

**KARAKTERISTIK FISIK BIODEGRADABLE FILM BERBASIS
SELULOSA AMPAS BONGGOL NANAS DENGAN PENAMBAHAN
LIGNIN AMPAS TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**

(SKRIPSI)

Oleh

**Diaswara Satria Dirgantara
2114051025**



**JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

KARAKTERISTIK FISIK BIODEGRADABLE FILM BERBASIS SELULOSA AMPAS BONGGOL NANAS DENGAN PENAMBAHAN LIGNIN AMPAS TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Oleh

DIASWARA SATRIA DIRGANTARA

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan lignin ampas tandan kosong kelapa sawit terhadap karakteristik fisik biodegradable film berbasis selulosa dari ampas bonggol nanas. Penelitian ini disusun dalam rancangan kuadruplo dengan variasi konsentrasi lignin sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Parameter yang diamati adalah pengamatan visual, kuat tarik, persen pemanjangan, ketebalan, densitas, daya serap air, ketahanan suhu ruang dan biodegradabilitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan lignin secara signifikan memengaruhi karakteristik fisik film. Penambahan lignin terbaik terdapat pada formulasi L2 (lignin 5%) yang memiliki nilai kuat tarik (20,27 MPa), persen pemanjangan (15,29%), ketebalan (0,29 mm), densitas ($1,16 \text{ g/cm}^3$) dan daya serap air (6,28%). Hasil pengamatan ketahanan terhadap suhu ruang yang stabil dan degradasi yang sempurna dalam waktu satu minggu. Hasil pengamatan secara visual menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi lignin, maka warna biodegradable film semakin gelap dan tekstur semakin kasar hal ini diakibatkan adanya agregasi lignin.

Kata kunci: biodegradable film, selulosa, lignin, ampas bonggol nanas, ampas tandan kosong kelapa sawit

ABSTRACT

PHYSICAL CHARACTERISTICS OF BIODEGRADABLE FILM BASED ON CELLULOSE FROM PINEAPPLE PULP WITH THE ADDITION OF LIGNIN FROM PALM EMPTY FRUIT BUNCHES

By

DIASWARA SATRIA DIRGANTARA

This study aims to determine the effect of lignin addition from palm empty fruit bunches on the physical characteristics of cellulose-based biodegradable film from pineapple pulp. This study was arranged in a quadruplicate design with variations in lignin concentration of 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10%. The parameters observed were visual observation, tensile strength, percent elongation, thickness, density, water absorption, room temperature resistance and biodegradability. The results showed that the addition of lignin significantly affected the physical characteristics of the film. The best lignin addition was found in formulation L2 (5% lignin) which had tensile strength (20.27 MPa), percent elongation (15.29%), thickness (0.29 mm), density (1.16 g/cm³) and water absorption (6.28%). The observation results were stable room temperature resistance and complete degradation within one week. Visual observation showed that the higher the lignin concentration, the darker the color of the biodegradable film and the coarser the texture due to lignin aggregation.

Keywords: *biodegradable film, cellulose, lignin, pineapple pulp, oil palm empty fruit bunch pulp*

**KARAKTERISTIK FISIK BIODEGRADABLE FILM BERBASIS
SELULOSA AMPAS BONGGOL NANAS DENGAN PENAMBAHAN
LIGNIN AMPAS TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**

Oleh

Diaswara Satria Dirgantara

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

**: KARAKTERISTIK FISIK
BIODEGRADABLE FILM BERBASIS
SELULOSA AMPAS BONGGOL NANAS
DENGAN PENAMBAHAN LIGNIN
AMPAS TANDAN KOSONG KELAPA
SAWIT**

Nama Mahasiswa

: Diaswara Satria Dirgantara

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2114051025

Program Studi

: Teknologi Hasil Pertanian

Fakultas

: Pertanian



1. Komisi Pembimbing

Dr. Novita Herdiana, S.Pi., M.Si.

NIP 197611182001122001

Ir. Susilawati, M.Si.

NIP 196108061987022001

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA.

NIP 197210061998031005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. Novita Herdiana, S.Pi., M.Si.**



Sekretaris

: **Ir. Susilawati, M.Si.**



Penguji Bukan
Pembimbing

: **Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



: **Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.**

NIP. 19641118 198902 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 2 Juli 2025

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Diaswara Satria Dirgantara

NPM : 2114051025

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukan hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila terdapat kecurangan dikemudian hari dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 14 Juni 2025
Yang membuat pernyataan



Diaswara Satria Dirgantara
NPM. 2114051025

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandara Lampung, Kecamatan Bumi Waras, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada tanggal 14 Juli 2003 sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Sarpono dan Ibu Siti Kumiyati. Penulis memulai Pendidikan di Taman Kanak-kanak (TK) YP. Gula Putih Mataram pada tahun 2008-2009, Sekolah Dasar Swasta (SDS) di SDS 01 Gula Putih Mataram pada tahun 2009-2015, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Gula Putih Mataram pada tahun 2015-2018, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Sugar Group pada tahun 2018-2021. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Pada bulan Januari-Februari 2024, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Banjar Sakti, Kecamatan Gunung Labuhan, Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung. Pada bulan Juli-Agustus 2024, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Lambang Bumi Perkasa, Jl. Raya Lintas Timur, Desa Terbanggi Iilir, Kecamatan Bandar Mataram, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung, dengan judul laporan “Mempelajari Kualitas Mutu CPO (*Crude Palm Oil*) dengan Parameter Kadar Asam Lemak Bebas, Kadar Air, dan Kadar Zat Kotoran pada Storage Tank di PT Lambang Bumi Perkasa”. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah aktif dalam kegiatan Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Bulutangkis (2023/2024) dan dalam kegiatan Asistensi Praktikum Kewirausahaan dan Pengemasan (2024/2025).

SANWACANA

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakteristik Fisik Biodegradable Film Berbasis Selulosa Ampas Bonggol Nanas dengan Penambahan Lignin Ampas Tandan Kosong Kelapa Sawit” ini dengan baik. Penyusunan tugas akhir yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung ini tidak terlepas dari keterlibatan berbagai pihak atas bimbingan, bantuan dan dukungannya, sehingga pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si., selaku Koordinator Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Novita Herdiana, S.Pi., M.Si., selaku pembimbing akademik sekaligus pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, bantuan, kritik, arahan dan nasihat selama proses perkuliahan hingga penyelesaian skripsi penulis.
5. Ibu Ir. Susilawati, M.Si., selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, bantuan, kritik, saran dan nasihat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
6. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA., selaku penguji yang telah memberikan saran dan evaluasi dalam perbaikan dan penyelesaian skripsi ini

7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen pengajar di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung, atas ilmu, kebaikan, dan pengalaman yang diberikan selama menjalani perkuliahan.
8. Seluruh staf dan karyawan di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Lampung yang telah membimbing dan membantu penulis dalam menyelesaikan administrasi akademik.
9. Orang tua penulis yang tercinta Bapak Sarpono dan Ibu Siti Kumiyati, serta adik saya Dendra Maulana Adiaswara atas doa, kasih sayang dan dukungan selama ini sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai meraih gelar sarjana.
10. Sahabat-sahabat kuliah Hanan, Abel, Imam, Adam, Fikri, Jaya, David, Chandra, Nando, Fajar, Attika, Arif, Juliandro, Randi, Aliefuddin, Alfian, Duta, Zafran, Haris, Arrijal, Naufal, Rifqi dan Galuh yang selalu berbagi cerita dan selalu bersama dalam kehidupan kampus saat suka maupun duka.
11. Teman-teman Jurusan Teknologi Hasil Pertanian angkatan 2021, yang telah saling membantu dan memberikan semangat dalam melaksanakan dan menyelesaikan perkuliahan.
12. Semua pihak yang telah berperan dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik, saran dan masukan yang bersifat membangun dan akan diterima dengan tangan terbuka. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat untuk kita semua.

Bandar Lampung, 14 Juni 2025
Penulis,

Diaswara Satria Dirgantara

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Kerangka Pemikiran.....	3
1.4. Hipotesis Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Nanas (<i>Ananas comosus</i> L.).....	5
2.2. Biodegradable film.....	6
2.3. Selulosa	7
2.4. Ampas Tandan Kosong Kelapa Sawit	8
2.5. Lignin	10
2.6. Gliserol.....	12
2.7. CMC (<i>Carboxy Methyl Cellulose</i>)	13
III. METODE PENELITIAN	15
3.1. Waktu dan Tempat	15
3.2. Bahan dan Alat.....	15
3.3. Rancangan Percobaan	15
3.4. Prosedur Penelitian	16
3.4.1. Prosedur Pemisahan Selulosa Ampas Bonggol Nanas.....	16
3.4.2. Prosedur Pembuatan Serbuk Ampas TKKS	17
3.4.3. Prosedur Pemisahan Lignin Serbuk TKKS	18
3.4.4. Prosedur Pembuatan Biodegradable Film	19
3.5. Pengamatan	20

3.5.1. Pengamatan Visual	20
3.5.2. Uji Kuat Tarik	21
3.5.3. Uji Persen Pemanjangan.....	21
3.5.4. Uji Ketebalan.....	21
3.5.5. Uji Ketahanan Suhu Ruang	22
3.5.6. Uji Densitas	22
3.5.7. Uji Daya Serap Air	22
3.5.8. Uji Biodegradabilitas.....	23
V. KESIMPULAN DAN SARAN	24
5.1. Kesimpulan	24
5.2. Saran.....	24
DAFTAR PUSTAKA	25

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik kemasan biodegradable film sesuai standar JIS	6
2. Perlakuan Biodegradable Film	16

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Buah Nanas	5
2. Struktur Kimia Selulosa	8
3. Ampas tandan kosong kelapa sawit	9
4. Struktur lignin	10
5. Struktur gliserol.....	12
6. Struktur CMC.....	13
7. Diagram alir pembuatan selulosa ampas bonggol nanas	17
8. Diagram alir pembuatan serbuk halus ampas kelapa sawit.....	18
9. Diagram alir pemisahan lignin dari ampas TKKS	19
10. Diagram alir pembuatan biodegradable film	20

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Perkembangan teknologi dan perubahan pola hidup manusia telah mengakibatkan peningkatan drastis pada limbah plastik di seluruh dunia. Limbah plastik sangat membahayakan lingkungan hingga dapat mengancam kesehatan manusia dikarenakan sulitnya terdegradasi (Koushal, 2014). Plastik banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena mempunyai keunggulan-keunggulan seperti kuat, ringan dan stabil. Polimer plastik yang tidak mudah terurai secara alami mengakibatkan terjadinya penumpukan limbah dan menjadi penyebab pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup. Saat ini telah dikembangkan plastik biodegradable untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Bahan baku biodegradable film berasal dari sumber daya alam terbarukan (*renewable resources*) secara keseluruhan seperti dari bahan tanaman pati, selulosa dan hewan seperti cangkang atau mikroorganisme (Putra, 2015).

Biodegradable film terdiri dari tiga komponen utama, yaitu hidrokoloid, lipid dan komposit. Hidrokoloid diperoleh dari selulosa tanaman maupun yang berasal dari pati. Lipid atau lemak digunakan dalam proses pembuatan biodegradable film dapat berupa lilin alami seperti gliserol. Komposit digunakan dalam biodegradable film untuk meningkatkan sifat film yang dihasilkan (Ismaya, 2021). Menurut Anggraini (2019) pembuatan biodegradable film dari bahan yang mengandung selulosa tinggi memiliki karakteristik yang kaku dan kuat, sedangkan hasil yang diharapkan memiliki karakteristik yang plastis dan kuat. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan bahan yang berfungsi sebagai plasticizer dan agen penguat.

Sementara itu, banyak sekali limbah hasil pertanian yang dibuang begitu saja ke lingkungan tanpa diolah lebih lanjut, seperti: ampas bonggol nanas, ampas tandan kosong kelapa sawit dan lain-lain. Limbah tandan kosong kelapa sawit berasal dari proses pemisahan buah kelapa sawit yang diambil minyaknya. Tandan kosong kelapa sawit yang mengandung komponen utama lignin 25,5% (Dewanti, 2018). Lignin dalam TKKS kurang dimanfaatkan karena struktur kimianya yang rentan terhadap panas dan cenderung teraglomerasi dalam komposit polimer. Lignin alami cenderung teraglomerasi dalam komposit polimer karena penumpukan cincin aromatiknya, ikatan hidrogen antara kelompok hidroksil dan kompatibilitas yang buruk dengan polimer lain. Hal ini dapat diatasi dengan memodifikasi struktur kimia molekul lignin dengan mengurangi kekuatan ikatan hidrogen didalamnya sehingga dapat menurunkan ukuran domain dari agregat lignin. Lignin yang sudah dimodifikasi dan dicampur dengan polimer organik dapat mengurangi aglomerasi lignin dan meningkatkan sifat komposit yang dihasilkan (Wulandari, 2020).

Biodegradable film sebagai suatu material polimer yang berubah menjadi senyawa dengan berat molekul rendah dimana paling sedikit satu tahap degradasinya melalui metabolisme organisme secara alami (Salim, 2018). Hal ini menjadi pendorong untuk memanfaatkan limbah-limbah tersebut untuk pembuatan biodegradable film dari selulosa ampas bonggol nanas dan lignin ampas tandan kosong kelapa sawit, tidak hanya menghemat biaya tetapi juga mengurangi sampah plastik. Teknologi ini dapat membantu mengatasi masalah sampah plastik dan sekaligus meningkatkan nilai ekonomi limbah dari industri di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian mengenai pemanfaatan limbah selulosa ampas bonggol nanas dan lignin ampas tandan kosong kelapa sawit perlu dikembangkan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik fisik biodegradable film berbasis selulosa ampas bonggol nanas dengan penambahan lignin ampas tandan kosong kelapa sawit.

1.3. Kerangka Pemikiran

Biodegradable film adalah plastik yang dapat terdegradasi dan terbuat dari bahan yang dapat diperbaharui seperti asam polilaktida, poliamida dan bio-polietilena, dapat secara luas digambarkan sebagai plastik yang diambil dari bahan tanaman atau bahan yang memiliki kemampuan untuk terurai menjadi komponen alami (Harding, 2017). Biodegradable film dapat terbuat dari bahan baku yang ramah lingkungan seperti serat selulosa. Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini yaitu selulosa ampas bonggol nanas dan lignin ampas tandan kosong kelapa sawit. Kandungan selulosa pada ampas bonggol nanas sebesar 24,53% (Rahmidar, 2018). Menurut Mufida (2024) kandungan selulosa yang cukup tinggi menjadikan biodegradable film cepat terdegradasi atau terurai sempurna. Faktor degradasi tidak hanya dipengaruhi oleh selulosa saja, tetapi bisa juga dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan bahan pendukung sampel. Kondisi cuaca bisa menyebabkan peningkatan laju degradasi karena hal tersebut bisa membantu mikroorganisme bekerja dengan baik dalam tanah.

Biodegradable film berbasis selulosa akan menghasilkan film yang bersifat kaku, sehingga diperlukan adanya bahan tambahan lain berupa gliserol dan lignin untuk memperoleh karakteristik film yang lebih plastis. Gliserol berfungsi sebagai plasticizer yang bersifat hidrofilik dan memiliki kemampuan dalam menurunkan sifat kekakuan akibat gaya intermolekuler pada sepanjang rantai polimernya, sehingga akan menghasilkan film yang plastis. Sedangkan lignin berfungsi sebagai agen penguat yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan terhadap pembekuan pada biodegradable film (Mandasari, 2017). Menurut Sulastri (2023) bioplastik (biodegradable) dengan bahan pengisi selulosa tahan terhadap peruraian secara enzimatik dan berlangsung lambat. Hal ini disebabkan molekul-molekul selulosa merupakan mikrofibril dari glukosa dengan rantai linier yang berbentuk kristal terbungkus lignin, sehingga sifat dasar selulosa itu kuat, keras dan getas.

Formulasi antara gliserol dan lignin ampas tandan kosong kelapa sawit memiliki pengaruh terhadap karakteristik biodegradable film bonggol nanas yang dihasilkan, yang berupa; fleksibilitas, kuat tarik, ketebalan, persen pemanjang,

biodegradabilitas dan ketahanan suhu ruang. Pengaruh konsentrasi lignin terhadap sifat fisik dan mekanik biodegradable film yang dilakukan Wulandari (2020) mendapatkan hasil terbaik pada konsentrasi lignin 5%. Analisis hasil uji mekanik dari ketiga sampel menunjukkan dua kenaikan dari tiga pengujian yang dilakukan dengan konsentrasi lignin 0%-5%, sedangkan lignin dengan konsentrasi lebih dari 5% cenderung mengalami penurunan. Namun, belum ditemukan literatur untuk penambahan lignin dari ampas tandan kosong kelapa sawit terhadap karakteristik fisik biodegradable film dari selulosa ampas bonggol nanas. Untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menghasilkan formulasi terbaik dalam pembuatan biodegradable film berbahan baku selulosa ampas bonggol nanas dengan penambahan lignin ampas tandan kosong kelapa sawit. Konsentrasi lignin ampas tandan kosong kelapa sawit yang akan digunakan pada penelitian ini adalah 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; 10%.

1.4. Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah terdapat karakteristik fisik pada penambahan lignin ampas tandan kosong kelapa sawit terhadap biodegradable film berbasis selulosa ampas bonggol nanas.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Nanas (*Ananas comosus* L.)

Nanas (*Ananas comosus* L.) di Indonesia merupakan salah satu tanaman buah tropika penting setelah pisang, mangga dan jeruk berdasarkan data Badan Pusat Statistika (2017). Tanaman nanas selain dibudidayakan di daerah tropis juga banyak ditanam pada daerah subtropis. Secara umum, produksi tanaman buah-buahan dan sayuran tahunan pada tahun 2017 mengalami kenaikan dibandingkan tahun 2016. Kenaikan produksi buah-buahan tahunan terbesar terjadi pada komoditas nanas sebesar 399.833 ton atau 28,64 %. Sementara itu, produksi buah-buahan tahunan komoditas nanas pada tahun 2016 sebesar 1,73 ton atau sekitar 23% (Prasetyo, 2023).



Gambar 1. Buah Nanas
(Sumber: RRI.co.id)

Provinsi Lampung merupakan sentra produksi nanas terbesar di Indonesia. Produksi nanas di Provinsi Lampung pada tahun 2013 mencapai 722.620 ton. Kabupaten dengan produksi nanas terbesar ialah Kab. Lampung Tengah dengan produksi 50.420 ton atau 99,78% dari total produksi nanas Provinsi Lampung. Tingginya produksi nanas di Lampung Tengah sejalan adanya agroindustri pengolahan nanas terbesar di dunia yang mampu memproduksi nanas kaleng

hingga 200.000 ton per tahun. Semakin tinggi produksi nanas kaleng maka semakin tinggi pula produksi limbahnya. Salah satu limbah dari pabrik penghasil nanas kaleng ialah kulit nanas. Pada pabrik pengalengan nanas hanya daging buah yang dimanfaatkan dari keseluruhan buah nanas yaitu batang dan daun digunakan untuk pembibitan serta kulit dan bonggol nanas diekstrak menjadi jus nanas (Badan Pusat statistik Kabupaten Lampung Tengah, 2017). Limbah bonggol dari hasil pengolahan nanas dapat digunakan untuk pembuatan selulosa dikarenakan memiliki kandungan selulosa sebesar 23,39%.

2.2. Biodegradable film

Biodegradable film merupakan salah satu inovasi yang diciptakan untuk mengurangi jumlah pencemaran yang disebabkan sampah plastik. Biodegradable film terbuat dari campuran polimer sintetis dengan bahan alami seperti pati atau selulosa (Sriwijayanti, 2024). Komponen utama penyusun biodegradable film terbagi menjadi tiga kelompok yaitu hidrokoloid, lipida, dan komposit. Hidrokoloid yang cocok digunakan antara lain senyawa protein, polisakarida, alginat, pektin, dan pati. Bahan dasar protein dapat berasal dari jagung, kedelai, kasein, kolagen, gelatin, cornzein, protein susu dan protein ikan. Lipida yang biasa digunakan adalah gliserol, waxes, asil gliserol dan asam lemak, sedangkan komposit terdiri dari matriks yang berfungsi untuk perekat atau pengikat dan pelindung filler (pengisi) dari kerusakan eksternal dan filler berfungsi sebagai penguat gabungan lipida dengan hidrokoloid (Sriwita, 2014). Produk biodegradable film yang baik harus memenuhi beberapa karakteristik kemasan berdasarkan standar mutu bioplastik yang disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Karakteristik kemasan biodegradable film sesuai standar JIS

No.	Karakteristik	JIS 2-1707	<i>Moderate Propertis</i>
1.	Kuat tarik	Min. 0,3923 MPa	1-10 MPa
2.	Persen pemanjangan	Min. 70%	10-20 %
3.	Ketebalan	Maks. 0,25 mm	-
4.	Biodegradasi	-	60 hari

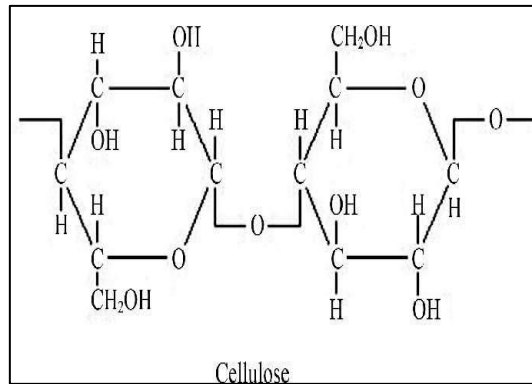
Sumber: (Alamsjah, 2015 dan Haryati, 2017)

Karakteristik dari biodegradable film yang diukur dan diamati meliputi kekuatan tarik, persen perpanjangan saat putus, dan kelarutan. Selain itu, karakteristik lain termasuk ketebalan, biodegradabilitas, dan ketahanan pada suhu ruang.

Biodegradable film yang berkualitas baik memiliki kekuatan tarik yang memadai. Kekuatan tarik merujuk pada gaya tarik maksimum yang diberikan pada sampel biodegradable film hingga sampel tersebut terputus (Yu, 2018). Biodegradable film memiliki komponen-komponen material polimer pada matriks yang memiliki berat molekul yang rendah dan berpengaruh terhadap proses degradasi menjadi fragmen-fragmen yang tidak beracun dan tidak meninggalkan residu di lingkungan. Selain itu, komponen-komponen organik yang terdapat pada biodegradable film akan memudahkan film untuk terurai sempurna oleh mikroorganisme pengurai atau dekomposer dalam jangka waktu yang lebih singkat dibandingkan kemasan plastik pada umumnya (Akbar, 2013).

2.3. Selulosa

Selulosa adalah komponen utama penyusun dinding sel tanaman. Selulosa merupakan polimer glukosa dengan ikatan β -1,4 glukosida dalam rantai lurus (Pasue, 2019). Sifat-sifat selulosa terdiri dari sifat fisika dan sifat kimia. Selulosa dengan rantai panjang mempunyai sifat fisik yang lebih kuat, lebih tahan lama terhadap degradasi yang disebabkan oleh pengaruh panas, bahan kimia maupun pengaruh biologis. Putera (2012) menyatakan bahwa selulosa sering digunakan sebagai bahan dasar industri kertas, sutera tiruan karena memiliki sifat fisik yang kuat, tahan terhadap panas, bahan kimia maupun pengaruh biologis dan tidak mudah larut dalam air sehingga tidak mudah mengalami kerusakan. Selulosa tidak mudah larut sebab strukturnya yang linier serta bersifat semikristalin. Selulosa tidak mudah didegradasi secara kimia juga mekanis.



Gambar 2. Struktur Kimia Selulosa
(Sumber: Nasiya, 2023)

Selulosa dihasilkan dari biopolimer yang dapat diperoleh oleh hasil pertanian. Polimer hasil pertanian mempunyai sifat termoplastik sehingga mempunyai potensi untuk dibentuk atau dicetak menjadi film kemasan. Keunggulan polimer jenis ini adalah tersedia sepanjang tahun (*renewable*) dan mudah hancur secara alami (biodegradable) (Sriwijayanti, 2024). Biodegradable film dengan bahan baku dari selulosa maupun pati mudah terurai hal itu disebabkan karena bahan baku yang digunakan mudah berinteraksi dengan air dan mikroorganisme serta sensitif terhadap pengaruh fisikokimia (Tan, 2016).

2.4. Ampas Tandan Kosong Kelapa Sawit

Industri perkebunan kelapa sawit mempunyai peranan yang sangat besar dan termasuk dalam komoditi unggulan di sektor perkebunan Indonesia. Menurut data Statistika Perkebunan Unggulan Nasional Tahun 2022, Indonesia sebagai produsen minyak sawit terbesar di dunia dengan total produksi yang dihasilkan sebesar 43.235.405 ton (Jamil, 2022). Selain menghasilkan minyak sawit yang sangat melimpah, pada proses produksinya juga menghasilkan limbah sawit berupa tandan kosong kelapa sawit. Menurut Septevani (2018), persentase limbah tandan kosong kelapa sawit yang dihasilkan yaitu sekitar 23% dari pengelolaan tandan kelapa sawit segar. Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah padat sebagai hasil samping dari proses pengolahan *Crude Palm Oil* (Gambar 3).



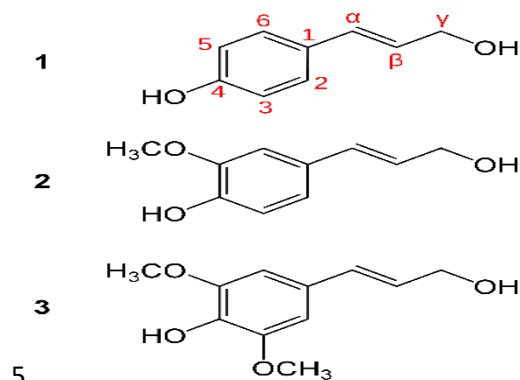
Gambar 3. Ampas tandan kosong kelapa sawit
(Sumber: Dokumen pribadi)

Ampas tandan kosong kelapa sawit ini juga merupakan salah satu limbah yang cukup besar tapi belum dimanfaatkan secara optimal. Bahan ini mengandung protein kasar sekitar 4% dan serat kasar 36% serta lignin 26% (Rahardja, 2022). Tandan kosong kelapa sawit dapat ditambahkan sebagai bahan pengikat dalam karakteristik atau sifat mekanik yang dimiliki biodegradable film dikarenakan bahan pati dan selulosa masih cukup rendah. Bahan pengikat adalah bahan yang dapat dimanfaatkan dengan tujuan memperbaiki atau mengubah sifat mekanik dari biodegradable film (Siregar, 2021). TKKS merupakan limbah padat yang memiliki potensi besar sebagai sumber lignin. Lignin merupakan polimer kompleks yang berfungsi sebagai pengikat dalam dinding sel tanaman dan keberadaannya dalam TKKS mencapai 22,60% dari komposisi kimianya. Proses delignifikasi TKKS dapat dilakukan dengan berbagai metode, termasuk penggunaan larutan NaOH pada konsentrasi tertentu yang terbukti efektif dalam meningkatkan rendemen lignin (Simatupang, 2012).

Penambahan lignin dari ampas TKKS ke dalam biodegradable film berbasis selulosa ampas bonggol nanas dapat mempengaruhi berbagai karakteristik fisik yang dihasilkan. Salah satu karakteristik fisik yang penting adalah kuat tarik. Selain itu, modulus elastisitas juga meningkat dan memberikan kenyamanan yang diperlukan untuk aplikasi tertentu. Penelitian menunjukkan bahwa biodegradable film yang mengandung lignin memiliki daya serap air yang lebih baik dibandingkan dengan tanpa lignin (Amelia, 2021).

2.5. Lignin

Lignin merupakan zat organik yang memiliki polimer banyak dan merupakan hal yang penting dalam dunia tumbuhan. Lignin adalah polimer berkadar aromatik-fenolik yang tinggi, berwarna kecoklatan dan relatif lebih mudah teroksidasi. Lignin tersusun atas jaringan polimer fenolik yang berfungsi merekatkan serat selulosa dan hemiselulosa sehingga menjadi sangat kuat. Struktur molekul lignin terdiri atas sistem aromatik yang tersusun atas unit-unit fenil propana. Lignin dapat dibagi menjadi beberapa kelas menurut unsur-unsur strukturnya yaitu lignin guaiasil terdapat pada kayu lunak sebagian besar merupakan produk polimerisasi dari koniferil alkohol, dan lignin guaiasil-siringil khas kayu keras merupakan kopolimer dari koniferil alkohol dan sinapil alkohol (Sari, 2023).



Gambar 4. Struktur lignin
(Sumber: Nur, 2016)

Lignin sebagai komponen utama dalam biomassa lignoselulosa memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai bahan pengganti *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC). *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC) merupakan senyawa yang banyak digunakan dalam industri sebagai stabilizer dan agen pengikat. Namun, proses pembuatan *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC) konvensional sering kali melibatkan penggunaan bahan baku yang mahal dan proses yang kompleks, sehingga pencarian alternatif yang lebih berkelanjutan sangat diperlukan. Lignin yang diperoleh dari limbah pertanian seperti ampas tebu, tandan kosong kelapa sawit dapat dimodifikasi secara kimia untuk menghasilkan produk dengan sifat yang mirip dengan *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC). Proses delignifikasi merupakan langkah penting dalam isolasi lignin dari sumber biomassa. Penggunaan natrium

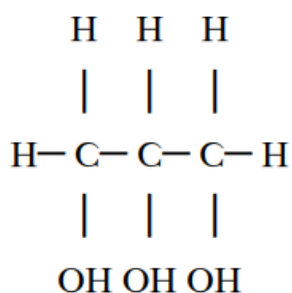
hidroksida (NaOH) dalam proses ini dapat menghilangkan lignin dan hemiselulosa, sehingga meningkatkan kemurnian selulosa yang dihasilkan (Nur, 2016).

Lignin dari tandan kosong kelapa sawit dapat diisolasi melalui proses delignifikasi, yaitu proses pelarutan lignin (*pulping*). Proses delignifikasi terdiri dari proses mekanis, semi kimia, kimia (alkali, sulfat/kraft, sulfit) dan proses non konvensional yang lebih berwawasan lingkungan. Pada kenyataannya, proses *pulping* secara konvensional tersebut memiliki beberapa kelemahan, terutama terhadap rendemen pemasakan yang rendah, biaya produksi tinggi, laju delignifikasi rendah dan pencemaran lingkungan karena adanya limbah larutan pemasak. Lignin larut dalam pelarut organik didasarkan pada perbedaan kelarutan komponen kimia bahan baku *pulp*, dimana lignin dan ekstrakstif larut dalam pelarut organik, karbohidrat dengan bobot molekul rendah dapat larut dalam air sedangkan selulosa tidak larut dalam kedua larutan tersebut. Delignifikasi pada proses organosolv disebabkan oleh terputusnya ikatan eter, yaitu α -aril eter (α -O-4) dan aril gliserol- β -aril eter (β -O-4) dalam molekul lignin. Hal tersebut merupakan dasar dalam proses *pulping* organosolv (Simatupang, H., 2012).

Lignin yang diisolasi dari TKKS memiliki aplikasi yang luas, salah satunya adalah sebagai bahan baku pembuatan biodegradable film. Biodegradable film ini diharapkan dapat menjadi alternatif ramah lingkungan dibandingkan plastik konvensional. Beberapa penelitian telah mengembangkan hydrogel berbasis lignin dari TKKS yang menunjukkan karakteristik fisik dan mekanis yang baik, serta kemampuan biodegradabilitas yang tinggi. Lignin berfungsi sebagai pengisi yang meningkatkan sifat mekanik dan stabilitas termal produk akhir. Pentingnya penelitian ini terletak pada upaya pemanfaatan limbah pertanian untuk menghasilkan produk yang bernilai tambah. Pemanfaatan TKKS sebagai sumber lignin tidak hanya mengurangi dampak lingkungan dari limbah pertanian tetapi juga memberikan solusi untuk kebutuhan material biodegradable film dipasar (Khairunnisa, 2020).

2.6. Gliserol

Gliserol merupakan senyawa alkohol yang mengandung tiga gugus hidroksil. Senyawa ini berbentuk cairan kental, tidak berwarna, tidak berbau dan memiliki rasa manis. Gliserol meleleh pada suhu 17,8°C dan memiliki titik didih sekitar 290°C. Senyawa ini mudah larut dalam air maupun etanol. Salah satu sifat khas gliserol adalah higroskopisitasnya, yaitu kemampuannya menyerap uap air dari udara, sehingga sering digunakan sebagai bahan pelembap dalam berbagai produk kosmetik. Gliserol juga ditemukan secara alami dalam bentuk ester (gliserida) di jaringan hewan, tumbuhan, serta minyak nabati. Sebagai plasticizer yang bersifat hidrofilik, gliserol mampu meningkatkan sifat polar dan kelarutannya dalam air (Ayu, 2020).



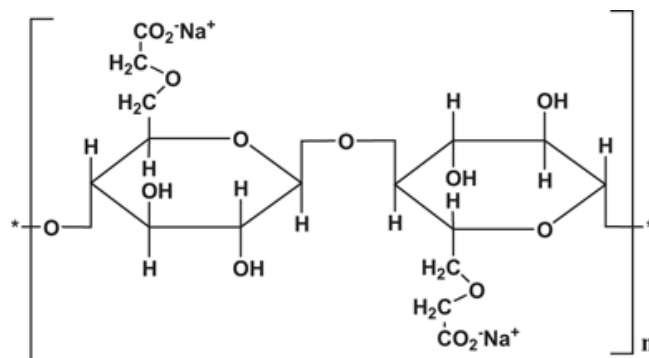
Gambar 5. Struktur gliserol
(Sumber : Diputra, 2023)

Gliserol memiliki kelarutan tinggi dalam air, mampu meningkatkan viskositas larutan, mengikat molekul air dan menurunkan aktivitas air. Senyawa ini merupakan salah satu jenis plasticizer yang umum digunakan karena efektif dalam melemahkan ikatan hidrogen internal, sehingga memperlebar jarak antar molekul. Secara konseptual, plasticizer dapat menurunkan gaya tarik antar rantai polimer, yang berdampak pada penurunan kekakuan dan peningkatan permeabilitas terhadap uap air. Karena sifatnya yang hidrofilik, gliserol sangat cocok digunakan pada bahan pembentuk lapisan dengan karakteristik serupa, seperti pati. Gliserol juga dapat meningkatkan kemampuan bahan dalam menyerap molekul polar, termasuk air. Sebagai plasticizer, gliserol membantu meningkatkan fleksibilitas film dan konsentrasi penggunaannya akan memengaruhi kelenturan secara signifikan. Molekul plasticizer bekerja dengan mengurangi kerapatan struktur

pati, memperlemah interaksi antar molekul dan memperbesar mobilitas rantai polimer (Alfatahillah, 2021).

2.7. CMC (*Carboxy Methyl Cellulose*)

Selulosa merupakan komponen penting untuk aplikasi baru biomaterial yang diperoleh dari limbah pertanian. Selulosa dapat diaplikasikan dalam berbagai bentuk serat asli digunakan dalam tekstil dan kertas atau bentuk turunannya seperti metil selulosa dan karboksi metil selulosa yang biasa dikenal dengan *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC) (Nur, 2016). *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC) tersusun linier, rantai panjang, larut dalam air dan bersifat polisakarida anionik, jika dimurnikan berwarna putih hingga krem, hambar, tidak berbau dan berbentuk bubuk (Asl, 2017). Penelitian Alabi (2020) tentang sintesis dan karakterisasi CMC dari selulosa kulit pisang. Pemanfaatan CMC sangat luas dan mudah digunakan sehingga menjadikan sebagai salah satu zat yang diminati dalam industri makanan dan berbagai industri seperti farmasi, detergen, tekstil dan kosmetik yang berfungsi sebagai penstabil emulsi, pengental dan bahan pengikat (Nur, 2016).



Gambar 6. Struktur CMC
(Sumber : Rohman, 2016)

Menurut Nurfauzi (2018), penambahan CMC pada pembuatan bioplastik dapat meningkatkan kekuatan tarik pada bioplastik. Penelitian yang menggunakan CMC dalam pembuatan bioplastik telah banyak dilakukan, diantaranya penelitian Apriliyanti (2016) mengenai pabriksi *edible film* dari CMC dan minyak jahe sebagai upaya peningkatan umur simpan roti. Penelitian Nurfauzi (2018) mengenai pengaruh konsentrasi CMC dan suhu pengeringan terhadap sifat

mekanik dan sifat degradasi pada plastik biodegradable berbasis tepung jagung. Penelitian Ningsih (2019) mengenai pengaruh penambahan CMC terhadap karakteristik bioplastik dari pati ubi nagara.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April-Juni 2025 di Laboratorium, Pengolahan Limbah Agroindustri dan Laboratorium Analisis Kimia dan Biokimia Hasil Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, serta Laboratorium Material Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya selulosa ampas bonggol nanas, lingnin ampas tandan kosong kelapa sawit, gliserol, CMC, aquades, H₂O₂, ethanol, silikal gel dan media berupa tanah.

Alat yang digunakan adalah timbangan analitik, penangas air, saringan stainless 80 mesh, kain saring, *miller machine*, pisau, batang pengaduk, plat kaca 20x20 cm, petri dish 15 cm, magnetic stirrer, oven, pisau, mikropipet, gelas ukur, toples plastic, aluminium foil, loyang, beaker glass, termometer, dan *Universal Testing Machine* (UTM).

3.3. Rancangan Percobaan

Penelitian ini dilakukan dengan metode kuadriplo yaitu metode pengambilan data sebanyak empat kali pada satu sample. Parameter yang diamati adalah karakteristik biodegradable film yang terdiri dari pengamatan visual, kuat tarik, persen pemanjangan, ketebalan, ketahanan suhu ruang, densitas, daya serap air dan biodegradabilitas. Data dianalisis dengan menggunakan uji Deskriptif.

Perlakuan disusun sebanyak 5 formulasi yang merupakan formulasi penambahan lignin tandan kosong kelapa sawit. Formulasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perlakuan Biodegradable Film

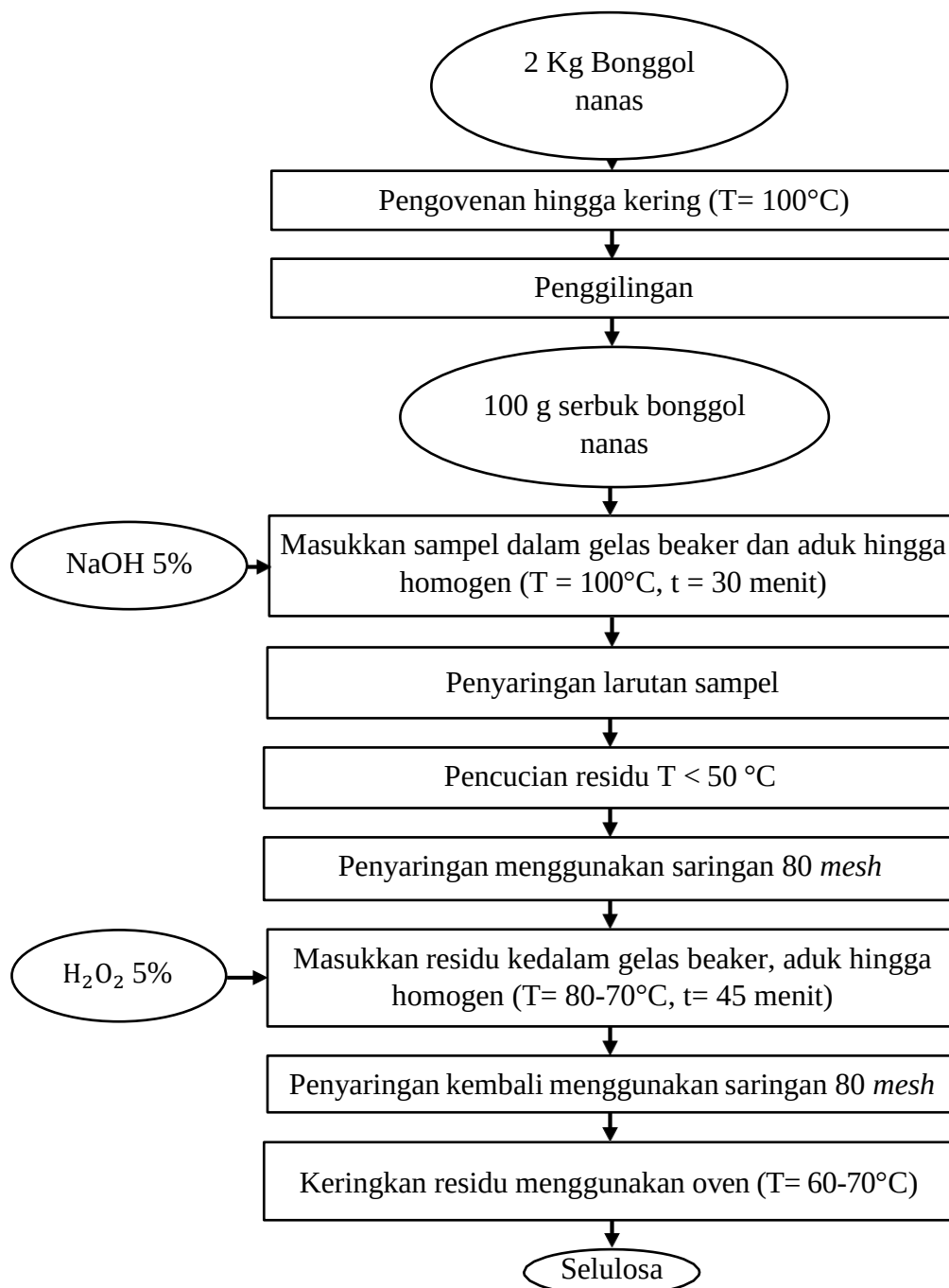
Perlakuan	Formula			
	Selulosa	Lignin	Gliserol	CMC
P0	5 g	0%	1,5%	2,5%
P1	5 g	2,5%	1,5%	2,5%
P2	5 g	5,0%	1,5%	2,5%
P3	5 g	7,5%	1,5%	2,5%
P4	5 g	10,0%	1,5%	2,5%

Keterangan : 0% lignin = konsentrasi lignin (g) dalam 50 mL larutan
 2,5% lignin = konsentrasi lignin (g) dalam 50 mL larutan
 5% lignin = konsentrasi lignin (g) dalam 50 mL larutan
 7,5% lignin = konsentrasi lignin (g) dalam 50 mL larutan
 10% lignin = konsentrasi lignin (g) dalam 50 mL larutan
 1,5% Gliserol = konsentrasi gliserol (mL) dalam 50 mL larutan
 2,5% CMC = konsentrasi cmc (g) dalam 50 mL larutan

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Prosedur Pemisahan Selulosa Ampas Bonggol Nanas

Selulosa diperoleh dengan cara ampas bonggol nanas dijemur pada terik matahari atau oven hingga kering. kemudian dihaluskan menggunakan grinder hingga menjadi bubuk. Setelah itu, serbuk bonggol nanas dimasukkan dalam gelas beaker dan ditambahkan larutan NaOH 5% dalam 1 L aquades. Kemudian larutan di aduk hingga homogen selama 1 jam pada suhu 80 -100°C. Selanjutnya, disaring dan residu yang didapatkan dicuci dengan air dengan suhu dibawah 50°C, dicuci beberapa kali hingga kondisi netral dan disaring dengan menggunakan saringan 80 *mesh*. Lalu, residu dimasukkan ke dalam larutan H₂O₂ 5% dalam 1 L aquades dan didiamkan selama 1 jam hingga berubah warna menjadi putih kekuningan. Kemudian larutan disaring kembali menggunakan saringan 80 *mesh* dengan air hingga diperoleh residu. Setelah itu, residu yang didapatkan dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 60-70 °C hingga kering (Sumada, 2011). Prosedur pemisahan selulosa ampas bonggol nanas disajikan pada Gambar 7.

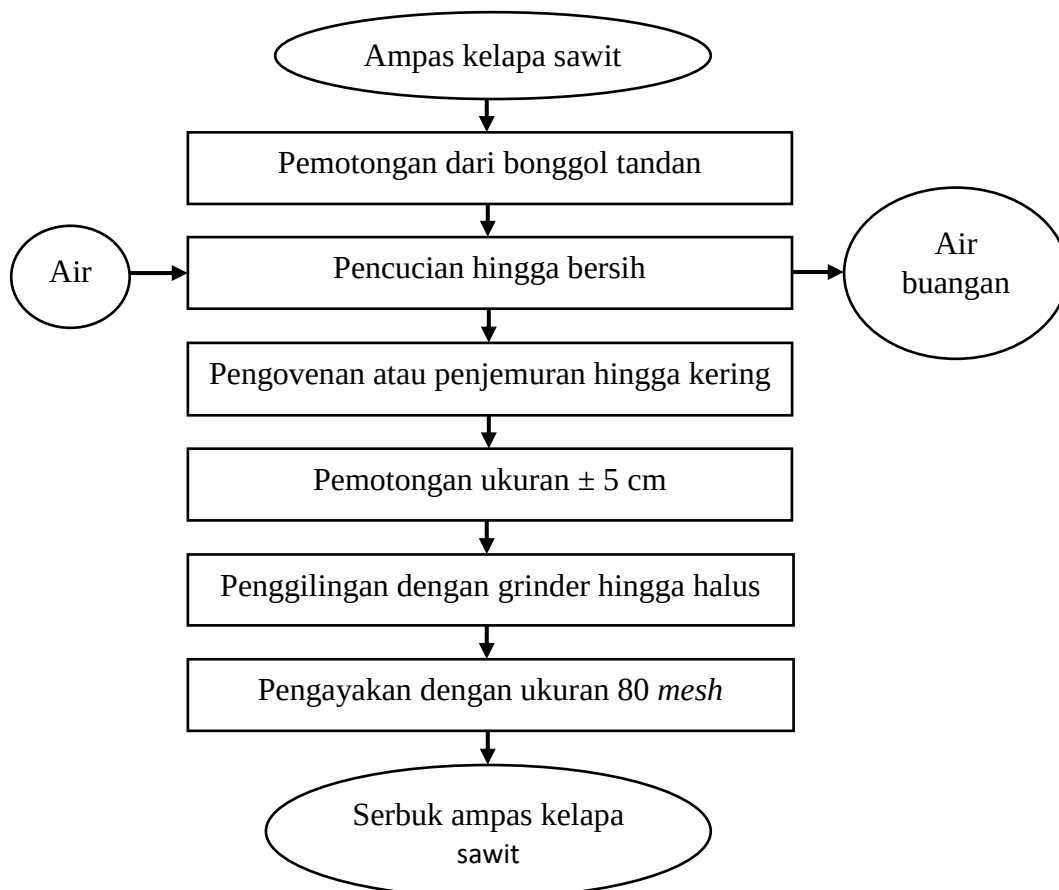


Gambar 7. Diagram alir pembuatan selulosa ampas bonggol nanas
(Sumber : Sumada, 2011)

3.4.2. Prosedur Pembuatan Serbuk Ampas TKKS

Pembuatan serbuk ampas TKKS merujuk pada metode Hamzah (2021) dengan modifikasi. TKKS dipotong setiap bagian kuncupnya, lalu dilakukan pencucian menggunakan air bersih hingga tidak ada kotoran yang menempel dan ditiriskan.

Selanjutnya, ampas TKKS dikeringkan menggunakan oven atau dijemur pada terik matahari. Setelah itu, sampel tersebut dipotong hingga berukuran ± 5 cm. Serat kering ampas TKKS kemudian digiling menggunakan grinder dan diayak dengan pengayakan sebesar 80 *mesh* hingga diperoleh serbuk halus. {rosedur pembuatan serbuk ampas TKKS disajikan pada Gambar 8.

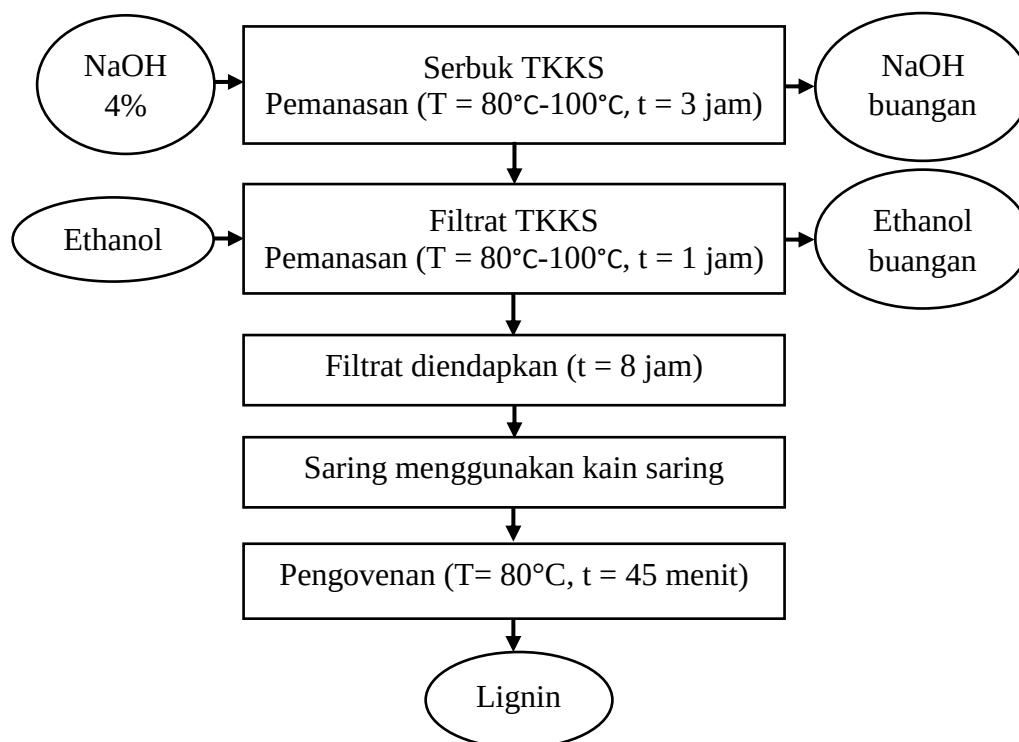


Gambar 8. Diagram alir pembuatan serbuk halus ampas kelapa sawit
(Sumber : Hamzah, 2021)

3.4.3. Prosedur Pemisahan Lignin Serbuk TKKS

Serbuk TKKS yang sudah dioven selanjutnya diayak kembali dengan ukuran 80 *mesh* untuk mendapatkan ukuran serbuk ampas TKKS yang diperlukan. Serbuk TKKS yang telah diayak dimasukkan ke dalam gelas beaker ditambahkan dengan NaOH 4% dan di aduk hingga homogen selama 3 jam pada suhu 80°C-100°C, kemudian disaring menggunakan kain saring untuk mendapatkan filtratnya. Selanjutnya, filtrat yang didapatkan ditambahkan ethanol untuk menggilangkan kotoran dan di aduk hingga homogen selama 1 jam pada suhu 80°C-100°C.

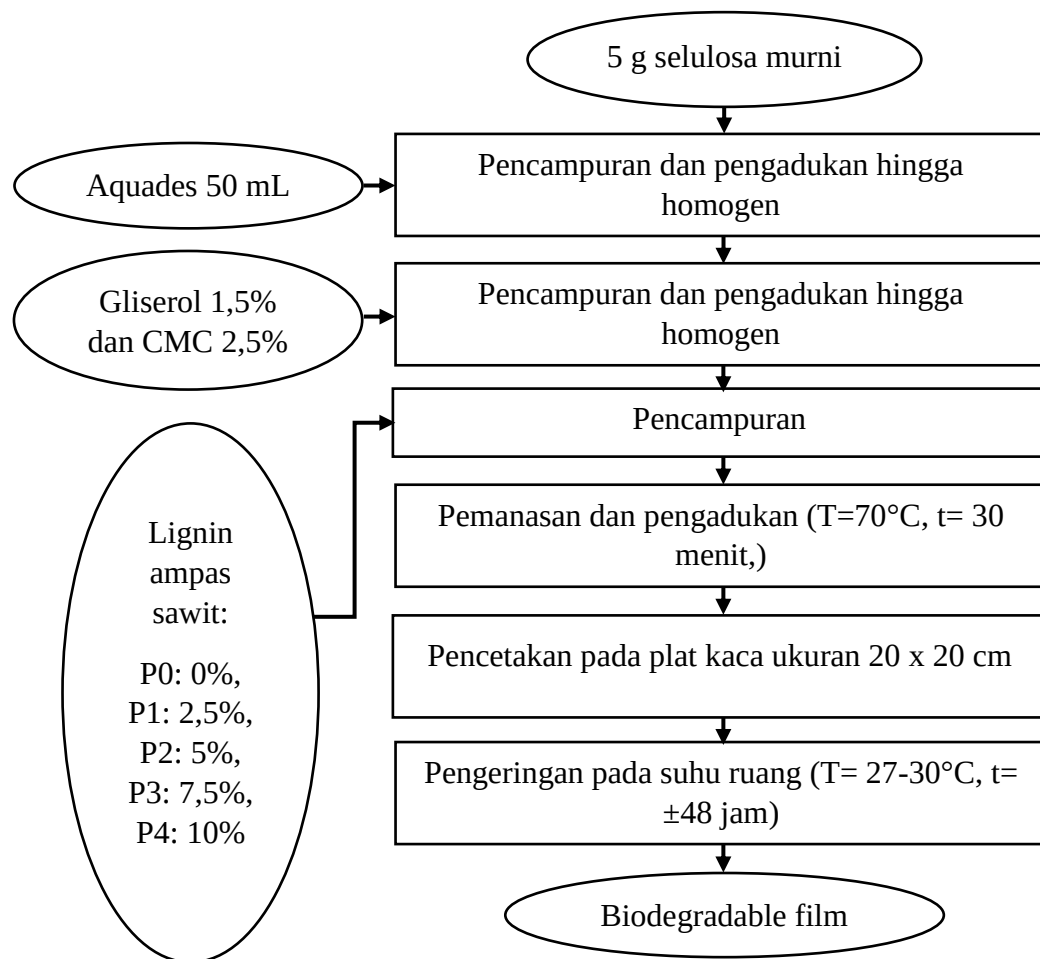
Endapan yang dihasilkan kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C. Endapan yang diperoleh ini adalah lignin hasil isolasi dari ampas TKKS tersebut (Setiati, 2016). Prosedur pemisahan lignin serbuk TKKS disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir pemisahan lignin dari ampas TKKS
(Sumber : Setiati, 2016)

3.4.4. Prosedur Pembuatan Biodegradable Film

Pembuatan biodegradable film merujuk pada metode Affanti (2024) yang dimodifikasi, dilakukan dengan mencampurkan 50 ml aquades dengan selulosa bonggol nanas sebanyak 5 g sampai homogen dalam gelas beker. Kemudian ditambahkan gliserol 1,5% dan 2,5% CMC. Campuran tersebut kemudian dipanaskan pada suhu 70°C selama 30 menit. Selama pemanasan campuran diaduk untuk memastikan semua bahan homogen dan menghilangkan gelembung yang terbentuk. Setelah proses pemanasan, campuran dicetak di atas plat kaca ukuran 20 x 20 cm dan dikeringkan pada suhu ruang selama ±48 jam (2 hari). Prosedur pembuatan biodegradable film disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram alir pembuatan biodegradable film
(Sumber : Affanti, 2024)

3.5. Pengamatan

Pengamatan biodegradable film yang akan dilakukan yaitu meliputi pengamatan visual, kuat tarik, persen pemanjangan, ketebalan, densitas, daya serap air, ketahanan terhadap suhu ruang dan biodegradabilitas.

3.5.1. Pengamatan Visual

Pengamatan visual yang akan dilakukan menggunakan alat kamera visual biasa (HP). Biodegradable film yang dihasilkan diambil foto untuk melihat penampakan fisik meliputi ada atau tidaknya keberadaan flock atau kehomogenan lembaran biodegradable film.

3.5.2. Uji Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik dilakukan di Laboratorium Teknik Material, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung menggunakan metode ASTM D638. Alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kuat tarik yaitu *Universal Testing Machine* (UTM). Pengujian kuat tarik dilakukan dengan memotong lembaran biodegradable film berukuran 20 x 50 mm, kemudian sampel diletakkan pada alat UTM dan mesin akan menarik sampel hingga mengalami kerusakan atau putus. Selanjutnya, akan didapatkan nilai gaya kuat tarik. Ruangan pengujian dikondisikan pada suhu 27°C, kelembaban ruang uji 65%, kecepatan tarik 0,01 kN/menit, dan skala *load cell* 10% dari 50 N. Kekuatan tarik dihitung menggunakan persamaan berikut (ASTM, 1995).

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A}$$

Keterangan : σ = kekuatan tarik (MPa)
 F_{maks} = gaya tarik (N)
 A = luas permukaan sampel (mm²)

3.5.3. Uji Persen Pemanjangan

Pengujian persen pemanjangan dilakukan di Laboratorium Material, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang diukur menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Pengujian dilakukan dengan mengukur Panjang sampel setelah putus akibat penarikan pada saat pengujian kuat tarik. Persen pemanjangan dihitung dengan persamaan berikut (ASTM, 1995).

$$\text{Persen pemanjangan} = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$$

Keterangan : l_0 = panjang awal
 l_1 = panjang *film* setelah putus

3.5.4. Uji Ketebalan

Pengukuran ketebalan biodegradable film dilakukan dengan menggunakan alat *Carbon Fiber Composites Digital Thickness Gauge* dengan ketelitian hingga 0,01 mm. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Analisis Kimia dan Biokimia Hasil

Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Film diukur ketebalannya pada 5 titik yang berbeda untuk memperoleh hasil yang akurat, lalu hasil pengukuran tersebut dilakukan perhitungan rata-rata (Nairfana, 2021).

3.5.5. Uji Ketahanan Suhu Ruang

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Analisis Kimia dan Biokimia, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pengujian ini dilakukan dengan memotong lembaran bioplastik berukuran 3 x 3 cm.

Selanjutnya, pengujian dilakukan dengan menyimpan biodegradable film yang dihasilkan di suhu ruang. Pengujian ini dilakukan setiap satu minggu sekali dengan melihat perubahan visual biodegradable film meliputi munculnya jamur, tingkat kerapuhan dan kekerutan (Fransisca, 2013).

3.5.6. Uji Densitas

Prosedur penentuan densitas biodegradable adalah sebagai berikut. Massa (gram) sampel yang akan diuji ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Kemudian gelas ukur 10 mL diisi dengan air hingga 5 mL dan sampel plastik dimasukkan dalam gelas ukur yang berisi air. Setelah 15 menit, dicatat volume air yang baru (v) dengan cara: selisih volume akhir air dengan volume awal air. Maka didapatkan plastic dengan persamaan (Darni, 2016).

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Keterangan : ρ = densitas (g/cm^3)
 m = massa benda (g)
 V = volume benda (cm^3)

3.5.7. Uji Daya Serap Air

Pengujian daya serap air atau % swelling dilakukan mengikuti metode yang dilakukan oleh AOAC (1983), uji penyerapan air dilakukan dengan memotong plastik berukuran diameter 50 mm kemudian sampel ditimbang beratnya.

Besarnya daya serap air dapat ditaksirkan dengan persamaan:

$$\text{Penyerapan air (\%)} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\%$$

Keterangan : W_0 = berat sampel kering
 W = berat sampel setelah direndam air.

3.5.8. Uji Biodegradabilitas

Pengamatan biodegradabilitas pada sampel dilakukan dengan menggunakan *soil burial test method* yaitu sampel ditimbun dalam media tanah dengan ketebalan 3 cm pada wadah gelas mineral plastik. Pengamatan uji biodegradabilitas dilakukan setiap satu kali seminggu dengan mengamati perubahan-perubahan fisik yang terjadi pada sampel. Tujuan dilakukannya pengamatan ini adalah untuk mengetahui bagaimana proses dan lamanya waktu bagi biodegradable film untuk terurai secara sempurna pada media tanah (Fiqinanti, 2022).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa penambahan lignin tandan kosong kelapa sawit berpengaruh terhadap karakteristik fisik biodegradable film berbasis selulosa ampas bonggol nanas. Penambahan lignin terbaik terdapat pada formulasi L2 (lignin 5%) yang memiliki nilai kuat tarik (20,27 MPa), persen pemanjangan (15,29%), ketebalan (0,29 mm), densitas ($1,16 \text{ g/cm}^3$) dan daya serap air (6,28%). Hasil pengamatan ketahanan terhadap suhu ruang yang stabil dan degradasi yang sempurna dalam waktu satu minggu. Hasil pengamatan secara visual menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi lignin, maka warna biodegradable film semakin gelap dan tekstur semakin kasar hal ini diakibatkan adanya agregasi lignin.

5.2. Saran

Perlu dilakukan pengembangan dengan penambahan zat adiktif lain yang dapat memperbaiki fleksibilitas biodegradable film tanpa mengorbankan kekuatan tarik dan ketahanannya, terutama jika ditujukan untuk kemasan fleksibel.

DAFTAR PUSTAKA

- Affanti, R. Nurainy, F., dan Hidayati, S. 2024. Karakteristik biodegradable film berbasis serat selulosa eceng gondok (*eichhornia crassipes (mart) Solms*) dengan penambahan gliserol dan *carboxy methyl cellulose* (cmc). *Jurnal Agroindustri Berkelanjutan*. 3(1): 29-42.
- Afif, M., Wijayati, N., dan Mursiti, S. 2018. Pembuatan dan karakterisasi bioplastik dari pati biji alpukat-kitosan dengan plasticizer sorbitol. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 7(2): 102-109.
- Akbar, F., Anita, Z., dan Harahap, H. 2013. Pengaruh waktu simpan film plastik biodegradasi dari pati kulit singkong terhadap sifat mekanikalnya. *Jurnal Teknik Kima*. 2(2): 11-15.
- Alamsjah, M. A., Sudarno, S., dan Nurindra, A. P. 2015. Karakterisasi edible film dari pati propagul mangrove lindur (*bruguiera gymnorhiza*) dengan penambahan *carboxy methyl cellulose* (cmc) sebagai pemlastis. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 7(2): 125-32.
- Aldin, M. I., Privaldio, S., dan Sari, F. D. P. 2025. *Manufacture of biodegradable plastic by utilizing oil palm empty fruit bunches waste as cellulose acetate synthesis material*. *Journal of Tropical Food and Agroindustrial Technology*. 6(1): 19-25.
- Alfatahillah, A., Fadhil, R., dan Ratna, R. 2021. Karakteristik edible film dengan konsentrasi gliserol sebagai plasticizer berbasis pati umbi talas. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 6(1): 44-52.
- Amelia, S. R., Yerizam, M., dan Dewi, E. 2021. Analisis karakterisasi pupil campuran tandan kosong kelapa sawit dan pelepah pisang. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*. 1(10): 389-393.
- Anggraini, F. 2019. Karakteristik Biodegradable Film Berbasis Ampas Tebu (*Saccharum Officinarum* L) Dengan Penambahan Gliserol dan Carboxy Methyl Cellulose (CMC). *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. 44 hlm.

- Apriliyanti, M. W., dan Ardiyansyah. 2016. Pabrikasi edible film dari *carboxy methyl cellulose* (cmc) dan minyak jahe sebagai upaya peningkatan umur simpan roti. *Jurnal Ilmiah Inovasi*. 16(2): 95-99.
- Arifin, M. 2021. Pengaruh penambahan gliserol terhadap sifat fisik dan kimia edible film dari selulosa batang jagung. *Journal of Food and Agricultural Product*. 1(1): 7–15.
- Asl, S. A., Mousavi, M., dan Labbafi, M. 2017. *Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose from sugarcane bagasse*. *Journal of Food Processing and Technology*, 8(8): 1-6.
- ASTM (American Society for Testing and Material). 1995. *Annual Book of ASTM Standard D638-94*. American Society for Testing and Material. Philadelphia. 16 hlm.
- Ayu, S. P., dan Ningsih, A. S. 2020. Pemanfaatan sisa bahan pangan dalam pembuatan bioplastik. *Jurnal Kinetika*. 11(1): 61–64.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Lampung Tengah. 2017. Kabupaten Lampung Tengah dalam Angka 2017. BPS Kabupaten Lampung Tengah. 84 hlm
- Darni, Y., Amalia, F., Azwar, E., Utami, H., Lismeri, L., Azhar dan Haviz, M. 2022. Pemanfaatan jerami padi sebagai filler dalam pembuatan biodegradable foam (biofoam). *Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri*. 3(2): 18-26.
- Darni, Y., Hasysnsh, R., Lismeri, L., dan Utami, H. 2016. Pengaruh konsentrasi *plasticizer* gliserol terhadap karakteristik komposit bioplastic berbasis pati sorgum. *Jurnal Riset dan Industri*. 1(1): 94-100.
- Dewanti, D. P. 2018. Potensi selulosa dari limbah tandan kosong kelapa sawit untuk bahan baku bioplastik ramah lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 19(1): 81-88.
- Diputra, F. A. 2023. Sintesis dan Karakterisasi Plastik Biodegradable Berbasis Starch Nanoparticle dengan Penambahan Plasticizer Gliserol. *Skripsi*. Politeknik Negeri Lampung. Lampung. 69 hlm.
- Febriani, H., Kurnia, K. I. F., dan Pangarso, Z. D. 2021. Pembuatan dan karakterisasi fisik biodegradable foam pati kulit pisang dan selulosa ampas tebu. *Jurnal Ilmiah Penalaran dan Penelitian Mahasiswa*. 5(1): 1-13.

- Fiqinanti, N., Zulferiyenni, Z., Susilawati, S., dan Nurainy, F. 2022. Karakteristik biodegradable film dari kombinasi bekatul beras dan selulosa sekam padi. *Jurnal Agroindustri Berkelanjutan*. 1(2): 283-293.
- Fransisca, D., Zulferiyenni, dan Susilawati. 2013. Pengaruh konsentrasi tapioka terhadap sifat fisik biodegradable film dari bahan komposit selulosa nanas. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian*. 18(2): 196-205.
- Gea, S., Pasaribu, K. M., Sarumaha, A. A., dan Rahayu, S. 2022. *Cassava starch/bacterial cellulose based bioplastics with zanthoxylum acanthopodium*. Biodiversitas. 23(6): 2601-2608.
- Gozali, T., Willy, P. W., dan Iqbal, R. 2020. Pengaruh konsentrasi cmc dan konsentrasi gliserol terhadap karakteristik edible packaging kopi instan dari pati kacang hijau (*Vigns radiatal*). *Pasundan Food Technology Journal*. 7(1): 1-9.
- Hamzah, F. H., Sitompul, F. F., Ayu, D. F., and Pramana, A. 2021. *Effect of the glycerol addition on the physical characteristics of biodegradable plastic made from oil palm empty fruit bunch*. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*. 10(3): 239-248.
- Harding KG, Gounden T, dan Pretorius S. 2017. *Biodegradable Plastics: A Myth of Marketing*. *Procedia Manufacturing*. 7(2):106-110.
- Haryati, S., Rini, A. S., dan Safitri, Y. 2017. Pemanfaatan biji durian sebagai bahan baku plastik biodegradable dengan *plasticizer* giserol dan bahan pengisi CaCO₃. *Jurnal Teknik Kimia*. 1(23): 1-8.
- Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., Norrrahim, M. N. F., dan Zuhri, M. Y. M. 2022. *Effect of lignin incorporation on the mechanical and physical properties of biopolymer films: A review*. *Journal of Cleaner Production*. 3(5): 131-145.
- Ismaya, F. C., Fitrhriyah, N. H., dan Hendrawati, T. Y. 2021. Pembuatan dan karakteristik edible film dari nata de coco dan gliserol. *Jurnal Teknologi*. 13(1): 81-88.
- Jamil, A., Dikin, A., Widarto, H. T., Gartina, D., Sukriya, L. L., Zuraina, W. K., Pudjianto, E., Udin, A., Kurniawati, N., dan Magdalena, E. 2022. Statistik perkebunan non unggulan nasional 2020-2022. *Direktorat Jenderal Perkebunan*. Jakarta. 51 hlm.

- Jiang, F., & Hsieh, Y. L. 2020. *Lignin nanofibers and nanospheres: the effect of lignin structure and preparation method on particle morphology and size. Jurnal Green Chemistry*. 22(1), 133-144.
- Khairunnisa, F. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Hidrogel Berbasis Lignin Hasil Isolasi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Jakarta. 91 hlm.
- Khumairoh, U. M. 2016. Pengaruh Konsentrasi Gliserol dan Konsentrasi CMC terhadap Karakteristik Biodegradable Film Berbasis Ampas Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*). *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. 45 hlm.
- Koushal, Vipin. 2014. *Of Waste Resources Plastics: Issues Challenges and Remediation*. 4(1): 1-6.
- Kristiningsih, A., Wittriyansah, K., Hastuti, H. D., dan Sodikin, J. 2024. Karakteristik fisik bioplastik kitosan dengan penambahan selulosa kulit nipah (*nypa fruticans*). *Journal of Marine Research*. 13(4): 721-730.
- Kustiyah, E., Novitasari, D., Wardani, L. A., Hasaya, H., dan Widianoro, M. 2023. Pemanfaatan limbah ampas tebu untuk pembuatan plastik *biodegradable* dengan metode *melt intercalation*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 24 (2): 300-306.
- Kusumaningrum, D. Santoso, S. P., dan Yuliani, S. 2022. Peran lignin dalam pengembangan biopolimer film. *Indonesian Journal of Agricultural Technology*. 25(3): 205-214.
- Mandasari, A., Safitri, M. F., Perangin-Angin, E. R., Sunarwati, D., Safitri, W. D., dan Nasution, H. I. 2017. Karakterisasi uji kekuatan tarik (*tensile strenght*) film plastik biodegradable dari tandan kosong kelapa sawit dengan penguat zink oksida dan gliserol. *Journal of Einstein*. 5(2): 1-8.
- Mufida, I., dan Sigiro, O. N. 2024. Analisis biodegradasi dan ketahanan air pada plastic biodegradable dari kulit singkong dengan variasi selulosa serat nanas. *Journal of Food Security and Agroindustry*. 2(2): 61-68.
- Muhammad, M., Ridara, R., dan Masrullita, M. 2020. Sintesis bioplastik dari pati biji alpukat dengan bahan pengisi kitosan. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 9(2): 1-11.
- Mukti, A. S., Supriyanto, S., dan Analianasari, A. 2024. Pemanfaatan serat serabut kelapa (*cocos nucifera*) sebagai biodegradable foam alternatif

- pengganti styrofoam menggunakan metode alkalisasi. *Jurnal Pengembangan Agroindustri Terapan*. 3(1): 13-22.
- Nairfana, I., dan Ramdhani, M. 2021. Karakteristik fisik edible film pati jagung (*zea mays l.*) termodifikasi kitosan dan gliserol. *Jurnal Sains Teknologi dan Lingkungan*. 7(1): 91-102.
- Ningsih, E. P., Ariyani, D., dan Sunardi. 2019. Pengaruh penambahan *carboxymethyl cellulose* terhadap karakteristik bioplastik dari pati ubi nagara (*Ipomoea batatas L.*). *Indonesia Journal Chemical*. 7(1): 77-85.
- Nur, R. 2016. Pembuatan karboksimetil selulosa (cmc) dari batang kelapa sawit. *Jurnal Sanis dan Teknologi Pangan*. 1(2): 222-231.
- Nur, R., Tamrin., dan Muzakkar, M. Z. 2016. Sintesis dan karakterisasi cmc (*carboxy methyl cellulose*) yang dihasilkan dari jerami padi. *Jurnal Sains dan Teknologi Pangan*. 1(3): 222-230.
- Nurfauzi, S., Sutan, S. M., Argo, B. D., dan Djoyowasito, G. 2018. Pengaruh konsentrasi cmc dan suhu pengeringan terhadap sifat mekanik dan sifat degradasi pada plastik biodegradable berbasis tepung jagung. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*. 6(1): 90-99.
- Nurkhasanah, A., Wulandari, S., dan Trisna, D. N. 2021. Studi ketahanan penyimpana bioplastik berbasis pati dan lignin. *Jurnal Rekayasa Proses*. 15(2): 145-152.
- Pasue, I., Saleh, E.J., dan Bahri, S. 2019. Analisis lingnin, selulosa dan hemi selulosa jerami jagung hasil di fermentasi *Trichoderma viride* dengan masa inkubasi yang berbeda. *Journal of Animal Science*. 1(2): 2655-4356.
- Prasetyo, H.I., Wijana, G., dan Pradnyawathi, N.M. 2023. Identifikasi dan karakterisasi tanaman nanas (*ananas comosus L.*) di daerah bali dalam upaya pengembangannya. *Journal on Agriculture Science*. 13(1): 113-123.
- Putera, R. D. H. 2012. Ekstraksi Serat Selulosa Dari Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) dengan Variasi Pelarut. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok. 70 hlm.
- Putra, E. P. D., dan Saputra, H. 2020. Karakterisasi plastik biodegradable dari pati limbah kulit pisang muli dengan plasticizer sorbitol. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*. 24(1): 29-36.

- Putra, W.M. 2015. Pengaruh Penambahan Selulosa Mahkota Nanas Dalam Pembuatan Plastik Biodegradable dari Pati Umbi Gadung (*Diocorea Hispida* Densnt) Dengan Menggunakan Plasticizier Gliserin. *Skripsi*. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang. 78 hlm.
- Putri, R., D., A., Sulistyowati, D., dan Ardhiani, T. 2019. Analisis penambahan carboxymethyl cellulose terhadap edible film pati umbi garut sebagai pengemas buah strawberry. *Jurnal Riset Sains dan Teknologi*. 3(2): 77-83.
- Putri, M. M. 2023. Formulasi Gliserol dan CMC dalam Pembuatan Biodegradable Film Berbasis Selulosa Daun Nanas (*Ananas comosus*). *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. 47 hlm.
- Rahardja, I.S., Hasibun, C.E., dan Dermawan, Y. 2022. Analisis briket *fiber mesocarp* kelapa sawit metode karbonisasi dengan perekat tepung tapioka. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 16(2): 82-91.
- Rahim, A. A. 2021. *Biodegradable polymer film properties influenced by lignin addition: a review*. *Journal of Polymers and The Enviroment*. 29(2): 1956-1965.
- Rahmidar, L., Ahidiniawati, S., dan Sudiarti, T. 2018. Pembuatan dan karakterisasi metal selulosa dari bonggol dan kulit nanas (*ananas comosus*). *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*. 2(1):88-96.
- Rizal, S., Yahya, E. B., Khalil, H. P. S. A., Abdullah, C. K., Olaiya, N. G., Saurabh, C. K., & Paridah, M. T. 2022. Recent advances in lignin-based biopolymers and nanocomposites for packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*. 21(7): 768-788.
- Rohman, M., A., 2016. Pengaruh Penambahan Glutaraldehida Terhadap Karakteristik Film Bioplastik Kitosan Terplastis Carboxy Methyl Cellulose (CMC). *Skripsi*. Universitas Airlangga. Surabaya. 62 hlm.
- Sahoo, S., Misra, M., dan Mohanty, A. K. 2021. *Lignin-based biodegradable polymer composites*. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 9(6): 2544-2560.
- Sahputra, R., Fitriani, A., dan Handayani, N. 2023. Pengaruh lignin terhadap stabilitas bioplastik berbasis pati dan selulosa. *Jurnal Agroindustri Indonesia*. 14(1): 56-64.
- Salim, S. 2018. Poli Asamn Laktat (PLA), Kitosan, Bentonit Nanokomposit dari Pati Singkong untuk Aplikasi Kemasan Makanan dan Peningkatan

Kompatibiliser Menggunakan Glutaraldehid. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara. Medan. 84 hlm.

- Sari, S. A. P., dan Asriza, R. O. 2023. *The influence of plasticizer type on the characteristics of bioplastics made from taro tuber starch (colocasia esculenta (L.) Schott) with the addition of cane drague cellulose*. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*. 5(2): 285-295.
- Sari, L. P., Wulandari, R., dan Prasetyo, M. 2023. Pemanfaatan limbah lignoselulosa dalam pembuatan film biodegradable berbasis selulosa. *Indonesian Journal of Material*. 8(1): 55-64.
- Septevani, A. A., Burhani, D., dan Sudiyarmanto, S. 2018. Pengaruh proses pemutihan multi tahap serat selulosa dari limbah tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Kimia dan Kemasan Pusat Penelitian*. 40(2): 71-78.
- Sathawong, Sidthipong, Sridach, W., dan Techato, K. A. 2018. *Isolation and preparing the lignin hydrogel*. *Journal of Enviro Chemical Engineering*. 6(5): 79-88.
- Setiati, R., Wahyuningrum, D., Siregar, S., dan Marhaendrajana, T. 2016. Optimasi pemisahan lignin ampas tebu dengan menggunakan natrium hidroksida. *Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*. 4(2): 257-264.
- Simatupang, H., Nata, A., dan Herlina, N. 2012. Studi isolasi dan rendemen lignin dari tanda kosong kelapa sawit (TKKS). *Jurnal Teknik Kimia*. 1(1): 20-24.
- Sinaga, S. 2020. Karakteristik Plastik Biodegradable Film dari Pati dan Serat Batang Kelapa Sawit (*Elaeis Guineesis Jacq*). *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara. 93 hlm.
- Siregar, J. D. 2021. Potensi Selulosa Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan Dengan Metode Atom Transfer Radical Polymerisation. *Skripsi*. Jurusan Kimia.UNIMED. 71 hlm.
- Sulastri, I., Suryati, Azahri, Sulhantun, dan Bahri, S. 2023. Pembuatan bioplastik dari tepung pati ubi jalar (*ipomoea batatas*) dengan pengaruh penambahan ampas tebu (*saccharum officiarum*) dan gliserol. *Chemical Engineering Journal*. 3(4): 481-494.
- Sumada, K., dan Puspita, E.T. 2011. Kajian proses isolasi α -selulosa dari limbah batang tanaman manihot esculenta crantz yang efisien. *Jurnal Teknik Kimia*. 5(2): 434-438.

- Sutrisno, Soenoko, R., Irawan, Y. S., dan Widodo, T. D. 2020. Pengaruh perendaman serat sabut kelapa pada air kalsium karbonat terhadap *weattability*. *Jurnal Ilmiah Ilmu Teknik*. 5(1):1-7.
- Sriwijayanti, Ganda, A., Situmeang, B., dan Mahardika, M. 2024. Pembuatan plastik biodegradable dari limbah kulit nanas dengan *plasticizer sorbitol*. *Journal of Chemistry Sciences and Education*. 1(1): 29-35.
- Sriwita, D., dan Astuti. 2014. Pembuatan dan Karakterisai Sifat Mekanik Bahan Komposit Serat Daun Nenas-Poliester Dilihat dari Fraksi Massa dan Orientasi Serat. *Skripsi*. Jurusan Fisika FMIPA. Universitas Andalas. 65 hlm.
- Tan, Z., Yongjian, Y., Hongying, W., Wanlai, Z., Yuanru, Y., dan Chaoyun, W. 2016. *Physical and degradable properties of mulching films prepared from natural fibers and biodegradable polymers*. *Journal of Applied Sciences*. 6(147):1-11.
- Wiradipta, I., D., G., A. 2017. Pembuatan Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Selulosa dari Tongkol Jagung. *Skripsi*. Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh November. 63 hlm.
- Wulandari, D. S. 2020. Pengaruh Konsentrasi Lignin Terhadap Sifat Fsik dan Mekanik Bioplastik Berbasis *Polylatic Acid* (PLA). *Skripsi*. Jurusan Fisika FMIPA. Institut Pertanian Bogor. 90 hlm.
- Yu, Z., Li, B., Chu, J., dan Zhang, P. 2018. *Silica in situ enhanced PVA/chitosan biodegradable films for food packages*. *Carbohydrate polymers*. 184: 214-22.

