu komponen utama yang terdapat dalam protein, dan protein ini sangat diperlukan dalam berbagai proses metabolisme sel. Hal ini dapat dibuktikan melalui berbagai penelitian yang telah dilakukan untuk menilai pengaruh dari berbagai macam sumber nitrogen terhadap produksi selulosa. Dari hasil penelitian tersebut, terlihat dengan jelas bahwa nitrogen memainkan peran krusial dalam mendukung metabolisme sel, yang pada gilirannya mempengaruhi kemampuan sel untuk memproduksi selulosa. Dengan demikian, pemahaman tentang sumber nitrogen yang tepat dapat membantu mengoptimalkan produksi selulosa dalam proses fermentasi (Umami, 2023).

Nitrogen merupakan komponen utama dari protein, yang jumlahnya berkisar antara 8-14% dari berat kering sel. Sumber nitrogen yang digunakan dalam medium kultur untuk pertumbuhan bakteri dapat berasal dari berbagai senyawa, seperti pepton, ammonium nitrat, ammonium sulfat, ammonium klorida, dan ekstrak ragi. Pepton berfungsi sebagai sumber nitrogen organik yang kompleks, sementara ammonium nitrat, ammonium sulfat, dan ammonium klorida menyediakan nitrogen anorganik yang dapat dengan mudah diasimilasi oleh bakteri. Ekstrak ragi, selain menyediakan nitrogen, juga mengandung berbagai vitamin dan mineral yang mendukung pertumbuhan bakteri secara keseluruhan. Dengan demikian, kombinasi berbagai sumber nitrogen ini dapat membantu memastikan bahwa bakteri memperoleh nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan optimal dan produksi selulosa yang efisien (Rangaswamy., 2015).

Dari hasil penelitian Alfarisi.(2021) dengan judul “Pembuatan nata de cassava dari limbah cair tapioka dengan menggunakan sumber nitrogen alami yang berbeda”. Menunjukkan bahwa, fermentasi air limbah pati tapioka dikembangkan dengan menggunakan sumber nitrogen alami yang berasal dari ekstrak kedelai dan tauge kacang hijau. Nata dihasilkan melalui proses pengolahan dengan berbagai konsentrasi ekstrak kedelai dan tauge, yaitu 3%, 4%, dan 5%, serta dengan variasi durasi fermentasi selama 6, 7, 8, 9, dan 10 hari. Karakteristik produk nata dievaluasi berdasarkan ketebalan dan rendemennya. Untuk menguji hasil optimal produk nata

dari limbah singkong, ketebalan, rendemen, dan kadar air diukur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ekstrak kecambah kedelai dengan konsentrasi 5% sebagai sumber nitrogen alami dan waktu fermentasi selama 10 hari memberikan hasil terbaik, dengan ketebalan nata mencapai 0,55 cm, kadar air sebesar 97,58%, dan rendemen sebesar 63,09%.

2.6.5. Sumber Karbon

Selain faktor fisik, terdapat juga faktor kimia yang berpengaruh signifikan terhadap produksi selulosa, yaitu sumber karbon dan pH. Sumber karbon merupakan elemen penting dalam proses ini, di mana glukosa dan sukrosa adalah dua jenis sumber karbon yang paling umum digunakan dalam produksi selulosa. Meskipun begitu, ada berbagai jenis sumber karbon lainnya yang juga bisa digunakan dalam proses produksi ini. Selain itu, pH medium juga memainkan peran vital dalam mengatur kondisi lingkungan fermentasi untuk memastikan mikroorganisme dapat berfungsi secara optimal dalam memproduksi selulosa. Dengan demikian, pemilihan sumber karbon yang tepat serta pengaturan pH yang optimal adalah dua aspek penting yang harus diperhatikan dalam upaya meningkatkan produksi selulosa (Umami, 2023).

Efek dari konsentrasi glukosa awal dalam medium fermentasi sangat penting, karena konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menurunkan produksi selulosa. Hal ini disebabkan oleh pembentukan asam glukonat sebagai produk sampingan. Ketika konsentrasi glukosa awal dalam medium fermentasi meningkat, produksi selulosa cenderung menurun. Selama proses sintesis selulosa oleh bakteri, glukosa berfungsi sebagai sumber energi dan prekursor dalam pembentukan selulosa. Namun, ketika konsentrasi gula dalam medium terlalu tinggi, glukosa diubah oleh enzim *Acetobacter dehidrogenase* yang berada di membran sel menjadi asam glukonat. Akumulasi asam glukonat ini menghambat produksi selulosa, sehingga pengendalian konsentrasi glukosa awal menjadi sangat penting untuk mencapai hasil produksi selulosa yang optimal (Zahan *et al.*, 2014).

2.6.6. Keasaman Media (pH)

pH optimum untuk produksi selulosa oleh bakteri berada dalam rentang skala 4 hingga 6. Namun, ketika pH turun ke angka 4, produksi selulosa akan mengalami penurunan. Tingkat keasaman media atau pH dalam medium fermentasi memiliki

pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan strain bakteri. Pengaruh ini terutama terlihat dalam proses sintesis enzim dan pembelahan sel. Oleh karena itu, penurunan pH yang terjadi dapat mengurangi aktivitas bakteri *Gluconacetobacter xylinus* dalam mensintesis selulosa. Kondisi ini juga akan berdampak pada produksi selulosa secara keseluruhan karena pembentukan enzim-enzim yang berkaitan dengan produksi selulosa menjadi terhambat. Dengan demikian, menjaga pH medium fermentasi dalam rentang yang optimal adalah hal yang sangat penting untuk memastikan bakteri dapat berfungsi dengan baik dalam menghasilkan selulosa (Umami, 2023).

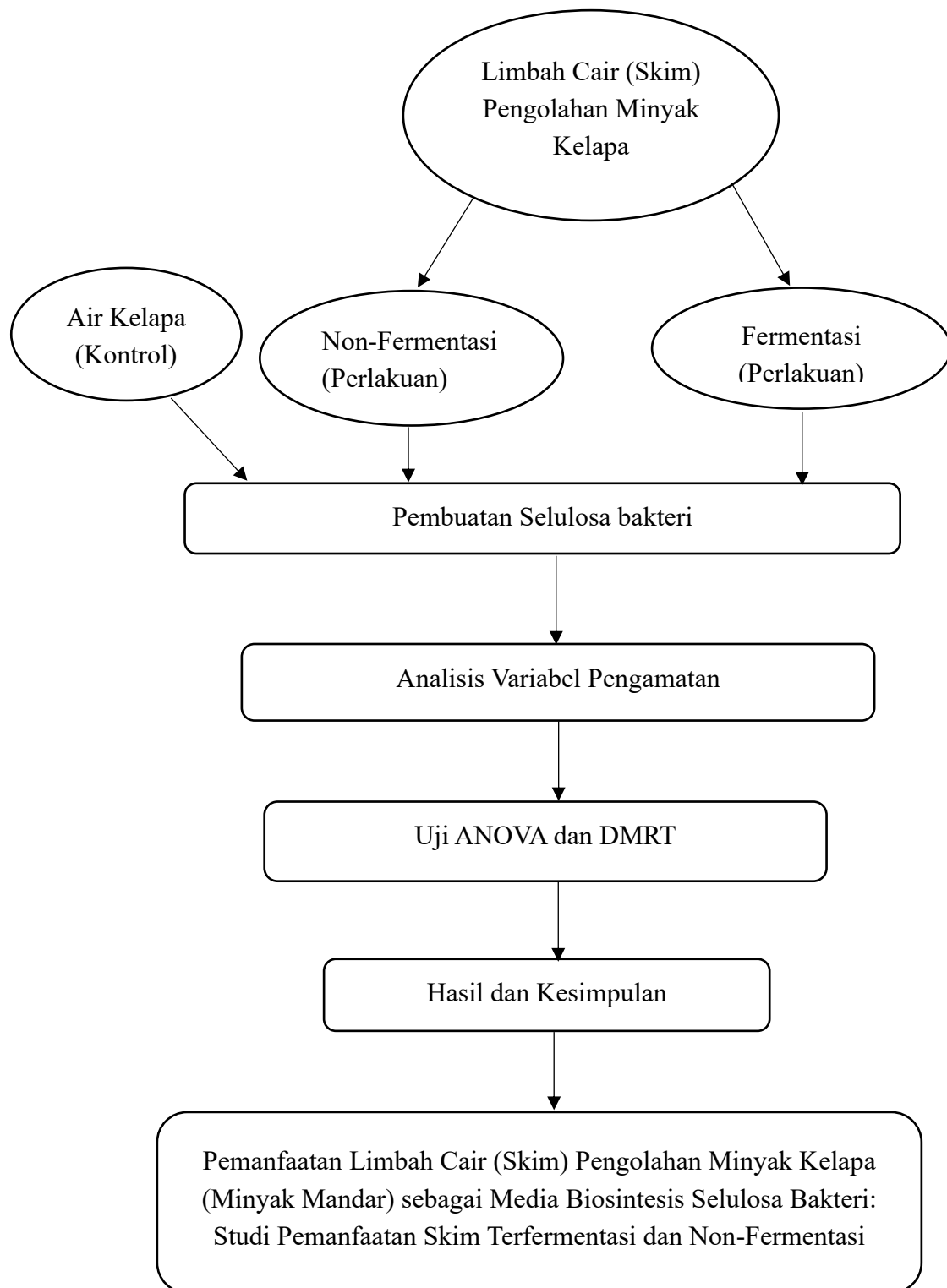
pH optimum medium kultur untuk produksi selulosa bakteri berada dalam rentang pH antara 4.0 hingga 6.0. Jika pH medium berada di bawah 4, produksi selulosa akan mengalami penurunan yang signifikan. Penurunan pH selama proses fermentasi disebabkan oleh akumulasi asam-asam organik seperti asam glukonat atau asam laktat di dalam cairan kultur. Oleh karena itu, pengontrolan pH menjadi sangat penting, terutama dalam kondisi kultur statis, untuk memastikan bahwa pH tetap berada dalam rentang optimal. Dengan demikian, monitoring dan penyesuaian pH secara teratur diperlukan untuk mendukung efisiensi produksi selulosa bakteri yang maksimal (Sholih, 2022). Temperatur memiliki pengaruh utama terhadap struktur kristal dan morfologi dari selulosa bakteri yang dihasilkan. Suhu selama proses produksi dapat mempengaruhi tingkat kristalinitas dan bentuk fisik dari selulosa bakteri, sehingga pengendalian suhu menjadi faktor kritis dalam menentukan karakteristik akhir produk. Dengan menjaga temperatur pada tingkat yang optimal, struktur kristal dan morfologi selulosa bakteri dapat diatur untuk memenuhi spesifikasi yang diinginkan untuk berbagai aplikasi industri (Rangaswamy, 2015).

Dari hasil penelitian Rahmayetty & Sulaiman, 2023. Air limbah industri pati arenga sebagai potensial media produksi selulosa bakteri dan selulosa asetat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memanfaatkan limbah Pati Aren (WWAS) sebagai media dalam produksi selulosa bakteri (BC) dan selulosa asetat (CA). Penelitian ini mencakup produksi BC melalui proses fermentasi dan produksi CA melalui proses asetilasi. Fermentasi dilakukan dalam kondisi batch statis dengan berbagai pH awal serta penambahan sukrosa, sedangkan asetilasi dilakukan dengan

berbagai rasio BC-asetat anhidrida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi BC maksimum sebesar 505,6 g/L media budidaya diperoleh pada kondisi optimal dengan penambahan sukrosa sebanyak 200 g/L, pH media awal 4,5, dan waktu budidaya selama 14 hari. Selanjutnya, rasio BC-asetat anhidrida 1:3 menghasilkan CA yang cocok sebagai bahan baku biofilm dengan rendemen 81,49%, kandungan asetil 39,82%, derajat substitusi 2,456, dan derajat kristalinitas 36,7%. Analisis menggunakan FT-IR, ¹H dan ¹³C NMR, XRD, serta SEM mengkonfirmasi keberhasilan proses asetilasi BC menjadi CA.

2.7. Kerangka Pemikiran

Penelitian dimulai dengan meninjau masalah-masalah terkait dengan limbah cair skim pengolahan minyak kelapa untuk dijadikan produk alternatif yang dapat menjadi salah satu solusi terhadap potensi pencemaran lingkungan di sekitar industri. Penelitian ini berjudul “Pemanfaatan Limbah Cair (Skim) Pengolahan Minyak Kelapa (Minyak Mandar) sebagai Media Fermentasi Selulosa Bakteri: Studi Pemanfaatan Skim Terfermentasi dan Non-Fermentasi”, diharapkan dapat memberikan informasi dan menjadi salah satu alternatif pemecahan masalah terkait limbah industri yang meresahkan guna menghindari kerusakan terhadap lingkungan.



Gambar 2.4. Kerangka Pemikiran Pemanfaatan Limbah Cair (Skim) untuk Pembuatan Selulosa Bakteri

2.8. Hipotesis Penelitian

1. Diduga dengan penggunaan media limbah cair skim pengolahan minyak kelapa terfermentasi sebagai media fermentasi dapat dihasilkan selulosa bakteri yang lebih baik, dengan jumlah rendemen yang lebih tinggi
2. Diduga dengan menggunakan starter *Acetobacter xylinum* dengan konsentrasi 10% dapat dihasilkan selososa bakteri dengan kualitas terbaik, dengan jumlah rendemen yang lebih tinggi

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan limbah cair skim pengolahan minyak kelapa yang telah mengalami proses fermentasi terbukti menjadi media yang paling optimal untuk mendukung pertumbuhan *Acetobacter xylinum* dalam menghasilkan selulosa bakteri. Hal ini dibuktikan dengan tingginya nilai ketebalan dan kadar serat yang diperoleh dibandingkan dengan kedua media lainnya. Media ini memberikan kondisi yang lebih baik dalam mendukung proses fermentasi, sehingga menghasilkan selulosa dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan media lainnya.

Variasi konsentrasi starter *Acetobacter xylinum* yang digunakan dalam proses fermentasi selulosa bakteri pada berbagai jenis media, yaitu air kelapa sebagai kontrol serta limbah cair skim pengolahan minyak kelapa baik yang telah melalui proses fermentasi maupun yang belum, memberikan perbedaan yang signifikan terhadap beberapa parameter utama. Perbedaan konsentrasi starter ini terbukti berpengaruh nyata terhadap ketebalan serta rendemen selulosa bakteri yang dihasilkan. Selain itu, variasi media fermentasi juga berdampak secara signifikan terhadap kadar air dan kandungan serat kasar pada selulosa bakteri yang terbentuk.

Konsentrasi starter *Acetobacter xylinum* yang paling optimal dalam produksi selulosa bakteri pada media limbah cair skim fermentasi ditemukan pada konsentrasi starter sebesar 10%. Pada konsentrasi ini, diperoleh rata-rata rendemen selulosa bakteri sebesar 34,29%, dengan ketebalan mencapai 15,03%. Selain itu, kadar air yang terkandung dalam selulosa bakteri pada kondisi ini mencapai 83,79%, sementara kandungan serat kasarnya tercatat sebesar 13,66%. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi starter 10% pada media limbah cair skim fermentasi memberikan hasil yang paling baik dalam menghasilkan selulosa bakteri dengan keseimbangan optimal antara rendemen, ketebalan, kadar air, serta kandungan serat kasar.

Efektifitas fermentasi limbah cair skim pengolahan minyak kelapa untuk menghasilkan selulosa bakteri dipengaruhi oleh jenis media, konsentrasi starter, pH, suhu, kontaminasi, dan waktu fermentasi.

5.2. Saran

Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan menambahkan atau memodifikasi komponen nutrisi dalam media fermentasi, seperti variasi sumber karbon atau nitrogen, guna meningkatkan produktivitas dan kualitas selulosa bakteri yang dihasilkan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan analisis organoleptik nata secara lebih mendalam, terutama terkait tekstur, warna, aroma, dan rasa. Selain itu, uji hedonik dengan panelis dapat dilakukan untuk menilai penerimaan konsumen terhadap rasa dan tekstur nata dari berbagai media fermentasi. Studi lebih lanjut juga dapat mengeksplorasi stabilitas organoleptik selama penyimpanan serta membandingkan nata hasil penelitian dengan produk komersial guna mengetahui daya saingnya. Inovasi produk berbasis nata, seperti penambahan perasa alami atau pewarna alami, juga dapat dikembangkan untuk meningkatkan daya tarik dan nilai jual produk.

Penelitian selanjutnya dapat diarahkan untuk mengembangkan berbagai aplikasi selulosa bakteri dari limbah cair skim pengolahan minyak kelapa, seperti dalam industri pangan, farmasi, tekstil, atau bioplastik, sehingga hasil penelitian ini memiliki nilai tambah dan manfaat yang lebih luas.

Penelitian selanjutnya dapat berfokus pada cairan hasil fermentasi perlu dianalisis nilai kadar COD dan BOD untuk melihat dampak lingkungan, apakah sudah aman untuk dibuang ke lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, SW., Yanti, NA., & Muhiddin, NH. (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.
- Alfarisi, CD., Yelmida, Zahrina, I., & Mutamima, A. (2021). Pembuatan Nata de cassava dari Limbah Cair Tapioka dengan Menggunakan Sumber Nitrogen Alami yang Berbeda. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 17(2), 93–100. <https://doi.org/10.31849/jip.v17i2.6208>
- Alwi, M., Lindhemuthianingrum, A., & Umrah. (2011). Formulasi Media Tumbuh *Acetobacter xylinum* Dari Bahan Limbah Cair Tempe dan Air Kelapa Untuk Produksi Nata De Soyacoco. *Jurnal Biocelbes*, 5(2), 126–132.
- Amiarsi, D., Abdullah, BA., Agus, B., & Wahyu, D. (2015). Analisis Parametrik dan Non Parametrik Pengaruh Konsentrasi Sukrosa Dan Amonium Sulfat Terhadap Mutu Nata de Melon. *Informatika Pertanian*, 24(1), 101. <https://doi.org/10.21082/ip.v24n1.2015.p101-108>
- Andaka, G., & Arumsari, S. (2016). Pengambilan Minyak Kelapa dengan Metode Fermentasi Menggunakan Ragi Roti. *Jurnal Teknik Kimia*, 10(2), 65–70.
- Andasuryani, Kasim, A., & Derosya, V. (2021). Analysis of Proximate and Mechanical Characteristics of Nata de Coco of Three Types Coconut Fermentation Media. *Annals of Agri Bio Research*, 26(1), 85–89.
- Arpi, N. (2013). Profil Medium Chain Fatty Acids (MCFA) dan Sifat Kimia Minyak kelapa (Virgin Coconut Oil/VCO, Minyak Simplah, Pliek U, Klentik, dan Kopra) Dibandingkan dengan Minyak Sawit. *Sagu*, 12(2), 23–31.
- Arsyadi, A. (2018). Konsentrasi Inokulum *Acetobacter Xylinum* dalam Poduksi Nata de Coco. *Technical Report*, (January), 0–11.
- Aswini, K., Gopal, NO., & Uthandi, S. (2020). Optimized Culture Conditions for Bacterial Cellulose Production By *Acetobacter Senegalensis* MA1. *BMC Biotechnology*, 20(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12896-020-00639-6>
- Azzahro, HU., Indrasti, NS., & Ismayana, A. (2022). Penerapan Produksi Bersih pada Industri Kelapa Sawit Di Pt Yz. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 32(1), 1–11. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2022.32.1.1>
- Barshan, S., Rezazadeh-Bari, M., Almasi, H., & Amiri, S. (2019). Optimization and Characterization of Bacterial Cellulose Produced by *Komagatacibacter xylinus* PTCC 1734 Using Vinasse as a Cheap Cultivation Medium. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.192>
- Baroň, M., & Bábíková, P. (2011). Saturated higher Fatty Acids as a Means of Inhibiting Alcoholic Fermentation and Sulphur Dioxide Reduction in Wine. *Mitteilungen Klosterneuburg*, 61(3), 158–165.
- Biosynthesis and recent advances in production of bacterial cellulose. (2014). <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.017>
- BPS Provinsi Sulawesi Barat. (2024). *Provinsi Sulawesi Barat dalam Angka* (Vol. 20). Mamuju. Retrieved from <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080>

/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/

- Budiarti, RS. (2012). Pengaruh Konsentrasi Starter *Acetobacter xylinum* Terhadap Ketebalan dan Rendemen Selulosa Nata de Soya. *Biospecies*, 1(1). <https://doi.org/10.22437/biospecies.v1i1.279>
- Capucho, I., & Romão, MVS. (1994). Effect of Ethanol and Fatty Acids on Malolactic Activity of *Leuconostoc Oenos*. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00902747>
- Chao, Y., Sugano, Y., & Shoda, M. (2001). Bacterial Cellulose Production Under Oxygen-enriched Air at Different Fructose Concentrations in a 50-liter, Internal-loop Airlift Reactor. <https://doi.org/10.1007/s002530000503>
- Chunshom, N., Chuysinuan, P., Techasakul, S., & Ummartyotin, S. (2018). Dried-state bacterial cellulose (*Acetobacter xylinum*) and polyvinyl-alcohol-based hydrogel: An approach to a personal care material. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 3(3), 296–302. <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2018.06.004>
- Daroini, TA., & Arisandi, A. (2020). Analisis BOD (Biological oxygen Demand) di Perairan Desa Prancak Kecamatan Sepulu, Bangkalan. *Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 1(4), 558–556.
- Desens, C., & Lonvaud-Funel, A. (1988). Etude de la Constitution Lipidique des Membranes de Bactéries Lactiques Utilisées n Vinification. <https://doi.org/https://doi.org/10.20870/oeno-one.1988.22.1.1253>
- Donini, ÍAN., de Salvi, DTB., Fukumoto, FK., Lustri, WR., Barud, HS., Marchetto, R., Ribeiro, SJL. (2010). Biosynthesis and Recent Advances in Production of Bacterial cellulose. *Ecletica Quimica*, 35(4), 165–178. <https://doi.org/10.26850/1678-4618EQJ.V35.4.2010.P165-178>
- Dr. Rahmayetty, ST., M., Nufus Kanani, ST., ME., Alamsyah, Toha, M., & Witri, PS. (2021). *Pemanfaatan Limbah Cair Industri Tepung Aren Sebagai Media Fermentasi dalam Sintesis Selulosa Bakteri (Nata De Arenga)*. Universitas Sultan Agung Tirtayasa.
- Dwi Juwita. (2019). Pengaruh Konsentrasi Starter *Acetobacter xylinum* Waktu Fermentasi terhadap Sifat Fisik dan Kimia Nata de Pina. Universitas Medan Area.
- El-Gendi, H., Taha, TH., Ray, JB., & Saleh, AK. (2022). Recent advances in bacterial cellulose: a low-cost effective production media, optimization strategies and applications. In *Cellulose* (Vol. 29). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04697-1>
- Eni, NN. S., Sukenti, K., Muspiah, A., & Rohyani, IS. (2019). Studi Etnobotani Tumbuhan Obat Masyarakat Komunitas Hindu Desa Jagaraga, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat. *Biotropika: Journal of Tropical Biology* |, 7(3), 121–128. <https://doi.org/10.21776/ub.biotropika.2019.007.03.5>
- Erawan, TS., Nofia, AS., & Iskandar, J. (2018). Etnobotani tanaman kelapa di Desa Karangwangi, Cianjur, Jawa Barat. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, 4(2), 163–168. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m040211>
- Fauzana, N., Pertiwi, AA., & Ilmiyah, N. (2021). Etnobotani Kelapa (*Cocos nucifera* L.) di Desa Sungai Kupang Kecamatan Kandangan Kabupaten Hulu

- Sungai Selatan. *Al Kawnu : Science and Local Wisdom Journal*, 1(1), 45–56.
<https://doi.org/10.18592/ak.v1i1.5073>
- Fifendy, M., Dwi, HP., & Shinta, SM. (2011). Pengaruh Penambahan Tauge Sebagai Sumber Nitrogen terhadap Mutu Nata de Kakao. *Saintek*, 3(2), 165–170.
- Gayathry, G. (2015). Production of Nata de Coco - a Natural Dietary Fibre Product from Mature Coconut Water using *Gluconacetobacter xylinum* (sju-1). *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 5(2), 231.
<https://doi.org/10.5958/2277-9396.2016.00006.4>
- Hansang, DIC., Tooy, D., & Ludong, DPM. (2022). Kajian Proses Produksi Minyak Kelapa Dengan Menggunakan Alat Dan Mesin Pengolahan Kelapa Skala Industri Kecil. *Jurnal Unsrat*, 1(1), 1–9.
- Hasani, A. (2007). Pengaruh Perbedaan Konsentrasi *Acetobacter xylinum* (v/v) terhadap Kualitas Nata de Seaweed dari Limbah Perebusan Semi Refined Carrageenan *Eucheuma cottonii*. Universitas Brawijaya.
- Ida, Nu. (2013). *Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Pada Proses Pengolahan Anaerob dan Aerob*. 13(4), 67–73.
- Irawan, S., Tampubolon, K., Karim, A., Musri S, MA., Suhelmi, S., & Sitepu, E. (2022). Kesuburan Tanaman dengan Menggunakan Urine Kelinci dengan Penambahan Air Kelapa dan Pribiotik Em 4 dengan Minuman Yakult dengan Cara Fermentasi. *Journal Liaison Academia and Society*, 2(4), 63–83.
<https://doi.org/10.58939/j-las.v2i4.430>
- Jamsheera, CP., & Pradeep, BV. (2021). Production of Bacterial Cellulose from *Acetobacter* Species and its Applications - A review. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 15(2), 544–555.
<https://doi.org/10.22207/JPAM.15.2.48>
- Jumiati, J. (2019). Manfaat dan Pengaruh Inokulasi Bakteri *Rhizobium* sp dalam Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.). *J. Agrotek.Trop*, 8(2), 105–108.
- Khoramnia, A., Ebrahimpour, A., Ghanbari, R., Ajdari, Z., & Lai, O.-M. (n.d.). Improvement of Medium Chain Fatty Acid Content and Antimicrobial Activity of Coconut Oil Via Solid-State Fermentation Using a Malaysian *Geotrichum Candidum*. <https://doi.org/10.1155/2013/954542>
- Lee, J., An, HE., Lee, KH., Kim, S., Park, C., Kim, CB., & Yoo, HY. (2024). Identification of *Gluconacetobacter xylinus* LYP25 and application to bacterial cellulose production in biomass hydrolysate with acetic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 261(1), 129597.
<https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.129597>
- Leksikowati, SS., Oktaviani, I., Ariyanti, Y., Akhmad, AD., & Rahayu, Y. (2020). Etnobotani Tumbuhan Obat Masyarakat Lokal Suku Lampung di Kabupaten Lampung Barat. *Jurnal Biologica Samudra*, 2(1), 35–53.
- Liany, SA., Putri, A., Syfira, W., & Khasanah, AU. (2022). Karakteristik Fisik Substrat Bacterial cellulose pada Sumber Nitrogen yang berbeda. *Tropical Bioscience: Journal of Biological Science*, 2(1), 19–26.
<https://doi.org/10.32678/tropicalbiosci.v2i1.5998>
- Limbad, M., Gutierrez-Maddox, N., Hamid, N., Kantono, K., Liu, T., & Young, T.

- (2023). Microbial and Chemical Changes During Fermentation of Coconut Water Kefir Beverage. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/app13127257>
- Lusi, ., Periadnadi, ., & Nurmianti, . (2017). Pengaruh Dosis Gula Dan Penambahan Ekstrak Teh Hitam Terhadap Fermentasi Dan Produksi Nata De Coco. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*, 4(1), 126. <https://doi.org/10.24843/metamorfosa.2017.v04.i01.p19>
- Macías-Almazán, A., Lois-Correa, JA., Domínguez-Crespo, MA., López-Oyama, AB., Torres-Huerta, AM., Brachetti-Sibaja, SB., & Rodríguez-Salazar, AE. (2020). Influence of Operating Conditions On Proton Conductivity Of Nanocellulose Films Using Two Agroindustrial Wastes: Sugarcane bagasse and Pinewood sawdust. *Carbohydrate Polymers*, 238, 116171. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2020.116171>
- Marlina, Wijayanti, D., Yudiastari, IP., & Safitri, L. (2017). Pembuatan Virgin coconut oil dari Kelapa Hibrida Menggunakan Metode Penggaraman dengan NaCl dan Garam Dapur. *Jurnal Chemurgy*, 1(2), 7–12. <https://doi.org/10.2207/jjws.91.328>
- Maulani, TR., Hakiki, DN., & Nursuciyoni, N. (2018). Karakteristik Sifat Fisikokimia Nata de Taro Talas Beneng Dengan Perbedaan Konsentrasi Acetobacter Xylinum Dan Sumber Karbon. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 28(3), 295–300. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2018.28.3.296>
- Maulida Nurdin, G., Nurhidayah, & Aminah. (2023). Pengaruh Konsentrasi Starter Acetobacter xylinum dan Lama Fermentasi Terhadap Kualitas Produk Nata de Coco. *Bioma*, 5(2), 116–125.
- Modjo, AS., Bait, Y., & Balu, M. (2024). Teknologi Pengolahan Nata de coco di PT. Tropica Nucifera Industry Yogyakarta. *Jambura Journal Of Food Technology (JJFT)*, 6(1).
- Mu'nisa, AE., & Aarsal, AF. (2014). Pengaruh Pemberian Minyak Mandar yang Ditambahkan Bubuk Daun Sukun (*Arthocarpus altilis*) terhadap Kadar Kolesterol Mencit (*Mus musculus*). *Jurnal Bionature*, 15(2), 90–96.
- Musmawati, Irmayani, & Ambar, AA. (2021). Introduksi Nilai-Nilai Lokal pada Pemasaran Minyak Kelapa Khas Mandar. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 21(2), 236–244. <https://doi.org/10.35965/eco.v21i2.1072>
- Nuraeni, R. (2018). Analisis Biaya Produksi terhadap Pembuatan Minyak Goreng Di Dusun Talolo kabupaten Polewali Mandar. *Jepa*, 1(1), 29–39.
- Nurdyansyah, F., & Widyastuti, DA. (2017). Pengolahan Limbah Air Kelapa menjadi Nata de Coco oleh Ibu Kelompok Tani di Kabupaten Kudus. *Jurnal Kewirausahaan Dan Bisnis*, 21(XI), 22–30. <https://doi.org/10.20961/jkb.v21i11.20900>
- Nurfajriani, N., Pulungan, AN., Yusuf, M., & Bukit, N. (2021). Preparation and Characterization of Bacterial Cellulose From Culturation of Acetobacter Xylinum In Coconut Water Media. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1811/1/012070>
- Nursyam, Marhawati, M., & Alam, MN. (2013). Analisis Titik Pulang Pokok Usaha Virgin coconut Oil (VCO) pada Ukm Pengais Jaya di Desa Ampibabo

- Kecamatan Ampibabo Kabupaten Parigi Moutong. *Agrotekbis*, 1(4), 384–390.
- Nuryanti, S., Fitriana, & Pratiwi, AR. (2021). Karakterisasi Isolat Bakteri Penghasil Selulosa Dari Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*). *Jurnal Ilmiah As-Syifaa*, 13(1), 71–79. <https://doi.org/10.33096/jifa.v13i1.768>
- Panjaitan, JRH., & Wibowo, A. (2022). Pengaruh Variasi Sumber Nitrogen pada Produksi Selulosa Bakteri dari Limbah Kulit Pisang. *Journal of Chemical Process Engineering*, 7(2), 103–108. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v7i2.1223>
- Pato, Y., Usman, J., & Vonny, S. (2012). Tampilan Petugas: Pengaruh Pemberian Beberapa Jenis Gula Dan Sumber Nitrogen Terhadap Produksi Nata De Pina. Retrieved February 24, 2025, from Jurnal Sagu website: <https://onsearch.id/Record/IOS1386.article-699/Details>
- Paulus, P. (2023). *Proporsi antara Limbah Cair Tahu dan Air Kelapa terhadap Karakteristik Nata de Coco* (Vol. 13). Universitas Tribhuwana tunggadewi.
- Pemerintah Provinsi Sulawesi Barat Dinas Perkebunan Daerah. (2023). *Data profil unit pengolahan hasil tanaman perkebunan*. Mamuju: Bidang Pengolahan dan Pemasaran Hasil Perkebunan.
- Pour, HR., Mirghaffari, N., Marzban, M., & Marzban, A. (2014). Determination of Biochemical oxygen Demand (BOD) Without Nitrification and Mineral oxidant Bacteria Interferences by Carbonate Turbidimetry. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 5(5), 90–95.
- Probowati, W., & Mu'awanah, AU. (2021). Pelatihan Pembuatan Nata de coco di Perkebunan Kelapa Desa Margomulyo Kecamatan Seyegan Kabupaten Sleman. *Jurnal Pengabdian Masyarakat MIPA Dan Pendidikan MIPA*, 5(1), 8–14. <https://doi.org/10.21831/jpmpm.v5i1.28419>
- Putri, SNY., Syaharani, WF., Utami, CVB., Safitri, DR., Arum, ZN., Prihastari, Z. S., & Sari, AR. (2021). Pengaruh Mikroorganisme, Bahan Baku, Dan Waktu Inkubasi Pada Karakter Nata: Review. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 14(1), 62–74. <https://doi.org/10.20961/jthp.v14i1.47654>
- Putriana, I., & Aminah, S. (2013). Mutu Fisik, Kadar Serat dan Sifat Organoleptik Nata de Cassava Berdasarkan Lama Fermentasi. *Jurnal Pangan Dan Gizi*, 04, 29–38.
- Rahman, MA., Kandatong, H., & Haeruddin. (2022). Prospek Pengembangan Usaha Minyak Goreng Kelapa Polewali Mandar. *Jurnal Agroterpadu*, 1(1), 35–41. <https://doi.org/10.35329/ja.v1i1.2819>
- Rahman, MAW. (2020). *Bakteri Penghasil Enzim Selolase yang Bersosiasi pada Saluran Cerna Hewan Invertebrata dan Faktor-Faktor Produksi Enzim : Review*. Universitas Airlangga.
- Rahman, SSA., Vaishnavi, T., Vidyasri, GS., Sathya, K., Priyanka, P., Venkatachalam, P., & Karuppiyah, S. (2021). Production of Bacterial Cellulose Using *Gluconacetobacter Kombuchae* Immobilized on Luffa Aegyptiaca Support. *Scientific Reports*, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82596-4>
- Rahmawati, Chadijah, & Ilyas, A. (2013). Analisa Penurunan Kadar COD dan BOD Limbah Cair Laboratorium Biokimia UIN Makassar Menggunakan Fly Ash (Abu Terbang) Batubara. *Al-Kimia*, 1(1), 64–75. <https://doi.org/https://doi.org/10.24252/al-kimia.v1i1.1622>

- Rahmayetty, B., Toha, M., & Kanani, N. (2023). Proceedings of the 2nd International Conference for Smart Agriculture, Food, and Environment (ICSAFE 2021). In *Proceedings of the 2nd International Conference for Smart Agriculture, Food, and Environment (ICSAFE 2021)* (Vol. 1). Atlantis Press International BV. <https://doi.org/10.2991/978-94-6463-090-9>
- Rahmayetty, & Sulaiman, F. (2023a). Air Limbah Industri Pati Arenga sebagai Potensial Media Produksi Selulosa Bakteri dan Selulosa Asetat. *Jurnal Polimer*, 1–15. <https://doi.org/10.3390/polym15040870>
- Rahmayetty, & Sulaiman, F. (2023b). Wastewater from the Arenga Starch Industry as a Potential Medium for Bacterial Cellulose and Cellulose Acetate Production. *Polymers*, 15(4), 1–15. <https://doi.org/10.3390/polym15040870>
- Rangaswamy, BE., Vanitha, KP., & Hungund, BS. (2015). Microbial cellulose Production from Bacteria Isolated from Rotten Fruit. *International Journal of Polymer Science*. <https://doi.org/10.1155/2015/280784>
- Riyadi, A., & Muhtar. (2014). *Kondisi Dan Kinerja Kelapa Dalam Sulawesi Barat*. 405–408.
- Rodiah, SA., Putra, AW., Advinda, L., & Putri, DH. (2021). Pembuatan Nata Menggunakan Air Kelapa. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 1, 748–755.
- Rohmah, S., Munandar, A., & Surilayani, D. (2022). Karakteristik Nata de Seaweed dengan Perbedaan Konsentrasi Rumpun Laut Gracilaria sp. *Media Teknologi Hasil Perikanan*, 10(3), 133–142.
- Rudiansyah, D., Rahmawati, & Rafdinal. (2017). Eksplorasi Bakteri Selulolitik dari Tanah Hutan Mangrove Peniti, Kecamatan Segedong, Kabupaten Mempawah. *Jurnal Protobiont*, 6(3), 255–262.
- Rukmana, R., Yadirachman, H., & Suyantoro, S. (2016). *Untung Berlipat dari Budi Daya Kelapa*. Yogyakarta: Perpustakaan Nasional Republik Indonesia.
- Ryandita, FR., Hernawati, D., & Putra, RR. (2020). Indigenous people Kampung Kuta Kabupaten Ciamis: Kajian Etnobotani Pemanfaatan Kelapa (Cocos nucifera L.). *Florea : Jurnal Biologi Dan Pembelajarannya*, 7(2), 54–59. <https://doi.org/10.25273/florea.v7i2.7886>
- Santosa, B., Rozana, & Astutik. (2021). Pemanfaatan sumber Nitrogen Organik dalam Pembuatan Nata de Coco. *Teknologi Pangan : Media Informasi Dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 12(1), 52–60. <https://doi.org/10.35891/tp.v12i1.2431>
- Santoso, AD. (2018). Keragaan Nilai DO, BOD dan COD di Danau Bekas Tambang Batu Bara. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 89–96.
- Seumahu, CA., Suwanto, A., Hadisusanto, D., & Suhartono, MT. (2007). The Dynamics of Bacterial Communities During Traditional Nata de Coco Fermentation. *Microbiology Indonesia*, 1(2), 65–68. <https://doi.org/10.5454/mi.1.2.4>
- Sheela, D. L., Abdulla, P., Arunaksharan, N., Raghavamenon, N., C, J. J. M., & Raghavamenon, A. C. (2016). In Silico and Wet Lab Studies Reveal the Cholesterol Lowering Efficacy of Lauric Acid, a Medium Chain Fat of Coconut Oil - Devi Lekshmi Sheela, P.A. Nazeem, Arunaksharan Narayanankutty, Jeksy Jos Manalil, Achuthan C. Raghavamenon. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0577-y>.

- Sholih, mujahid S. (2022). *Pengaruh Sumber Karbon pada Kultur terhadap Produksi Selulosa Bakterial dari Mikroba Isolat Lokal*. Universitas Lampung.
- Supriyatna, N. (2014). Fermentative Extraction of Coconut Oil to Maintain a Quality of Medium Chain Fatty Acid. <https://doi.org/https://doi.org/10.36974/JBI.V5I1.820>
- Sukron, A., Sulistyorini, J., & Pojoh, B. (2019). Perancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah di Sentra Industri Kecil dan menengah Kelapa Terpadu Kota Bitung Designing wastewater Treatment Plants for Bitung Integrated. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 11(2), 63–70.
- Supriyatna, N. (2014). Fermentative Extraction of Coconut Oil to Maintain a Quality of Medium Chain Fatty Acid. <https://doi.org/https://doi.org/10.36974/JBI.V5I1.820>
- Tayubi, ZR. (2020). *Isolasi dan identifikasi bakteri selulolitik jerami padi (Oryza sativa L.) dan Kajian Teoritis Optimasi Produksi Enzim Selulase*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Umami, R. (2023). *Produksi Selulosa oleh Strain Bakteri Acetobacter Lovaniensis dan Gluconobacter oxidans* (A. Zohdi, Ed.). Mataram: CV Pustaka Bangsa.
- Viantini, AM., Erlita, D., Puspitasari, A., & Nugraheni, IA. (2022). Pengembangan Produk Baru Pupuk Organik Cair dari Limbah Cair Industri Virgin Coconut oil dengan Metode Fermentasi. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 22(2), 1–9.
- Wang, J., Tavakoli, J., & Tang, Y. (2019). Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods – A review. *Carbohydrate Polymers*, 219, 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.008>
- Wibowo, NA., & Isroi. (2015). Potensi In-vivo Selulosa Bakterial Sebagai Nano-filler Karet Elastomer Thermoplastics (ETPS). *Perspektif*, 14(2), 103–112.
- Wijayanti, F., Kumalaningsih, S., & Effendi, M. (2022). Pengaruh Penambahan Sukrosa dan Asam Asetat Glacial terhadap Kualitas Nata dari Whey Tahu dan Substrat Air Kelapa. *Jurnal Industria*, 1(2), 86 – 93.
- Winarno, FG. (2015). *Kelapa Pohon Kehidupan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Wirdhana Ahmad, S., Arfa Yanti, N., & H. Muhiddin, N. (2019). Pemanfaatan Limbah Cair Sagu untuk Memproduksi Selulosa Bakteri. *Jurnal Biologi Indonesia*, 15(1), 33–39. <https://doi.org/10.47349/jbi/15012019/33>
- Yanti, NA., Ambardini, S., Isra, WO., & Parakkasi, VNR. (2020). Potensi limbah Cair Tahu sebagai Sumber Nitrogen pada Produksi Selulosa Bakteri. *Jurnal Bloma: Biologi Makassar*, 5(1), 9–17.
- Zahan, KA., Pa'E, N., Seng, KF., & Muhamad, II. (2014). Monitoring initial Glucose concentration for Optimum pH Control During Fermentation of Microbial Cellulose in Rotary Discs Reactor. *Key Engineering Materials*, 594–595, 319–324. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.594-595.319>