

**KARAKTERISTIK BIOPLASTIK BERBASIS KITOSAN KULIT UDANG  
(*Penaeus monodon*) DAN LIGNIN KAYU AKASIA (*Acacia mangium*)**

**(Tesis)**

**Oleh**

**PELITA NINGRUM  
NPM 2124051001**



**PROGRAM PASCASARJANA  
MAGISTER TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2025**

## ABSTRACT

### Characteristics of Bioplastics Based on Chitosan (*Penaeus monodon*) and Kraft Lignin Derived from *Acacia mangium*

Oleh

PELITA NINGRUM

Biodegradable plastic or bioplastic is a type of plastic that can decompose or degrade naturally and is made of biopolymers derived from the nature, which are polymers composed of biomass and renewable resources. This study aims to characterize bioplastics made from chitosan and lignin, as well as the use of organic solvents. Bioplastics are made using the casting method and characterized by analyzing the mechanical properties like tensile strength, Young's modulus, and elongation at break, all data were analyzed descriptively. Evaluation on the linkage formation between lignin and chitosan during film preparation was evaluated by FTIR while the thermal properties was assessed by thermogravimetry analysis. The water vapor permeability tests and transparency as well as biodegradability of bioplastics were also carried out. Analysis of the best mechanical properties was found in the treatment using 3% acetic acid solvent, the mechanical properties' of bioplastics shows a tensile strength value of 34.82 MPa, Young's modulus of 18.54 MPa, and elongation at break of 2.74%. Chitosan-lignin bioplastic shows that the interaction between chitosan and lignin affects the intensity of the absorption peak, leading to reduce transparency and increased thermal stability. The chitosan-lignin interaction also influences the crystalline size, making it easier to degrade and more flexible rather than rigid. The contact angle shows the bioplastic's ability to resist water absorption for 4 minutes. In the biodegradation test, the sample began to degrade after 30 days of observation. Bioplastics have the potential to be developed for single use packaging, shopping bags, and agricultural mulch.

Keywords: Bioplastic, chitosan, lignin, acetic acid, *biodegradable*

## ABSTRAK

### KARAKTERISTIK BIOPLASTIK BERBASIS KITOSAN KULIT UDANG (*Penaeus monodon*) DAN LIGNIN KAYU AKASIA (*Acacia mangium*)

Oleh

PELITA NINGRUM

Salah satu penyebab pencemaran lingkungan adalah banyaknya limbah plastik yang menumpuk dan sulit terurai. Plastik *biodegradable* atau bioplastik adalah jenis plastik yang dapat terurai atau terdegradasi secara alami terbuat dari biopolimer yang bersumber dari alam. Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi bioplastik yang berbahan dasar kitosan dan lignin serta penggunaan pelarut organik. Bioplastik dibuat dengan teknik *casting method* dan dikarakterisasi dengan analisis sifat mekanis bahan (*tensile strength*, *modulus young*, dan *elongation at break*), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), termogravimetri, permeabilitas uap air, spektrofotometer ultra violet visible, X-Ray *diffraction*, sudut kontak, transparansi bioplastik dan biodegradabilitas, keseluruhan data dianalisis secara deskriptif. Analisis sifat mekanis terbaik pada perlakuan dengan penggunaan pelarut asam asetat konsentrasi 3% yang menunjukkan nilai *tensile strength* 34,82 MPa, *modulus young* 18,54 MPa, dan *elongation at break* 2,74%. Bioplastik kitosan-lignin menunjukkan interaksi antara kitosan dan lignin berpengaruh terhadap intensitas puncak gelombang serapan cahaya pada penurunan transparansi dan peningkatan stabilitas termal. Interaksi kitosan-lignin juga mempengaruhi laju kristalisasi membuatnya mudah untuk terurai dan menjadi lebih fleksibel serta tidak kaku. Sudut kontak menunjukkan kemampuan bioplastik untuk menahan serapan air selama 4 menit. Uji biodegradasi, sampel mulai mengalami degradasi setelah 30 hari pengamatan. Bioplastik berpotensi untuk dikembangkan sebagai kemasan produk segar, kantong belanja dan mulsa pertanian.

Kata kunci: Bioplastik, kitosan, lignin, asam asetat, *biodegradable*

**KARAKTERISTIK BIOPLASTIK BERBASIS KITOSAN KULIT UDANG  
(*Penaeus monodon*) DAN LIGNIN KAYU AKASIA (*Acacia mangium*)**

**Oleh**

**PELITA NINGRUM**

**Tesis**

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

**Pada**

Program Pascasarjana Magister Teknologi Industri Pertanian  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**PROGRAM PASCASARJANA  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2025**



Judul Tesis

: **KARAKTERISTIK BIOPLASTIK  
BERBASIS KITOSAN KULIT UDANG  
(*Penaeus monodon*) DAN LIGNIN KAYU  
AKASIA (*Acacia mangium*)**

Nama Mahasiswa

: *Pelita Ningrum*

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2124051001

Program Studi

: Magister Teknologi Industri Pertanian

Fakultas

: Pertanian



1. Komisi Pembimbing

*[Signature]*  
**Prof. Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P.**  
NIP 19710930 199512 2 001

*[Signature]*  
**Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc.**  
NIP 19791114 200912 1 001

2. Ketua Program Studi Magister Teknologi Industri Pertanian

*[Signature]*  
**Prof. Dr. Eng. Udin Hasanudin, M.T.**  
NIP 19640106 198803 1 002



**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Prof. Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P.** .....

Sekretaris : **Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc.** .....

Penguji  
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Widya Fatriasari, S.Hut., M.M.** .....

**Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si.** .....

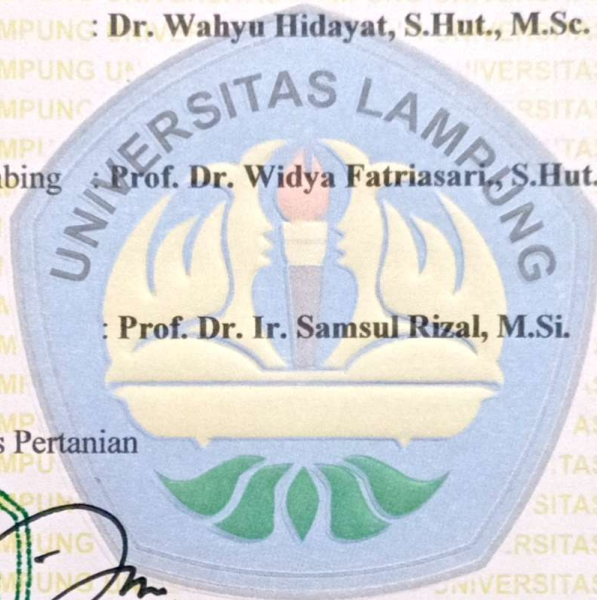
2. Dekan Fakultas Pertanian

**Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.**  
NIP. 19641118 198902 1 002

3. Direktur Program Pascasarjana

**Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.**  
NIP. 19640326 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : **22 Januari 2025**





## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Pelita Ningrum

NPM : 2124051001

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

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

Bandar Lampung, Januari 2025

Pembuat Pernyataan



Pelita Ningrum

NPM. 2124051001

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Metro, pada tanggal 20 Agustus 1984 sebagai anak pertama dari pasangan Bapak M. Yamin dan Ibu Mardiningsih, S.Sos. Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari TK Mutiara pada tahun 1990, SD Kartika II-5 pada tahun 1991-1996, SMP Negeri 9 Bandar Lampung pada tahun 1996-1999, SMA Negeri 3 Bandar Lampung pada tahun 1999-2002, Penulis telah menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2007. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan S2 di Program Magister Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2021. Sejak tahun 2009 penulis bekerja sebagai Aparatur Sipil Negara di Dinas Tanaman Pangan, Hortikultura dan Perkebunan Kabupaten Lampung Selatan.



## SANWACANA

*Bismillaahirrahmaanirrahiim.* Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya tesis ini dapat diselesaikan. Tesis dengan judul “Karakteristik Bioplastik Berbasis Kitosan Kulit Udang (*Penaeus monodon*) dan Lignin Kayu Akasia (*Acacia mangium*)” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknologi Industri Pertanian di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P, selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung;
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Udin Hasanudin, M.T selaku Ketua Program Studi Magister Teknologi Industri Pertanian yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, motivasi, bantuan, saran, dan nasihat;
5. Ibu Prof. Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P. selaku pembimbing pertama tesis yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, saran, nasihat, bantuan dan fasilitas dalam penyusunan tesis;
6. Bapak. Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, bantuan, saran, dan nasihat hingga penyusunan tesis ini selesai;
7. Ibu Prof Dr. Widya Fatriasari, S.Hut., M.M. selaku pembahas pertama atas bantuan, saran, dan evaluasinya terhadap karya tesis penulis;

8. Bapak Prof. Dr. Ir. Samsul rizal, M.Si. selaku pembahas kedua atas bantuan, saran, dan evaluasinya terhadap karya tesis penulis;
9. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, saran, dan nasihat, kepada penulis selama kuliah;
10. Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan ilmu, wawasan dan bantuan kepada penulis selama kuliah;
11. Keluargaku tercinta, Nur Hanafiah, S.T.P serta kedua anakku Ameera Mazaya Hanif dan Danendra Mahardika Hanif yang telah memberikan dukungan, motivasi, materi dan doa yang selalu menyertai penulis selama ini;
12. Ibuku Mardiningsih, S.Sos yang doanya tiada pernah terputus serta selalu mendampingi, dan memberikan semangat selama penulisan tesis ini. Adik-adikku Rafista Deviyanti, S.Pd., M.Pd., Fedrie Yammar, S.Tr Akt., M.Si., Anggie Destia P, S.E., Tri Yuda Setiawan, S.Si., M.Si., atas doa, dukungan dan semangat selama perkuliahan;
13. Teman terbaikku M. Teguh Angga Saputra, S.T.P., M.T.P., atas bantuannya selama penelitian dan teman-teman MTIP angkatan 2021 atas pengalaman yang diberikan, bantuan, semangat, dukungan, serta kebersamaannya selama ini;
14. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis sangat menyadari tesis ini jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dan dapat memberikan manfaat bagi penulis serta pembaca.

Bandar Lampung, Januari 2025

**Pelita Ningrum**



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	5
1.3. Kerangka Pemikiran .....	5
1.4. Hipotesis .....	8
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>9</b>
2.1. Bioplastik .....	9
2.1.1. Definisi Bioplastik .....	9
2.1.2. Jenis Bioplastik .....	10
2.1.3. Pembuatan Bioplastik .....	11
2.2. Kitosan .....	12
2.2.1. Pengertian Kitin dan Kitosan .....	12
2.2.2. Sumber dari Kitosan .....	13
2.2.3. Proses Sintesis Kitosan .....	14
2.2.4. Sifat Kitosan .....	16
2.2.4.1. Ikatan Ion Kitosan .....	16
2.2.4.2. Kelarutan Kitosan .....	16
2.2.4.3. Kepadatan Muatan Kitosan .....	17

2.2.4.4. Ikatan Rantai Molekul Kitosan .....	17
2.2.4.5. Kestabilan Molekul Kitosan .....	18
2.2.4.6. Flokulasi pada Kitosan .....	18
2.2.4.7. Sifat Pembentuk Gel pada Kitosan .....	18
2.2.4.8. Sifat Anti-microbial pada Kitosan .....	19
2.3. Lignoselulosa .....	19
2.3.1. Selulosa .....	21
2.3.2. Hemiselulosa .....	23
2.3.3. Lignin .....	24
2.3.3.1. Struktur Molekul Lignin .....	24
2.3.3.2. Sumber Lignin .....	26
2.3.3.3. Lignin Kayu <i>Acacia mangium</i> .....	26
2.3.3.4. Metode Ekstraksi Lignin dan Karakteristiknya .....	27
2.4. Asam Asetat .....	28
2.5. Asam Sitrat .....	29
2.6. Asam Laktat .....	31
2.7. <i>Polyvinyl Alcohol</i> (PVA) .....	33
<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>36</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	36
3.2. Bahan dan Alat .....	36
3.2.1. Bahan .....	36
3.2.2. Alat .....	36
3.3. Pelaksanaan Penelitian .....	37
3.3.1. Pembuatan bioplastik .....	37
3.3.2. Karakterisasi Bioplastik .....	39
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1. pH dan Sifat Fisik Bioplastik .....	43
4.2. Kekuatan Tarik Bahan ( <i>Tensile Strength</i> ) .....	49
4.3. <i>Fourier Transform Infra-red</i> (FTIR) .....	53
4.4. Analisis Thermogravimetri .....	56



4.5. Analisis Permeabilitas Uap Air (WVP dan WVTR) .....	58
4.6. Analisis Spektrofotometer Ultra Violet Visible (UV-Vis) .....	61
4.7. Analisis X-Ray <i>Diffraction</i> (XRD) .....	64
4.8. Analisis Sudut Kontak ( <i>Contact Angle</i> ) .....	70
4.9. Analisis Warna dan Transparansi pada Bioplastik .....	72
4.10. Analisis Biodegradabilitas pada Bioplastik .....	74
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>78</b>
5.1. Kesimpulan .....	78
5.2. Saran .....	79

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan kitin berbasis kering dari limbah cangkang krustacea dan miselium jamur .....	14
2. Komposisi senyawa kimia pada beberapa tanaman .....	23
3. Persentase berbagai jenis ikatan pada kayu lunak dan kayu keras .....	26
4. Sifat fisik pada asam sitrat .....	31
5. Sifat fisika dan kimia asam laktat .....	33
6. Penampakan fisik bioplastik dan ph akhir larutan campuran kitosan dan lignin .....	43
7. Kekuatan bahan <i>film</i> bioplastik .....	50
8. Nilai WVTR dan WVP Bioplastik .....	59
9. Penyerapan cahaya bioplastik pada berbagai panjang gelombang .....	62
10. Analisis XRD bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3% dan bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3%-lignin .....	65
11. Hasil uji <i>tensile strength</i> ( <i>Universal Testing Machinr Shimadzu, Japan</i> ) ..	88
12. Panjang gelombang pada 16 titik puncak bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3% .....	92
13. Panjang gelombang pada 4 titik puncak bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3%-lignin .....	93
14. Penurunan berat sampel (mg) berdasarkan suhu (°C) bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3% .....	94
15. Penurunan berat sampel (mg) berdasarkan suhu (°C) bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3%-lignin .....	95
16. Penyerapan Cahaya <i>Ultra Violet-Visible</i> (UV-Vis) .....	96
17. Difraksi sinar X pada berbagai rentang sudut .....	111



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur molekul kitin dan kitosan .....	12
2. Proses sintesis kitosan dari cangkang krustacea .....	15
3. Kurva kelarutan dan ph untuk kitosan .....	17
4. Struktur lignoselulosa .....	20
5. Delignifikasi pada lignoselulosa .....	21
6. Struktur selulosa .....	21
7. Struktur molekul hemiselulosa .....	24
8. Struktur molekul dasar lignin .....	25
9. Struktur molekul asam asetat .....	29
10. Struktur molekul asam sitrat .....	30
11. Struktur molekul asam laktat .....	32
12. Bentuk isomer asam laktat .....	32
13. Diagram alir pembuatan <i>casting film</i> bioplastik .....	38
14. Skema reaksi antara kitosan dan asam asetat .....	51
15. Spektrum FTIR pada bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3%-lignin serta bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3% .....	54
16. Grafik TGA antara bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3%lignin dan bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3% .....	56
17. Grafik Absorbansi UV-Vis bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3% dan bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3%-lignin .....	63
18. Grafik Pola XRD bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3% dan bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3%-lignin .....	67
19. Perubahan besaran sudut kontak pada bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3%-lignin .....	71
20. Perubahan besaran sudut kontak pada bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3% .....	72
21. Transparansi perbandingan warna pada bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3%-lignin dan bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3% .....	73

22. Grafik perubahan berat bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3%-lignin .....	75
23. Ilustrasi perubahan fisik bioplastik dengan metode <i>soil burial test</i> .....	76
24. Spektrum FTIR pada bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3% .....	92
25. Spektrum FTIR pada bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3%-lignin ..	93
26. Kitosan kulit udang .....	119
27. Lignin kayu <i>Acacia mangium</i> .....	119
28. Asam Laktat .....	119
29. Ethanol .....	119
30. Gelas ukur dan <i>volumetric</i> .....	119
31. pH meter .....	119
32. Timbangan digital .....	119
33. <i>Magnetic stirrer</i> .....	119
34. Pencampuran lignin dan ethanol .....	120
35. Pengadukan lignin dan kitosan dengan magnetic stirrer .....	120
36. Bioplastik kitosan-asam asetat 3%-lignin .....	120
37. Bioplastik kitosan-asam asetat 3% .....	120

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang dan Masalah

Kesehatan lingkungan sangat penting bagi kualitas hidup manusia, karena kualitas hidup dipengaruhi oleh tingkat kebersihan lingkungan sekitar kita. Salah satu penyebab kotornya lingkungan adalah banyaknya sampah plastik yang menumpuk dan sulit terurai (Wang *et al.*, 2020). Sampah plastik adalah masalah lingkungan yang serius dan kompleks, yang memerlukan kerja sama antara berbagai pihak untuk mengatasi dan menyelesaikannya. Pada tahun 2023 dikutip dari laman resmi Pemerintah Indonesia dari Kementerian Komunikasi dan Digital Republik Indonesia, Indonesia berada pada urutan kelima penyumbang sampah plastik di dunia dengan jumlah sampah plastik 65,2 juta ton, dan di urutan pertama adalah negara China dengan jumlah sampah plastik 395 juta ton.

Plastik merupakan jenis makromolekul yang terbentuk melalui proses polimerisasi (Permana *et al.*, 2021). Plastik tersebut terbuat dari unsur hidrogen, karbon serta unsur penyusun lainnya yang memiliki rantai molekul panjang dalam keadaan terikat atau disebut juga sebagai polimer (Wang *et al.*, 2020). Bahan pembuat plastik secara murni tidak ditemukan di alam, tetapi terbuat dari produk turunan yang berasal dari batubara, katun, gas, kayu, minyak bumi, garam serta air (Chen and Patel, 2012). Penggunaan plastik dalam kehidupan sehari-hari sangat luas seperti pembuatan berbagai macam materi lunak atau keras, termasuk diantaranya perabot rumah tangga, komputer, mainan dan pembungkus makanan. Plastik yang berasal dari kantong belanja sekali pakai juga menjadi penyumbang menumpuknya sampah plastik.

Plastik sintetis berbasis minyak bumi telah mendominasi bioplastik kemasan makanan yang terdiri dari 37% total pasar untuk bahan kemasan makanan karena biaya yang relatif rendah, transportasi murah, bobot lebih ringan, kekuatan mekanik dan kekakuan yang tinggi, sifat penghalang yang baik (tahan air dan minyak), kemampuan untuk menahan panas, serta memiliki bentuk yang fleksibel (Muller *et al.*, 2017). Namun, materi plastik saat ini yang terbuat dari produk berbasis minyak bumi, penggunaannya secara besar-besaran telah menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius, dikarenakan memiliki sifat yang stabil serta sulit untuk terurai secara alami di alam (Ji *et al.*, 2022).

Untuk menghindari limbah plastik yang terus meningkat setiap tahunnya, saat ini mulai dikembangkan bahan bio-kemasan alternatif, yang berasal dari sumber terbarukan, yang mudah terurai oleh alam (*biodegradable*). Biopolimer dapat digunakan untuk menggantikan plastik *non-biodegradable* dengan bahan lain yang lebih alami dan ramah lingkungan, bernama bioplastik (Ji *et al.*, 2022). Bahan alternatif *biodegradable* termasuk polisakarida seperti selulosa (lignin), pati, kitosan, agar, dan protein seperti kasein dapat digunakan sebagai bahan pengganti potensial polimer plastik sintetis (Kumar *et al.*, 2020).

Sebagai negara kepulauan Indonesia memiliki hasil perikanan yang melimpah, dengan komoditas utama seperti udang, rajungan dan kepiting yang merupakan penyumbang penting dalam nilai ekspor hasil perikanan Indonesia (LK KKP, 2023). Pada tahun 2023 volume produksi komoditas udang sebesar 1,097 juta ton (LK KKP, 2023). Peningkatan tersebut diikuti dengan peningkatan jumlah produk samping dari udang beku yang diolah, limbah tersebut terdiri dari kulit, kepala, kaki dan ekor dengan berat hingga 30%-70% dari berat udang (Hanafi *et al.*, 2000). Kulit dan kepala udang merupakan sumber kitosan alami yang tersedia banyak di alam. Sebagai polisakarida paling melimpah kedua di alam, kitosan tidak hanya mudah didapatkan dan mudah terdegradasi tetapi juga memiliki sifat pembentuk film, biokompatibel, dan antibakteri yang baik (Rosova *et al.*, 2021). Selain itu kitosan, dan turunannya telah dilaporkan banyak digunakan di industri termasuk produksi makanan, pengolahan air, pertanian, obat-obatan, dan biomedis



(Imtihani *et al.*, 2020). Pada penelitian ini kitosan yang digunakan merupakan kitosan yang berasal dari kulit udang.

Lignoselulosa adalah bahan terbarukan yang paling melimpah tersedia di bumi dengan ketersediaan biomassa global tahunan diperkirakan mencapai 181 miliar ton (Paul and Dutta, 2018) Biomassa dapat bersumber dari berbagai sektor, termasuk sektor kehutanan dan agroindustri. Biomassa banyak dimanfaatkan pada berbagai industri termasuk pengolahan bubur kayu dan kertas, *bioenergy*, *biofuel*, serta biokomposit/biomaterial (Nandal *et al.*, 2021). Lignin merupakan biopolimer paling banyak kedua di dinding sel senyawa lignoselulosa (15-35%) setelah selulosa (Paul and Dutta, 2018). Lignin dapat dihasilkan dalam jumlah besar sebagai produk sampingan di biorefinery dan industri pulp dan kertas melalui proses yang berbeda (Ridho *et al.*, 2022). Pada industri pulp dan kertas kayu akasia banyak dimanfaatkan dalam pembuatan kertas dan digunakan sebagai bahan baku utama (Solihat *et al.*, 2022), sehingga limbah dari industri tersebut dapat diolah kembali untuk menghasilkan lignin. Proses pengolahan pulp dan kertas menghasilkan limbah cair yang kaya akan lignin, terutama dalam proses kraft dan sulfite (Solihat *et al.*, 2021). Lignin dapat dipisahkan dari limbah tersebut melalui berbagai metode seperti pengendapan dengan asam, ultrafiltrasi, atau proses membran lainnya (Falah *et al.*, 2022).

Biopolimer digunakan sebagai bahan dasar pembuatan bioplastik karena kemampuannya yang baik dalam menjaga sifat asli bahan biopolimer tersebut dan sangat kompatibel serta mudah untuk diaplikasikan (Duan *et al.*, 2018). Kitosan-lignin tersebut jika digabungkan dapat menghasilkan suatu film plastik atau disebut bioplastik. Plastik komposit juga dapat dimaknai sebagai campuran dua atau lebih komponen yang berbeda yang dikombinasikan, dalam Wei *et al.* (2016) menyatakan hidrogel seperti *Polyactic Acid* (PLA) dapat berperan sebagai pengisi atau penguat, sedangkan lignin berperan sebagai bahan matriks resin atau polimer. Salah satu keuntungan bioplastik berbasis *bio-composite* adalah kepadatannya yang rendah namun kekuatan dan kekakuan mekaniknya lebih tinggi

dibandingkan dengan serat kaca, dampak lebih rendah terhadap lingkungan, biaya produksi yang lebih murah, dan biodegradabilitas yang baik (Sun *et al.*, 2016).

Penelitian sebelumnya telah berhasil mencampurkan kitosan-lignin dan menghasilkan *casting film* bioplastik (Crouvisier-Urien *et al.*, 2019; Ji *et al.*, 2022; Crouvisier-Urien *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2020; Jaganathan *et al.*, 2018; Rosova *et al.*, 2021 dan Ibrahim *et al.*, 2021). Lignin yang digunakan oleh Rosova *et al.* (2021) dan Crouvisier-Urien (2017, 2019) menggunakan lignin yang berasal dari tebu, Jaganathan *et al.* (2018) menggunakan lignin yang berasal dari kulit nangka, Chen *et al.* (2009) dan Ibrahim *et al.* (2021) mengekstraksi lignin yang berasal dari limbah pabrik kertas, dan Zhang *et al.* (2020) menggunakan lignin dengan mengekstrak serat kayu rami. Lignin yang digunakan pada penelitian tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dikarenakan berasal dari sumber biomassa yang berbeda.

PVA (*Polivynil Alcohol*) merupakan polimer sintetik dalam bentuk semi-kristal, yang dapat larut dalam air dan memiliki ketahanan kimia, sifat hidrofilik tinggi, sifat mekanik yang baik, biokompatibilitas tinggi, dan sifat pembentuk film yang baik (Boonruam *et al.*, 2021). Karena kitosan dan PVA mengandung gugus OH, kedua polimer menunjukkan kompatibilitas yang baik, karenanya itu PVA telah dicoba untuk dimasukkan ke dalam hidrogel berbasis kitosan untuk meningkatkan sifat matriksnya (Li *et al.*, 2012). Vimala *et al.* (2011) telah melakukan penelitian yang mencampurkan PVA/kitosan dan menghasilkan film casting yang menunjukkan ketahanan terhadap sinar Ultra Violet yang sangat baik dan PVA memberikan elastisitas pada film kitosan.

Dalam penelitian ini, film berbasis kitosan dilarutkan dalam jenis pelarut yang berbeda yaitu larutan asam laktat, asetat, sitrat dan PVA dengan konsentrasi yang telah ditentukan (1%, 2%, dan 3%). Sedangkan larutan lignin diperoleh dengan mendispersikan lignin ke dalam etanol dan konsentrasi dibuat tetap (1,38% b/b). Fokus penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jenis asam/PVA dan

konsentrasi asam/PVA pada lignin terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan. Melalui karakterisasi mikrostruktur dan pengujian sifat makroskopik dari lapisan film yang dihasilkan diharapkan akan memberikan dampak pada sifat mekanik, fisik, identifikasi gugus fungsi, ketahanan terhadap panas, absorbansi maksimum, permeabilitas uap air, ukuran kristal, sudut kontak permukaan, transparansi warna dan biodegradabilitas film berbasis kitosan-lignin.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh jenis pelarut dan konsentrasinya terhadap nilai pH dan sifat fisik film bioplastik *biodegradable*.
2. Mendapatkan perlakuan yang terbaik dari perbedaan jenis pelarut dan konsentrasinya terhadap sifat mekanik bioplastik (kuat tarik, modulus young dan % *elongansi*).
3. Mendapatkan karakteristik bioplastik untuk hasil perlakuan terbaik pada identifikasi gugus fungsional, ketahanan terhadap panas (TGA), absorbansi maksimum pada sinar UV-Vis, nilai permeabilitas uap air (WVTR dan WVP), nilai XRD ukuran kristal, perubahan sudut kontak permukaan, transparansi warna dan biodegradabilitas.

## 1.3. Kerangka Pemikiran

Plastik *biodegradable* adalah jenis plastik yang dapat terurai atau terdegradasi secara alami terbuat dari biopolimer yang bersumber dari alam, yaitu jenis polimer yang tersusun dari biomassa serta dapat diperbarui (Agustin *et al.*, 2016.). Karena sifatnya yang tahan terhadap uap air, bioplastik berpotensi digunakan sebagai bahan pengemas untuk pengganti kemasan yang terbuat dari plastik biasa. Bahan pembentuk bioplastik dapat bersumber dari biomassa seperti selulosa, pati, kitosan, lignin, dan pektin (Chen *et al.*, 2012).

Dalam proses pembuatan bioplastik bahan biopolimer yang digunakan akan mempengaruhi karakteristik dari biofilm yang dihasilkan. Pada penelitian ini menggunakan bahan biopolimer yang berasal dari kitosan kulit udang selanjutnya disebut sebagai kitosan dan lignin kayu akasia selanjutnya disebut sebagai lignin serta penggunaan pelarut organik. Kitosan memiliki karakteristik yaitu pada larutan asam organik dapat terlarut, dengan pH antara 4 s.d 6, serta kitosan larut dalam pelarut aseton, alkohol dan air. Sedangkan lignin merupakan biopolimer yang terdiri dari gugus fungsi aktif (hidroksil, metoksi, karbonil, karboksil, dan benzena), yang disusun dalam struktur hiper-bercabang (Solihat *et al.*, 2021).

Kelemahan lignin adalah tidak dapat membentuk film dengan sendirinya (Crouvisier-Urien *et al.*, 2017). Karena itu dibutuhkan suatu cara untuk membuat biofilm yang berasal dari lignin dengan membuat komposit yang dicampur biopolimer lain, seperti kitosan. Penelitian ini menggunakan jenis pelarut berupa pelarut organik untuk melarutkan kitosan yaitu larutan asam sitrat, asam laktat, dan asam asetat; sedangkan sebagai pembanding menggunakan PVA. PVA digunakan sebagai pembanding karena baik kitosan dan PVA mengandung gugus OH, sehingga kedua polimer menunjukkan kompatibilitas yang baik (Boonruam *et al.*, 2021).

Penelitian sebelumnya menggunakan pelarut asam laktat dan kitosan yang dilakukan oleh Cousivier-Urien *et al.* (2017) menghasilkan perubahan struktur dan partisi ulang lignin di dalam matriks film meningkatkan hidrofobisitas permukaan film komposit. Sedangkan Rosova *et al.* (2021) menggunakan asam asetat untuk melarutkan kitosan yang menghasilkan nilai elongasi putus lebih tinggi (150-160%) daripada nilai (rata-rata) film kitosan murni (100%) dan penambahan lignin menyebabkan perubahan signifikan pada morfologi permukaan film. Chen *et al.* (2009) juga melarutkan kitosan dengan asam asetat dan menunjukkan adanya ikatan hidrogen yang kuat antara kitosan dan lignin.



Park *et al.* (2002) telah membuat campuran kitosan dengan cara kitosan dilarutkan ke dalam larutan asam asetat dengan konsentrasi 2%, serta asam malat, asam laktat, dan asam sitrat dengan konsentrasi 4% yang menghasilkan film yang dibuat dengan asam sitrat memiliki nilai elongation tertinggi tetapi *water vapor permeability* (WVP) tidak dipengaruhi secara signifikan oleh berat molekul kitosan. Penggunaan asam sitrat sebagai pelarut untuk kitosan juga dapat meningkatkan kekuatan mekanik film, sebagai akibat dari ikatan silang ionik potensial oleh asam sitrat (Khouri *et al.*, 2020). Selain penggunaan larutan asam organik sebagai pelarut kitosan juga digunakan PVA sebagai pembanding. Pada penelitian sebelumnya dengan penambahan PVA ke dalam kitosan telah menunjukkan terjadinya peningkatan elastisitas film yang dihasilkan (Boonruam *et al.*, 2021).

Selain kitosan polimer lignin juga digunakan sebagai komponen aktif dan pengisi dalam persiapan membentuk sistem komposit (Rosova *et al.*, 2021). Beberapa penelitian terbaru telah menunjukkan bahwa lignin cocok untuk pembuatan film kemasan polimer termoplastik karena sifat antioksidannya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Falah *et al.* (2022) telah berhasil menggunakan presipitasi asam encer untuk memulihkan lignin dari lindi hitam (BL) yang berasal dari limbah pulp kayu akasia melalui tahap tunggal dan tahap presipitasi asam klorida, dengan perolehan lignin kemurnian 82,66%. Pada penelitian ini lignin tersebut akan digunakan sebagai polimer campuran dengan kitosan.

Penggunaan asam organik dan PVA pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil perbandingan yang lebih baik dalam meningkatkan karakteristik fisik dan mekanik pada pencampuran kitosan-lignin. Penelitian sebelumnya (Rosova *et al.*, 2021) lebih fokus pada pencampuran kitosan dengan menggunakan satu jenis asam pada satu jenis konsentrasi. Selain itu dengan menggabungkan kitosan-lignin dengan hidrogel seperti PVA diharapkan bisa memberikan hasil perbandingan yang lebih bagus terutama dalam hal elastisitas dan permeabilitas dari *casting film* yang terbentuk.

#### 1.4. Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah:

1. Terdapat pengaruh jenis pelarut dan konsentrasinya terhadap sifat fisik film bioplastik *biodegradable*.
2. Terdapat perlakuan yang terbaik dari perbedaan jenis pelarut dan konsentrasinya terhadap sifat mekanik bioplastik (kuat tarik, modulus young dan % *elongansi*).
3. Terdapat karakteristik bioplastik untuk hasil perlakuan terbaik pada identifikasi gugus fungsional, ketahanan terhadap panas (TGA), absorbansi maksimum pada sinar UV-Vis, nilai permeabilitas uap air (WVTR dan WVP), nilai XRD ukuran kristal, perubahan sudut kontak permukaan, transparansi warna dan biodegradabilitas.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Bioplastik

#### 2.1.1. Definisi Bioplastik

Bioplastik atau plastik *biodegradable* adalah jenis plastik yang dirancang untuk lebih ramah lingkungan daripada plastik konvensional, oleh mikroorganisme plastik tersebut mudah terurai dan bahan pembentuknya dapat diperbaharui dan berasal dari bahan alami yang dapat diperbaharui (Pavoni *et al.*, 2019). Bahan pembentuk bioplastik dapat terbuat dari biopolimer yang bersumber dari bahan alami seperti minyak nabati dan pati, dimana dalam waktu dan keadaan tertentu dapat mengalami perubahan pada struktur kimianya, karena dipengaruhi oleh mikroorganisme sehingga mudah untuk diuraikan di alam (Ji *et al.*, 2022).

Bioplastik merupakan jenis plastik yang dapat dibuat dari polimer alam atau biopolimer, yaitu sejenis polimer yang bersumber dari alam atau berasal dari biomassa yang dapat diperbaharui. Bahan bioplastik yang terbakar tidak membentuk senyawa kimia yang berbahaya, adanya bioplastik juga tidak akan merusak kondisi tanah, karena bahannya bersumber dari biomassa sehingga unsur hara dalam tanah dapat ditingkatkan dampak dari hasil penguraian bioplastik melalui mikroorganisme (Kumar *et al.*, 2020).

Bioplastik bisa dimanfaatkan sebagai bahan pengemasan untuk produk berbasis pangan. Kemampuan bioplastik yang baik sebagai penahan uap air dapat mencegah terjadinya difusi oksigen dan dapat mempertahankan komponen rasa sehingga bisa tercipta atmosfer internal yang terkondisikan sesuai kebutuhan produk yang dikemas (Muller *et al.*, 2017). Pemanfaatan pengemas bahan pangan

menggunakan bioplastik dapat menguntungkan karena bersifat ramah lingkungan serta mampu untuk memperpanjang umur simpan produk (Wei *et al.*, 2016).

### 2.1.2. Jenis Bioplastik

Maladi (2019) menyatakan bioplastik menurut bahan dasar pembentuknya, secara garis besar dapat dikelompokkan, sebagai berikut:

#### a. Gabungan polimer sintetis dengan biopolimer

Bioplastik yang berasal dari film jenis ini dibuat dengan mencampurkan polimer sintetis dengan granula pati (5-20 %) dengan memberikan tambahan bahan seperti autooksidan dan prooksidan. Komponen campuran film jenis ini memiliki biofragmentasi yang terbatas serta tingkat biodegradabilitas yang rendah.

#### b. Poliester atau polimer mikrobiologi

Jenis bioplastik ini dibuat melalui proses bioteknologi atau melalui proses fermentasi memanfaatkan mikroba berasal dari genus *Alcaligenes*. Biopolimer jenis ini adalah polihidroksi valerat (PHV), polihidroksi butirat (PHB), asam poliglikolat dan asam polilaktat. Bahan jenis ini mudah terdegradasi oleh alga, jamur, dan bakteri. Tetapi proses produksi pembentuk bahan dasar bioplastik tersebut rumit sehingga berdampak terhadap harga kemasan menjadi relatif mahal.

#### c. Polimer pertanian (biomassa)

Bioplastik yang berasal dari biopolimer ini dibuat secara murni dari biomassa atau hasil pertanian dan tidak ada pencampuran bahan sintetis. Polimer biomassa ini dapat bersumber dari kitin (kulit udang dan kepiting), pullulan (hasil fermentasi pati oleh jamur *Pullularia pullulans*) dan selulosa (bagian dinding sel tanaman). Polimer jenis ini bersifat termoplastik, yaitu film yang terbentuk dapat dicetak atau dibentuk menjadi kemasan. Polimer yang berasal dari biomassa memiliki kelebihan yaitu dapat tersedia sepanjang tahun (*renewable*) dan dapat terurai secara alami (*biodegradable*).



### 2.1.3. Pembuatan Bioplastik

Menurut (Permana *et al.*, (2021), bioplastik dapat dibentuk dengan beberapa cara, seperti biosintesis memanfaatkan bahan yang mengandung pati atau selulosa.

Proses pembentukan bioplastik dengan pati sebagai basis bahan adalah sebagai berikut:

1. Melalui proses ekstruksi dengan mencampur pati dan bahan lain seperti lignin, protein kedelai, alginate, atau gliserol sebagai bahan pembentuk *plasticizer*.
2. Mencampur pati dengan bahan plastik sintesis atau konvensional seperti PP atau PE dengan jumlah kecil (10-20%).
3. Mencampur pati dengan bahan hasil turunan minyak bumi seperti PCL, dengan komposisi yang seimbang (50%).

Beberapa metode yang dikembangkan dalam pembuatan bioplastik menurut (Maladi, 2019), yaitu:

#### 1. Metode Isobe (1991)

Metode ini menggunakan kasein sebagai bahan dasar yang dilarutkan ke dalam larutan aseton-air konsentrasi 30% (v/v) atau larutan etanol-air konsentrasi 20% (v/v). Proses selanjutnya dengan menambahkan bahan *plasticizer* seperti gliserin atau lipida, selama 10 menit dipanaskan pada suhu 50°C. Tahap berikutnya melakukan pencetakan *casting film* dengan menuangkan campuran ke permukaan plat polietilen sebanyak 10 ml. Film yang masih berupa cairan dibiarkan pada suhu 30 sampai 45°C selama 5 jam. *casting film* yang terbentuk dilepas dari permukaan cetakan, untuk dikeringkan kemudian disimpan.

#### 2. Metode Yamada (1995)

Metode pembuatan bioplastik ini menggunakan kasein sebagai bahan dasar yang dilarutkan dalam larutan etanol 80%. Kemudian ditambahkan *plasticizer*, pada suhu 60°-70°C dipanaskan selama 15 menit. Campuran selanjutnya dicetak menggunakan *autocasting machine* dan didiamkan selama 3-6 jam.

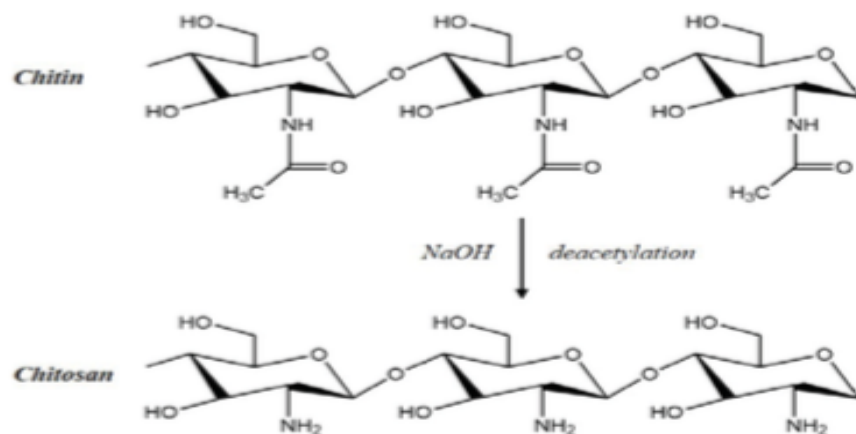
### 3. Metode Frinault (1997)

Bioplastik ini dibuat menggunakan kasein sebagai bahan dasar dengan pembuatan casting film menggunakan pencetak ekstruder dan melalui beberapa tahapan terdiri dari: 1. pencampuran kasein dengan larutan aseton atau etanol, 2. penambahan bahan *plasticizer*, 3. pencetakan menggunakan ekstruder dan 4. film dikeringkan.

## 2.2. Kitosan

### 2.2.1. Pengertian Kitin dan Kitosan

Kitin adalah biopolimer mirip selulosa (Gambar 1) yang terdapat dalam eksoskeleton krustasea dan serangga serta dinding sel jamur dan ragi. Kitin bertindak sebagai bahan struktural, seperti halnya selulosa berperan dalam sel tumbuhan. Kitin adalah polimer yang terdiri dari monomer 2-acetamido-2-deoxy- $\beta$ -d-glucose (1-4)-linked.



Gambar 1. Struktur molekul kitin dan kitosan (Imtihani *et al.*, 2020).

Kitin merupakan molekul penyusun utama pada dinding sel alga dan jamur, kutikula serangga, cangkang udang-udangan (Priyadarshi *et al.*, 2020). Karena itu sumber kitosan di alam tersedia dalam jumlah yang melimpah. Kendati demikian,

hasil proses deasetilasi kitin jarang sampai memperoleh 100% derajat deasetilasi. Secara umum rantai polimer kitosan digambarkan sebagai struktur polimerik yang terdiri dari unit asetilasi  $\beta(1-4)$ -2-acetamido-D-glukosa dan unit deasetilasi berupa residu  $\beta(1-4)$ -2-amino-D-glukosamin. Di tahap awal eksploitasi, kitosan yang diturunkan dari kitin dalam rantai polimernya setidaknya memiliki 60% residu D-glukosamin. Saat ini, sebagian besar derajat deasetilasi kitosan telah berada di atas 80% (Imtihani *et al.*, 2020).

Sebagai turunan deasetilasi dari kitin, kitosan sebagian besar tersusun atas monomer 2-amino-2-deoksi- $\beta$ -d-glukosa yang terhubung (1-4). Sifat-sifat seperti derajat asetilasi (DA), komposisi nitrogen, rasio N/C, ukuran molekul, dan polidispersitas bergantung pada sumber kitin. Pada umumnya kitin memiliki DA diatas 90%, kandungan nitrogen 7% dan rasio N/C 0,146. Chitosan memiliki DA kurang dari 40% dan kandungan nitrogen lebih besar dari 7%. Kehadiran gugus amino dalam kitosan membuatnya memiliki sifat fungsional; gugus amino elektronegatif mengambil proton dan mengembangkan muatan positif yang menyediakan kitosan dengan berbagai sifat kimia, fisik, dan biologi. Kelarutan, pembentukan film, viskositas, pengikatan ion, sifat antimikroba, dan lain-lain menjadikan kitosan sebagai polimer serbaguna yang mampu diterapkan di berbagai bidang penelitian, termasuk pengemasan makanan (Priyadarshi *et al.*, 2020).

### **2.2.2. Sumber dari Kitosan**

Cara paling populer dan ekonomis untuk sintesis kitosan adalah dengan cara deasetilasi kitin. Saat ini biomassa telah dimanfaatkan untuk mensintesis kitosan dengan sumber alami yang berasal dari miselia jamur dan cangkang krustasea sebagai sumber kitin. Menurut Imtihani *et al.* (2020) kitin merupakan komponen utama bersama dengan kalsium karbonat sebagai komponen anorganik yang menempel pada cangkang krustasea, kitin juga ditemukan pada jamur yang tersimpan di dinding sel jamur. Kandungan kitin pada krustasea dan jamur berdasarkan basis kering dapat dilihat pada Tabel 1.

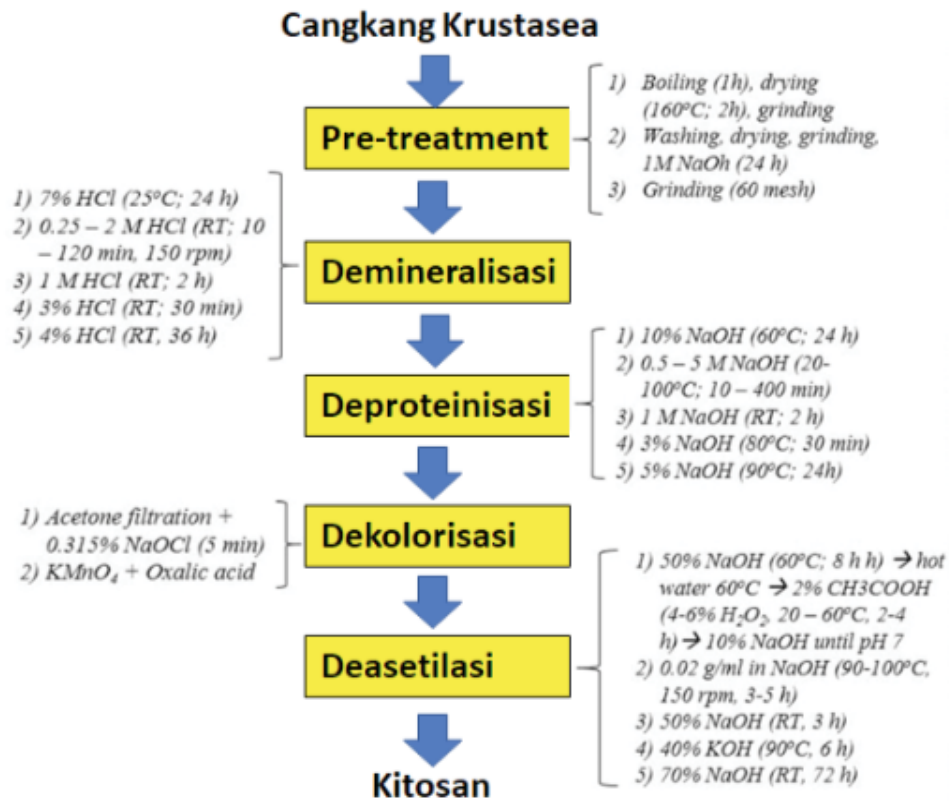
Tabel 1. Kandungan kitin berbasis kering dari limbah cangkang krustasea dan miselium jamur

Cangkang Krustasea		Miselium Jamur	
Sumber	% Kitin	Sumber	% Kitin
Kepiting ( <i>Collinectes sapidus</i> )	13.5	<i>Aspergillus niger</i>	42.0
Kepiting ( <i>Chionoectes opilio</i> )	26.6	<i>Aspergillus phoenicis</i>	23.7
Udang ( <i>Pandalus borealis</i> )	17.0	<i>Mucor rouxii</i>	9.4
Udang ( <i>Crangon crangon</i> )	17.8	<i>Neurospora crassa</i>	8.0 -11.9
Udang ( <i>Penaeus monodon</i> )	40.4	<i>Penicillium chrysogenum</i>	19.5-42.0
Crawfish ( <i>Procamborus clarkia</i> )	13.2	<i>Trichoderma viridis</i>	12.0-22.0
Krill ( <i>Euphausia superba</i> )	24.0	<i>Blastomyces dermatidis</i>	13.0
Prawn	33.0	<i>Histoplasma capsulatum</i>	25.8-26.4
		<i>Paracoccidioides brasiliensis</i>	11.0

Sumber : Imtihani *et al.* (2020)

### 2.2.3. Proses Sintesis Kitosan

Kitin dapat diekstraksi dengan dua metode yaitu secara kimia dan biologis. Metode secara kimiawi, meskipun memiliki beberapa kelemahan seperti tidak ekonomis dan tidak ramah lingkungan, tetapi menjadi metode komersial yang sering digunakan disebabkan waktu pemrosesannya lebih singkat (Imtihani *et al.*, 2020). Proses untuk ekstraksi kitin meliputi pencucian, pengeringan, dan penghancuran bahan baku yang diperoleh dari berbagai sumber untuk mendapatkan serbuk halus. Serbuk ini kemudian mengalami serangkaian proses tiga langkah yaitu demineralisasi, deproteinisasi, dan penghilangan warna. Ketiga langkah ini umum untuk metode kimia maupun biologis (Imtihani *et al.*, 2020). Proses tahapan sintesis kitosan dari krustasea termasuk pemilihan perlakuan di setiap langkah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses sintesis kitosan dari cangkang krustasea (Imtihani *et al.*, 2020).

Kitin yang diperoleh, seperti dijelaskan dalam Gambar 2, kemudian diubah menjadi kitosan melalui proses yang dikenal sebagai deasetilasi, yang melibatkan penghilangan gugus asetil (COCH<sub>3</sub>) dari struktur kitin. N-deasetilasi ini tidak pernah lengkap, dan karenanya diperoleh kitosan dengan derajat deasetilasi yang berbeda (Park *et al.*, 2002). Deasetilasi kitin dapat dilakukan menggunakan metode basa.

Berdasarkan Imtihani *et al.* (2020) metode basa dilakukan dengan cara menambahkan serbuk kitin ke dalam larutan NaOH 40-50%. Proses ini mengarah pada hidrolisis gugus asetil dan konversi unit N-asetil-d-glukosamin menjadi unit d-glukosamin yang berisi gugus amina bebas. Derajat deasetilasi (DD) kitosan yang dihasilkan dengan metode ini bergantung pada waktu reaksi, suhu, dan konsentrasi larutan alkali yang digunakan.

## 2.2.4. Sifat Kitosan

### 2.2.4.1. Ikatan Ion Kitosan

Kitosan dapat membentuk kompleks dengan logam transisi dan ion pasca transisi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kitosan dapat mengikat ion-ion seperti  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , dll. Menurut Park *et al.* (2002) pengikatan  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ , dan  $\text{Ni}^{2+}$  pada kitosan maksimal masing-masing adalah 222, 815, 164, 558, dan 75 mg/g kitosan. Properti pengikatan ion ini adalah yang paling penting dalam konteks pembentukan lapisan aktif karena memberikan biopolimer kemampuan untuk mengikat nanopartikel logam dan pelepasan terkontrolnya yang mengarah pada aktivitas antimikroba yang berkepanjangan (Park *et al.*, 2002).

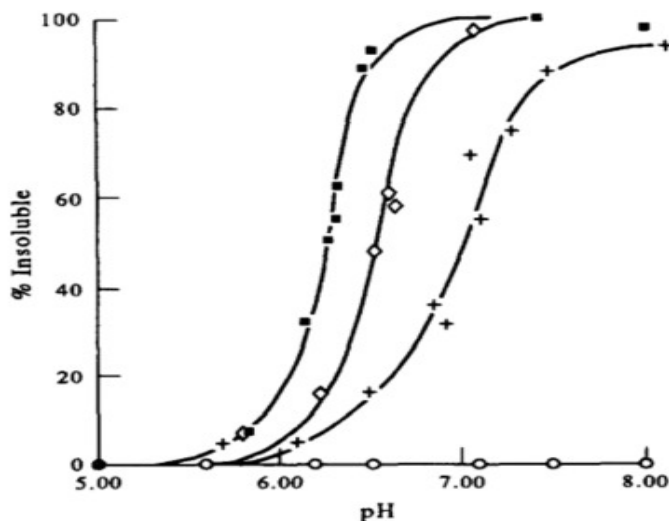
### 2.2.4.2. Kelarutan Kitosan

Menurut Park *et al.* (2002) ada tiga parameter penting yang menentukan kelarutan kitosan dalam air, yaitu:

1. pH larutan
2. Kekuatan ionic pelarut yang memandu efek *salting-out* (pelepasan garam)
3. Ion dalam pelarut berinteraksi dengan kitosan dan membatasi kelarutan kitosan

Kitosan memiliki sifat larut pada pH asam serta tidak larut pada pH basa. Semua varietas kitosan terlarut di bawah nilai pH 6 (Vfirum *et al.*, 1994). Namun kitosan dengan berat molekul sedang (MW) dan derajat asetilasi (DA) sekitar 0,5 dapat larut pada pH 7. Variasi nilai kelarutan dengan pH untuk kitosan dengan derajat asetilasi (DA) berbeda ditunjukkan pada Gambar 3. Perbedaan nilai kelarutan dapat sangat mempengaruhi sifat biologis kitosan karena perubahan ketersediaannya terhadap enzim (Vfirum *et al.*, 1994).





Gambar 3. Kurva kelarutan dan pH untuk kitosan dengan Derajat Asetilasi = 0.01 (■), 0.14 (◇), 0.37 (+), 0.60. (Vfirum *et al.*, 1994).

#### 2.2.4.3. Kepadatan Muatan Kitosan

Kepadatan muatan kitosan tergantung pada derajat protonasi gugus amino. Hal ini ditentukan oleh derajat asetilasi (DA) kitosan serta pH dan kekuatan ionik. Konstanta disosiasi kitosan bervariasi dalam kisaran 6,2 hingga 7,0 tergantung pada jenis kitosan dan kondisi lingkungan. Park *et al.* (2002) menerangkan beberapa sampel kitosan dengan nilai DA yang berbeda diuji mobilitas elektroforetik rata-ratanya sebagai fungsi pH pada kekuatan ion konstan. Kurva hamburan cahaya elektroforesis untuk semua sampel mengikuti tren yang sama ketika nilai pH meningkat. Pada semua nilai pH, kitosan dengan DA yang lebih tinggi, memiliki densitas muatan dan mobilitas yang lebih rendah.

#### 2.2.4.4. Ikatan Rantai Molekul Kitosan

Seperti semua polisakarida, kitosan juga merupakan molekul yang kaku dibandingkan dengan banyak polimer sintetik yang larut dalam air. Alasan kekakuan ini adalah adanya ikatan glikosidik diekuatorial dalam struktur kitosan karena konformasi cincin  $1C_4$  dalam rantai. Hal ini menyebabkan rotasi terbatas pada rantai yang menghasilkan perpanjangan panjang rantai dan viskositas

intrinsik yang tinggi. Selain itu, ketika kitosan dalam bentuk terprotonasi, perpanjangan rantai tergantung pada kekuatan ionik tambahan dan hal ini terjadi akibat tolakan antara gugus bermuatan pada rantai polimer (Vfirum *et al.*, 1994).

#### **2.2.4.5. Kestabilan Molekul Kitosan**

Struktur rantai kitosan memiliki ikatan glikosidik yang rentan terhadap degradasi oleh basa dan asam serta oksidasi oleh radikal bebas. Nilai DA kitosan berperan dalam penurunan DA yang dikatalisis oleh asam, dan konstanta laju penurunan meningkat dengan meningkatnya nilai DA. Vfirum *et al.* (1994) menemukan bahwa pembelahan ikatan glikosidik A-A dan A-D secara khusus rentan terhadap hidrolisis asam. Untuk hubungan ini, hidrolisis tiga kali lebih cepat daripada hubungan D-D dan D-A. Alasannya adalah adanya gugus amino bermuatan positif di dekat ikatan glikosidik yang akan dihidrolisis, yang menurunkan laju hidrolisis.

#### **2.2.4.6. Flokulasi pada Kitosan**

Kitosan berpotensi untuk menggantikan flokulan polikationik sintetik, karena memiliki efisiensi tinggi dalam menghilangkan senyawa beracun, logam berat, pewarna, dll yang tersuspensi dalam air (Park *et al.*, 2002). Jumlah gugus amino bebas kitosan meningkat seiring dengan peningkatan DD kitosan, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi flokulasi dengan meningkatkan efek netralisasi muatan. Kepadatan muatan positif kitosan juga dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti pH dan kekuatan ionik, yang mengubah kesetimbangan protonasi kitosan dalam larutan.

#### **2.2.4.7. Sifat Pembentuk Gel pada Kitosan**

Beberapa metode telah dicoba untuk menyiapkan gel kitosan, salah satu metode tersebut adalah menggunakan anhidrida asetat untuk mereasetilasi kitosan dan menggeser komposisi monomer menuju unit asetat. Interaksi antarmolekul

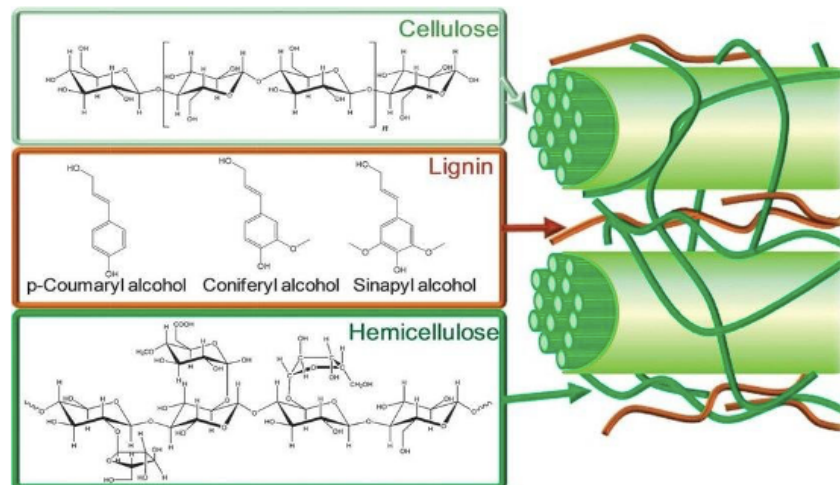
hidrofobik mendukung transisi sol-gel yang mengarah pada pembentukan gel kitin keruh (Vfirum *et al.*, 1994). Gel kitosan juga dapat dilakukan dengan menggunakan larutan alkali yang terkontrol dalam kondisi yang jelas. Morfologi gel yang berbeda dapat diperoleh tergantung pada sifat pelarut dan DA kitosan; gel lunak dan mudah terurai diperoleh dengan kitosan dengan DA yang lebih tinggi, sedangkan gel padat diperoleh dengan kitosan dengan nilai DA rendah (Rami *et al.*, 2014). Berbagai pengikat silang ionik dan zat pengompleks juga dapat digunakan untuk mendapatkan kitosan gel secara fisik. Molekul anionik seperti fosfat dan sitrat dan ion logam transisi seperti molibdat juga telah digunakan untuk pengikatan silang kitosan (Park *et al.*, 2002).

#### **2.2.4.8. Sifat Anti-microbial pada Kitosan**

Kitosan adalah polisakarida alami yang menunjukkan aktivitas antimikroba melawan bakteri, jamur, dan ragi (Park *et al.*, 2002). Aktivitas antimikroba pada kitosan tergantung pada sifat kationik, DA, konsentrasi, periode paparan, dan organisme uji (Rosova *et al.*, 2021).

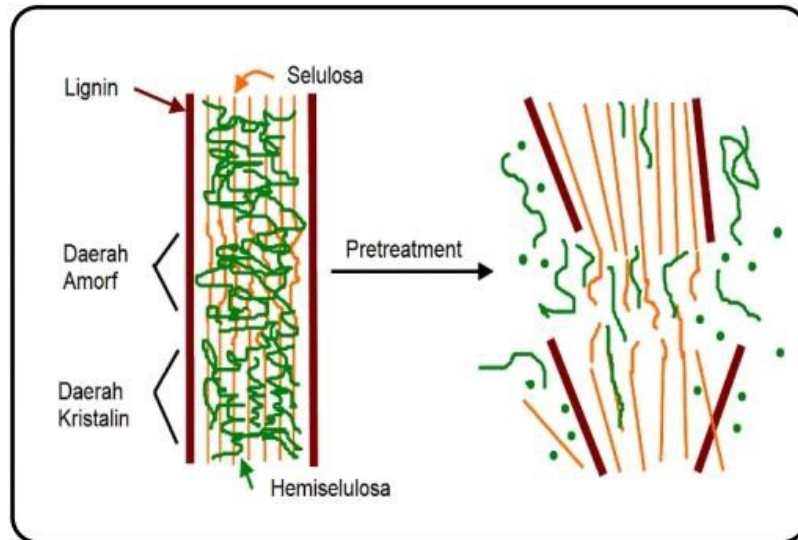
### **2.3. Lignoselulosa**

Lignoselulosa adalah biomassa yang berasal dari tanaman yang terdiri dari tiga komponen utama: hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Ketiga komponen tersebut membentuk suatu ikatan kimia yang kompleks yang memberikan kekuatan dan dukungan pada dinding sel tanaman (Mandlekar *et al.*, 2018). Struktur pembentuk lignoselulosa pada dinding sel tumbuhan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur lignoselulosa.  
Sumber: Alonso *et al.* (2012).

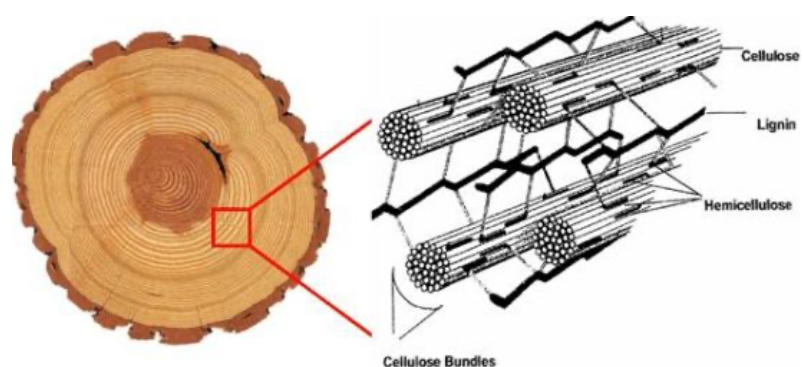
Komposisi lignoselulosa pada tiap komponennya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, keadaan tanah tempat biomassa tersebut tumbuh serta penyimpanan biomassa tersebut (Alonso *et al.*, 2012). Pemanfaatan lignoselulosa dari biomassa dimulai dengan proses perlakuan awal yang bertujuan untuk mempermudah proses pemecahan (degradasi) dan memperluas akses ke dalam polimernya dengan cara memisahkan selulosa dari polimer matrik lignoselulosa (Darojati, 2017). Pada proses degradasi tersebut, lignoselulosa sebagai substrat harus melalui tahapan seperti delignifikasi untuk memisahkan hemicelulosa dan selulosa dari ikatan polimer lignin yang kompleks dan tahapan depolimerisasi yang bertujuan mendapatkan gula bebas (Zugenmaier, 2008). Proses delignifikasi pada lignoselulosa dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Delignifikasi pada lignoselulosa.  
Sumber: Alonso *et al.* (2012)

### 2.3.1. Selulosa

Selulosa merupakan senyawa berbentuk mirip serabut, dalam air tidak larut, liat dan ditemukan pada semua bagian berkayu dari jaringan tumbuhan seperti pada batang, dahan serta tangkai, selain itu dalam dinding sel selulosa berfungsi sebagai pelindung tumbuhan (Alonso *et al.*, 2012). Struktur selulosa pada jaringan kayu dapat terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur Selulosa.  
Sumber: Alonso *et al.* (2012)

Dalam keadaan murni selulosa tidak pernah ditemukan di alam, tetapi berikatan dengan polisakarida lain seperti pektin, lignin, xilan dan hemiselulosa (Alonso *et al.*, 2012). Molekul selulosa pada tumbuhan terdiri atas beberapa molekul paralel tersusun dengan bentuk fibril yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik dan sulit untuk dipisahkan (Mandlekar *et al.*, 2018).

Selulosa merupakan polisakarida yang terdiri dari rantai panjang glukosa yang dihubungkan oleh ikatan  $\beta$ -1,4 glikosidik serta memiliki bentuk rantai linier (Darojati, 2017). Dikarenakan strukturnya yang linier berakibat selulosa memiliki sifat tidak mudah larut dan kristalin (Mandlekar *et al.*, 2018). Selain itu proses degradasi selulosa tidak mudah dilakukan baik melalui mekanis maupun kimia. Di alam, polisakarida selulosa selalu terikat dengan polisakarida lain seperti lignin atau hemiselulosa sebagai penyusun utama dinding sel tumbuhan (Alonso *et al.*, 2012).

Ester selulosa sering dimanfaatkan sebagai serat serta sebagai *plasticizer*, sedangkan eter selulosa dimanfaatkan sebagai bahan campuran bangunan dan konstruksi yang dapat berfungsi sebagai bahan pengikat, pada campuran cat dan produk farmasetik berfungsi sebagai stabilisator viskositas (Pandit *et al.*, 2021). Selulosa merupakan bahan baku dalam industri pembuatan kain dan kertas, serat selulosa memiliki struktur yang kuat serta durabilitas yang tinggi, dan ketika telah jenuh dapat mengembang jika dibasahi dengan air, serta bersifat higroskopis (Małachowska *et al.*, 2020).

Sumber selulosa dalam serat tumbuhan sangat bervariasi, bahan yang berkaitan seperti air, pektin, lignin, lilin, protein serta kandungan mineral pembentuknya (Zugenmaier, 2008). Tabel 2 menunjukkan jumlah senyawa kimia dalam beberapa bahan yang mengandung selulosa.



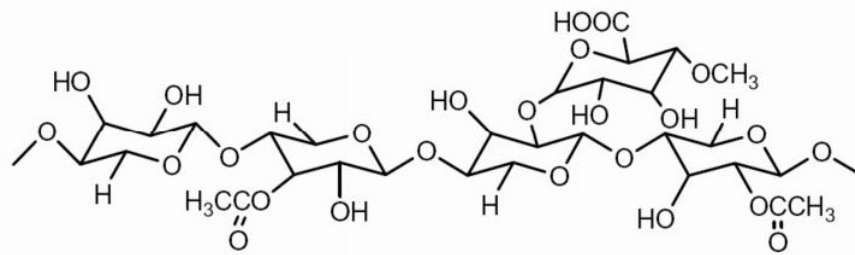
Tabel 2. Komposisi senyawa kimia pada beberapa tanaman

Sumber	Komposisi (%)			
	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin	Ekstraktif
Hardwood	43-47	25-35	16-24	2-8
Softwood	40-44	25-29	25-31	1-5
Tebu	40	30	20	10
Coir	32-43	10-20	43-49	4
Tongkol jagung	45	35	15	5
Tangkai jagung	35	25	35	5
Kapas	95	2	1	0,4
Flax (wet)	71	21	2	6
Flax (dry)	63	12	3	13
Hemp	70	22	6	2
Henequen	78	4-8	13	4
Istle	73	4-8	17	2
Jute	71	14	13	2
Kenaf	36	21	18	2
Rami	76	17	1	6
Sisal	73	14	11	2
Sunn	80	10	6	3
Jerami gandum	30	50	15	5

Sumber : Zugenmaier (2008)

### 2.3.2. Hemiselulosa

Polisakarida lain yang dapat larut dalam larutan alkali adalah hemiselulosa (Zugenmaier, 2008). Hemiselulosa memiliki hubungan yang erat dengan selulosa pada dinding tanaman. Tidak seperti selulosa yang terdiri dari monomer glukosa berbentuk homopolisakarida dengan derajat polimerisasi mencapai 10.000-14.000 unit, rantai utama hemiselulosa hanya terdiri dari homopolimer atau satu jenis monomer seperti xilosa, atau heteropolimer (dua monomer) seperti glukomanan dan xilosa, dibandingkan dengan selulosa rantai hemiselulosa lebih pendek (Zugenmaier, 2008). Struktur molekul hemiselulosa seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur molekul hemiselulosa.  
Sumber: Zugenmaier (2008)

Xilan dan glukomanan adalah jenis hemiselulosa yang paling banyak pada tanaman. Hemiselulosa dapat terhidrolisis dengan mudah apabila dibandingkan dengan selulosa dengan penambahan basa cair atau asam dan penggunaan enzim seperti enzim hemiselulase (Alonso *et al.*, 2012). Isi dan komposisi hemiselulosa bervariasi antara kayu lunak dan keras. Bahkan pada pohon yang sama isi dan komposisi hemiselulosa sangat bervariasi terutama di kulit, batang, akar, dan ranting (Fatriasari *et al.*, 2019).

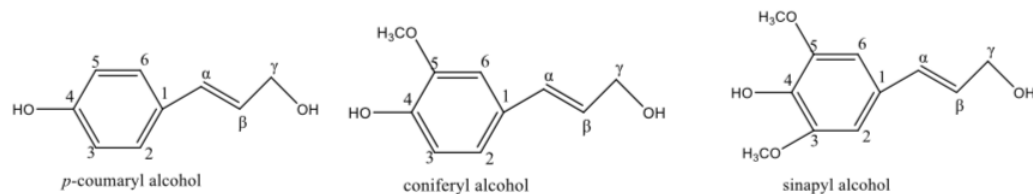
### 2.3.3. Lignin

#### 2.3.3.1. Struktur Molekul Lignin

Di alam, sebagai penyusun komponen utama dinding sel kayu lignin merupakan biopolimer melimpah kedua setelah selulosa dalam biomassa (Khan *et al.*, 2019). Sebagai perekat lignin berfungsi untuk mengikat sel, di dalam dinding sel lignin berasosiasi bersama selulosa yang berfungsi memberikan ketegaran pada sel untuk memperkuat struktur tanaman (Zugenmaier, 2008). Lignin berbentuk senyawa heteropolimer amorf terdiri dari fenilpropan yaitu p-coumaryl, coniferil dan sinapyl alcohol, ketiga senyawa tersebut terikat dengan ikatan yang berbeda (Zugenmaier, 2008).

Menurut Mandlekar *et al.* (2018) lignin memiliki struktur ikatan silang yang rumit dan biasanya dibentuk dengan ikatan ester dengan hemiselulosa. Lignin

mengandung beberapa gugus fungsi aktif seperti hidroksil, metoksi, karbonil, karboksil, dan benzena, dimana coniferyl alcohol (G), p-coumaryl alcohol (H), dan sinapyl alcohol (S) merupakan prekursor dalam molekul lignin seperti terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Struktur molekul dasar lignin.

Sumber: Ridho *et al.* (2022)

Menurut Ridho *et al.* (2022) secara fisik lignin berwujud non-kristalin (amorf) dan memiliki warna kuning cerah. Dalam larutan asam, larutan air dan larutan hidrokarbon lignin tidak larut. Lignin bersifat tidak dapat mencair, tetapi dapat melunak serta bila dipanaskan dapat hangus.

Lignin dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar, sumber bahan kimia dengan berat molekul rendah dan produk berbasis polimer (Khan *et al.*, 2019). Contoh pemanfaatan lignin yang menghasilkan bahan kimia berberat molekul rendah adalah asam vanilat, vanilin, fenol, aldehida, benzena, dan asam karbonat. Lignin juga merupakan sumber bahan baku untuk pembuatan serat nilon, bahan pewarna dan farmasi. Dengan banyaknya manfaat dari lignin, lignin berpeluang besar untuk diaplikasikan dalam berbagai industri. Pada Tabel 3 disajikan persentase dari ikatan antar unit struktur molekul pada kayu keras dan kayu lunak.

Tabel 3. Persentase berbagai jenis ikatan pada kayu lunak dan kayu keras

Jenis ikatan	Kayu lunak (%)	Kayu Keras (%)
$\beta$ -O-4 (fenilpropana $\beta$ aryl eter)	45-50	60
$\alpha$ -O-4 (phenylpropane $\beta$ aryl eter)	2-8	6-8
$\beta$ -5 (Phenylcoumaran)	9-12	7
4-O-5 (diaryl ether)	4-7	6.5
5-5 (biphenyl dan dibenzodioxocin)	10-11	4.5
$\beta$ -1 (1, 2 diaryl propana)	7-10	7
$\beta$ - $\beta$ (dibenzodioxocin)	3	2

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

### 2.3.3.2. Sumber Lignin

Menurut Chio *et al.* (2019) Lignin dapat diklasifikasikan sebagai lignin asli dan teknis. Lignin asli adalah struktur lignin asli dalam lignoselulosa tanpa modifikasi apapun. Sedangkan lignin teknis, yang dikenal sebagai lignin termodifikasi, diekstraksi dari biomassa atau diisolasi dari produk sampingan industri. Lignin teknis tipikal dapat dikategorikan sebagai lignin kraft, lignin hidrolisis, lignin organosolv, dan lignin pirolitik. Solihat *et al.* (2021) mengatakan lignin teknis dapat langsung digunakan sebagai bahan baku untuk produksi produk akhir karena adanya situs aktif dari gugus hidroksil alifatik dan aromatik.

Depolimerisasi merupakan langkah penting untuk mengekspos lebih banyak situs reaktif untuk mengubah lignin menjadi produk lebih lanjut.

### 2.3.3.3. Lignin Kayu *Acacia mangium*

Kayu akasia dari jenis *Acacia mangium*, adalah material yang sering digunakan dalam industri bubur kayu dan kertas. Pohon ini dikenal dengan pertumbuhannya yang cepat dan adaptabilitasnya terhadap berbagai kondisi tanah, sehingga menjadi pilihan utama dalam program hutan tanaman industri di Indonesia (Krisnawati *et al.*, 2011). Kayu akasia banyak dimanfaatkan dalam industri bubur kayu dan kertas karena memiliki beberapa keunggulan seperti pertumbuhannya

cepat dan dapat dipanen dalam waktu relatif singkat sekitar 7-8 tahun sehingga memastikan pasokan bahan baku yang berkelanjutan (Siagian & Darmawan, 1999), kualitas serat yang baik dan dapat tumbuh di berbagai jenis tanah (Krisnawati *et al.*, 2011).

Lignin adalah salah satu komponen utama penyusun dinding sel kayu, termasuk pada kayu akasia (*Acacia mangium*). Fungsi utama lignin adalah memberikan kekuatan dan kekakuan pada struktur kayu serta berperan sebagai perekat alami yang mengikat serat-serat selulosa (Yu dan Kim, 2020). Kandungan lignin dalam kayu akasia mangium berkisar antara 28,51% hingga 29,81%, tergantung pada usia dan kondisi pertumbuhan pohon (Siagian dan Darmawan, 1999). Lignin dapat diperoleh dari proses pulping kraft, dimana kayu daun lebar yang tumbuh cepat, seperti *Acacia mangium*, menjadi bahan baku utama dalam industri pulp dan kertas (Falah *et al.*, 2022).

#### **2.3.3.4. Metode Ekstraksi Lignin dan Karakteristiknya**

Untuk memisahkan lignin dari selulosa dan hemiselulosa, berbagai metode ekstraksi dapat digunakan. Struktur dan karakteristik fisikokimia lignin dapat dipengaruhi oleh metode isolasi yang berbeda, jenis isolasi, suhu isolasi, dan sumber bahan baku (Ridho *et al.*, 2022). Pada penelitian ini menggunakan lignin yang diisolasi menggunakan metode kraft.

Proses kraft adalah metode populer yang diterapkan dalam produksi pulp dan kertas (Solihat *et al.*, 2021). Dalam proses ini, biomassa mengalami delignifikasi oleh larutan natrium hidroksida dan natrium hidrosulfida pada berbagai temperatur dan waktu pemasakan. Pembuatan pulp kraft sorgum ampas tebu pada suhu 170°C selama 2,5 jam efektif dalam menghilangkan lignin dan memberikan kandungan selulosa yang tinggi (Solihat *et al.*, 2021). Setelah perlakuan, ikatan eter dari pembelahan selulosa dan lignin serta biomassa dicuci bertujuan menghilangkan sisa lignin dalam pulp. Pada tahapan ini menghasilkan lindi hitam

yang merupakan hasil samping proses pulping yang kaya akan kandungan lignin (Solihat *et al.*, 2021). Lignin kraft dapat diisolasi dengan cara menjatuhkan asam ke dalam lindi hitam, dan akan diendapkan di dasar larutan. Proses pengasaman dalam isolasi lignin dari lindi hitam efektif dalam memulihkan ion natrium dan belerang dalam larutan yang dapat digunakan kembali dalam pembuatan pulp kraft lebih lanjut (Falah *et al.*, 2022).

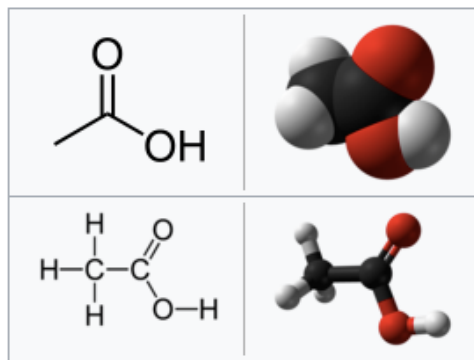
Sumber lignin pada penelitian ini berasal dari lindi hitam hasil samping industri pulp dan kertas melalui proses pulping kraft di industri pulp dan kertas, PT TELPP, Sumatera Selatan. Lignin tersebut kemudian diisolasi dengan presipitasi asam klorida (Falah *et al.*, 2022). Proses isolasi lignin tersebut berdasarkan Falah *et al.*, (2022) sebagai berikut: lindi hitam diencerkan dengan aquades kemudian ditambahkan HCl 1M dan dilakukan pengadukan secara perlahan hingga mencapai pH 2. Larutan lignin disimpan dalam suhu ruang 25°C selama 24 jam dengan tujuan lignin dapat mengendap sempurna. Endapan lignin yang terbentuk kemudian didekantasi dan dicuci dengan aquades. Tahapan selanjutnya endapan lignin tersebut disaring menggunakan corong Buchner, padatan lignin tersebut kemudian dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 45°C. Dari proses kraft tersebut diperoleh lignin kayu akasia dengan kemurnian 82,66%

#### **2.4. Asam Asetat**

Menurut Othmer (1998) asam asetat masuk dalam golongan asam alkanoat merupakan senyawa organik dan sering disebut sebagai asam cuka. Asam asetat glasial merupakan cairan tak berwarna bersifat higroskopis, dengan titik beku 16,7°C. Selain itu asam asetat berbau menyengat dan memiliki rasa asam. Pada skala industri asam asetat diproduksi untuk senyawa lain seperti selulosa asetat dan polivinil asetat yang berfungsi sebagai prekursor, untuk konsumsi rumah tangga asam asetat juga diproduksi sebagai bahan campuran cuka. Meskipun termasuk golongan asam lemah, asam asetat pada kondisi pekat bersifat korosif juga dapat menyebabkan iritasi bila terkena kulit.



Molekul pada asam asetat dalam bentuk padat disatukan oleh ikatan hidrogen dan memiliki bentuk rantai. Sedangkan dalam bentuk gas asam asetat membentuk senyawa terdiri dari dimer siklik dalam dua atom hydrogen yang saling mengikat (Othmer, 1998). Struktur molekul asam asetat seperti ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9. Struktur molekul asam asetat.  
Sumber : Othmer (1998)

Menurut Othmer (1998) sifat kimia asam asetat, yaitu:

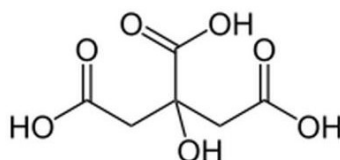
1. Memiliki rumus molekul CH<sub>3</sub>COOH dengan bobot molekul 60,05 g/mol.
2. Mengandung 36,0 %b/b – 37,0 %b/b C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>.
3. Mudah untuk menguap di udara terbuka
4. Mudah untuk terbakar dan memiliki titik didih 118°C
5. Pada logam dapat menyebabkan korosif
6. Larut dalam air suhu 20°C, etanol pekat (9,5%) dan gliserol
7. Memiliki berat spesifik (densitas) 1,049 kg/L.

## 2.5. Asam Sitrat

Menurut Othmer (1998) golongan asam lemah termasuk Asam sitrat banyak terkandung pada tumbuhan jeruk-jerukan atau genus *Citrus*, ditemukan pada bagian daun dan buah. Senyawa asam sitrat dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengawet alami dan penambah rasa kecut atau masam untuk minuman ringan dan makanan. Dikenal sebagai senyawa sela atau *intermediate reaction* asam sitrat

dalam reaksi biokimia memiliki peran yang penting dalam metabolisme makhluk hidup dan berperan sebagai antioksidan (Othmer, 1998).

Pada beberapa jenis sayur dan buah asam sitrat banyak ditemukan dalam konsentrasi tinggi, kandungan asam sitrat pada bobot kering jeruk lemon dan limau konsentrasi bisa mencapai 8% (Othmer, 1998). Asam sitrat memiliki rumus kimia  $\text{CH}_2(\text{COOH})\text{-COH}(\text{COOH})\text{-CH}_2(\text{COOH})$  atau  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ , berdasarkan IUPAC nya struktur asam sitrat bernama asam *2-hidroksi- 1,2,3-propanetricarboxylic acid*. Gugus karboksil  $\text{COOH}$  yang berjumlah 3 pada asam sitrat memberikan pengaruh pada kadar keasaman asam sitrat, dan dalam bentuk larutan dapat melepas proton. Ion yang dihasilkan dalam bentuk larutan adalah ion sitrat. Struktur molekul pada asam sitrat seperti terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Struktur molekul asam sitrat.  
Sumber: Othmer (1998)

Menurut Othmer (1998) sifat fisik dan kimia asam sitrat sebagai berikut:

#### A. Sifat Kimia

1. Jika terjadi kontak langsung terhadap asam sitrat baik berupa larutan atau padatan dapat menyebabkan iritasi kulit dan mata.
2. Bersifat mampu mengikat ion logam sehingga dapat dalam air dapat digunakan sebagai penghilang kesadahan selain itu asam sitrat dapat berfungsi sebagai pengawet makanan.
3. Jika dipanaskan pada suhu  $175^\circ\text{C}$ , asam sitrat berubah menjadi asam akonitat. Dengan penambahan 30hydrogen asam akonitat dapat berubah menjadi *tricarballylic acid*.

4. Pada pemanasan 175°C, jika dihilangkan karbondioksida dan dieliminasi dengan oksigen, asam sitrat berubah menjadi *acetonedicarboxylic acid*. Dan jika diuapkan karbondioksidanya *acetonedicarboxylic acid* akan berubah menjadi *acetone*.
5. Oksidasi larutan asam sitrat dengan asam sulfat atau larutan *potassium permanganate* akan dihasilkan asam *acetonedicarboxylic*.
6. Oksidasi asam sitrat dengan *potassium permanganate* pada suhu 35°C menghasilkan asam oksalat.

## B. Sifat Fisik

Sifat fisik asam sitrat dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Sifat fisik pada asam sitrat

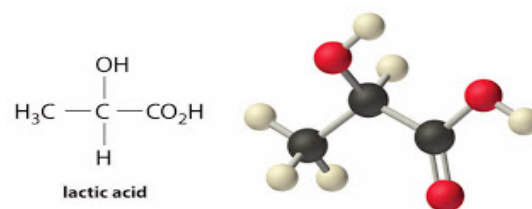
Parameter	<i>Anhydrous</i>	<i>Monohydrate</i>
Rumus Molekul	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> ·H <sub>2</sub> O
Berat Molekul	192,12	210,14
Bentuk	Kristal tidak berwarna	Kristal tidak berwarna
Specific Gravity	1,665 (20° C)	1,542 (20° C)
Melting Point	153° C	70-75° C
Boiling Point	Terdekomposisi pada 175° C	Terdekomposisi pada 175° C
Proses Pembentukan	Kristalisasi dari larutan panas (>36,6° C)	Kristalisasi dari larutan dingin (<36,6° C)
Kelarutan	Larut dalam air, agak larut dalam alkohol dan diethyl eter, tidak larut dalam karbon disulfida, karbon tetra klorida, kloroform, benzene dan toluene.	Larut dalam air, agak larut dalam alkohol dan diethyl eter, tidak larut dalam karbon disulfida, karbon tetra klorida, kloroform, benzene dan toluene.
Kelarutan di Air pada 30° C	64,3%	64,3%
Kelarutan di Air pada 70° C	76,2%	76,2%
Struktur Kristal	Orthorombic	Orthorombic
Panas Pembakaran	468,5 kcal/mol	466,6 kcal/mol

Sumber: Othmer (1998)

## 2.6. Asam Laktat

Menurut Othmer (1998) berdasarkan IUPAC nama asam laktat adalah asam 2-hidroksipropanoat (CH<sub>3</sub>-CHOH-COOH). Asam laktat secara struktur merupakan

golongan asam karboksilat yang memiliki gugus karboksil ditempel oleh satu gugus hidroksil, seperti yang terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Struktur molekul asam laktat.  
Sumber: Othmer (1998)

Karena termasuk golongan asam asimetris atau *asam chiral*, asam sitrat memiliki dua isomer optikal yaitu *D(-)-lactic acid* dan *L(+)-lactic acid*. Dalam tubuh manusia dapat ditemukan asam laktat jenis *L(+)-lactic acid*. Pada sistem biologis manusia *D(-)-lactic acid* dan *L(+)-lactic acid* dapat ditemukan di hampir semua sistem (Sikorski *et al.*, 2021). Bentuk isomer asam laktat dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Bentuk isomer asam laktat.  
Sumber: Othmer (1998)

Menurut Miller *et al.*, (2019) pada kemurnian tingkat tinggi asam laktat membentuk kristal berwarna bening berbentuk *monoclinic*, selain itu dalam larutan alkohol, eter, air asam laktat dapat larut tetapi dalam chloroform tidak larut. Asam laktat memiliki sifat volatilitas yang rendah dan termasuk asam lemah. rumus kimia umum Asam laktat adalah  $H[OCH(CH_3)CO]_nOH$  serta membentuk *cyclic dimer (lactide)* atau polimer linier. Menurut Othmer (1998) asam laktat dapat bereaksi seperti asam organik lain sebaik alkohol organik dan dapat terlibat pada berbagai tipe reaksi kimia. Sifat kimia dan fisika asam laktat dapat terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Sifat fisika dan kimia asam laktat

Sifat Fisika dan Kimia	Nilai
Berat molekul (g/mol)	90,08
Titik nyala (°C)	112
Titik leleh (°C)	17
Titik didih (°C)	122
<i>Spesific gravity</i>	1,209
Densitas (g/ml)	1,19 - 1,25
Viskositas (mPa.s) pada suhu 25°C	5 – 60
Indeks bias	1,451
Keasaman	2 - 3,78
Entalpi pembakaran (kJ/mol)	1361
Kalor Spesifik pada 20 °C (J/mol/ °C)	190

Sumber: Othmer (1998)

Di pasar bebas perdagangan asam laktat dibuat dalam berbagai grade kualitas yang berbeda sesuai dengan tujuan penggunaannya yaitu *pharmaceutical*, *technical dan food grades*. Semakin kecil kadar pengotor seperti logam, gula, sulfat, klorida dan abu maka semakin tinggi kualitas asam laktat. Konsentrasi asam laktat dipasaran biasanya berkisar antara 50–88%. Asam laktat yang memiliki warna kuning diperoleh melalui proses fermentasi biasanya mengandung residu berasal dari sumber nitrogen serta gula (Miller *et al.*, 2019). Sifat korosif larutan asam laktat dapat diatasi dengan cara mengkonversinya menjadi *calcium lactate* atau bentuk garamnya (Othmer, 1998).

## 2.7. Polyvinil Alcohol (PVA)

*Polyvinil Alcohol* atau PVA merupakan polimer yang memiliki sifat dalam air dapat larut, memiliki ketahanan kimia serta baik dalam membentuk serat, biokompatibel serta mudah terurai (*biodegradable*) (Abraham *et al.*, 2016). Pada berbagai pelarut PVA juga dapat berubah menjadi bentuk gel. Sebagai bahan biomaterial pemanfaatan polimer hidrofilik seperti *Polyvinil Pirrolidon* (PVP) dan *Polyvinil Alcohol* (PVA) telah dikembangkan dikarenakan sifatnya yang

tidak beracun, non-karsinogenik dan memiliki biokompatibilitas yang tinggi (Abraham *et al.*, 2016).

PVA memiliki sifat mekanis yang unik terutama dalam preparasi pembuatan hidrogel. Struktur kimia PVA terbilang sederhana terdiri dari gugus hidroksil dalam bentuk tidak beraturan. Vinil alkohol pada monomer PVA berada dalam bentuk tidak stabil, tetapi dengan asetaldehida berada dalam keadaan tautomer (Li *et al.*, 2012).

Cara paling umum untuk menyintesis polivinil alkohol secara komersial adalah melalui hidrolisis. Karena vinil alkohol merupakan bentuk enol dari asetaldehida yang tidak stabil menyebabkan PVA tidak bisa dibuat secara langsung (Li *et al.*, 2012). Polivinil asetat melalui proses hidrolisis menggunakan methanol menghasilkan polivinil alkohol.

Sifat hidrofilik pada PVA menyebabkannya selektif terhadap air, hal ini disebabkan adanya interaksi antara molekul air melalui ikatan hidrogen dengan gugus -OH. Hal ini berpengaruh terhadap mudah mengembangnya membran PVA atau disebut *swelling*. PVA dapat larut dalam air jika dipanaskan pada temperatur di atas 85°C. PVA berwujud padat pada suhu kamar, lunak jika dipanaskan, bersifat elastis mirip karet serta dapat mengkristal. Berat molekul PVA adalah 85.000-146.000, dan transisi gelas (Tg) memiliki tingkat temperatur sebesar 228-256 °C. Bentuk komersial PVA mengandung gugus keton yang terisolasi dan merupakan pengotor. Gugus keton dan gugus hidroksil dari rantai lain tersebut membentuk ikatan asetal yang mengakibatkan terbentuknya ikatan crosslink pada molekul cabangnya. Rantai polimer pada gugus hidroksil tersebut menyebabkan sifat polar membran PVA. Kepolaran membran PVA dan sifat hidrofiliknya akan berpengaruh pada proses pervaporasi larutan organik-air serta akan menentukan selektivitas dan fluks membran (Li *et al.*, 2012).

Lapisan film yang terbentuk dari polivinil alkohol sangat baik, dapat berperan sebagai pengemulsi dan perekat, tahan terhadap pelarut, lemak dan minyak, tidak beracun serta tidak berbau, kekuatan tarik yang dimiliki tinggi dan fleksibel (Abraham *et al.*, 2016). Keseluruhan sifat PVA ini bergantung pada kelembaban, semakin tinggi kelembaban PVA maka air yang diserap akan semakin banyak. Sebagai perekat, kandungan air akan membuat kekuatan tarik berkurang, tetapi disisi lain kekuatan sobek dan elongasi dapat ditingkatkan (Abraham *et al.*, 2016).

Pada penelitian ini menggunakan PVA kelas analitik dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Berat molekul 89.000 – 98.000 dengan derajat hidrolisis 99%
2. Kepadatan: 1,19–1,31 g/cm<sup>3</sup>
3. Kadar abu 0,4%
4. pH 5.0 – 7.0
5. Titik Leleh: 180–190°C

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengolahan Limbah Agroindustri Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada bulan Mei – September 2023, kemudian pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Lanjut Kimia Maju dan Laboratorium Terintegrasi Bioproduk, Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk Badan Riset dan Inovasi Nasional.

#### **3.2. Alat dan Bahan**

##### **3.2.1. Bahan**

Bahan yang digunakan adalah kitosan kulit udang dengan derajat kemurnian 80% (sumber Universitas Padjajaran, Bandung) dan lignin kayu akasia kemurnian 82,66% (diisolasi dengan presipitasi asam klorida (Falah *et al.*, 2022) ), dan pelarut asam organik : laktat, asetat dan sitrat ( Merck KGaA Dermstadt Germany); *Polyvinyl alcohol* dan Ethanol (Merck KGaA Dermstadt Germany), aquades. Semua bahan kimia tersebut adalah kelas analitik tanpa dilakukan pemurnian lanjutan.

##### **3.2.2. Alat**

Cawan petri, gelas ukur, tabung Erlenmeyer, *magnetic stirrer*, *volumetric*, timbangan digital, dan pH meter.



### 3.3. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan 2 taraf perlakuan yaitu Faktor A pencampuran jenis asam (A) dalam 3 level yaitu ( A1 = Laktat, A2 = Asetat, A3 = Sitrat) serta *polyvinyl alcohol* (PVA) dan Faktor B yaitu konsentrasi (K) dengan 3 level konsentrasi yaitu K1 (1%), K2 (2%), K3 (3%). Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 ulangan, kemudian data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif.

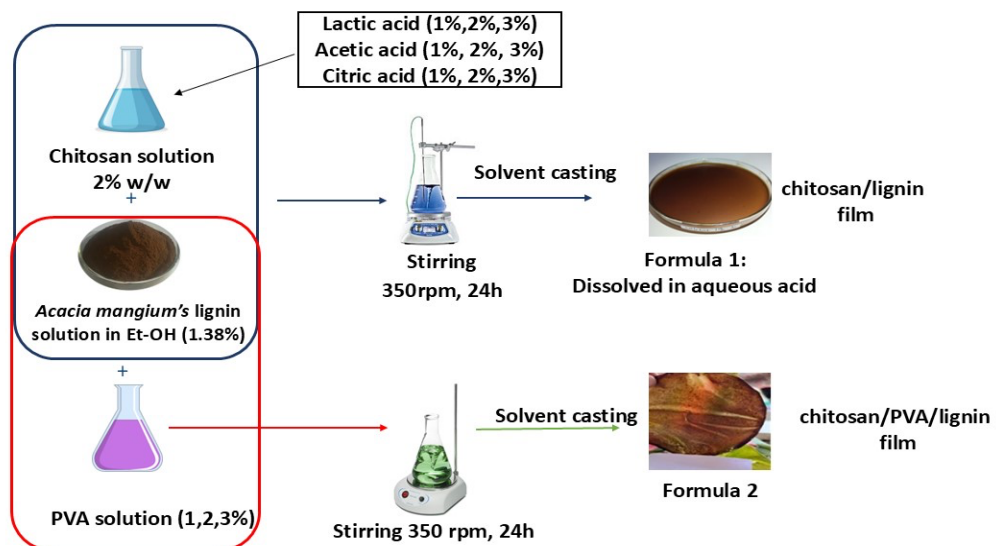
Dari ke-12 perlakuan tersebut dipilih hasil yang terbaik berdasarkan pH dengan kisaran antara 4 – 6 (Roy *et al.*, 2017; Vermaez *et al.*, 2019) dan penampakan secara fisik yaitu: elastis, tidak pecah, tidak lengket dan kompak (Rosova *et al.*, 2021) untuk kemudian dilakukan pengujian kekuatan mekanis (uji tarik, modulus Young, perpanjangan putus). Dari uji tarik kemudian dipilih hasil yang terbaik berdasarkan SNI 7188.7:2016 untuk dilanjutkan dengan analisa yaitu mengukur : analisis gugus fungsi bioplastik/FTIR (Perkin Elmer) , stabilitas termal/TGA (Perkin Elmer), permeabilitas uap air (ASTM E 95-96 1995), sudut kontak (AnMo Electronics Corporation), spektrofotometer ultra violet visible (Perkin Elmer), analisis X-ray diffraction/XRD (SmartLab Rigaku), uji warna dan transparansi serta biodegradabilitas (*soil burial test*). Pada analisis lanjutan bioplastik hasil terbaik akan dibandingkan dengan bioplastik kitosan murni untuk melihat pengaruh penambahan lignin terhadap sifat dan karakteristik bioplastik. Keseluruhan data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif.

#### 3.3.1. Pembuatan Bioplastik

Pembuatan bioplastik diadaptasi dari metode yang telah dilakukan oleh Cousivier-Urien *et al.* (2017), dengan modifikasi terkait dengan matriks dan jenis lignin. Setiap perlakuan diberikan kode: kitosan dengan larutan berair asam yang disebut formula 1 dengan konsentrasi asam laktat 1%, 2%, 3%; konsentrasi asam asetat 1%, 2%, 3%; konsentrasi asam sitrat 1%, 2%, 3%; dan PVA yang disebut formula 2 dengan konsentrasi 1%, 2%, 3%. Persiapan pembuatan film cetak adalah sebagai berikut: pembentukan film kitosan dilakukan dengan mendispersikan 2%

(b/b) kitosan dalam larutan berair (28 mL) asam laktat dengan konsentrasi 1%, 2%, dan 3%; asam asetat dengan konsentrasi 1%, 2%, 3%; asam sitrat dengan konsentrasi 1%, 2%, 3%; diaduk pada 350 rpm selama 24 jam. Untuk pembuatan larutan film PVA (28 mL), larutan kitosan 2% dalam air disiapkan dan kemudian dicampur dengan larutan PVA (1%, 2%, 3%) dalam air dan diaduk pada kecepatan 350 rpm selama 24 jam. Larutan lignin (12 mL) disiapkan dengan mendispersikan lignin dalam etanol (1,38% b/b), dengan pengadukan pada 350 rpm selama 24 jam.

Selanjutnya, larutan pembentuk film komposit, yang dibuat dari dua dispersi ini (larutan kitosan/PVA dan dispersi lignin), diperoleh dengan mencampurnya pada 350 rpm selama 24 jam., untuk mencapai rasio air/etanol 70:30 (b/b), kemudian 40 mL larutan pembentuk akhir ini dituangkan ke dalam cawan petri polistirena dengan diameter 13,5 cm dan dikeringkan pada suhu ruang. Film kemudian dilepaskan dari cawan petri dan disimpan pada suhu ruang ( $\sim 25-27^{\circ}\text{C}$ ) untuk analisis lebih lanjut. Diagram alir pembuatan *casting film* bioplastik dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Diagram alir pembuatan *casting film* bioplastik.

### 3.3.2. Karakterisasi Bioplastik

#### 1. Uji Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian kekuatan tarik berdasarkan menurut ASTM D882-75b (Suryanegara *et al.*, 2021), sampel berbentuk lembaran berukuran 2.5 cm x 12 cm diuji menggunakan *Universal Testing Machine* (AGS-X 10 kN, Shimadzu, Japan) dan ditarik dengan kecepatan 30mm/min dan tekanan sebesar 5kN hingga film pecah. Kekuatan tarik dan persentase perpanjangan (% E) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$\%E = \frac{\Delta L}{L_1} \quad (2)$$

Dimana  $\sigma$  adalah kekuatan tarik (MPa), F adalah gaya dari kekuatan tarik (N), A adalah luas medan ( $\text{mm}^2$ ), % E adalah persentase perpanjangan (%),  $\Delta L$  adalah pertambahan panjang (mm), dan  $L_1$  adalah panjang awal (mm). Sedangkan untuk perhitungan Young's modulus, persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Young's modulus (Pa)} = \frac{F \times L_1}{A \times \Delta L} \quad (3)$$

Dimana  $\Delta L$  (mm) diperoleh dari uji tarik. Data yang diperoleh pada uji Tarik kemudian dibuat rata-rata dan uji Tukey's Honest Significant Difference (HSD) dilakukan untuk lebih lanjut membedakan rata-rata dari setiap kelompok.

#### 2. *Attenuated Total Reflectance (ATR)-Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*

(ATR)-FTIR (Perkin Elmer) menurut ASTM E1252 digunakan untuk mengkarakterisasi gugus fungsi bioplastik. Menggunakan spektrum IR direkam dengan jumlah pindaian 1 per sampel dalam mode absorpsi dan

resolusi spektral  $4,0 \text{ cm}^{-1}$  dalam kisaran bilangan gelombang 4000 hingga  $400 \text{ cm}^{-1}$  pada suhu kamar menggunakan perangkat lunak spektrum (Perkin Elmer, USA).

### 3. Analisis Termogravimetri (TGA)

Analisis termogravimetri (TGA 4000 Perkin Elmer) menurut ASTM E1131 dilakukan berdasarkan Suryanegara, *et al.* (2021) dengan mengukur kehilangan berat termal dari setiap sampel. Rentang suhu diatur pada 20-600 °C dengan laju pemanasan  $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$  di bawah aliran nitrogen. Persentase penurunan berat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Weight Loss (\%)} = \frac{(W_{\text{initial}} - W_{\text{final}})}{W_{\text{initial}}} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana :  $W_{\text{initial}}$  = berat awal (mg)

$W_{\text{final}}$  = berat pada temperature tertentu (mg)

### 4. Pengukuran Permeabilitas Uap Air (WVTR dan WVP)

Tingkat Transmisi Uap Air (WVTR) dan Permeabilitas Uap Air (WVP) ditentukan melalui metode cangkir, menurut ASTM E 95-96 1995 (Suryanegara *et al.*, 2021) WVTR dan WVP setiap sampel diukur tiga kali, dan kehilangan massa air ditentukan berdasarkan waktu interval 5 menit sampai tercapai keadaan stabil yaitu 24 jam. Nilai WVTR dan WVP dihitung menggunakan persamaan. 3 dan 4, yaitu:

$$\text{WVTR} = \frac{\text{flux}}{\text{surface area}} \quad (5)$$

$$\text{WVP} = \frac{\text{WVTR} \times d}{S \times (R_1 - R_2)} \quad (6)$$

Dimana WVTR adalah laju transmisi uap air ( $\text{gs}^{-1}\text{m}^{-2}$ ), WVP adalah permeabilitas uap air ( $\text{gs}^{-1}\text{m}^{-1}\text{Pa}^{-1}$ ), fluks adalah kemiringan dalam regresi

linier,  $d$  adalah ketebalan film (m),  $S$  adalah tekanan udara jenuh pada 37 °C (6266,134 Pa),  $R_1$  adalah RH dalam cawan Petri (100%), dan  $R_2$  adalah RH pada 37 °C (81%).

#### 5. Analisis Spektrofotometer Ultra Violet *Visible* (UV-Vis)

Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk menganalisis berbagai sifat optik material berdasarkan interaksi sinar ultraviolet (UV) dan tampak (*Visible*). Analisis menggunakan alat UV/Vis spectrophotometer model UV-1800 (SHIMADZU Corporation, Japan) berdasarkan ASTM E169 dengan mengatur panjang gelombang pada rentang 200-800 nm. Sampel dalam bentuk lembaran tipis berukuran 10 mm x10 mm.

#### 6. Analisis X-Ray *Diffraction* (XRD)

Analisis X-Ray *Diffraction* digunakan untuk mengukur tingkat kristalinitas pada bioplastik, yang berpengaruh pada kekuatan mekanis, sifat termal, dan permeabilitas. Analisis diukur dengan alat XRD SmartLab Rigaku dengan Cu-Source. Menggunakan sumber sinar X dengan rentang sudut 10° - 80° dan kecepatan pemindaian 2°/menit. Ukuran kristal pada fase kristalin dihitung menggunakan persamaan Scherrer:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad (7)$$

Dimana :  $D$  = ukuran kristal (nm)

$K$  = konstanta Scherrer (0,9)

$\lambda$  = panjang gelombang sinar-X (1,54 Å)

$\beta$  = pelebaran puncak pada setengah ketinggian maksimum (FWHM) dalam radian,

$\theta$  = sudut Bragg (setengah dari nilai  $2\theta$ )

Derajat kristalinitas dalam % dihitung menggunakan *Lorentz fitting curve with Origin Pro 8.5.1 software* (Origin Lab Corporation, Northampton, MA, USA). Derajat kristalinitas dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$X_c (\%) = \frac{\text{fraksi luas kristal}}{\text{fraksi luas kristal} + \text{fraksi luas amorf}} \times 100 \quad (8)$$

#### 7. Analisis Sudut Kontak (*Contact Angle*)

Analisis sudut kontak berdasarkan ASTM D7334 dengan meneteskan aquades ( $v = 200 \mu\text{L}$ ) pada permukaan film bioplastik. Hasil tetesan direkam menggunakan Dino-Lite Pro Digital Microscope (AnMo Electronics Corporation, Taiwan) dan aplikasi Dino-Lite Capture (Versi 2.0) selama 180 detik. Video yang direkam dipotong menjadi 3 detik, dan dari setiap gambar, sudut kontak diukur menggunakan Image J dengan analisis plugin drop snake.

#### 8. Analisis Transparansi Warna

Analisis transparansi diamati berdasarkan hasil spektrofotometri UV Vis pada bioplastik. Transparansi warna pada bioplastik dipresentasikan sebagai transparansi atau % transmittance. Transparansi (% *transmittance*) dihitung berdasarkan hukum Beer-Lambert sebagai berikut:

$A = -\log \%T$ , dimana A adalah absorbansi. Kemudian diturunkan menjadi  
 $\%T = T \times 100$

#### 9. Uji Biodegradabilitas (*Soil Burial Test*)

Uji biodegradabilitas pada bioplastik dilakukan menggunakan uji kubur (*Soil Burial Test*) berdasarkan ASTM 5988, yaitu sampel bioplastik dikubur di dalam tanah pada kedalaman 10 cm, kemudian dilakukan pengamatan setiap 10 hari. Pengamatan meliputi perubahan fisik (seperti warna, bentuk, dan tekstur), serta perubahan berat sampel bioplastik.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis pelarut dan konsentrasi berpengaruh terhadap pH dan sifat fisik bioplastik yang terbentuk. Perlakuan jenis asam (asetat, laktat, sitrat) dan PVA dengan konsentrasi (1-3%) menghasilkan nilai pH dengan kisaran 3,37 – 6,84 dan memiliki penampakan fisik beragam dari tidak dapat dilepas dari cetakan hingga elastis, kompak, homogen dan bertekstur halus. Hasil terbaik diperoleh pada perlakuan asam asetat 3% dengan nilai pH 5,02 dengan sifat fisik: elastis, homogen dan bertekstur halus; dan PVA 1% dengan nilai pH 6,04 dengan sifat fisik: sedikit kaku namun cukup elastis, kurang homogen, dan bertekstur kasar.
2. Berdasarkan hasil uji mekanik kekuatan tarik bioplastik campuran lignin dan kitosan diperoleh hasil yang terbaik pada perlakuan menggunakan pelarut asam asetat 3% dengan nilai *tensile strength* 34,82 MPa; *modulus young* 18,54 MPa dan *elongation at break* 2,74%.
3. Karakteristik bioplastik campuran kitosan-asam asetat 3%-lignin berdasarkan analisis menghasilkan: adanya interaksi pada gugus fungsi kitosan dan lignin di puncak serapan gelombang 3287  $\text{cm}^{-1}$ ; Nilai TGA 28,23%; WVTR 1510,2640 ( $\text{g/m}^2/24\text{h}$ ) dan WVP 4,468  $\text{e}^{-12}$  ( $\text{gs}^{-1}\text{m}^{-1}\text{Pa}^{-1}$ ); nilai UV-Vis puncak absorbansi maksimum ( $\lambda_{\text{max}}$ ) pada panjang gelombang 800nm sebesar 46,5585; nilai XRD ukuran kristal 5,487nm; perubahan sudut kontak permukaan pada menit ke-5 sebesar  $88 \pm 1^\circ$ ; transparansi warna (%T)

$5.16 \times 10^{-450\%}$ ; dan bioplastik mulai mengalami degradasi setelah 30 hari pengamatan.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan pelarut selain ethanol seperti dari golongan alkali untuk melarutkan lignin, agar dapat menghasilkan lignin yang terdispersi dengan optimal ke dalam matriks polimer kitosan.
2. Untuk memperbaiki kompatibilitas film komposit, polimer *polyvinyl alcohol* (PVA) agar dilarutkan terlebih dahulu sebelum dicampurkan dengan polimer lain.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk pemilihan pelarut dan konsentrasi yang tepat untuk melarutkan kitosan dan lignin agar memberikan hasil yang optimal dalam kualitas dan fungsionalitas bioplastik yang dihasilkan, serta faktor keberlanjutan dan dampak lingkungan dari proses pembuatan bioplastik tersebut.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi konsentrasi lignin dan kitosan untuk mengetahui komposisi terbaik dalam meningkatkan sifat mekanik dan biodegradabilitas bioplastik.
5. Pengujian lebih lanjut terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi laju biodegradasi bioplastik, seperti kondisi lingkungan tanah (pH, suhu, dan keberadaan mikroorganisme).

Dengan adanya saran ini, diharapkan penelitian lanjutan dapat semakin menyempurnakan kualitas bioplastik berbasis kitosan-lignin sehingga dapat diaplikasikan secara luas dan berkontribusi dalam mengurangi ketergantungan terhadap plastik konvensional.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, A., Soloman, P. A., and Rejini, V. O. 2016. Preparation of Chitosan-Polyvinyl Alcohol Blends and Studies on Thermal and Mechanical Properties. *Procedia Technology*, 24, 741–748. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.206>
- Adrah, K., Ananey-Obiri, D., and Tahergorabi, R. 2020. Development of Bio-Based and Biodegradable Plastics. In *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications* (pp. 1–25). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11155-7\\_149-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11155-7_149-1)
- Agustin, Y.E., dan Padmawijaya, K.S. 2016. Sintetis Bioplastik dari Kitosan-Pati Kulit Pisang Kepok dengan Penambahan Zat Aditif. *Jurnal Teknik Kimia*. Volume 10 No. 2 Hal 40-48.
- Alonso, D. M., Wettstein, S. G., Dumesic, J. A. 2012. Bimetallic Catalysts for Upgrading of Biomass to Fuels and Chemicals. *Chemical Society Reviews*. 41:24, pp: 8075–8098. <https://doi.org/10.1039/c2cs35188a>
- Boonruam, P., and Wattachanai. 2021. Effects of Chemical Compositions of Chitosan-Based Hydrogel on Properties and Collagen Release. In *ASEAN Engineering Journal* (Vol. 11, Issue 2).
- Chang, R., and Goldsby, K. A. 2016. *Chemistry*. McGraw-Hill Education.
- Chen, G. Q., and Martin, K. P. 2012. Plastics Derived From Biological Sources: Present and Future: A Technical and Environmental Review. In *Chemical Reviews* (Vol. 112, Issue 4, pp. 2082–2099). <https://doi.org/10.1021/cr200162d>
- Chen, L., Tang, C.-Y., Ning, N.-Y., Wang, C.-Y., Fu, Q., and Zhang, Q. 2009. Preparation and Properties of Chitosan/Lignin Composite Films. *Chinese Journal of Polymer Science*, 27(5), 739–746. [www.worldscientific.com](http://www.worldscientific.com)
- Crouvisier-Urien, K., Bodart, P. R., Winckler, P., Raya, J., Gougeon, R. D., Cayot, P., Domenek, S., Debeaufort, F., and Karbowiak, T. 2016. Biobased Composite Films from Chitosan and Lignin: Antioxidant Activity Related to Structure and Moisture. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(12), 6371–6381. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00956>

- Crouvisier-Urien, K., Lagorce-Tachon, A., Lauquin, C., Winckler, P., Tongdeesoontorn, W., Domenek, S., Debeaufort, F., and Karbowiak, T. 2017. Impact of the homogenization process on the structure and antioxidant properties of chitosan-lignin composite films. *Food Chemistry*, 236, 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.094>
- Crouvisier-Urien, K., Regina Da Silva Farias, F., Arunatat, S., Griffin, D., Gerometta, M., Rocca-Smith, J. R., Weber, G., Sok, N., and Karbowiak, T. 2019. Functionalization of chitosan with lignin to produce active materials by waste valorization. *Green Chemistry*, 21(17), 4633–4641. <https://doi.org/10.1039/c9gc01372e>
- Darojati, H. A. 2017. Prospek Pengembangan Teknologi Radiasi Sebagai Perlakuan Pendahuluan Biomassa Lignoselulosa. Vol. 11, Issue 2.
- Duan, Y., Freyburger, A., Kunz, W., and Zollfrank, C. 2018. Cellulose and chitin composite materials from an ionic liquid and a green co-solvent. *Carbohydrate Polymers*, 192, 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.045>
- Falah, F., Salsabila, R. N., Pradiani, W., Karimah, A., Lubis, M. A. R., Prianto, A. H., Solihat, N. N., Sari, F. P., Rusman, R., Wijaya, I. K., dan Fatriasari, W. 2022. Pengaruh Lama Penyimpanan dan Pengenceran Lindi Hitam Terhadap Karakteristik Lignin Kraft Acacia mangium. *Jurnal Riset Kimia*, 13(2), 138–151. <https://doi.org/10.25077/jrk.v13i2.506>
- Fatriasari, W., Masruchin, N., dan Hermiati, E. 2019. Selulosa : Karakteristik dan Pemanfaatannya. *LIPi Press*.
- Goldmann, W. M., Ahola, J., Mikola, M., and Tanskanen, J. 2019. Solubility and fractionation of Indulin AT kraft lignin in ethanol-water media. *Separation and Purification Technology*, 209, 826–832. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.06.054>
- Hanafi, M., Aiman, S., dan Suwandi, B. 2000. Pemanfaatan Kulit Udang untuk Pembuatan Kitosan dan Glukosamin. *JKTI*. Volume 10 No. 1-2.
- Hebbar, R. S., Isloor, A. M., and Ismail, A. F. 2017. Contact Angle Measurements. In *Membrane Characterization* (pp. 219–255). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00012-7>
- Ibrahim, S., Shuhaidah Shamsul Kamal, N., Ahmad Kamal Megat Hanafiah, M., Farhana Md Ariff, N., dan Hanim Saleh, S. 2021. Kitosan-Lignin Komposit untuk Perolehan Semula Lanthanum (III) Ion Dari Larutan Akueus. In *Malaysian Journal of Analytical Sciences* (Vol. 25).
- Imtihani, H. N., Wahyuono, R. A., dan Permatasari, S. N. 2020. *Biopolimer Kitosan dan Penggunaannya dalam Formulasi Obat*. [www.penerbitgraniti.com](http://www.penerbitgraniti.com) 284 hp

- Iravani, S., Varma, R.S. 2020. Greener Synthesis of Lignin Nanoparticles and Their Applications. In *Green Chemistry* (Vol. 22, Issue 3, pp. 612–636). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c9gc02835h>
- Jaganathan, G., Manivannan, K., Lakshmanan, S., and Sithique, M. A. 2018. Fabrication and characterization of Artocarpus heterophyllus waste derived lignin added chitosan biocomposites for wound dressing application. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 10, 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2018.08.002>
- Ji, M., Li, J., Li, F., Wang, X., Man, J., Li, J., Zhang, C., and Peng, S. 2022. A Biodegradable Chitosan-based Composite Film Reinforced by Ramie Fibre and Lignin for Food Packaging. *Carbohydrate Polymers*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.119078>
- Kamsiati, E., Herawati, H., dan Purwani, E. Y. 2017. Potensi Pengembangan Plastik Biodegradable Berbasis Pati Sagu Dan Ubikayu Di Indonesia. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 36(2), 67. <https://doi.org/10.21082/jp3.v36n2.2017.p67-76>
- Kaur, R., Bhardwaj, S. K., Chandna, S., Kim, K. H., and Bhaumik, J. 2021. Lignin-based metal oxide nanocomposites for UV protection applications: A review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 317). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128300>
- Kementerian Komunikasi dan Digital Republik Indonesia. 5 Negara Penyumbang Sampah Plastik Terbanyak di Dunia. <https://indonesia.go.id/> Diakses pada 7 Desember 2024
- Khaled, A., and Khaled, A. M. 2021. *A Review on Natural Biodegradable Materials: Chitin and Chitosan Chemistry of Advanced Materials 6(1) (2021) 1-5* <https://www.researchgate.net/publication/358593175>
- Khan, M. U., and Ahring, B. K. 2019. Lignin degradation under anaerobic digestion: Influence of lignin modifications -A review. In *Biomass and Bioenergy* (Vol. 128). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105325>
- Khouri, J., Penlidis, A., and Moresoli, C. 2020. Heterogeneous method of chitosan film preparation: Effect of multifunctional acid on film properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(18). <https://doi.org/10.1002/app.48648>
- Krisnawati, H., Kallio, M., and Kanninen, M. 2011. *Acacia mangium Willd: ecology, silviculture and productivity*. Center for International Forestry Research. ISBN 978-602-8693-48-6

- Kumar, S., Mukherjee, A., Dutta, J. 2020. Chitosan Based Nanocomposite Films and Coatings: Emerging Antimicrobial Food Packaging Alternatives. In *Trends in Food Science and Technology*. Vol. 97, pp. 196–209. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.002>
- Lia, X., Lia, Y., Zhanga, S., and Ye, Z. 2012. Preparation and Characterization Of New Foam Adsorbents Of Poly(Vinyl Alcohol)/Chitosan Composites And Their Removal For Dye And Heavy Metal From Aqueous Solution. *Chemical Engineering Journal*, 183, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.12.025>
- Li, W., Zhang, C., Chi, H., Li, L., Lan, T., Han, P., Chen, H., and Qin, Y. 2017. Development of antimicrobial packaging film made from poly(lactic acid) incorporating titanium dioxide and silver nanoparticles. *Molecules*, 22(7). <https://doi.org/10.3390/molecules22071170>
- Li, Y., Li, F., Yang, Y., Ge, B., and Meng, F. 2021. Research and application progress of lignin-based composite membrane. *Journal of Polymer Engineering*, 41(4), 245–258. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2020-0268>
- Małachowska, E., Dubowik, M., Boruszewski, P., Łojewska, J., and Przybysz. 2020. Influence of Lignin Content in Cellulose Pulp on Paper Durability. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77101-2>
- Maladi, I. 2019. *Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Singkong (Manihot utilissima)*. (Skripsi). Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. 115 p
- Mandlekar, P., Arora, A., and Ray, S. 2018. An Overview on the Use of Lignin and Its Derivatives in Fire Retardant Polymer Systems. In *Lignin - Trends and Applications*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72963>
- Menzies, K. L., and Jones, L. 2010. *The Impact of Contact Angle on the Biocompatibility of Biomaterials*.
- Miller, C., Fosmer, A., Rush, B., McMullin, T., Beacom, D., and Suominen, P. 2019. Industrial Production of Lactic Acid. In *Comprehensive Biotechnology* pp. 208–217. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.09142-1>
- Muller, J., Martinez, C. G., Chiralt, A. 2017. Combination Of Poly(lactic) Acid and Starch for Biodegradable Food Packaging. In *Materials*. Vol. 10, Issue 8. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ma10080952>
- Muzata, T. S., Gebrekrstos, A., Orasugh, J. T., and Ray, S. S. 2023. An overview of recent advances in polymer composites with improved UV-shielding properties. In *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 140, Issue 14. John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/app.53693>

- Nahwi, N. F. 2016. *Analisis Pengaruh Penambahan Plasticizer Gliserol pada Karakteristik Edible Film dari Pati Kulit Pisang Raja, Tongkol Jagung dan Enceng Gondok*. (Skripsi). Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. 121 p
- Nandal, P., Arora, A., and Virmani, S. 2021. An appraisal on valorization of lignin: A byproduct from biorefineries and paper industries. *Biomass and Bioenergy*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106295>
- Nurhabibah, S. A., dan Kusumaningrum, W. B. 2021. Karakterisasi Bioplastik Dari K-Karagenan *Eucheuma Cottonii* Terplastisasi Berpenguat Nanoselulosa. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, Volume 43 No. 2, Hal 82–94. <https://doi.org/10.24817/jkk.v42i2.6808>
- Olgun, Ç., and Ateş, S. 2023. Characterization and Comparison of Some Kraft Lignins Isolated from Different Sources. *Forests*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/f14050882>
- Othmer, K. 1998. *Encyclopedia of Chemical Technology*. 5(Fourth Edition).
- Pandit. A., and Kumar, R., 2021. A Review on Production, Characterization and Application of Bacterial Cellulose and Its Biocomposites. In *Journal of Polymers and the Environment*. Vol. 29, Issue 9, pp. 2738–2755. Springer. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02079-5>
- Park, S. Y., Marsh, K. S., and Rhim, J. W. 2002. Characteristics of Different Molecular Weight Chitosan Films Affected by the Type of Organic Solvents. In *JOURNAL OF FOOD SCIENCE* (Vol. 67).
- Pasricha, R., and Sachdev, D. 2017. Biological characterization of nanofiber composites. In *Nanofiber Composites for Biomedical Applications* (pp. 157–196). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100173-8.00007-7>
- Paul, S., and Dutta, A. 2018. Challenges and opportunities of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 130, pp. 164–174). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.005>
- Pavoni, J. M. F., Luchese, C. L., and Tessaro, I. C. 2019. Impact of Acid Type for Chitosan Dissolution on the Characteristics and Biodegradability of Cornstarch/chitosan Based Films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 138, 693–703. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.089>
- Permana, E., Gusti. D. R, Tarigan, I. L., Andika, Y., dan Nirwana, A. C. 2021. *Sifat Fisik Bioplastik dari Pati Umbi Gadung dan Pelepah Sawit Physical Properties of Bioplastic from Gadung Tuber Starch and Palm Oil Fronds*. <https://doi.org/https://doi.org/10.30738/jst.v7i1.9253>

- Priyadarshi, R., and Rhim, J. W. 2020. Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. In *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Vol. 62. Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102346>
- Qiao, C., Ma, X., Wang, X., and Liu, L. 2021. Structure and properties of chitosan films: Effect of the type of solvent acid. *LWT*, 135.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109984>
- Ridho, M. R., Agustiany, E. A., Rahmi Dn, M., Madyaratri, E. W., Ghozali, M., Restu, W. K., Falah, F., Rahandi Lubis, M. A., Syamani, F. A., Nurhamiyah, Y., Hidayati, S., Sohail, A., Karungame, P., Nawawi, D. S., Iswanto, A. H., Othman, N., Mohamad Aini, N. A., Hussin, M. H., Sahakaro, K., and Fatriasari, W. 2022. Lignin as Green Filler in Polymer Composites: Development Methods, Characteristics, and Potential Applications. In *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 2022. Hindawi Limited.  
<https://doi.org/10.1155/2022/1363481>
- Rosova, E., Smirnova, N., Dresvyanina, E., Smirnova, V., Vlasova, E., Ivan'kova, E., Sokolova, M., Maslennikova, T., Malafeev, K., Kolbe, K., Kanerva, M., and Yudin, V. 2021. Biocomposite materials based on chitosan and lignin: Preparation and characterization. *Cosmetics*. 8:1.  
<https://doi.org/10.3390/cosmetics8010024>
- Roy, J. C., Salaün, F., Giraud, S., Ferri, A., Chen, G., and Guan, J. 2017. Solubility of Chitin: Solvents, Solution Behaviors and Their Related Mechanisms. In *Solubility of Polysaccharides*. InTech.  
<https://doi.org/10.5772/intechopen.71385>
- Sadeghifar, H., Venditti, R., Jur, J., Gorga, R. E., and Pawlak, J. J. 2017. Cellulose-Lignin Biodegradable and Flexible UV Protection Film. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 5:1, 625–631.  
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b02003>
- Siagian, R., and Darmawan, S. 1999. komposisi kimia akasia. *Buletin Penelitian Hasil Hutan, Vol. 17 No. 1*, 57–66.
- Siaran Pers Kementerian Kelautan dan Perikanan. <https://kkp.go.id/news/news-detail/kkp-siap-berkolaborasi-dengan-kl-lain-genjot-produksi-udang>. Diakses 17 Januari 2025
- Sikorski, D., Gzyra-Jagiela, K., and Draczyński, Z. 2021. The Kinetics Of Chitosan Degradation In Organic Acid Solutions. *Marine Drugs*. 19:5.  
<https://doi.org/10.3390/md19050236>
- Silvestre, J., Delattre, C., Michaud, P., and de Baynast, H. 2021. Optimization of chitosan properties with the aim of a water resistant adhesive development. In *Polymers*. Vol. 13, Issue 22. MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym13224031>

- Sipponen, M. H., Lange, H., Crestini, C., Henn, A., and Österberg, M. 2019. Lignin for Nano- and Microscaled Carrier Systems: Applications, Trends, and Challenges. In *ChemSusChem*. Vol. 12, Issue 10, pp. 2039–2054. Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/cssc.201900480>
- Solihat, N. N., Santoso, E.B., Karimah, A., Madyaratri, E.A., Sari,P., Falah, F., Iswanto, A. H., Ismayati, M., Lubis, M. A. R., Fatriasari, W., Antov, P., Savov, V., Gajtanska, M. and Syafii, W. 2022. Physical and Chemical Properties of Acacia mangium Lignin Isolated from Pulp Mill Byproduct for Potential Application in Wood Composites. *Polymers*. 14:3. <https://doi.org/10.3390/polym14030491>
- Solihat, N. N., Sari, F. P., Falah, F., Ismayati, M., Lubis, M. A. R., Fatriasari, W., Santoso, E. B., and Syafii, W. 2021. Lignin as an Active Biomaterial: A Review. *Jurnal Sylva Lestari*. 9:1, 1. <https://doi.org/10.23960/jsl191-22>
- Sun, L., Wu, Q., Xie, Y., Song, K., Lee, S., and Wang, Q. 2016. Thermal decomposition of fire-retarded wood flour/polypropylene composites: Kinetic property and degradation mechanisms. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 123:1, pp: 309–318. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4971-8>
- Suryanegara, L., Fatriasari, W., Zulfiana, D., Heris Anita, S., Masruchin, N., Gutari, S., and Kemala, T. 2021. Novel antimicrobial bioplastic based on PLA-chitosan by addition of TiO<sub>2</sub> and ZnO. <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00614-z/Published>
- Vernaes, O., Neubert, K. J., Kopitzky, R., and Kabasci, S. 2019. Compatibility of chitosan in polymer blends by chemical modification of bio-based polyesters. *Polymers*. 11:12. <https://doi.org/10.3390/polym11121939>
- Vfirum, P 1994. Water-solubility of Partially N-acetylated Chitosans as a Function of pH: Effect of Chemical Composition and Depolymerisation.
- Vimala, K., Yallapu, M. M., Varaprasad, K., Reddy, N. N., Ravindra, S., Naidu, N. S., and Raju, K. M. 2011. Fabrication of Curcumin Encapsulated Chitosan-PVA Silver Nanocomposite Films for Improved Antimicrobial Activity. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. 02:01, pp 55–64. <https://doi.org/10.4236/jbnb.2011.21008>
- Wang,X., Pang, Z., Chen, C., Xia, Q., and Zhou, Y. 2020. All-Natural, Degradable, Rolled-Up Straws Based on Cellulose Micro- and Nano-Hybrid Fibers. *Advanced Functional Materials*. 30:22. <https://doi.org/10.1002/adfm.201910417>
- Wang, K., Loo, L. S., and Goh, K. L. 2016. A facile method for processing lignin reinforced chitosan biopolymer microfibrils: Optimising the fibre mechanical

- properties through lignin type and concentration. *Materials Research Express*. 3:3. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/3/3/035301>
- Warren, B. E. 1969. *7 X-ray Diffraction 7.1 Introduction*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Location: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Wei, L., and McDonald, A. G. 2016. A review on grafting of biofibers for biocomposites. In *Materials*. Vol. 9, Issue 4. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ma9040303>
- Yu, O., and Kim, K. H. 2020. Lignin to materials: A focused review on recent novel lignin applications. In *Applied Sciences (Switzerland)*. Vol. 10, Issue 13. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app10134626>
- Zhang, C. wei, Nair, S. S., Chen, H., Yan, N., Farnood, R., and Li, F. 2020. Thermally stable, enhanced water barrier, high strength starch bio-composite reinforced with lignin containing cellulose nanofibrils. *Carbohydrate Polymers*, 230. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115626>
- Zugenmaier, P. 2008. *Crystalline Cellulose and Derivatives: Characterization and Structures*. Springer Series in Wood Science Series Editors. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 295 p