

**PENGEMBANGAN KEMASAN BIOPLASTIK BERSIFAT
ANTIOKSIDAN BERBASIS EKSTRAK TANIN AKASIA-PVA DENGAN
GLUTARALDEHID DAN ASAM SITRAT SEBAGAI *CROSSLINKER***

(Tesis)

Oleh

**FIDELA DEVINA AGRIPPINA
NPM 2024051009**



**MAGISTER TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF BIOPLASTIC PACKAGING WITH ANTIOXIDANT PROPERTIES BASED ON ACACIA TANIN EXTRACT-PVA WITH GLUTARALDEHYDE AND CITRIC ACID AS CROSSLINKER

By

FIDELA DEVINA AGRIPPINA

Polyvinyl alcohol (PVA) is one of the materials often used in making bioplastics. The current trend in packaging innovation is the development of active packaging with antioxidant, anti-ultraviolet (UV), and antimicrobial properties. One of the natural active compounds that contains antioxidants for the development of active packaging is tannin, which comes from acacia bark extract (*Acacia mangium*). However, as an active packaging material, one of the weaknesses of PVA is its low physical and mechanical properties. Therefore, this study aimed to make PVA/Tannin-based bioplastic sheets with the addition of glutaraldehyde and citric acid crosslinkers, which then characterized the resulting bioplastic, namely its antioxidant activity, UV-block, as well as its physical, chemical, and mechanical properties. This research used a Completely Randomized Design (CRD) with two independent variables, namely variations in the concentrations of glutaraldehyde and citric acid (2.5%; 5%; 7.5%; 10%). This research stage consists of making PVA/Tannin bioplastic and then analyzing its antioxidant and anti-UV properties as well as physical, chemical, and mechanical properties. The research results show that the bioplastic produced is in the form of brownish sheets and is slightly transparent. PVA/Tannin bioplastic with 10% citric acid provides the best antioxidant activity of 89.49%, can block 100% of UV-B and UV-C rays, and has the best thermal stability with a charcoal residue 13.72. Then, adding glutaraldehyde improved the bioplastic's physical and mechanical properties with a tensile strength value of 36.14 MPa and a WVP of 1.26×10^{-7} . Based on these findings, bioplastics made from PVA/Tannin with glutaraldehyde and citric acid crosslinkers have the potential to be used to make active packaging with improved physical and mechanical properties.

Keywords: bioplastic, characterization, citric acid, glutaraldehyde, PVA, tannins

ABSTRAK

PENGEMBANGAN KEMASAN BIOPLASTIK BERSIFAT ANTIOKSIDAN BERBASIS EKSTRAK TANIN AKASIA-PVA DENGAN GLUTARALDEHID DAN ASAM SITRAT SEBAGAI *CROSSLINKER*

Oleh

FIDELA DEVINA AGRIPPINA

Polivinil alkohol (PVA) adalah salah satu bahan yang sering digunakan dalam pembuatan bioplastik. Tren inovasi kemasan saat ini adalah pengembangan kemasan aktif yang memiliki sifat antioksidan, anti-ultraviolet (UV), dan antimikroba. Salah satu senyawa aktif alami yang memiliki kandungan antioksidan untuk pengembangan kemasan aktif adalah tanin yang berasal dari ekstrak kulit kayu akasia (*Acacia mangium*). Namun, sebagai bahan kemasan aktif, salah satu kelemahan PVA adalah memiliki sifat fisik dan mekanis yang rendah. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk membuat lembaran bioplastik berbasis PVA/Tanin dengan penambahan *crosslinker* glutaraldehid dan asam sitrat yang kemudian dikarakterisasi bioplastik yang dihasilkan, yaitu aktivitas antioksidan, UV-block, serta sifat fisik, kimia, dan mekaniknya. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan variabel bebas, yaitu variasi konsentrasi glutaraldehid dan asam sitrat (2,5%; 5%; 7,5%; 10%). Tahap penelitian ini terdiri dari pembuatan bioplastik PVA/Tanin lalu dianalisa sifat antioksidan dan anti-UV serta sifat fisik, kimia, dan mekanisnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bioplastik yang dihasilkan berupa lembaran berwarna kecoklatan dan sedikit transparan. Bioplastik PVA/Tanin dengan asam sitrat 10% memberikan aktivitas antioksidan terbaik sebesar 89,49%, mampu memblokir 100% sinar UV-B dan UV-C serta stabilitas termal terbaik dengan residu arang 13,72. Kemudian penambahan glutaraldehid mampu meningkatkan sifat fisik dan mekanis bioplastik dengan nilai kuat tarik sebesar 36,14 MPa dan WVP sebesar $1,26 \times 10^{-7}$. Berdasarkan temuan tersebut, bioplastik berbahan PVA/Tanin dengan *crosslinker* glutaraldehid dan asam sitrat berpotensi digunakan untuk membuat kemasan aktif dengan sifat fisik dan mekanis yang ditingkatkan.

Kata kunci: asam sitrat, bioplastik, glutaraldehid, karakterisasi, PVA, tanin.

**PENGEMBANGAN KEMASAN BIOPLASTIK BERSIFAT
ANTIOKSIDAN BERBASIS EKSTRAK TANIN AKASIA-PVA DENGAN
GLUTARALDEHID DAN ASAM SITRAT SEBAGAI *CROSSLINKER***

Oleh

FIDELA DEVINA AGRIPPINA

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
2024**

Judul Tesis : **PENGEMBANGAN KEMASAN BIOPLASTIK BERSIFAT ANTIOKSIDAN BERBASIS EKSTRAK TANIN AKASIA-PVA DENGAN GLUTARALDEHID DAN ASAM SITRAT SEBAGAI *CROSSLINKER***

Nama Mahasiswa : *Fidela Devina Agrippina*

Nomor Pokok Mahasiswa : 2024051009

Program Studi : Magister Teknologi Industri Pertanian

Fakultas : Pertanian



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

[Signature]
Maya Ismayati, Ph.D.
NIP. 19841009 200812 2 001

2. Ketua Program Studi Magister Teknologi Industri Pertanian

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



Sekretaris : **Maya Ismayati, Ph.D.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Dewi Sartika, S.T.P., M.Si.**



Dr. Samsul Rizal, S.P., M.Si.

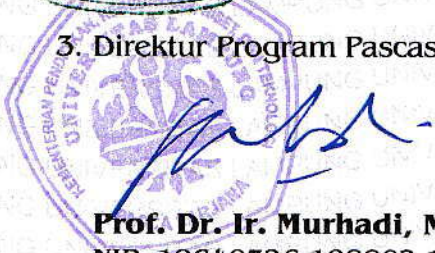
2. Dekan Fakultas Pertanian

Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 19643118 198902 1 002



3. Direktur Program Pascasarjana

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



Tanggal Lulus Ujian Tesis : **6 Mei 2024**

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fidela Devina Agrippina

NPM : 2024051009

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.

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

Bandar Lampung, Juni 2024
Yang membuat pernyataan



Fidela Devina Agrippina
NPM. 2024051009

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Palembang pada tanggal 17 Juni 1995, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari pasangan Alm. Bapak Eko Wiyono dan Ibu Sri Puji Esti Rahayu. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Bina Bangsa Palembang pada tahun 2001, Sekolah Dasar di SD Bina Bangsa Palembang pada tahun 2006. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan menengah di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 19 Palembang, kemudian pada tahun 2010 penulis melanjutkan pendidikannya ke Sekolah Menengah Atas (SMA) Plus Negeri 17 Palembang dan lulus tahun 2013.

Pada tahun 2013, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada melalui jalur undangan atau Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi (SNMPTN) dan lulus di bulan Agustus tahun 2017. Kemudian, penulis melanjutkan studi Pascasarjana (S2) di Program Magister Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

SANWACANA

Alhamdulillah rabbil'alamiin. Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul “Pengembangan Kemasan Bioplastik Bersifat Antioksidan Berbasis Ekstrak Tanin Akasia-PVA Dengan Glutaraldehyd dan Asam Sitrat sebagai Crosslinker”. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini telah mendapatkan banyak arahan, bimbingan, dan nasihat baik secara langsung maupun tidak, sehingga penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A.IPM. ASEAN Eng., 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. Ir. Udin Hasanudin, M.T., selaku Ketua Program Studi Magister Teknologi Industri Pertanian;
5. Bapak Dr. Ir. Suharyono AS., M.S., selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, motivasi, dan nasihat kepada penulis.
6. Ibu Prof. Sri Hidayati, S.T.P., M.P., selaku pembimbing pertama tesis yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, motivasi, saran, dan nasihat dan dalam penyusunan tesis ini hingga selesai;
7. Ibu Maya Ismayati, Ph.D., selaku pembimbing kedua tesis yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, saran, nasihat, bantuan, dan fasilitas dalam penyusunan tesis ini hingga selesai;

8. Ibu Dr. Dewi Sartika, S.T.P., M.Si., selaku pembahas pertama atas bantuan, saran, dan evaluasi terhadap tesis penulis;
9. Bapak Dr. Samsul Rizal, S.P., M.Si., selaku pembahas kedua atas bantuan, saran, dan evaluasi terhadap tesis penulis;
10. Program Penelitian (Program DIPA Rumah) pada Badan Penelitian Nanoteknologi dan Material, Hibah BRIN dan JASTIP 2022 (S-8) atas dukungan pendanaan pada penelitian ini;
11. Seluruh Bapak dan Ibu dosen pengajar, staf, dan karyawan di Magister Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung, yang telah mengajari, membimbing, dan juga membantu penulis dalam menyelesaikan administrasi akademik;
12. Keluargaku tercinta, suamiku Bima Putra Pratama; orang tua penulis Ibu Sri Puji Esti Rahayu, Ibu Indartiningsih, dan Bapak Dalrum; kakak penulis M.Rifqi Putra Perdana dan Purwasih; adik penulis M.Hadyan Alkhairi Fatkhar dan Nabila Rizqi 'Afifah; serta keluarga besar penulis yang telah mengasihi, memberikan dukungan material dan spiritual, serta do'a yang selalu menyertai penulis selama ini;
13. Rekan kerja, sahabat, adik-adik PKL di Laboratorium BSPJI Bandar Lampung, serta teman-teman MTIP Angkatan 2020 atas bantuan, semangat, dan dukungannya dalam menyelesaikan penelitian dan tesis;
14. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis berharap semoga Allah membalas seluruh kebaikan yang telah diberikan kepada penulis dan semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandar Lampung, Juni 2024

Fidela Devina Agrippina

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan.....	4
1.3 Kerangka Pemikiran	5
1.4 Hipotesis.....	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Polivinil Alkohol (PVA)	10
2.2 Tanin.....	13
2.3 Glutaraldehyd.....	16
2.4 Asam Sitrat	17
2.5 Metode <i>Crosslinking</i>	19
2.6 Aktivitas Antioksidan.....	20
2.7 Karakteristik Mekanik Kemasan Bioplastik.....	22
2.8 Permeabilitas Uap Air (WVP).....	25
2.9 Thermogravimetry Analysis (TGA).....	25
2.10 FTIR (Fourier Transform Infrared)	26
III. BAHAN DAN METODE	28
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.2 Bahan dan Alat	28
3.3 Metode Penelitian.....	29

3.4 Pelaksanaan Penelitian	30
3.4.1 Persiapan Bahan Baku	30
3.4.2 Pembuatan Bioplastik PVA/Tanin dengan <i>Crosslinker</i>	30
3.5 Pengamatan	32
3.5.1 Aktivitas Antioksidan	32
3.5.2 <i>Opacity</i>	32
3.5.3 <i>Contact Angle</i>	33
3.5.4 <i>Water Vapor Permeability (WVP)</i>	33
3.5.5 Uji Mekanik	34
3.5.6 Uji Perlindungan UV	34
3.5.7 Stabilitas Termal	34
3.5.8 <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Kenampakan Bioplastik PVA/Tanin dengan <i>Crosslinker</i>	36
4.2 Aktivitas Antioksidan	37
4.3 Karakteristik <i>Opacity</i>	40
4.4 Karakteristik <i>Contact angle</i>	42
4.5 Karakteristik WVP	44
4.6 Karakteristik Mekanik	47
4.6.1 <i>Young's Modulus</i>	47
4.6.2 <i>Tensile strength</i>	49
4.6.3 <i>Elongation at Break</i>	51
4.7 Karakteristik Perlindungan UV	53
4.8 Karakteristik Termal	55
4.9 Karakteristik Gugus Fungsi	58
V. KESIMPULAN DAN SARAN	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi Pembuatan Kemasan Bioplastik	29
2. Aktivitas antioksidan bioplastik PVA/Tanin dengan variasi konsentrasi glutaraldehid dan asam sitrat.....	37
3. Karakteristik <i>opacity</i> bioplastik PVA/Tanin dengan variasi konsentrasi glutaraldehid dan asam sitrat.....	40
4. Karakteristik <i>contact angle</i> bioplastik PVA/Tanin dengan variasi konsentrasi glutaraldehid dan asam sitrat.....	42
5. Karakteristik WVP bioplastik PVA/Tanin dengan variasi konsentrasi glutaraldehid dan asam sitrat.....	45
6. Karakteristik young's modulus bioplastik PVA/Tanin dengan variasi konsentrasi glutaraldehid dan asam sitrat	48
7. Karakteristik <i>tensile strength</i> bioplastik PVA/Tanin dengan variasi konsentrasi glutaraldehid dan asam sitrat	49
8. Karakteristik <i>elongation at break</i> bioplastik PVA/Tanin dengan variasi konsentrasi glutaraldehid dan asam sitrat	51
9. Karakteristik termal bioplastik PVA/Tanin dengan variasi konsentrasi glutaraldehid dan asam sitrat.....	56
10. Interpretasi spektra FTIR pada bioplastik PVA/Tanin dengan variasi konsentrasi glutaraldehid dan asam sitrat menurut beberapa studi.....	60
11. Data hasil pengujian aktivitas antioksidan.....	79
12. Analisis sidik ragam aktivitas antioksidan.....	79
13. Uji lanjut BNJ aktivitas antioksidan	79
14. Data hasil pengujian <i>opacity</i>	80
15. Analisis sidik ragam <i>opacity</i>	80
16. Uji lanjut BNJ <i>opacity</i>	80

17. Data hasil pengujian <i>contact angle</i>	81
18. Analisis sidik ragam <i>contact angle</i>	81
19. Uji lanjut BNJ <i>contact angle</i>	81
20. Data hasil pengujian WVP	82
21. Analisis sidik ragam WVP	82
22. Uji lanjut BNJ WVP	82
23. Data hasil pengujian young's modulus	83
24. Analisis sidik ragam young's modulus	83
25. Uji lanjut BNJ young's modulus.....	83
26. Data hasil pengujian kuat tarik.....	84
27. Analisis sidik ragam kuat tarik.....	84
28. Uji lanjut BNJ kuat tarik	84
29. Data hasil pengujian perpanjangan putus	85
30. Analisis sidik ragam perpanjangan putus	85
31. Uji lanjut BNJ perpanjangan putus	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Polivinil Alkohol.....	11
2. Struktur Tanin: A. Tanin terhidrolisis dan B. Tanin terkondensasi	14
3. Proses pembuatan bioplastik PVA/Tanin dengan <i>crosslinker</i>	31
4. Hasil lembaran bioplastik PVA/Tanin dengan <i>crosslinker</i>	37
5. Grafik karakteristik perlindungan UV bioplastik PVA/Tanin dengan variasi konsentrasi glutaraldehid dan asam sitrat	54
6. Kurva karakteristik termal TGA (a) dan DTG (b) bioplastik PVA/Tanin dengan variasi konsentrasi glutaraldehid dan asam sitrat	56
7. Spektra FTIR bioplastik PVA/Tanin dengan variasi konsentrasi glutaraldehid dan asam sitrat.....	58
8. Proses pembuatan bioplastik PVA/Tanin dengan <i>crosslinker</i>	78

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Plastik konvensional (petrokimia) telah menjadi bagian penting dalam kehidupan modern, tetapi konsekuensi negatifnya terhadap lingkungan semakin jelas. Berdasarkan data dari Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS) dan Badan Pusat Statistik (BPS), sampah plastik di Indonesia mencapai 64 juta ton per tahun dan sebanyak 3,2 juta ton sampah plastik tersebut dibuang ke laut (Arbintarso and Nurnawati, 2022). Akumulasi limbah plastik yang tidak terurai secara efisien menyebabkan pencemaran lingkungan yang luas, mengancam keberlanjutan ekosistem, dan mengganggu kehidupan manusia dan hewan (Calabrò and Grosso, 2018). Dalam hal ini, plastik biodegradable muncul sebagai alternatif yang menjanjikan. Biodegradable ini dirancang untuk memiliki kemampuan terurai secara alami oleh mikroorganisme dan proses alam, seperti dekomposisi biologis atau penguraian kimia. Dengan kata lain, biodegradable ini dapat memecah diri menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana dan aman bagi lingkungan (Das and Chowdhury, 2016).

Pengembangan kemasan plastik biodegradable menawarkan beberapa manfaat. Pertama, bioplastik ini dapat mengurangi akumulasi limbah plastik yang sulit terurai di lingkungan, mengurangi kerusakan ekosistem, dan melindungi keanekaragaman hayati. Kedua, penggunaan bahan baku terbarukan dalam produksi film ini membantu mengurangi ketergantungan pada sumber daya fosil yang terbatas. Selain itu, tren inovasi kemasan bioplastik saat ini adalah pengembangan kemasan aktif yang memiliki aktivitas antioksidan, anti-ultraviolet (UV), dan antimikroba, terutama untuk makanan dan aplikasi biomedis dengan

tujuan perlindungan yang efektif terhadap produk dari kerusakan selama transportasi dan penyimpanan (Haghighi *et al.*, 2020; Cazón *et al.*, 2018). Berbagai jenis bahan dapat digunakan dalam produksi bioplastik, termasuk pati nabati, serat alami, polimer sintesis terdegradasi, dan kombinasi bahan-bahan tersebut (Shi *et al.*, 2008). Poli asam laktat (PLA), polihidroksi alkanoat (PHA), polihidroksi butirat (PHB), polivinil alkohol (PVA) merupakan polimer komersial biodegradable yang digunakan sebagai alternatif aplikasi kemasan untuk menggantikan plastik yang tidak dapat terurai (Ncube *et al.*, 2020; Baghi *et al.*, 2022)

Polivinil alkohol (PVA) adalah salah satu bahan yang sering digunakan dalam produksi plastik biodegradable. PVA adalah polimer sintetik yang bersifat hidrofilik yang dihasilkan oleh hidrolisis poli (vinil asetat), yang dibentuk oleh polimerisasi vinil asetat (Williams *et al.*, 2018). PVA sebagai plastik biodegradable dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme dalam jangka waktu tertentu, sehingga tidak meninggalkan residu plastik yang sulit terurai di lingkungan. Kemudian, PVA memiliki kemampuan pembentukan film yang sangat baik, tidak beracun, larut dalam air, tahan bahan kimia, sifat mekanik dan termal yang dapat diterima membuat PVA cukup baik untuk merancang bahan kemasan aktif berkelanjutan (Aslam *et al.*, 2018; Ben Halima, 2016). Secara kenampakan fisik, PVA memiliki sifat transparan yang baik, sehingga cocok digunakan dalam aplikasi kemasan yang memerlukan tampilan visual produk yang jelas. Penggabungan PVA dengan bahan aktif alami, seperti kitosan (Haghighi *et al.*, 2020; Balasubramaniam *et al.*, 2020; Peng *et al.*, 2013), minyak atsiri (Debiagi *et al.*, 2014), ekstrak produk samping tomat (Szabo *et al.*, 2020), tanin (Liao *et al.*, 2022) telah dilaporkan untuk mengembangkan film berbasis PVA yang mengandung antiosidan dan/atau antimikroba.

Tanin adalah senyawa polifenol alami yang ditemukan dalam berbagai sumber tanaman, seperti kulit kayu, biji-bijian, atau buah-buahan. Tanin terkenal dengan sifat bio-fisikakimianya, termasuk kapasitas antioksidan, anti-UV, antijamur, dan antimikroba (Quideau *et al.*, 2011). Salah satu sumber tanin terbesar adalah kulit

kayu akasia (*Acacia mangium*). Salah satu pemanfaatan limbah dari industri *pulp* dan *paper* yaitu dengan memanfaatkan limbah kulit kayu akasia untuk diekstrak senyawa aktif tanin sebagai sifat antioksidan sehingga memiliki nilai kebermanfaatan yang tinggi dan bernilai ekonomi (Ismayati *et al.*, 2024). Ekstrak kulit kayu *A. mangium* memiliki aktivitas antioksidan dan antiproliferative, dan ekstraknya menunjukkan indeks flavonoid dan tanin yang tinggi (Pereira *et al.*, 2022). Hal ini memungkinkan film PVA dengan tambahan tanin dapat digunakan sebagai bahan kemasan aktif yang berkelanjutan dengan sifat antioksidan dan mekanik yang ditingkatkan. Pada penelitian Ismayati *et al.*, (2024), ekstrak tanin kulit kayu akasia ditambahkan ke dalam matriks polimer PVA untuk mengembangkan kemasan aktif berbasis PVA dengan sifat antioksidan dan perlindungan UV. Hasilnya menunjukkan bahwa bioplastik PVA/tanin yang terbentuk secara keseluruhan memberikan aktivitas antioksidan dan perlindungan UV yang kuat sehingga dapat digunakan sebagai bahan kemasan aktif.

Sebagai bahan kemasan aktif, salah satu kelemahan PVA adalah kepekaannya terhadap air, cenderung memiliki kekuatan mekanis yang lebih rendah dan kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beberapa plastik konvensional. Jika dilihat dari sifat termalnya, PVA memiliki titik leleh yang relatif rendah, sehingga tidak tahan terhadap suhu tinggi (Yang *et al.*, 2020). Namun begitu, penggunaan PVA sebagai bahan untuk kemasan aktif biodegradable tetap memiliki potensi yang kuat, terutama dalam aplikasi yang memerlukan transparansi dan biodegradabilitas. Sehingga, PVA sebagai bahan dasar untuk kemasan aktif umumnya membutuhkan *crosslinker*, yaitu bahan tambahan yang digunakan untuk mengikat rantai polimer PVA, yang membentuk jaringan ikatan silang dalam struktur bioplastik sehingga dapat meningkatkan sifat fisik, mekanis, dan ketahanan terhadap air bioplastik yang dihasilkan (Chen *et al.*, 2021).

Agen penghubung silang (*crosslinker*) antara rantai polimer (misalnya, genipin, carbodiimide, dan glutaraldehid) dapat memberikan sifat mekanik dan stabilitas kemasan yang lebih baik (Ma *et al.*, 2017). Sejumlah contoh *crosslinker* yang sering digunakan dengan PVA dalam pembuatan kemasan biodegradable adalah

glutaraldehyd (GA). Ketika direaksikan dengan PVA, glutaraldehyd membentuk ikatan silang antara rantai polimer, sehingga meningkatkan stabilitas termal, kekuatan mekanik, dan ketahanan terhadap air bioplastik yang dihasilkan (Yang *et al.*, 2020). Namun demikian, permintaan konsumen untuk penggunaan senyawa alami dalam aplikasi makanan menyebabkan penggunaan asam organik sebagai agen pengikat silang, seperti asam sitrat (CA). Asam sitrat telah digunakan sebagai agen pengikat silang oleh para peneliti untuk pengembangan film kemasan berbasis bio-polimer yang dapat meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan air film (Uranga *et al.*, 2020; Jiang *et al.*, 2010). Selain jenis *crosslinker* yang digunakan, rasio dan konsentrasi PVA terhadap *crosslinker* dapat mempengaruhi sifat bioplastik yang dihasilkan. Konsentrasi *crosslinker* yang rendah mungkin menghasilkan film yang lemah dan mudah rusak, sementara konsentrasi yang tinggi dapat membuat film menjadi kaku dan rapuh (Pakolpakçil, 2022; Choi *et al.*, 2019). Untuk mengatasi permasalahan variasi konsentrasi *crosslinker*, penting untuk melakukan karakterisasi dan pengujian terhadap film PVA dengan berbagai konsentrasi *crosslinker*.

Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk membuat lembaran bioplastik berbasis PVA/Tanin dengan penambahan *crosslinker* glutaraldehyd dan asam sitrat yang kemudian dikarakterisasi bioplastik yang dihasilkan, yaitu aktivitas antioksidan, UV-block, serta sifat fisik, kimia, dan mekaniknya sehingga dihasilkan prototype lembaran bioplastik untuk kemasan pangan khususnya komoditas sayuran dan buah.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui pengaruh formulasi PVA/Tanin dengan penambahan *crosslinker* glutaraldehyd dan asam sitrat terhadap aktivitas antioksidan, *opacity*, *contact angle*, WVP, dan sifat mekanik bioplastik berbasis PVA/Tanin.

2. Mengetahui karakteristik formulasi PVA/Tanin dengan penambahan *crosslinker* glutaraldehid dan asam sitrat terhadap anti-UV, stabilitas termal, dan FTIR bioplastik berbasis PVA/Tanin.
3. Mengetahui formulasi bioplastik berbasis PVA/Tanin terbaik dengan penambahan *crosslinker* glutaraldehid dan asam sitrat.

1.3 Kerangka Pemikiran

Plastik sekali pakai dibuat dari bahan kimia berbasis bahan bakar fosil dan sering digunakan untuk pengemasan makanan. Berdasarkan data dari Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS) dan Badan Pusat Statistik (BPS), sampah plastik di Indonesia mencapai 64 juta ton per tahun dan sebanyak 3,2 juta ton sampah plastik tersebut dibuang ke laut (Arbintarso and Nurnawati, 2022). Akumulasi limbah plastik yang tidak terurai secara efisien menyebabkan pencemaran lingkungan yang luas, mengancam keberlanjutan ekosistem, dan mengganggu kehidupan manusia dan hewan (Calabrò and Grosso, 2018). Ketersediaan sumber daya petrokimia yang terbatas, dengan dampak negatifnya terhadap lingkungan membuat para peneliti mencari alternatif kemasan ramah lingkungan yang terbuat dari sumber daya berbasis bio untuk menggantikan bahan kemasan berbasis minyak bumi. Oleh karena itu, kemasan aktif biodegradable merupakan alternatif dari kemasan plastik konvensional. Kemasan aktif biodegradable menawarkan banyak keuntungan, seperti menjaga kesegaran, kualitas makanan, umur simpan, sisa makanan, dan sampah plastik (Baghi *et al.*, 2022; Sarwar *et al.*, 2018).

PVA merupakan salah satu polimer biodegradable komersial yang digunakan sebagai alternatif kemasan plastik konvensional. PVA sangat cocok digunakan untuk mengembangkan kemasan makanan aktif yang berkelanjutan karena memiliki kemampuan pembentukan film yang sangat baik, biokompatibilitas, tidak beracun, larut dalam air, tahan bahan kimia, dan sepenuhnya dapat terurai secara hayati (Liao *et al.*, 2022; Monteiro *et al.*, 2021; Jia *et al.*, 2020; Sajjan *et al.*, 2020). Hasil penelitian Syamani *et al.* (2020) menunjukkan bahwa penambahan 25% PVA ke dalam bioplastik berbasis pati singkong

termodifikasi menghasilkan bioplastik dengan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penambahan PVA. Di sisi lain, penambahan 100% PVA sedikit meningkatkan %elongasi bioplastik. Suhu dekomposisi bioplastik berbasis pati singkong termodifikasi dengan 50% PVA lebih tinggi dibandingkan bioplastik tanpa penambahan PVA, menunjukkan bahwa 50% PVA meningkatkan stabilitas termal bioplastik. Namun, PVA saja tidak dapat membuat kemasan aktif dengan tambahan sifat antioksidan, anti-UV, dan antibakteri.

Tanin merupakan metabolit sekunder yang penting dan banyak terdapat pada tumbuhan. Tanin terkenal dengan sifat bio-fisikokimianya, termasuk kapasitas antioksidan, anti-UV, antijamur, dan antimikroba. Pada penelitian Liao *et al.* (2022), tanin terkondensasi yang diekstrak dari bayberry Cina digunakan untuk mengembangkan film berbasis PVA dengan kapasitas antioksidan dengan *simple casting method*. Film dengan penambahan 5% BT (Bayberry Tannin) menunjukkan kemampuan antioksidan yang baik dengan nilai aktivitas pemulungan radikal (%RSA) hampir 70% dibandingkan dengan PVA saja yang hanya 6%. Selain itu, film PVA/BT memiliki sifat mekanik yang baik, seperti kekuatan tarik, %elongasi, ketahanan air dan permeabilitas uap air.

Pada penelitian Ismayati *et al.*, (2024), tanin dari kulit kayu *Acacia mangium* berhasil diisolasi dan digunakan sebagai pengisi matriks PVA dengan variabel perbedaan metode (pemanasan dan tanpa pemanasan) dan konsentrasi tanin (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 gram) untuk menghasilkan bioplastik dengan sifat antioksidan, anti-UV, dan elastisitas yang sangat baik menggunakan metode *solvent casting*. Kandungan tanin dalam biofilm menciptakan sifat antioksidan (%RSA) yang lebih tinggi, dimana RSA tertinggi diperoleh dari tanin 0,5 gram dengan metode tanpa pemanasan. Antioksidan alami seperti tanin mampu menurunkan tingkat spesies oksigen reaktif (ROS) dan radikal bebas (Cresnar *et al.*, 2022). Hal ini dikarenakan film membengkak saat molekul air menembus struktur bagian dalam rantai polimer, melonggarkan jaringan struktur film. Dengan penurunan kekuatan pembatas matriks PVA, tanin bebas akan mudah diekstraksi ke dalam larutan, sehingga meningkatkan kapasitas pemulungan radikal DPPH (Liao *et al.*, 2022).

Namun, kandungan tanin yang tinggi pada PVA, terjadi sedikit pemisahan fasa antara matriks PVA dan tanin menyebabkan sifat mekanik bioplastik yang lebih rendah (Peña *et al.*, 2010). Sehingga, PVA sebagai bahan dasar untuk kemasan aktif umumnya membutuhkan *crosslinker*, yaitu bahan tambahan yang digunakan untuk menghubungkan rantai polimer PVA dan meningkatkan sifat fisik seperti sudut kontak, mekanis seperti kuat tarik, dan ketahanan terhadap air kemasan yang dihasilkan (Chen *et al.*, 2021).

Kelebihan glutaraldehid sebagai *crosslinker* pada PVA merupakan senyawa *crosslinker* yang efektif dalam menghubungkan rantai PVA. Ini membentuk ikatan silang antara molekul PVA, yang meningkatkan stabilitas mekanik dan ketahanan terhadap air film yang dihasilkan. Rasio dan konsentrasi PVA terhadap glutaraldehid dapat mempengaruhi sifat material yang dihasilkan. Penelitian Pakolpakçil (2022), menyelidiki efek parameter ikatan silang glutaraldehid pada sifat mekanik dan tingkat pembasahan tikar elektrospun PVA/NaAlg dengan konsentrasi yang berbeda (1,25%; 2,5%, dan 5%) dan waktu aplikasi yang berbeda (10 menit, 60 menit, dan 24 jam) dari *crosslinker* yang digunakan. Hasil menunjukkan bahwa kekuatan tarik maksimum diukur pada 7 MPa, dimana perlakuan sampel pada konsentrasi glutaraldehid 5% dan waktu aplikasi 60 menit. Kemudian, sampel yang diberi perlakuan dengan konsentrasi glutaraldehid 2,5% dan waktu perlakuan 10 menit memiliki sudut kontak air terendah pada 27,5° menunjukkan sifat pembasahan yang lebih baik. Dengan mengoptimalkan parameter pengikatan silang, dimungkinkan untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik, menjadikannya lebih cocok untuk aplikasi tertentu terutama kemasan aktif bioplastik.

Asam sitrat adalah asam organik alami yang ada dalam buah jeruk dan beberapa buah beri dan merupakan bahan yang biasa digunakan sebagai penyedap rasa dan sebagai pengawet. Ini telah digunakan sebagai pengikat silang oleh para peneliti untuk pengembangan film kemasan berbasis bio-polimer (Uranga *et al.*, 2020; Jiang *et al.*, 2010). Asam sitrat tidak beracun dan memiliki tiga gugus fungsi karboksil yang dapat terbentuk ikatan ester dengan gugus hidroksil dari polimer

sehingga meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan air film. Pada penelitian (Wen *et al.*, 2021) merancang film kemasan yang memiliki sifat biodegradabilitas, antifogging, dan antibakteri berbasis karboksimetil kitosan/PVA dengan asam sitrat sebagai agen pengikat silang. Asam sitrat (CA) digunakan tidak hanya sebagai penghubung silang multifungsi melalui ikatan hidrogen dengan PVA dan karboksimetil kitosan (CMCS) tetapi juga sebagai penguat yang efektif untuk meningkatkan sifat mekanik dan sifat antibakteri komposit film. Pada konsentrasi CA 5%, kekuatan tarik film meningkat dari 21,03 MPa menjadi 29,65 MPa, dan modulus Young meningkat dari 3,71 MPa menjadi 10,87 MPa. CA meningkatkan ikatan silang antara PVA dan CMCS, membentuk ikatan silang jaringan, meningkatkan stabilitas termal dari film dan mengurangi permeabilitas uap airnya dan sifat bengkak film. CA juga secara signifikan mengurangi pertumbuhan bakteri, dan dengan demikian memperpanjang umur simpan (Wen *et al.*, 2021).

Berdasarkan uraian diatas, maka akan dilakukan penelitian pengembangan kemasan bioplastik dengan sifat antioksidan berbasis ekstrak tannin akasia-pva dengan glutaraldehid dan asam sitrat sebagai *crosslinker*. Pada penelitian ini dilakukan formulasi perbandingan PVA:glutaraldehid/asam sitrat (100:0; 97,5:2,5; 95:5; 92,5:7,5; 90:10) dan ditambahkan ekstrak tannin kulit kayu akasia sebanyak 5% (dari total PVA). Kemudian bioplastik disiapkan menggunakan metode *solvent casting*. Bioplastik yang dihasilkan akan dikarakterisasi aktivitas antioksidan, UV-block, sifat fisik, kimia, dan mekaniknya.

1.4 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah

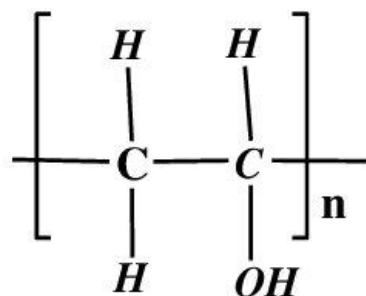
1. Formulasi PVA/Tanin dengan penambahan *crosslinker* glutaraldehid dan asam sitrat dapat meningkatkan sifat antioksidan, *opacity*, *contact angle*, WVP, dan sifat mekanik bioplastik berbasis PVA/Tanin.
2. Terdapat karakteristik hasil formulasi PVA/Tanin dengan penambahan *crosslinker* glutaraldehid dan asam sitrat terhadap anti-UV, stabilitas termal, dan FTIR bioplastik berbasis PVA/Tanin.

3. Terdapat formulasi terbaik bioplastik berbasis PVA/Tanin dengan penambahan *crosslinker* glutaraldehyd dan asam sitrat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polivinil Alkohol (PVA)

Polivinil Alkohol (PVA) adalah polimer sintetik yang mudah larut dalam air dan memiliki berbagai sifat unik. PVA juga dikenal dengan sebutan PVOH (polivinil alkohol) atau PVAL (polivinil alkohol). PVA dibuat melalui hidrolisis polivinil asetat, yang berasal dari polimerisasi monomer vinil asetat. Karakter dari PVA adalah berbentuk padat putih, tidak berbau, dan tidak berasa yang mudah larut dalam air. Polimer ini memiliki berat molekul yang tinggi dan dapat membentuk film atau serat saat diproses dalam keadaan kering. Karakteristik fisik dan penggunaan fungsionalnya bergantung pada derajat polimerisasi dan derajat hidrolisis. PVA diklasifikasikan menjadi dua kelas, yaitu terhidrolisis sebagian dan terhidrolisis penuh. PVA terhidrolisis sebagian diaplikasikan dalam makanan. Biasanya larutan PVA 5% menunjukkan pH dalam kisaran 5,0 hingga 6,5. PVA memiliki titik leleh 180°C hingga 190°C, berat molekul antara 26.300 dan 30.000, dan tingkat hidrolisis 86,5 hingga 89% (Yazik and Tukiran, 2021). Struktur PVA (Gambar 1) ditandai dengan adanya gugus hidroksil (-OH) disepanjang rantai polimer, yang memungkinkannya membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air dan senyawa polar lainnya. Salah satu sifat utama PVA adalah kemampuannya dalam membentuk film yang sangat baik, hal ini disebabkan oleh ikatan hidrogen antarmolekul yang kuat. Sifat ini membuat PVA digunakan dalam berbagai aplikasi (Csampa-Siqueiros *et al.*, 2020)



Gambar 1. Struktur Polivinil Alkohol
Sumber: Salman and Bakr (2018).

PVA tidak ditemukan secara alami di alam. Itu adalah polimer yang dihasilkan secara sintesis melalui proses kimia. Sumber utama PVA adalah polimerisasi monomer vinil asetat. Vinil asetat sendiri dapat diproduksi melalui reaksi antara asam asetat dan oksida etilena. Dalam proses produksi, polimerisasi vinil asetat terjadi dengan menggunakan katalis atau pengaktif yang sesuai. Setelah polimerisasi, langkah selanjutnya adalah hidrolisis, di mana ikatan ester dalam polimer vinil asetat dipecah oleh air untuk menghasilkan PVA. Oleh karena itu, PVA tersedia secara komersial dan diproduksi secara industri melalui proses kimia yang melibatkan bahan-bahan kimia tertentu. PVA dapat ditemukan dalam bentuk bubuk, serbuk, atau pelet, dan tersedia dalam berbagai derajat hidrolisis, viskositas, dan berat molekul yang berbeda (Rajput and Thorat, 2022).

Meskipun PVA tidak ditemukan secara alami, sumber bahan baku untuk produksi PVA, seperti etilena dan asam asetat, dapat berasal dari sumber alami seperti minyak bumi, gas alam, atau biomassa. Namun, perlu diingat bahwa produksi PVA melibatkan proses industri dan sintesis yang melibatkan transformasi bahan baku melalui berbagai tahap kimia. PVA juga dapat diproduksi menggunakan sumber bahan baku dari biomassa. Dalam upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya fosil dan untuk mempromosikan keberlanjutan, penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan metode produksi PVA dari sumber biomassa. Beberapa sumber biomassa yang dapat digunakan untuk memproduksi PVA meliputi pati, lignoselulosa, dan mikroorganisme (Broda *et al.*, 2022; Ahmed *et al.*, 2021).

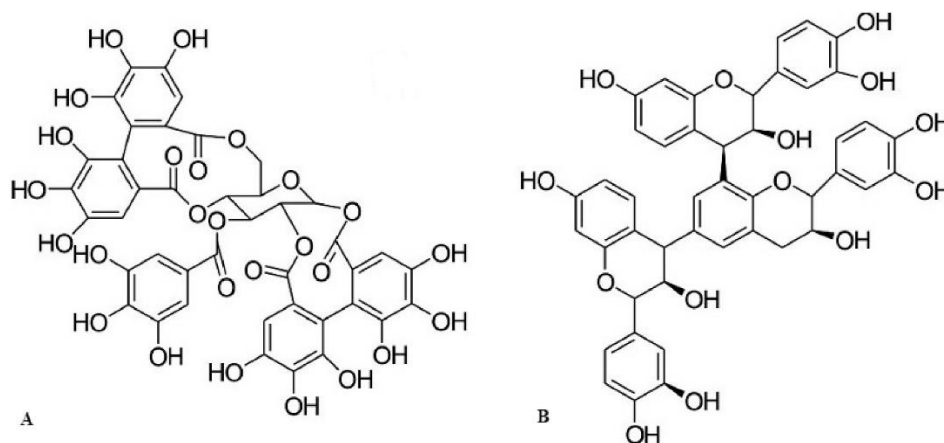
Polivinil alkohol (PVA) memiliki potensi sebagai bahan dasar untuk pembuatan film yang dapat terdegradasi secara alami. Film PVA yang dapat terdegradasi disebut juga sebagai film PVA biodegradable. PVA dapat terdegradasi oleh mikroorganisme di lingkungan yang ada secara alami. Ketika film PVA dibuang ke dalam lingkungan yang sesuai, seperti tanah atau air, mikroorganisme akan menguraikan dan memecah PVA menjadi senyawa yang lebih sederhana (Pantelic *et al.*, 2021). Film PVA mudah larut dalam air, sehingga memudahkan proses degradasi dan pemecahan film PVA. Ketika larut, film PVA akan menjadi lebih mudah diakses oleh mikroorganisme untuk proses degradasi. Film PVA juga memiliki kekuatan mekanik yang baik, termasuk kekuatan tarik dan keuletan. Hal ini membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi sebagai bahan kemasan yang dapat terdegradasi, seperti kantong belanja, bungkus makanan, atau pengemasan sekali pakai lainnya. Berdasarkan transparansi dan ketahanan terhadap oksigen, film PVA memiliki sifat transparan yang tinggi dan ketahanan yang baik terhadap penetrasi oksigen. Hal ini membuatnya dapat digunakan dalam pengemasan makanan yang membutuhkan perlindungan terhadap oksidasi (Annu *et al.*, 2021).

PVA dapat digunakan sendiri atau dikombinasikan dengan bahan lain untuk membuat film komposit dengan sifat yang lebih baik. Misalnya, PVA dapat dikombinasikan dengan quercetin dan gelatin untuk membuat kemasan aktif dengan sifat antioksidan yang lebih baik untuk menunda proses oksidatif dalam makanan (Vinhall *et al.*, 2021). PVA juga dapat dikombinasikan dengan kitosan untuk membuat kemasan aktif dengan sifat antimikroba yang lebih baik (Nurzulla and Maharani, 2022; Kinicki and Fugate, 2020). Selain itu, PVA juga dapat dikombinasikan dengan *crosslinker* untuk meningkatkan sifat fisik dan mekaniknya. PVA dengan penambahan glutaraldehida sebagai *crosslinker* dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik, permeabilitas uap air (WVP) yang lebih rendah, sifat penghalang yang lebih baik pada kemasan yang dihasilkan (Gadhawe *et al.*, 2019). Secara keseluruhan, PVA berpotensi sebagai bahan pengemas karena kekuatan mekaniknya, kelarutannya dalam air, transparansi, dan kompatibilitasnya dengan bahan lain. Bahan kemasan berbasis PVA juga dapat

terurai secara hayati dan ramah lingkungan, memberikan alternatif yang lebih berkelanjutan untuk film plastik konvensional.

2.2 Tanin

Tanin adalah kelompok senyawa polifenol alami yang ditemukan dalam berbagai tanaman. Tanin memiliki kemampuan untuk berikatan dengan protein dan polisakarida, dan umumnya ditemukan dalam bagian tumbuhan yang mengandung banyak serat seperti kulit kayu, daun, buah, dan akar. Tanin juga dapat diekstraksi dari berbagai sumber, termasuk pohon, biji-bijian, dan tanaman herbal (Das *et al.*, 2020). Secara struktural, tanin terdiri dari unit-unit fenolik yang terhubung dengan ikatan ester atau ikatan glikosida. Ada dua jenis tanin yang umum ditemui, yaitu tanin hidrolisis dan tanin kondensasi (Okuda and Ito, 2011). Tanin terhidrolisis sering mengandung karbohidrat (umumnya d-glukosa) pada inti strukturnya. Sedangkan gugus fenolik, termasuk asam galat dalam galotanin dan asam ellagat dalam ellagitanin, mengesterifikasi gugus hidroksil dari karbohidrat dalam tanin sebagian atau seluruhnya. Tanin terhidrolisis dapat diubah menjadi gula dan asam fenolat pada kondisi asam atau basa lemah. Jenis kedua, tanin terkondensasi, atau proanthocyanidins, adalah polimer yang terdiri dari 2 sampai 50 atau lebih unit flavonoid yang dihubungkan oleh ikatan karbon-karbon yang tidak dapat dipisahkan dengan proses hidrolisis. Tanin kondensasi, juga dikenal sebagai tanin katekin, terdiri dari senyawa-senyawa seperti epikatekin dan katekin. Dari segi karakteristik, tanin terhidrolisis dan beberapa tanin terkondensasi larut dalam air, tetapi sebagian besar tanin terkondensasi tidak larut dalam air (Okuda and Ito, 2011).



Gambar 2. Struktur Tanin: A. Tanin terhidrolisis dan B. Tanin terkondensasi
Sumber: Raja *et al.*, (2014).

Tanin memiliki beberapa karakteristik dan sifat penting, antara lain tanin memberikan rasa pahit dan astringen pada makanan dan minuman. Hal ini menyebabkan beberapa minuman seperti teh, anggur merah, dan kopi memiliki rasa yang pahit karena kandungan tanin di dalamnya (Ali and Bukar, 2019). Tanin memiliki kemampuan untuk berikatan dengan protein dan membentuk kompleks yang stabil. Ini dapat mempengaruhi stabilitas protein, menghambat aktivitas enzim, dan mengendapkan protein. Tanin juga dapat berikatan dengan polisakarida seperti selulosa, membentuk kompleks yang kuat. Hal ini dapat meningkatkan stabilitas dan kekuatan material yang mengandung selulosa, seperti kayu (Norton *et al.*, 2020). Beberapa tanin memiliki sifat antioksidan yang kuat. Mereka dapat melindungi sel-sel dari kerusakan oksidatif yang disebabkan oleh radikal bebas, dan dapat memiliki manfaat kesehatan yang potensial (Kaboré, 2011). Dalam industri, tanin sering digunakan dalam proses penyamakan kulit, pewarnaan tekstil, produksi tinta, dan pembuatan kertas. Selain itu, tanin juga dapat digunakan dalam industri makanan dan minuman untuk memberikan rasa, meningkatkan stabilitas, dan memperpanjang umur simpan (Mutiar *et al.*, 2019).

Tanin dapat ditemukan secara luas di alam dan terdapat dalam berbagai sumber. Beberapa sumber utama tanin, yaitu kulit kayu dari berbagai pohon mengandung konsentrasi tinggi tanin. Pohon yang sering digunakan untuk ekstraksi tanin dari kulit kayunya antara lain oak, akasia, dan mimosopsis (Lorenz and Preston, 2002). Beberapa spesies tanaman, terutama yang termasuk dalam keluarga Rosaceae

(misalnya tanaman teh), mengandung tanin dalam daunnya (Astuti *et al.*, 2019). Beberapa buah-buahan mengandung konsentrasi tinggi tanin, terutama pada bagian kulit dan biji. Buah seperti anggur, jeruk, apel, stroberi, ceri, dan delima dikenal mengandung tanin. Akar beberapa spesies tanaman seperti cassava (singkong), alang-alang, dan kembang sepatu juga mengandung tanin. Biji-bijian seperti biji kopi, biji kakao, dan biji teh (daun teh) mengandung tanin dalam jumlah tertentu (Cheng *et al.*, 2023). Selain sumber-sumber tersebut, tanin juga dapat diekstraksi dari berbagai limbah pertanian, misalnya kulit jeruk atau kulit anggur yang dihasilkan oleh industri pemrosesan buah (Sung, 2012). Dalam industri, tanin juga dapat diproduksi secara sintesis dengan menggunakan senyawa kimia tertentu, tetapi penggunaan tanin alami lebih umum karena asal-usulnya yang berkelanjutan dan sifatnya yang lebih ramah lingkungan (Cheng *et al.*, 2023).

Tanin dari akasia memiliki potensi yang menarik dalam pengembangan *film biodegradable*. Dalam konteks ini, tanin dapat berfungsi sebagai bahan dasar atau bahan tambahan dalam formulasi film yang ramah lingkungan. Tanin memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan silang dengan berbagai molekul, termasuk polimer. Ini membuatnya berguna sebagai agen pengikat dalam pembentukan *film biodegradable*. Tanin juga dapat berfungsi sebagai pengisi yang meningkatkan ketebalan dan kekuatan film. Tanin dapat memberikan kekuatan, elastisitas, dan ketahanan terhadap kerusakan mekanik pada *film biodegradable* (Spiridon *et al.*, 2020). Selain itu, tanin juga dapat meningkatkan sifat penghalang film terhadap uap air dan oksigen, yang penting untuk menjaga kualitas dan daya simpan produk yang dikemas (Debeaufort *et al.*, 2022). *Film biodegradable* yang mengandung tanin dapat mengalami degradasi yang lebih cepat dan lebih mudah dibandingkan dengan plastik konvensional. Hal ini membantu mengurangi akumulasi sampah plastik dan membantu meminimalkan dampak negatif pada lingkungan (Nygaard *et al.*, 2021). Tanin dari akasia juga dapat memberikan sifat fungsional tambahan pada *film biodegradable*, seperti sifat antimikroba atau antioksidan sehingga dapat memperluas aplikasi film dalam berbagai industri,

termasuk makanan, farmasi, dan kosmetik (Spiridon *et al.*, 2020; Štumpf *et al.*, 2020).

2.3 Glutaraldehyd

Glutaraldehyd merupakan suatu senyawa organik dengan rumus molekul $C_5H_8O_2$, berbentuk cair tidak berwarna dengan aroma yang khas. Glutaraldehyd memiliki struktur linier dengan atom karbon pusat yang berikatan rangkap dengan atom oksigen dan berikatan tunggal dengan dua atom karbon lainnya. Dua atom karbon yang tersisa masing-masing berikatan tunggal dengan atom oksigen dan atom hidrogen. Sehingga glutaraldehyd memiliki dua gugus fungsi aldehida (-CHO) pada setiap ujung molekul, yang memiliki fungsi sebagai agen pengikat silang (Y. Liu *et al.*, 2019). Secara kimia, glutaraldehyd adalah senyawa yang sangat reaktif dan dapat berinteraksi dengan berbagai gugus fungsional pada mikroorganisme, seperti gugus amino pada protein mikroba. Glutaraldehyd memiliki kemampuan untuk mengoksidasi mikroorganisme dengan merusak struktur protein dan DNA mereka, sehingga menghasilkan efek desinfektan dan sterilisasi (Vikram *et al.*, 2015). Dalam kondisi tertentu, glutaraldehyd dapat mengalami polimerisasi menjadi senyawa yang lebih kompleks. Secara fisik, glutaraldehyd memiliki titik leleh: $-6\text{ }^\circ\text{C}$ ($21\text{ }^\circ\text{F}$), titik didih: $101\text{ }^\circ\text{C}$ ($214\text{ }^\circ\text{F}$), dan kelarutan glutaraldehyd larut dalam air dan pelarut organik seperti etanol dan aseton (Chen *et al.*, 2020).

Glutaraldehyd memiliki beberapa aplikasi sebagai *crosslinker* atau agen pengikat silang dalam berbagai industri. Glutaraldehyd digunakan sebagai *crosslinker* dalam pembuatan jaringan buatan dan bahan implantasi medis. Kelebihan utama glutaraldehyd dalam aplikasi ini adalah kemampuannya untuk membentuk ikatan silang yang kuat, sehingga meningkatkan sifat mekanis dan biokompatibilitas produk (Bernal *et al.*, 2013). Glutaraldehyd juga digunakan sebagai *crosslinker* dalam formulasi perekat untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan mereka. Ketika digunakan sebagai agen pengikat silang dalam perekat, glutaraldehyd membantu membentuk ikatan silang antara molekul perekat, yang meningkatkan stabilitas dan daya tahan produk akhir. Kelebihan glutaraldehyd dalam aplikasi ini

adalah kemampuannya untuk membentuk ikatan yang kuat dan tahan terhadap panas dan pelarut (Dhandapani *et al.*, 2022). Kemudian, glutaraldehid juga digunakan sebagai *crosslinker* dalam industri kulit dan karet. Dalam industri kulit, glutaraldehid digunakan untuk mengikat kolagen dalam proses penyamakan kulit untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan kulit. Dalam industri karet, glutaraldehid dapat digunakan sebagai agen pengikat silang untuk meningkatkan kekuatan dan elastisitas produk karet (Wulandhari *et al.*, 2022).

Kelebihan glutaraldehid sebagai *crosslinker* antara lain glutaraldehid memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan silang yang stabil dan kuat antara molekul, meningkatkan sifat mekanis dan kestabilan produk akhir. Glutaraldehid juga telah digunakan secara luas dalam aplikasi medis dan perawatan kesehatan, dan telah terbukti memiliki tingkat biokompatibilitas yang baik dengan jaringan manusia (Matei *et al.*, 2020). Glutaraldehid pula memiliki stabilitas yang baik terhadap suhu tinggi dan pelarut organik, menjadikannya agen *crosslinking* yang cocok untuk berbagai aplikasi. Pada penelitian Liu *et al.*, (2019), komposit film kitosan/silika yang dimodifikasi dengan genipin dan glutaraldehid sebagai agen pengikat silang menunjukkan sifat mekanik dan kristalinitas yang lebih baik. Oleh karena itu, glutaraldehid dapat digunakan sebagai agen pengikat silang dalam aplikasi kemasan pangan.

2.4 Asam Sitrat

Asam sitrat adalah senyawa organik yang umumnya ditemukan dalam buah-buahan seperti jeruk, lemon, dan anggur. Secara kimia, asam sitrat dikenal sebagai asam hidroksi-1,2,3-propanatrikarboksilat dengan rumus molekul $C_6H_8O_7$. Asam sitrat memiliki bentuk padat kristalin yang mudah larut dalam air (Asoka *et al.*, 2021). Secara fisik, asam sitrat biasanya berupa kristal padat, berwarna putih hingga transparan. Asam sitrat sangat larut dalam air dan mudah membentuk larutan. Sedangkan secara kimia, seperti namanya, asam sitrat adalah asam organik yang memiliki gugus karboksilat. Oleh karena itu, asam sitrat dapat memberikan keasaman pada larutan. Asam sitrat dapat berperan sebagai

penyeimbang pH alami karena memiliki sifat asam lemah yang dapat menstabilkan pH dalam berbagai sistem (Tanpong *et al.*, 2019). Aplikasi asam sitrat banyak digunakan dalam industri makanan dan minuman sebagai penambah rasa, pengatur pH, dan pengawet alami. Asam sitrat juga memiliki beberapa kegunaan lainnya di bidang-bidang seperti kimia analitik, industri tekstil, pemrosesan logam, dan produksi bahan kimia lainnya (Lende *et al.*, 2021).

Asam sitrat adalah senyawa organik yang dapat digunakan sebagai *crosslinker* dalam berbagai aplikasi. Asam sitrat memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan silang dalam berbagai sistem polimer (Utomo *et al.*, 2020). Ketika diaktivasi, asam sitrat dapat berinteraksi dengan gugus fungsional pada molekul polimer, membentuk ikatan silang yang meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas sistem polimer. Sebagai *crosslinker*, asam sitrat dapat digunakan untuk meningkatkan stabilitas, ketahanan panas, dan kualitas produk dalam berbagai aplikasi. Selain itu, salah satu kelebihan penting dari asam sitrat adalah kemampuannya untuk terdegradasi secara alami. Ini berarti bahwa setelah digunakan, asam sitrat dapat terurai menjadi senyawa yang lebih sederhana melalui proses alami di alam. Hal ini mengurangi dampak lingkungan dan membuatnya menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan *crosslinker* sintesis lainnya (Li *et al.*, 2013). Meskipun asam sitrat memiliki banyak kelebihan sebagai *crosslinker*, penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor seperti kompatibilitas dengan sistem polimer yang digunakan, kondisi reaksi, dan kebutuhan aplikasi khusus sebelum memilih asam sitrat sebagai *crosslinker* yang optimal.

Asam sitrat berperan sebagai pengikat silang kemasan film PVA dengan membentuk ikatan ester antara gugus hidroksil pada PVA dan gugus karboksil pada asam sitrat. Ikatan silang ini meningkatkan stabilitas termal, sifat mekanik, sudut kontak, dan stabilitas air film PVA (Yu *et al.*, 2021). Penambahan asam sitrat juga dapat bertindak sebagai agen pengikat silang untuk meningkatkan kompatibilitas PVA/film pati dan menghambat bakteri Gram-positif dan Gram-negatif (Ounkaew *et al.*, 2018). Efek sinergis asam sitrat dan radiasi gamma dapat

meningkatkan sifat film PVA/PAAm/PA (polivinil alkohol/poliakrilamida/asam fitat), seperti kekuatan, tegangan tarik, dan pemanjangan, serta aktivitas antimikrobanya terhadap bakteri gram positif dan gram negatif. Kelarutan dan serapan air sangat menurun dengan penambahan asam sitrat dan didukung oleh paparan iradiasi gamma (Mohamed *et al.*, 2023). Selain itu, pengaruh asam sitrat pada campuran film PVA/pati juga diselidiki, dan film *bioblend* PVA/St/CA/Glyc (PVA/pati/asam sitrat/gliserol) dengan komposisi (2:1:1/10 vol %) dipilih karena memiliki sifat tahan air, sifat mekanik yang lebih tinggi, dan stabilitas termal yang baik (Ghaffar and Ali, 2022).

2.5 Metode *Crosslinking*

Penggunaan metode kombinasi senyawa dalam pembuatan *biodegradable film* dapat meningkatkan sifat dan kinerja film tersebut. Salah satu metode kombinasi senyawa yang dapat digunakan adalah metode *crosslinking*. Metode *crosslinking* adalah proses dimana senyawa-senyawa dalam film direkatkan satu sama lain untuk membentuk ikatan silang. Metode *crosslinking* dapat meningkatkan kekuatan, ketahanan panas, dan stabilitas film (Chen *et al.*, 2021). Salah satu metode *crosslinking* yang umum digunakan adalah penggunaan pemanasan atau perlakuan kimiawi dengan bahan perekat seperti glutaraldehida.

Metode *crosslinking* kimiawi sering digunakan dalam pembuatan *biodegradable film*. Bahan perekat seperti glutaraldehida atau formaldehida dapat digunakan untuk *crosslinking* kimiawi dalam *film biodegradable*. Bahan perekat ini dapat ditambahkan ke dalam matriks polimer sebelum proses pembentukan film. Setelah pengeringan atau pemanasan, bahan perekat ini akan bereaksi dengan gugus fungsional dalam polimer, membentuk ikatan silang yang kuat antara rantai polimer (Gao *et al.*, 2014). Penting untuk memperhatikan kondisi proses *crosslinking* seperti suhu, waktu, dan konsentrasi bahan perekat yang digunakan. Pengoptimalan parameter-parameter ini dapat mempengaruhi tingkat *crosslinking*, sifat mekanik, dan stabilitas film yang dihasilkan.

Dalam proses *crosslinking*, beberapa variabel perlu diperhatikan untuk menghasilkan film dengan karakteristik yang diinginkan. Konsentrasi yang tepat perlu diuji dan dioptimalkan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Hal ini dibuktikan oleh penelitian Chen *et al.*, (2021), film dengan berbagai konsentrasi rasio mempengaruhi sifat mekanik dan termal yang dihasilkan. Film dengan penambahan CA 6% sebagai *crosslinker* menunjukkan derajat ikatan silang paling tinggi sebesar 56% serta meningkatkan sifat mekanik dan stabilitas termal film. Waktu reaksi *crosslinking* juga perlu diperhatikan. Waktu yang terlalu singkat dapat menghasilkan ikatan yang lemah, sedangkan waktu yang terlalu lama dapat menyebabkan degradasi polimer yang berlebihan. Suhu juga merupakan faktor penting dalam *crosslinking* kimiawi. Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju reaksi *crosslinking*, tetapi terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi polimer. Suhu *crosslinking* harus diatur dengan cermat untuk mencapai hasil yang diinginkan. Nilai pH larutan *crosslinking* dapat mempengaruhi reaktivitas bahan perekat dan polimer. Pengaturan pH yang tepat dapat mempengaruhi tingkat *crosslinking* dan stabilitas film yang dihasilkan (Gao *et al.*, 2014; Gao *et al.*, 2013).

2.6 Aktivitas Antioksidan

Senyawa antioksidan merupakan suatu senyawa yang mampu menghambat terjadinya proses oksidasi dengan menangkal radikal bebas yang ada di lingkungan. Radikal bebas merupakan molekul atau fragmen molekul yang mengandung satu atau lebih elektron tidak berpasangan dalam orbital molekulnya. Elektron bebas tersebut dapat menyebabkan molekul menjadi sangat reaktif dan jika tidak ditangkal maka akan menyerang dan merusak komponen seluler dari produk pangan yang dikemas seperti protein, DNA, dan lipida (Alves *et al.*, 2023)

Ada banyak jenis antioksidan alami yang digunakan dalam aplikasi kemasan pangan aktif. Beberapa jenis antioksidan tersebut antara lain herbal (rosemary, oregano, thyme, dan sage), rempah-rempah (kunyit, kayumanis, cengkeh, dan jahe), buah-buahan (blueberry, stroberi, raspberry, jeruk, anggur) (Lourenço *et al.*,

2019), minyak atsiri (Domínguez *et al.*, 2018), dan minyak buah merah (Sirait *et al.*, 2021). Sumber antioksidan alami ini dapat dimasukkan ke dalam sistem pengemasan aktif untuk melindungi produk makanan dari oksidasi dan memperpanjang umur simpannya.

Berikut ini adalah beberapa cara antioksidan dalam kemasan aktif mencegah pembusukan makanan dan memperpanjang umur simpan:

1. Penangkal Radikal Bebas: Antioksidan dapat menangkal radikal bebas, yang merupakan molekul yang sangat reaktif atau fragmen molekul dengan elektron yang tidak berpasangan. Antioksidan menyumbangkan elektron ke radikal bebas, menetralsirnya dan mencegahnya menyebabkan kerusakan oksidatif pada produk makanan.
2. Pemutus Rantai: Antioksidan dapat mengganggu reaksi berantai oksidasi dengan memutus rantai perambatan radikal bebas. Antioksidan bereaksi dengan radikal bebas dan mengubahnya menjadi senyawa yang stabil, menghentikan reaksi berantai dan mencegah oksidasi lebih lanjut
3. Regenerasi: Beberapa antioksidan memiliki kemampuan untuk meregenerasi dirinya sendiri setelah menyumbangkan elektron ke radikal bebas. Mereka dapat mengalami reaksi redoks dan kembali ke bentuk antioksidan aktifnya, memungkinkan mereka untuk terus melindungi produk makanan dari oksidasi
4. *Chelation*: Antioksidan tertentu memiliki sifat *chelating*, artinya dapat mengikat ion logam yang bertindak sebagai katalis dalam reaksi oksidasi. Dengan mengkelat ion logam ini, antioksidan dapat menghambat kemampuannya untuk meningkatkan oksidasi dan melindungi produk makanan dari kerusakan oksidatif
5. Aktivitas Antimikroba: Banyak antioksidan alami, seperti minyak atsiri, memiliki sifat antimikroba yang dapat membantu menghambat pertumbuhan mikroorganisme yang berkontribusi terhadap pembusukan makanan. Dengan memasukkan antioksidan alami ke dalam bahan kemasan, pertumbuhan mikroorganisme penyebab pembusukan dapat dikendalikan, yang mengarah pada peningkatan pengawetan makanan (Carpena *et al.*, 2021; Sani *et al.*, 2021).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Oliveira *et al.*, (2023), tanin dari *black wattle* (*Acacia mearnsii* De Wild) digunakan sebagai antioksidan tambahan pada film polistirena (PS). Film dengan konsentrasi tanin tertinggi (5%) menunjukkan antioksidan tertinggi diantara semua sampel film. Untuk mengetahui aktivitas antioksidan dari senyawa-senyawa tersebut, maka perlu dilakukan analisis dengan metode DPPH. Prinsip dari metode ini yaitu pendonoran hidrogen radikal oleh sampel terhadap radikal DPPH. Metode DPPH dapat digunakan untuk senyawa yang memiliki gugus hidroksil (OH) karena dapat melepaskan hidrogen radikalnya.

2.7 Karakteristik Mekanik Kemasan Bioplastik

Karakteristik mekanik suatu plastik kemasan terdiri dari:

1. Kuat Tarik (*tensile strength*)

Kuat tarik merupakan tarikan maksimum yang dicapai oleh suatu film sebelum putus. Kuat tarik kemasan banyak ditonjolkan karena dianggap sebagai kekuatan bahan. Kuat tarik mengacu pada jumlah maksimum tegangan tarik yang dapat ditahan oleh suatu material sebelum pecah atau berubah bentuk. Kuat tarik film kemasan menentukan kemampuannya untuk menahan sobekan atau peregangan selama penanganan, pengangkutan, dan penyimpanan (Lavrič *et al.*, 2021).

Kuat tarik dalam kemasan film diukur dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Tes ini melibatkan penerapan gaya terkontrol ke film dalam satu arah sampai pecah atau berubah bentuk. Selama pengujian, gaya dan pemanjangan film diukur, dan kekuatan tarik dihitung sebagai gaya maksimum per satuan luas yang dapat ditahan film sebelum putus (Wu *et al.*, 2021).

Pengukuran kuat tarik dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis bahan yang digunakan, adanya bahan tambahan atau plasticizer, dan proses pembuatannya. Oleh karena itu, penting untuk secara hati-hati mengontrol faktor-faktor ini untuk memastikan pengukuran kekuatan tarik yang akurat dan

konsisten (Li *et al.*, 2014). Menurut SNI 7818:2014 plastik memiliki nilai kuat tarik yaitu minimal 13,7 MPa.

2. Elastisitas (*Modulus Young*)

Modulus Young dari sebuah film mengacu pada kekakuan atau elastisitasnya, khususnya ukuran berapa banyak material yang berubah bentuk di bawah tekanan. Elastisitas adalah sifat penting dalam pengemasan film karena menentukan kemampuan film untuk menahan kekuatan eksternal tanpa merusak atau mengubah bentuk (Jia and Long, 2020).

Modulus Young film memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja kemasan film. Modulus Young menentukan kekakuan dan elastisitas film, yang dapat mempengaruhi kemampuan kemasan untuk melindungi isi dari kerusakan selama pengangkutan dan penyimpanan. Film yang terlalu kaku mungkin tidak dapat menyesuaikan dengan bentuk isinya, sedangkan film yang terlalu elastis mungkin tidak dapat memberikan dukungan yang cukup (Al-Salem *et al.*, 2019). Modulus Young adalah ukuran kemampuan film untuk menahan deformasi di bawah tekanan. Film dengan modulus Young yang tinggi lebih tahan terhadap deformasi dan dapat menahan gaya eksternal tanpa pecah atau berubah bentuk. Hal ini penting untuk memastikan bahwa kemasan mempertahankan keutuhannya selama penanganan dan pengiriman (H. Williams, 2022). Modulus Young juga terkait erat dengan kekuatan tarik film. Sebuah film dengan modulus Young yang tinggi cenderung memiliki kekuatan tarik yang tinggi, yang penting untuk mencegah film robek selama penggunaan. Selain itu, Modulus Young juga terkait dengan kapasitas perpanjangan film. Sebuah film dengan modulus Young yang rendah cenderung memiliki kapasitas pemanjangan yang lebih tinggi, yang dapat bermanfaat untuk bahan kemasan yang perlu diregangkan atau dililitkan pada isinya. Modulus Young juga dapat mempengaruhi permeabilitas uap air film. Sebuah film dengan modulus Young yang tinggi cenderung memiliki permeabilitas uap air yang lebih rendah, yang penting untuk bahan kemasan yang perlu melindungi isinya dari kelembaban (Yang *et al.*, 2022).

Berdasarkan SNI 7818:2014 nilai elastisitas plastik adalah minimal 40-1120 MPa.

3. Perpanjangan saat putus (*elongation at break %*)

Elongasi merupakan perubahan panjang maksimal saat kemasan film meregang hingga terputus. Elongasi adalah ukuran fleksibilitas dan keuletan film. Ketika sebuah film dikenai tegangan, perpanjangan saat putus mengukur regangan maksimum yang dapat dialami film sebelum pecah atau robek (Todhanakasem *et al.*, 2022).

Dalam konteks pengemasan film, pemanjangan saat putus merupakan sifat penting karena menentukan kemampuan film menahan tekanan dan deformasi selama penanganan, transportasi, dan penyimpanan. Film dengan nilai elongasi yang lebih tinggi umumnya lebih tahan sobek dan lebih kecil kemungkinannya untuk gagal akibat tekanan mekanis. Nilai elongasi dinyatakan sebagai persentase dan dihitung dengan membagi perubahan panjang pada titik patahan dengan panjang asli film dan dikalikan dengan 100. Persentase yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan yang lebih besar untuk meregang sebelum putus (Dai *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022).

Perpanjangan putus kemasan film dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain komposisi film, adanya aditif atau bahan pengisi, dan teknik pengolahan yang digunakan. Berdasarkan penelitian Zhang *et al.*, (2022), pengembangan kemasan makanan antimikroba berbasis campuran isolate protein belalang/protein kedelai menggunakan xilosa digunakan sebagai pengikat silang untuk membentuk jaringan ikatan silang. Studi ini menemukan bahwa penambahan 10% xilosa menunjukkan hasil kemasan dengan sifat mekanik yang baik yaitu perpanjangan saat putus meningkat menjadi 38%. Hal ini menunjukkan bahwa *crosslinking* yang dibentuk oleh xilosa berpengaruh positif terhadap sifat mekanik film. Berdasarkan kriteria nilai pemanjangan saat putus menurut SNI 7818:2014 plastik yaitu 21-220%.

2.8 Permeabilitas Uap Air (WVP)

Permeabilitas uap air kemasan adalah kemampuan uap air untuk menembus suatu kemasan pada kondisi suhu dan RH tertentu. Permeabilitas uap air dari suatu film kemasan didefinisikan sebagai laju kecepatan atau transmisi uap air melalui suatu unit luasan bahan yang permukaannya rata dengan ketebalan tertentu, sebagai akibat dari suatu perbedaan unit tekanan uap antara dua permukaan pada kondisi suhu dan kelembaban tertentu. Permeabilitas uap air merupakan faktor penting dalam bioplastik karena erat kaitannya dengan masa simpan produk. (Mirdayanti *et al.*, 2018). Ketahanan suatu film terhadap uap air sangat menentukan daya simpan produk pangan yang dikemasnya. Semakin besar pertambahan beratnya maka akan semakin besar daya permeabilitasnya maka semakin mudah untuk melewati gas termasuk uap air, produk pun akan semakin mengalami penurunan kualitas. WVP yang lebih rendah menunjukkan bahwa bahan pengemas lebih efektif dalam mencegah kelembapan masuk atau keluar dari kemasan, yang dapat membantu memperpanjang masa simpan produk makanan (Ediyilyam *et al.*, 2021). Permeabilitas uap air sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan, RH, temperature, ketebalan, jenis dan konsentrasi bahan tambahan (*crosslinker, plasticizer*) serta sifat pembentuk film (Mappamadeng and Amalia, 2022).

2.9 Thermogravimetry Analysis (TGA)

Analisis Termogravimetri (TGA) adalah teknik yang digunakan untuk mengukur perubahan massa sampel saat dipanaskan atau didinginkan dalam kondisi yang terkendali. Metode ini banyak digunakan dalam ilmu material, kimia, dan bidang lain untuk mempelajari stabilitas termal dan dekomposisi bahan. TGA dapat digunakan untuk menentukan stabilitas termal bahan dengan mengukur suhu di mana sampel mulai kehilangan berat karena dekomposisi atau efek termal lainnya. Kurva TGA yang dihasilkan menunjukkan penurunan massa sampel sebagai fungsi suhu, dan suhu di mana kehilangan massa dimulai dikenal sebagai suhu awal (Petrunina *et al.*, 2021).

Pada penelitian Liao *et al.*, (2022), film PVA dengan tambahan ekstrak tanin bayberry cina menunjukkan tiga langkah degradasi termal pada analisis TGA. Tahap pertama (40 hingga 200°C) terkait dengan pelepasan air dan kandungan volatil, pemutusan ikatan hidrogen intermolekul utama PVA dan dekomposisi antara unit BT. Tahap kedua (200 hingga 350°C) berhubungan dengan pemutusan rantai utama. Langkah ketiga (350 hingga 600°C) mengilustrasikan pembelahan tulang punggung CC dari PVA dan produksi molekul karbon dan hidrokarbon. Massa redisu dan suhu dekomposisi awal film PVA/BT pada tahap kedua lebih tinggi dibandingkan dengan PVA menunjukkan bahwa BT menunda dekomposisi rantai polimer utama dalam PVA.

Semakin tinggi suhu dekomposisi yang diamati dalam analisis TGA untuk film PVA, semakin tinggi stabilitas termal material tersebut. Analisis TGA memberikan informasi tentang stabilitas termal dan dekomposisi material, dan hasilnya dapat bervariasi tergantung komposisi film dan kondisi analisis. Kurva TGA menunjukkan penurunan massa sampel sebagai fungsi suhu, dan suhu di mana kehilangan massa dimulai dikenal sebagai suhu permulaan. Semakin tinggi suhu permulaan, semakin stabil bahan tersebut secara termal. Oleh karena itu, suhu dekomposisi yang lebih tinggi yang diamati dalam analisis TGA untuk film PVA menunjukkan bahwa material tersebut lebih stabil secara termal dan dapat menahan suhu yang lebih tinggi tanpa dekomposisi yang signifikan (Betti, 2016).

2.10 FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Spektroskopi FTIR atau *Fourier Transform Infrared* dapat menganalisis gugus ujung suatu senyawa dengan kemampuan analisis yang lebih baik daripada sistem IR konvensional, termasuk dalam hal sensitivitas, kecepatan dan peningkatan pengolahan data (Anggarini, 2013).

FTIR bekerja dengan mengukur penyerapan radiasi infra merah oleh suatu sampel, yang memberikan informasi tentang gugus fungsi yang ada dalam materi

yang dipelajari. Serapan tiap tipe ikatan (N-H, C-H, O-H, C-X, C=O, C-O, C=C, C-C, C=N, dan sebagainya) hanya dapat diperoleh dalam bagian-bagian kecil tertentu dari daerah vibrasi inframerah. Kisaran serapan yang kecil dapat digunakan untuk menentukan setiap tipe ikatan (Tatulian, 2019).

Prinsip FTIR didasarkan pada interaksi radiasi infra merah dengan sampel. Spektroskopi FTIR menggunakan radiasi infra merah, yang terletak pada spektrum elektromagnetik antara cahaya tampak dan gelombang mikro. Radiasi inframerah memiliki panjang gelombang yang lebih panjang dan frekuensi yang lebih rendah daripada cahaya tampak. Ketika radiasi infra merah melewati sampel, ia berinteraksi dengan ikatan kimia yang ada dalam material. Ikatan kimia tertentu memiliki frekuensi getaran karakteristik yang sesuai dengan tingkat energi tertentu. Ketika energi radiasi infra merah cocok dengan energi yang dibutuhkan agar ikatan bergetar, penyerapan radiasi terjadi. Penyerapan radiasi infra merah menyebabkan molekul dalam sampel bergetar. Berbagai jenis ikatan kimia, seperti C-H, O-H, dan C=O, memiliki frekuensi getaran yang khas. Dengan mengukur penyerapan radiasi infra merah pada frekuensi yang berbeda, spektroskopi FTIR dapat memberikan informasi tentang jenis ikatan kimia yang ada dalam sampel. Dalam spektroskopi inframerah tradisional, sampel dipaparkan ke berbagai frekuensi radiasi infra merah yang berbeda, dan spektrum serapan yang dihasilkan diperoleh. Namun, spektroskopi FTIR menggunakan teknik yang disebut transformasi Fourier untuk mendapatkan spektrum resolusi tinggi. Transformasi Fourier mengubah sinyal domain waktu (interferogram) menjadi spektrum domain frekuensi. Spektrum FTIR yang dihasilkan merupakan plot intensitas radiasi infra merah yang diserap sebagai fungsi frekuensi. Spektrum ini dapat dianalisis untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan ikatan kimia yang ada dalam sampel. Membandingkan spektrum sampel yang tidak diketahui dengan basis data spektrum yang diketahui memungkinkan identifikasi dan karakterisasi sampel (Jozanikohan and Abarghooei, 2022; Mirwald *et al.*, 2022; Riyanta *et al.*, 2021).

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengujian, Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Bandar Lampung, dan Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk, Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) pada bulan Juli-Desember 2023.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah PVA (tipe 2488, tingkat polimerisasi 2400, dan tingkat alkoholisasi minimal 86%) dibeli dari produk Jiangxi Jiang Wei Hi-Tech Co. Ltd (China). PVA dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 50°C selama 24 jam sebelum digunakan. Ekstrak tannin dari kulit batang *A. mangium* yang diperoleh dari PT. RAPP, Riau, Indonesia yang diperoleh pada penelitian sebelumnya (Ismayati *et al.*, 2024). Bahan-bahan kimia yang digunakan adalah glutaraldehyd, asam sitrat, kalsium klorida anhidrat, DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), dan methanol.

Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan kemasan bioplastik adalah hotplate stirrer, ultrasonicator, oven, cetakan silicon, dan neraca analitik. Alat-alat lain yang digunakan adalah alat-alat gelas, UV-1800 double-beam spectrophotometer, TGA 4000, Universal Testing Machine (UTM), dan Spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FTIR).

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan formulasi *crosslinker* glutaraldehid dan asam sitrat pada pembuatan bioplastik berbasis PVA/Tanin (Tabel 1). Data yang diperoleh dianalisis menggunakan sidik ragam untuk mendapatkan penduga ragam galat dan mengetahui pengaruh perlakuan. Kemudian dilanjutkan uji beda nyata jujur (BNJ) dengan tingkat signifikansi 5%. Karakterisasi bioplastik berbasis PVA/tanin dilakukan secara deskriptif terhadap parameter anti-UV, stabilitas termal, dan FTIR.

Tabel 1. Komposisi Pembuatan Kemasan Bioplastik

Kode sampel	PVA (gram)	Tanin (gram)	Glutaraldehid (gram)	Asam Sitrat (gram)	Jumlah Total (gram)
PVA	10,5	0	0	0	10,5
PVAT	10	0,5	0	0	10,5
PVATG2.5	9,75	0,5	0,25	0	10,5
PVATG5	9,5	0,5	0,5	0	10,5
PVATG7.5	9,25	0,5	0,75	0	10,5
PVATG10	9	0,5	1	0	10,5
PVATCA2.5	9,75	0,5	0	0,25	10,5
PVATCA5	9,5	0,5	0	0,5	10,5
PVATCA7.5	9,25	0,5	0	0,75	10,5
PVATCA10	9	0,5	0	1	10,5

Keterangan:

- PVA = bioplastik dengan PVA saja (sebagai kontrol PVA)
 PVAT = bioplastik dengan PVA dan tanin 5% (sebagai kontrol setelah ditambah tanin)
 PVATG2,5 = bioplastik dengan PVA:glutaraldehid (97,5:2,5) dan tanin 5%
 PVATG5 = bioplastik dengan PVA:glutaraldehid (95:5) dan tanin 5%
 PVATG7,5 = bioplastik dengan PVA:glutaraldehid (92,5:7,5) dan tanin 5%
 PVATG10 = bioplastik dengan PVA:glutaraldehid (90:10) dan tanin 5%
 PVATCA2,5 = bioplastik dengan PVA:asam sitrat (97,5:2,5) dan tanin 5%
 PVATCA5 = bioplastik dengan PVA:asam sitrat (95:5) dan tanin 5%
 PVATCA7,5 = bioplastik dengan PVA:asam sitrat (92,5:7,5) dan tanin 5%
 PVATCA10 = bioplastik dengan PVA:asam sitrat (90:10) dan tanin 5%

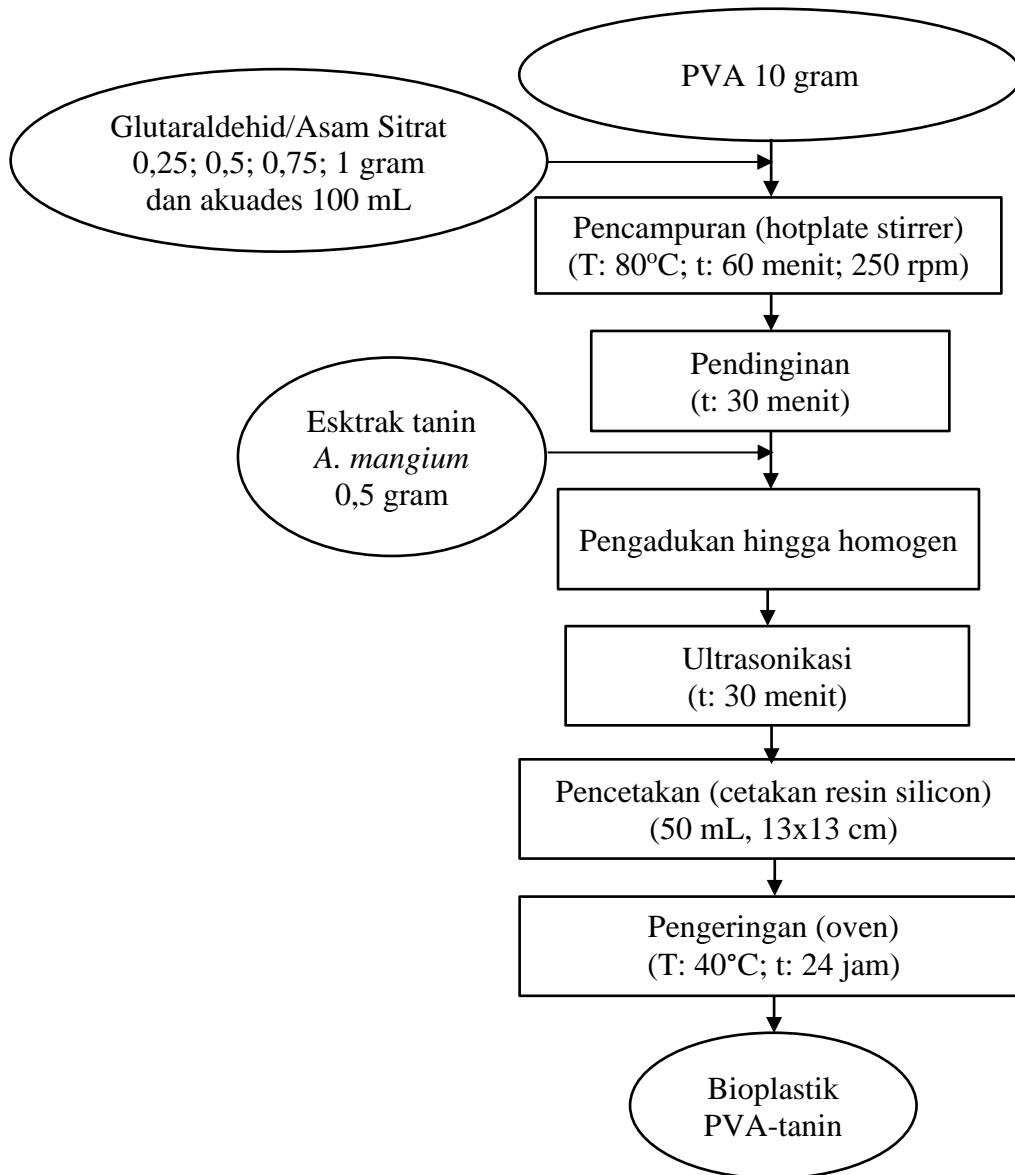
3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan bioplastik adalah PVA dan ekstrak tannin kulit kayu *A. mangium*. PVA dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 50°C selama 24 jam sebelum digunakan. Ekstrak tannin dari kulit batang *A. mangium* diperoleh dari PT. RAPP, Riau, Indonesia yang telah diekstrak pada penelitian Ismayati *et al.*, (2024).

3.4.2 Pembuatan Bioplastik PVA/Tanin dengan *Crosslinker*

Pembuatan bioplastik PVA-tannin dengan *crosslinker* dilakukan dengan mencampurkan PVA dan glutaraldehida dengan perbandingan 100:0, 97.5:2.5, 95:5, 92.5:7.5, 90:10. PVA sebanyak 10 gr ditambahkan glutaraldehida sesuai dengan rasio konsentrasi lalu dilarutkan dalam 100 mL akuades dengan cara diaduk menggunakan magnetic hotplate stirrer pada suhu 80°C dengan kecepatan 250 rpm selama 1 jam. Kemudian larutan PVA didinginkan selama ±30 menit dan ditambahkan ekstrak tannin kayu *A. mangium* sebanyak 0,5 gr secara perlahan tanpa pemanasan hingga larutan homogen. Selanjutnya, larutan homogen yang dihasilkan dipanaskan dalam waterbath pada suhu 80°C dengan magnetic stirrer. Setelah 30 menit, larutan dituang sebanyak 50 mL ke dalam cetakan resin silicon berukuran 13x13 cm dan dikeringkan selama 24 jam pada suhu 40°C. Bioplastik yang dihasilkan disebut PVA; PVAT; PVATG2,5; PVATG5; PVATG7,5; PVATG10 dan PVATCA2,5; PVATCA5; PAVTCA7,5; PVATCA10 berdasarkan konsentrasi GT dan CA. Proses pembuatan bioplastik PVA/Tanin dengan *crosslinker* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses pembuatan bioplastik PVA/Tanin dengan crosslinker
Sumber: Ismayati *et al.*, (2024) dan (Liao *et al.*, 2022)

3.5 Pengamatan

3.5.1 Aktivitas Antioksidan

Aktivitas antioksidan dari bioplastik berbasis PVA/Tanin diukur berdasarkan aktivitas penangkapan radikal bebas DPPH sesuai dengan metode yang dilaporkan Liao *et al.*, (2022). Sampel 0,1 gram dilarutkan dalam 10 mL metanol selama 24 jam dan disaring. Filtrat (500 μ L) ditambahkan 2 mL larutan DPPH 0,06 mM (dalam metanol) dan kemudian diinkubasi selama 30 menit pada suhu kamar dalam tempat gelap. Kemudian, absorbansi larutan diukur pada 517 nm menggunakan spektrofotometer double-beam UV-1800 (Shimadzu, Jepang). Setiap pengujian dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan nilai rata-ratanya. Aktivitas penangkapan radikal DPPH ditentukan berdasarkan persamaan (1).

$$\text{Radical scavenging activity (\%)} = \left[1 - \frac{A_{\text{sampel}}}{A_{\text{kontrol}}} \right] \times 100 \quad (1)$$

dimana, A_{kontrol} adalah absorbansi control (sampel diganti dengan 1 mL akuades) dan A_{sampel} adalah absorbansi sampel.

3.5.2 Opacity

Analisis opasitas (keburaman) adalah proses pengukuran seberapa banyak cahaya yang dapat menembus atau diserap oleh bioplastik. Opasitas bioplastik diukur menggunakan spektrofotometer UV berdasarkan metode sebelumnya (Liao *et al.*, 2022; Wen *et al.*, 2020) dengan persamaan (2) sebagai berikut.

$$\text{Opacity} = \frac{\text{Abs}_{600}}{x} \quad (2)$$

dimana, ABS_{600} adalah nilai absorbansi pada 600 nm, dan x adalah ketebalan bioplastik (mm).

3.5.3 Contact Angle

Contact angle (sudut kontak) adalah sudut yang dibentuk antara permukaan suatu cairan dengan permukaan bioplastik ketika cairan tersebut bersentuhan dengan bioplastik. Sudut kontak adalah parameter penting yang digunakan untuk menggambarkan sifat hidrofobil atau hidrofilik dari permukaan bioplastik. Sudut kontak pada sampel bioplastik diukur menggunakan alat *contact angle meter*. Sampel ditempelkan pada pelat alat kemudian diteteskan sebanyak 15 μL akuades dengan menggunakan *syringe*. Suatu proyeksi cahaya yang terbentuk dari alat *contact angle meter* pada tetesan air diamati dan diukur besar sudut kontakannya (Ningrum *et al.*, 2021).

3.5.4 Water Vapor Permeability (WVP)

Pengukuran WVP ditentukan secara gravimetri menggunakan metode yang dilaporkan Nurhabibah and Kusumaningrum (2021). Aluminium foil dipotong dengan ukuran 13x13 cm, kemudian dibuat lubang di tengahnya dengan diameter 3 cm, dan ditempelkan bioplastik berbahan dasar PVA/tanin dengan *crosslinker* berukuran 5 x 5 cm. Lembaran aluminium dan bioplastik kemudian dikeringkan menggunakan oven pengering (UF75, Memmert, Germany) pada suhu 60°C selama 4 jam. Selanjutnya gelas plastik ukuran 200 mL diisi dengan 80 mL akuades, ditutup dengan aluminium foil, dan direkatkan menggunakan karet. Cawan kemudian ditimbang dan dimasukkan ke dalam *climatic chamber* (KK500 Top+ Inix/G, POL-EKO Apatura SP.J., Polandia) dengan kondisi kelembaban dan suhu diatur 25 \pm 2 °C dengan RH 50 \pm 5%. Bobot cangkir dicatat setiap 1 jam selama 9 jam. Hilangnya massa air dilihat berdasarkan fungsi waktu. Laju transmisi uap air ditentukan dengan persamaan (4).

$$WVP (g \text{ mm s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ Pa}^{-1}) = w \cdot \gamma \cdot A^{-1} t^{-1} \Delta P^{-1} \quad (3)$$

Dimana, w adalah susut berat wadah (g); γ adalah ketebalan film (mm); t adalah t adalah waktu (s); A adalah luas permukaan film yang terbuka (m^2); dan ΔP

adalah perbedaan tekanan uap (3167,2 Pa pada 25°C). Setiap sampel diuji dengan 5 kali pengulangan untuk mendapatkan nilai rata-rata.

3.5.5 Uji Mekanik

Uji mekanik yang dilakukan meliputi uji ketebalan, kekakuan, kuat tarik, dan persen pemanjangan (elongasi). Kekuatan tarik bioplastik sebelum dan sesudah penambahan *crosslinker* diperoleh dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (AGS-X 10 kN, Shimadzu, Jepang), yang dioperasikan sesuai dengan ASTM D822. Bioplastik dipotong menjadi persegi Panjang 100 mm dan lebar 20 mm. Uji tarik dilakukan dengan *load cell* 5 kN dan kecepatan *cross-head* 40 mm/menit. Percobaan dilakukan pada suhu $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Setiap sampel dilakukan uji tiga kali ulangan untuk mendapatkan nilai rata-rata.

3.5.6 Uji Perlindungan UV

Aktivitas UV-blocking bioplastik PVA/Tanin ditentukan oleh nilai transmitansi (T%) dari bioplastik PVA/Tanin. Bioplastik PVA/Tanin dipotong dengan ukuran 2x4 cm. Selanjutnya, nilai transmitansi diukur menggunakan spektrofotometer double-beam UV-1800 (Shimadzu, Jepang) dengan rentang gelombang 800-200 cm^{-1} .

3.5.7 Stabilitas termal

Analisis termogravimetri (TGA) dilakukan untuk menentukan stabilitas termal bioplastik PVA/Tanin dengan *crosslinker* menggunakan TGA 4000, PerkinElmer, Waltham, MA, USA. Bioplastik (8-10 mg) dipanaskan dari 25°C hingga 500°C dalam atmosfer nitrogen dengan laju alir 20 mL/menit dengan laju pemanasan konstan 10°C/menit.

3.5.8 Fourier transform infrared (FTIR)

Analisis komponen kimia bioplastik sebelum dan sesudah ditambahkan *crosslinker* diperoleh menggunakan *spectrum two FTIR* (PerkinElmer Corporation, Waltham, MA, USA) dengan mode *Attenuated total reflection* (ATR). Sampel diletakkan pada reflektor kemudian pemindaian dilakukan pada Panjang gelombang 4000 sampai dengan 400 cm^{-1} . Pengulangan pemindaian sebanyak 16 kali.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah

1. Formulasi PVA/Tanin dengan penambahan *crosslinker* glutaraldehid dan asam sitrat dapat meningkatkan sifat aktivitas antioksidan, *opacity*, *contact angle*, WVP, dan karakteristik mekanik bioplastik berbasis PVA/Tanin. Aktivitas antioksidan tertinggi dihasilkan pada sampel PVATCA10 dengan %RSA sebesar 89,49%. Pada pengujian sifat ketahanan air bioplastik, hasil terbaik memiliki nilai *contact angle* sebesar $78,80^\circ$ pada PVATCA7,5 dan WVP sebesar $1,26 \times 10^{-7}$ pada PVATG10. Pada pengujian sifat mekanik bioplastik, peningkatan kuat tarik terbaik hingga 36,14 MPa pada PVATG7,5 dan perpanjangan putus sebesar 156,10% pada PVATG5.
2. Karakteristik anti-UV terbaik dihasilkan pada bioplastik PVATCA7,5 yaitu mampu memblokir 99% sinar UV-A serta 100% sinar UV-B dan UV-C. Spektra FTIR memperlihatkan tidak adanya gugus fungsi baru pada bioplastik PVA/Tanin setelah ditambahkan *crosslinker* namun terjadi peningkatan intensitas pada gugus eter (C-O) dan ester (C=O). Pada pengujian sifat kimia, hasil stabilitas termal terbaik pada konsentrasi asam sitrat 10% dengan residu arang sebesar 13,72%.
3. Formulasi bioplastik terbaik adalah bioplastik berbasis PVA/Tanin dengan penambahan *crosslinker* asam sitrat dengan konsentrasi sebesar 7,5%. Formulasi bioplastik ini memberikan peningkatan aktivitas antioksidan, anti-UV, sifat ketahanan terhadap air, dan sifat mekanik bioplastik.

5.2 Saran

Pelaksanaan penelitian ini masih memiliki celah untuk penyempurnaan dalam pengembangan bioplastik berbasis PVA/Tanin dengan *crosslinker*. Maka dari itu, beberapa saran yang dapat dikemukakan yaitu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai uji biodegradabilitas terhadap bioplastik PVA/tanin dengan *crosslinker* serta diaplikasikan sebagai kemasan pangan untuk mengetahui pengaruh langsung terhadap sifat sensoris dan mutu makanan yang dikemas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Ghaffar, A. M., and Ali, H. E. 2022. Radiation modification and characterization of polyvinyl alcohol/starch/citric acid/glycerol bioblend film. *Polymers from Renewable Resources* 13(3): 121-135.
- Adriana Yazik, and Tukiran, N. A. 2021. Characterization of Polyvinyl Alcohol (PVA) as Antimicrobial Biocomposite Film: A Review. *Malaysian Journal of Science Health and Technology*.
- Ahmed, S. F., Rafa, N., Mofijur, M., Badruddin, I. A., Inayat, A., Ali, M. S., Farrok, O., and Yunus Khan, T. M. 2021. Biohydrogen Production From Biomass Sources: Metabolic Pathways and Economic Analysis. In *Frontiers in Energy Research* 9: 753878.
- Al-Salem, S. M., Al-Nasser, A. Y., Al-Wadi, M. H., Sultan, H. H., Karam, H. J., Al-Dhafeeri, A. T., Al-Foudaree, M., and Rasheed, Z. 2019. Mechanical profiling of commercial grade biodegradable plastic films post exposure to natural and accelerated weathering. *WIT Transactions on Engineering Sciences* 124: 229-242.
- Alghunaim, A., Kirdponpattara, S., and Newby, B. M. Z. 2016. Techniques for determining contact angle and wettability of powders. In *Powder Technology* 287: 201-215.
- Ali, M., and Bukar, A. 2019. Evaluation of preservative properties and antimicrobial activities of *Anogeissus leiocarpus* extract on food pathogens of *Hibiscus sabdariffacalyx* (Zobo) drink. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences* 11(1): 153-160.
- Alves, J., Gaspar, P. D., Lima, T. M., and Silva, P. D. 2023. What is the role of active packaging in the future of food sustainability? A systematic review. In *Journal of the Science of Food and Agriculture* 103(3); 1004-1020.
- Annu, Ali, A., and Ahmed, S. 2021. Eco-friendly natural extract loaded antioxidative chitosan/polyvinyl alcohol based active films for food packaging 7(3).

- Arbintarso, E. S., and Nurnawati, E. K. 2022. Peranan Keluarga dalam Upaya Meningkatkan Kualitas Lingkungan melalui Daur Ulang Limbah Plastik Rumah Tangga. *Jurnal Berdaya Mandiri* 4(3), 300–318.
- Aslam, M., Kalyar, M. A., and Raza, Z. A. 2018. Polyvinyl alcohol: A review of research status and use of polyvinyl alcohol based nanocomposites. In *Polymer Engineering and Science* 58(12): 2119-2132.
- Astiti, N. P. A., Sudirga, S. K., and Ramona, Y. 2019. Analysis of Phenolic and Tannin Contents in the Methanol Extract of Sweet and Sour Star Fruit Plants (*Averrhoa carambola* L) Leaves Commonly Used as Raw Materials of Lawar (A Balinese Traditional Food). *Advances in Tropical Biodiversity and Environmental Sciences* (3)1: 5-7.
- Azeez Betti, N. 2016. Thermogravimetric Analysis on PVA / PVP Blend Under Air Atmosphere. *Engineering and Technology Journal* 34(13A); 2433-2442.
- Baghi, F., Gharsallaoui, A., Dumas, E., and Ghnimi, S. 2022. Advancements in Biodegradable Active Films for Food Packaging: Effects of Nano/Microcapsule Incorporation. In *Foods* 11(5): 760.
- Balasubramaniam, M. P., Murugan, P., Chenthamara, D., Ramakrishnan, S. G., Salim, A., Lin, F. H., Robert, B., and Subramaniam, S. 2020. Synthesis of chitosan-ferulic acid conjugated poly(vinyl alcohol) polymer film for an improved wound healing. *Materials Today Communications* 25: 101510.
- Ben Halima, N. 2016. Poly(vinyl alcohol): Review of its promising applications and insights into biodegradation. In *RSC Advances* 6(46): 39823-39832.
- Bernal, A., Kuritka, I., and Saha, P. 2013. Preparation and characterization of poly(vinyl alcohol)-poly(vinyl pyrrolidone) blend: A biomaterial with latent medical applications. *Journal of Applied Polymer Science* 127(5); 3560-3568.
- Betriani, R., Sutarno, S., Kartini, I., and Budiarta, J. 2023. Synthesis of Zeolite/NPK Coated with Cu-Alginate-PVA-Glutaraldehyde as a Slow-Release Fertilizer. *Indonesian Journal of Chemistry* 23(1); 184-199.
- Broda, M., Yelle, D. J., and Serwańska, K. 2022. Bioethanol Production from Lignocellulosic Biomass—Challenges and Solutions. In *Molecules* 27(24): 8717.
- Calabrò, P. S., and Grosso, M. 2018. Bioplastics and waste management. In *Waste Management* 78: 800-801.
- Campa-Siqueiros, P., Madera-Santana, T. J., Ayala-Zavala, J. F., López-Cervantes, J., Castillo-Ortega, M. M., and Herrera-Franco, P. J. 2020. Nanofibers of gelatin and polivinyl-alcohol-chitosan for wound dressing

- application: fabrication and characterization. *Polimeros* 30: e2020006.
- Campos, E., Coimbra, P., and Gil, M. H. 2013. An improved method for preparing glutaraldehyde cross-linked chitosan-poly(vinyl alcohol) microparticles 70: 549-561.
- Carpena, M., Nuñez-Estevez, B., Soria-Lopez, A., Garcia-Oliveira, P., and Prieto, M. A. 2021. Essential oils and their application on active packaging systems: A review. In *Resources* 10(1); 7.
- Cazón, P., Vázquez, M., and Velazquez, G. 2018. Cellulose-glycerol-polyvinyl alcohol composite films for food packaging: Evaluation of water adsorption, mechanical properties, light-barrier properties and transparency. *Carbohydrate Polymers* 195: 432-443.
- Chen, C., Liu, F., Yu, Z., Ma, Y., Goff, H. D., and Zhong, F. 2020. Improvement in physicochemical properties of collagen casings by glutaraldehyde cross-linking and drying temperature regulating. *Food Chemistry* 318: 126404.
- Chen, W. C., Mohd Judah, S. N. M. S., Ghazali, S. K., Munthoub, D. I., Alias, H., Mohamad, Z., and Majid, R. A. 2021. The effects of citric acid on thermal and mechanical properties of crosslinked starch film. *Chemical Engineering Transactions*, pp 83.
- Cheng, C., Liu, P., Zhao, P., Du, G., Wang, S., Liu, H., Cao, X., Zhao, Q., and Wang, X. 2023. Developing novel oenological tannins from 44 plants sources by assessing astringency and color in model wine. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 10(3): 1499-1513.
- Choi, D., Khan, M. H., and Jung, J. 2019. Crosslinking of PVA/alginate carriers by glutaraldehyde with improved mechanical strength and enhanced inhibition of deammonification sludge. *International Biodeterioration and Biodegradation* 145: 104788.
- Cresnar, K. P., Zamboulis, A., Bikiaris, D. N., Aulova, A., and Zemljic, L. F. 2022. Kraft Lignin/Tannin as a Potential Accelerator of Antioxidant and Antibacterial Properties in an Active Thermoplastic Polyester-Based Multifunctional Material. *Polymers* 14(8): 1532.
- Dai, L., Li, R., Liang, Y., Liu, Y., Zhang, W., and Shi, S. 2022. Development of Pomegranate Peel Extract and Nano ZnO Co-Reinforced Polylactic Acid Film for Active Food Packaging. *Membranes* 12(11): 1108.
- Das, A. K., Islam, M. N., Faruk, M. O., Ashaduzzaman, M., and Dungani, R. 2020. Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities. In *South African Journal of Botany* 135: 58-70.
- Das, M., and Chowdhury, T. 2016. Heat sealing property of starch based self-

- supporting edible films. *Food Packaging and Shelf Life* 9: 64-68.
- de Barros Vinhal, G. L. R. R., Silva-Pereira, M. C., Teixeira, J. A., Barcia, M. T., Pertuzatti, P. B., and Stefani, R. 2021. Gelatine/PVA copolymer film incorporated with quercetin as a prototype to active antioxidant packaging. *Journal of Food Science and Technology* 58: 3924-3932
- Debeaufort, F., Riondet, J., Brachais, C. H., and Benbettaieb, N. 2022. Influence of Gelatin-Based Coatings Crosslinked with Phenolic Acids on PLA Film Barrier Properties. *Coatings* 12(7): 993.
- Debeaufort, F., and Voilley, A. 2009. Lipid-Based Edible Films and Coatings. In *Edible Films and Coatings for Food Applications*, pp 135-168.
- Debiagi, F., Kobayashi, R. K. T., Nakazato, G., Panagio, L. A., and Mali, S. 2014. Biodegradable active packaging based on cassava bagasse, polyvinyl alcohol and essential oils. *Industrial Crops and Products* 52: 664-670.
- Dhandapani, V., Ringuette, V., Desrochers, M., Sirois, M., and Vermette, P. 2022. Composition, host responses and clinical applications of bioadhesives. In *Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials* 110(12): 2779-2797.
- Domínguez, R., Barba, F. J., Gómez, B., Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Pateiro, M., Santos, E. M., and Lorenzo, J. M. 2018. Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. *Food Research International* 113: 93-101.
- Donatien Kaboré. 2011. A review of baobab (*Adansonia digitata*) products: Effect of processing techniques, medicinal properties and uses. *African Journal of Food Science* 5(16): 833-844.
- Ediyilyam, S., George, B., Shankar, S. S., Dennise, T. T., Waclawek, S., Cerník, M., and Padil, V. V. T. 2021. Chitosan/gelatin/silver nanoparticles composites films for biodegradable food packaging applications. *Polymers* 13(11); 1680.
- Figueiredo, K. C. S., Alves, T. L. M., and Borges, C. P. 2009. Poly(vinyl alcohol) Films Crosslinked by Glutaraldehyde Under Mild Conditions. *Journal of Applied Polymer Science* 111(6): 3074-3080.
- Figuroa-Lopez, K. J., Andrade-Mahecha, M. M., and Torres-Vargas, O. L. 2018. Development of antimicrobial biocomposite films to preserve the quality of bread. *Molecules* 23(1): 212.
- Firda Rizki Nurzulla, W., and Kartika Maharani, D. 2022. Mechanical Properties of Film Chitosan/Pva With Silver Substituted Zeolite As Active Packaging. *UNESA Journal of Chemistry*.

- Gadhawe, R. V., Mahanwar, P. A., and Gadekar, P. T. 2019. Effect of glutaraldehyde on thermal and mechanical properties of starch and polyvinyl alcohol blends. *Designed Monomers and Polymers* 22(1): 164-170.
- Gao, X., Liu, C., Tang, K., and Zhang, Y. 2013. Influence of glyoxal cross linking on properties of gelatin/PVA biodegradable composite films. *Cailiao Yanjiu Xuebao/Chinese Journal of Materials Research* 27(2): 173-177.
- Gao, X. P., Liu, J., Zheng, X. J., Tang, K. Y., and Zhang, Y. Q. 2014. Influence of crosslinking of formaldehyde on structure and properties of gelatin/PVA blend films. *Gongneng Cailiao/Journal of Functional Materials* 5: 5049-5052.
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., and Entezami, A. A. 2011. Improving the barrier and mechanical properties of corn starch-based edible films: Effect of citric acid and carboxymethyl cellulose. *Industrial Crops and Products* 33(1); 229-235.
- Gu, W., Liu, X., Gao, Q., Gong, S., Li, J., and Shi, S. Q. 2020. Multiple Hydrogen Bonding Enables Strong, Tough, and Recyclable Soy Protein Films. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 8(20): 7680-7689.
- Guzman-Puyol, S., Benítez, J. J., and Heredia-Guerrero, J. A. 2022. Transparency of polymeric food packaging materials. *Food Research International* 161: 111792.
- Haghighi, H., Leugoue, S. K., Pfeifer, F., Siesler, H. W., Licciardello, F., Fava, P., and Pulvirenti, A. 2020. Development of antimicrobial films based on chitosan-polyvinyl alcohol blend enriched with ethyl lauroyl arginate (LAE) for food packaging applications. *Food Hydrocolloids* 100: 105419.
- Hamciuc, C., Vlad-Bubulac, T., Serbezeanu, D., Hamciuc, E., Aflori, M., Lisa, G., Anghel, I., Şofran, I. E., and Trofin, A. 2020. Tailoring thermal and flame retardant properties via synergistic effect in polyvinyl alcohol nanocomposites based on polyphosphonate and/or SiO₂ nanoparticles. *Composites Part C: Open Access* 3: 100063.
- Hasan, R., Sumnu, G., Sahin, S., Oz, E., and Oz, F. 2023. The Effects of Citric Acid Crosslinking on Fabrication and Characterization of Gelatin/Curcumin-Based Electrospun Antioxidant Nanofibers. *Antioxidants* 12(7): 1387.
- Indrawati, C., Harsojuwono, B. A., and Hartiati, A. 2019. KARAKTERISTIK KOMPOSIT BIOPLASTIK GLUKOMANAN DAN MAIZENA DALAM PENGARUH VARIASI SUHU DAN WAKTU GELATINISASI. *JURNAL REKAYASA DAN MANAJEMEN AGROINDUSTRI* 7(3): 468-477.
- Ismayati, M., Fatah, N. A. N., Ernawati, E. E., Juliandri, Kusumaningrum, W. B.,

- Lubis, M. A. R., Fatriasari, W., Solihat, N. N., Sari, F. P., Halim, A., Cholilie, I. A., and Tobimatsu, Y. 2024. Antioxidant and UV-blocking activity of PVA/tannin-based bioplastics in food packaging application. *International Journal of Biological Macromolecules* 257: 128332.
- Jia, Q., and Long, X. 2020. On the determination of Young's modulus of film by nanoindentation. *2020 IEEE 22nd Electronics Packaging Technology Conference, EPTC 2020*, pp 228-232.
- Jia, Y., Hu, C., Shi, P., Xu, Q., Zhu, W., and Liu, R. 2020. Effects of cellulose nanofibrils/graphene oxide hybrid nanofiller in PVA nanocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules* 161: 223-230.
- Jiang, Q., Reddy, N., and Yang, Y. 2010. Cytocompatible cross-linking of electrospun zein fibers for the development of water-stable tissue engineering scaffolds. *Acta Biomaterialia* 6(10): 4042-4051.
- Jose, J., and Al-Harathi, M. A. 2017. Citric acid crosslinking of poly(vinyl alcohol)/starch/graphene nanocomposites for superior properties. *Iranian Polymer Journal (English Edition)* 26: 579-587.
- Jozanikohan, G., and Abarghoeei, M. N. 2022. The Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis for the clay mineralogy studies in a clastic reservoir. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology* 12(8): 2093-2106.
- Kinicki, A., and Fugate, M. 2018. *Organizational behavior: A practical, problem-solving approach*. McGraw Hill Education.
- Lavrič, G., Oberlintner, A., Filipova, I., Novak, U., Likozar, B., and Vrabič-Brodnjak, U. 2021. Functional nanocellulose, alginate and chitosan nanocomposites designed as active film packaging materials. *Polymers* 13(15): 2523.
- Lei, Y., Mao, L., Yao, J., and Zhu, H. 2021. Improved mechanical, antibacterial and UV barrier properties of catechol-functionalized chitosan/polyvinyl alcohol biodegradable composites for active food packaging. *Carbohydrate Polymers* 264: 117997.
- Li, P., Sirviö, J. A., Haapala, A., Khakalo, A., and Liimatainen, H. 2019. Antioxidative and UV-absorbing biohybrid film of cellulose nanofibrils and tannin extract. *Food Hydrocolloids* 92: 208-217.
- Li, Yang, Li, G. S., Liu, G. F., Kan, Y. M., and Wang, J. Q. 2014. Effect of preparation conditions on property of LDPE modified atmosphere packaging film of fruit and vegetable. *Applied Mechanics and Materials* 469: 135-139.
- Li, Yuan, Thouas, G. A., and Chen, Q.-Z. 2013. ChemInform Abstract:

Biodegradable Soft Elastomers: Synthesis/Properties of Materials and Fabrication of Scaffolds. *ChemInform* 2(22): 8229-8242.

- Liao, J., Li, J., Wang, H., Zhu, Y., Essawy, H., Du, G., and Zhou, X. 2022. Development of antioxidant packaging film based on chinese bayberry tannin extract and polyvinyl alcohol. *Journal of Renewable Materials* 10(1): 19.
- Liu, J., Dong, Y., Zheng, X., Pei, Y., and Tang, K. 2024. Citric acid crosslinked soluble soybean polysaccharide films for active food packaging applications. *Food Chemistry* 438: 138009.
- Liu, Y., Cai, Z., Sheng, L., Ma, M., Xu, Q., and Jin, Y. 2019. Structure-property of crosslinked chitosan/silica composite films modified by genipin and glutaraldehyde under alkaline conditions. *Carbohydrate Polymers* 215: 348-357.
- Lorenz, K., and Preston, C. M. 2002. Characterization of High-Tannin Fractions from Humus by Carbon-13 Cross-Polarization and Magic-Angle Spinning Nuclear Magnetic Resonance. *Journal of Environmental Quality* 31(2): 431-436.
- Lourenço, S. C., Moldão-Martins, M., and Alves, V. D. 2019. Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. In *Molecules* 24(22): 4132.
- Ma, Y., Xin, L., Tan, H., Fan, M., Li, J., Jia, Y., Ling, Z., Chen, Y., and Hu, X. 2017. Chitosan membrane dressings toughened by glycerol to load antibacterial drugs for wound healing. *Materials Science and Engineering C* 81: 522-531.
- Ma, Y. Z., Sobernheim, D., and Garzon, J. R. 2016. *Glossary for Unconventional Oil and Gas Resource Evaluation and Development*. In *Unconventional Oil and Gas Resources Handbook: Evaluation and Development*, pp. 513-526.
- Mappamadeng, A. H., and Amalia, R. 2022. Optimization and Characterization of Physical–Mechanical Properties of Biodegradable Edible Films Based on Pectin from Breadfruit Peel for Food Packaging. *Journal of Vocational Studies on Applied Research* 4(1); 1-6.
- Marsa, Y., Susanto, A. B., and Pramesti, R. 2023. Bioplastik dari Karagenan *Kappaphycus alvarezii* dengan Penambahan Carboxymethyl Chitosan dan Gliserol. *Buletin Oseanografi Marina* 12(1): 1-8.
- Matei, A., Puscas, C., Patrascu, I., Lehene, M., Ziebro, J., Scurtu, F., Baia, M., Porumb, D., Totos, R., and Silaghi-Dumitrescu, R. 2020. On the stability of glutaraldehyde in biocide compositions. *International Journal of Molecular Sciences* 21(9): 3372.

- Menzel, C. 2020. Improvement of starch films for food packaging through a three-principle approach: Antioxidants, cross-linking and reinforcement. *Carbohydrate Polymers* 250: 116828.
- Mina Grace Asoka, Gideon Orkwagh Abu, and Obioma Kenechukwu Agwa. 2021. A Kinetic model for submerged citric acid production by *Aspergillus versicolor* using oil palm empty fruit bunch. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences* 17(1): 033-040.
- Mirdayanti, R., Wirjosentono, B., and Marlianto, E. 2018. Analisis Edible Film dari Campuran Keratin dan Pati Jagung. *Jurnal Serambi Engineering* 3(2).
- Mirwald, J., Nura, D., and Hofko, B. 2022. Recommendations for handling bitumen prior to FTIR spectroscopy. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 55(2): 26.
- Mohamed, T. M., Sayed, A., and Mahmoud, G. A. 2023. Tuning of the properties of polyvinyl alcohol/ polyacrylamide film by phytic acid and gamma radiation crosslinking for food packaging applications. *Polymer-Plastics Technology and Materials* 62(7); 866-876.
- Mohammad Mahdi Dadfar, S., Kavooosi, G., and Mohammad Ali Dadfar, S. 2014. Investigation of mechanical properties, antibacterial features, and water vapor permeability of polyvinyl alcohol thin films reinforced by glutaraldehyde and multiwalled carbon nanotube. *Polymer Composites* 35(9): 1736-1743.
- Monteiro, V. A. C., da Silva, K. T., da Silva, L. R. R., Mattos, A. L. A., de Freitas, R. M., Mazzetto, S. E., Lomonaco, D., and Avelino, F. 2021. Selective acid precipitation of Kraft lignin: a tool for tailored biobased additives for enhancing PVA films properties for packaging applications. *Reactive and Functional Polymers* 166: 104980.
- Mutiari, S., Kasim, A., Emriadi, and Asben, A. 2019. Quality of Leather Using Vegetable Tannins Extract of Acacia Mangium Bark from Waste of Industrial Plantation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 327(1): 012012.
- Ncube, L. K., Ude, A. U., Ogunmuyiwa, E. N., Zulkifli, R., and Beas, I. N. 2020. Environmental impact of food packaging materials: A review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid based materials. In *Materials* 13(21): 4994.
- Nilsen-Nygaard, J., Fernández, E. N., Radusin, T., Rotabakk, B. T., Sarfraz, J., Sharmin, N., Sivertsvik, M., Sone, I., and Pettersen, M. K. 2021. Current status of biobased and biodegradable food packaging materials: Impact on food quality and effect of innovative processing technologies. In

Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 20(2): 1333-1380.

- Ningrum, R. S., Sondari, D., Purnomo, D., Amanda, P., Burhani, D., and Rodhibilah, F. I. 2021. Karakterisasi Edible Film Dari Pati Sagu Alami Dan Termodifikasi. *Jurnal Kimia Dan Kemasan* 43(2): 95-102.
- Norton, E. L., Sacks, G. L., and Talbert, J. N. 2020. Nonlinear behavior of protein and tannin in wine produced by cofermentation of an interspecific hybrid (*Vitis* spp.) and *vinifera* cultivar. *American Journal of Enology and Viticulture* 71(1): 26-32.
- Nurhabibah, S. A., and Kusumaningrum, W. B. 2021. Karakterisasi Bioplastik Dari K-Karagenan *Eucheuma Cottonii* Terplastisasi Berpenguat Nanoselulosa. *Jurnal Kimia Dan Kemasan* 43(2): 82-94.
- Okuda, T., and Ito, H. 2011. Tannins of constant structure in medicinal and food plants-hydrolyzable tannins and polyphenols related to tannins. *Molecules* 16(3): 2191-2217.
- Oliveira, A. L., de Freitas, A. de S. M., Rodrigues, J. S., do Carmo, K. P., Ferreira, M., and Botaro, V. R. 2023. Enhancement of UV-C irradiation protection of polystyrene matrix by tannin (*Acacia mearnsii* De Wild) additivation: Accelerated aging test. *Journal of Materials Research* 38(6): 1593-1608.
- Ounkaew, A., Kasemsiri, P., Kamwilaisak, K., Saengprachatanarug, K., Mongkolthananaruk, W., Souvanh, M., Pongsa, U., and Chindaprasirt, P. 2018. Polyvinyl Alcohol (PVA)/Starch Bioactive Packaging Film Enriched with Antioxidants from Spent Coffee Ground and Citric Acid. *Journal of Polymers and the Environment* 26: 3762-3772.
- PAKOLPAKÇIL, A. 2022. Effect of Glutaraldehyde Crosslinking Parameters on Mechanical and Wetting Properties of PVA/NaAlg Electrospun Mat. *Sakarya University Journal of Science* 26(5): 990-999.
- Pantelic, B., Ponjavic, M., Jankovic, V., Aleksic, I., Stevanovic, S., Murray, J., Fournet, M. B., and Nikodinovic-Runic, J. 2021. Upcycling biodegradable pva/starch film to a bacterial biopigment and biopolymer. *Polymers* 13(21): 3692.
- Paula Roberta Costalonga Pereira, Jean Carlos Vencioneck Dutra, Schirley Costalonga, Vanessa Silva Santos, Lucas Evangelista dos Santos, Maria Gabriela Pissinati Trindade, and Maria do Carmo Pimentel Batitucci. 2022. *Acacia mangium* Willd (Acácia) Extract Antioxidant and Antiproliferative Activities. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 10: 263-272.
- Peña, C., de la Caba, K., Eceiza, A., Ruseckaite, R., and Mondragon, I. 2010. Enhancing water repellence and mechanical properties of gelatin films by

- tannin addition. *Bioresource Technology* 101(17): 6836-6842.
- Peng, Y., Wu, Y., and Li, Y. 2013. Development of tea extracts and chitosan composite films for active packaging materials. *International Journal of Biological Macromolecules* 59: 282-289.
- Petrunina, E. A., Shapchenkova, O. A., and Loskutov, S. R. 2021. Physico-chemical parameters of siberian larch (*larix sibirica*) bark extracted with water-amino-alcoholic extractants. *Khimiya Rastitel'ного Syr'ya* 2: 103-107.
- Priya, B., Gupta, V. K., Pathania, D., and Singha, A. S. 2014. Synthesis, characterization and antibacterial activity of biodegradable starch/PVA composite films reinforced with cellulosic fibre. *Carbohydrate Polymers* 109: 171-179.
- Priyadarshi, R., Sauraj, Kumar, B., and Negi, Y. S. 2018. Chitosan film incorporated with citric acid and glycerol as an active packaging material for extension of green chilli shelf life. *Carbohydrate Polymers* 195: 329-338.
- Qoeroti, B., Pangastuti, A., and Susilowati, A. 2021. Application of edible film incorporated with portulaca oleracea extract to inhibit microbiological and oxidative damage in sausages. *Biodiversitas* 22(8).
- Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C., and Pouységu, L. 2011. Plant polyphenols: Chemical properties, biological activities, and synthesis. In *Angewandte Chemie - International Edition* 50(3): 586-621.
- Raja, P. B., Rahim, A. A., Qureshi, A. K., and Awang, K. 2014. Green synthesis of silver nanoparticles using tannins. *Materials Science- Poland* 32: 408-413.
- Rajput, S. P., and Thorat, B. N. 2022. Recovered polyvinyl alcohol as an alternative binder for the production of metallurgical quality coke breeze briquettes. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*.
- Ridlo, A., Sedjati, S., Supriyantini, E., and Zanjabila, D. A. 2023. Pengembangan Dan Karakterisasi Bioplastik Karagenan-Alginat-Gliserol Dengan Perlakuan Kalsium Klorida. *Buletin Oseanografi Marina* 12(1): 43-53.
- Riyanta, A. B., Riyanto, S., Lukitaningsih, E., and Rohman, A. 2021. Analysis of candlenut oil as oil adulterant in three functional oils of soybean oil, sunflower oil and grapeseed oil in quaternary mixture systems using FTIR spectroscopy and chemometrics. *Food Research*.
- Sajjan, A. M., Naik, M. L., Kulkarni, A. S., Fazal-E-Habiba Rudgi, U., M, A., Shirnalli, G. G., A, S., and Kalahal, P. B. 2020. Preparation and characterization of PVA-Ge/PEG-400 biodegradable plastic blend films for packaging applications. *Chemical Data Collections* 26: 100338.

- Salman, S. A., and Bakr, N. A. 2018. Section C: Physical Sciences DSC and TGA Properties of PVA Films Filled with Na₂S₂O₃·5H₂O Salt. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences* 8: 001-011.
- Samanta, A., Wang, Q., Shaw, S. K., and Ding, H. 2020. Roles of chemistry modification for laser textured metal alloys to achieve extreme surface wetting behaviors. In *Materials and Design* 192: 108744.
- Sani, M. A., Azizi-Lalabadi, M., Tavassoli, M., Mohammadi, K., and McClements, D. J. 2021. Recent advances in the development of smart and active biodegradable packaging materials. In *Nanomaterials* 11(5): 1331.
- Sarwar, M. S., Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Ahmad, T., and Hussain, A. 2018. Preparation and characterization of PVA/nanocellulose/Ag nanocomposite films for antimicrobial food packaging. *Carbohydrate Polymers* 184: 453-464.
- Shao, H., Zhang, Y., Pan, H., Jiang, Y., Qi, J., Xiao, H., Zhang, S., Lin, T., Tu, L., and Xie, J. 2022. Preparation of flexible and UV-blocking films from lignin-containing cellulose incorporated with tea polyphenol/citric acid. *International Journal of Biological Macromolecules* 207: 917-926.
- Shi, R., Bi, J., Zhang, Z., Zhu, A., Chen, D., Zhou, X., Zhang, L., and Tian, W. 2008. The effect of citric acid on the structural properties and cytotoxicity of the polyvinyl alcohol/starch films when molding at high temperature 74(4): 763-770.
- Si Heung Sung. 2012. Antibacterial and antioxidant activities of tannins extracted from agricultural by-products. *Journal of Medicinal Plants Research* 6(15): 3072-3079.
- Sirait, M. S., Warsiki, E., and Setyaningsih, D. 2021. Potential of red fruit oil (*Pandanus conoideus* Lam.) as an antioxidant active packaging: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 74(1): 012008.
- Spiridon, I., Anghel, N., Dinu, M. V., Vlad, S., Bele, A., Ciubotaru, B. I., Verestiuc, L., and Pamfil, D. 2020. Development and performance of bioactive compounds-loaded cellulose/collagen/ polyurethane materials. *Polymers* 12(5): 1191.
- Štumpf, S., Hostnik, G., Primožič, M., Leitgeb, M., Salminen, J. P., and Bren, U. 2020. The effect of growth medium strength on minimum inhibitory concentrations of tannins and tannin extracts against *E. coli*. *Molecules* 25(12): 2947.
- Sweta V. Lende, Heera Karemore, and Milind J. Umekar. 2021. Review on production of citric acid by fermentation technology. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences* 17(3): 085-093.

- Syamani, F. A., Kusumaningrum, W. B., Akbar, F., Ismadi, Widyaningrum, B. A., and Pramasari, D. A. 2020. Characteristics of bioplastic made from modified cassava starch with addition of polyvinyl alcohol. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 591(1): 012016.
- Szabo, K., Teleky, B. E., Mitrea, L., Călinoiu, L. F., Martău, G. A., Simon, E., Varvara, R. A., and Vodnar, D. C. 2020. Active packaging-poly (vinyl alcohol) films enriched with tomato by-products extract. *Coatings* 10(2): 141.
- Tanpong, S., Cherdthong, A., Tengjaroenkul, B., Tengjaroenkul, U., and Wongtangintharn, S. 2019. Evaluation of physical and chemical properties of citric acid industrial waste. *Tropical Animal Health and Production* 51: 2167-2174.
- Tatulian, S. A. 2019. FTIR Analysis of Proteins and Protein–Membrane Interactions. In *Methods in Molecular Biology*, pp 281-325.
- Thomas, S., Thomas, R., Zachariah, A. K., and Mishra, R. K. 2017. Thermal and Rheological Measurement Techniques for Nanomaterials Characterization. In *Thermal and Rheological Measurement Techniques for Nanomaterials Characterization* Vol. 3.
- Todhanakasem, T., Jaiprayat, C., Sroysuwan, T., Suksermsakul, S., Suwapanich, R., Maleenont, K. K., Koombhongse, P., and Young, B. M. 2022. Active Thermoplastic Starch Film with Watermelon Rind Extract for Future Biodegradable Food Packaging. *Polymers* 14(16): 3232.
- Uranga, J., Puertas, A. I., Etxabide, A., Dueñas, M. T., Guerrero, P., and de la Caba, K. 2019. Citric acid-incorporated fish gelatin/chitosan composite films. *Food Hydrocolloids* 86:95-103.
- Uranga, Jone, Nguyen, B. T., Si, T. T., Guerrero, P., and De la Caba, K. 2020. The effect of cross-linking with citric acid on the properties of agar/fish gelatin films. *Polymers* 12(2): 291.
- Utomo, P., Nizardo, N. M., and Saepudin, E. 2020. Crosslink modification of tapioca starch with citric acid as a functional food. *AIP Conference Proceedings* 2242(1).
- Valizadeh, S., Naseri, M., Babaei, S., Hosseini, S. M. H., and Imani, A. 2019. Development of bioactive composite films from chitosan and carboxymethyl cellulose using glutaraldehyde, cinnamon essential oil and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules* 134:604-612.
- Vikram, A., Bomberger, J. M., and Bibby, K. J. 2015. Efflux as a glutaraldehyde resistance mechanism in *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas*

- aeruginosa biofilms. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 59(6): 3433-3440.
- Wang, C., An, X., Lu, Y., Li, Z., Gao, Z., and Tian, S. 2022. Biodegradable Active Packaging Material Containing Grape Seed Ethanol Extract and Corn Starch/ κ -Carrageenan Composite Film. *Polymers* 14(22): 4857.
- Wang, X., Huang, Z., Niu, Z., Chen, F., and Liu, C. 2022. Glutaraldehyde Crosslinked High Content of Amylose/Polyvinyl Alcohol Blend Films with Potent Tensile strength and Young's Modulus. *Polymers* 14(24): 5550.
- Wang, Y., Li, T., Ma, P., Bai, H., Xie, Y., Chen, M., and Dong, W. 2016. Simultaneous Enhancements of UV-Shielding Properties and Photostability of Poly(vinyl alcohol) via Incorporation of Sepia Eumelanin. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 4(4): 2252-2258.
- Wehantouw, F., and Roreng, M. K. 2021. PENGARUH FOTOOKSIDASI TERHADAP AKTIVITAS ANTIOKSIDAN VIRGIN COCONUT OIL. *CHEMISTRY PROGRESS* 14(2): 124-130.
- Wen, H., Hsu, Y. I., Asoh, T. A., and Uyama, H. 2020. Antioxidant activity and physical properties of pH-sensitive biocomposite using poly(vinyl alcohol) incorporated with green tea extract. *Polymer Degradation and Stability* 178: 109215.
- Wen, L., Liang, Y., Lin, Z., Xie, D., Zheng, Z., Xu, C., and Lin, B. 2021. Design of multifunctional food packaging films based on carboxymethyl chitosan/polyvinyl alcohol crosslinked network by using citric acid as crosslinker 230: 124048.
- Williams, H. 2022. Measuring Young's modulus with a tensile tester. *Physics Education* 57(2).
- Williams, J. K., Yoo, J. J., and Atala, A. 2018. Regenerative Medicine Approaches for Tissue Engineered Heart Valves. In *Principles of Regenerative Medicine*, pp 1041-1058.
- Wu, L., Wang, L., and Wang, J. 2021. Measuring the fracture toughness of low-k thin films used in advanced packaging. *2021 IEEE International Conference on Integrated Circuits, Technologies and Applications, ICTA 2021*, pp 131-132.
- Wulandari, A., Waluyo, S., and Novita, D. 2013. Prediksi umur simpan kerupuk kemplang dalam kemasan plastik polipropilen beberapa ketebalan. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* 2(2): 105-114.
- Wulandhari, R., Susilowati, I. H., and Herespatiagni, R. 2022. Evaluation of Chemical Glove Permeation Breakthrough Time on Biocide Glutaraldehyde

- Injection at PT. X Upstream Oil and Gas Production Facility. *Journal of Medical and Health Studies* 32(2): 49-56.
- Yang, L., Du, X., Qiang, Q., Zhao, T., Zhu, P., Zhang, C., and Wang, N. 2022. Effect of surface silanol density of silica fillers on the performance of packaging materials. *2022 23rd International Conference on Electronic Packaging Technology, ICEPT 2022*, pp 1-4.
- Yang, W., Qi, G., Kenny, J. M., Puglia, D., and Ma, P. 2020. Effect of cellulose nanocrystals and lignin nanoparticles on mechanical, antioxidant and water vapour barrier properties of glutaraldehyde crosslinked PVA films. *Polymers* 12(6): 1364.
- Yu, D., Feng, Y. Y., Xu, J. X., Kong, B. H., Liu, Q., and Wang, H. 2021. Fabrication, characterization, and antibacterial properties of citric acid crosslinked PVA electrospun microfibre mats for active food packaging. *Packaging Technology and Science* 34(6): 361-370.
- Zhai, Y., Wang, J., Wang, H., Song, T., Hu, W., and Li, S. 2018. Preparation and characterization of antioxidative and UV-protective larch bark tannin/PVA composite membranes. *Molecules* 23(8): 2073.
- Zhang, Z., Zhou, X., Fang, C., and Wang, D. 2022. Characterization of the Antimicrobial Edible Film Based on Grasshopper Protein/Soy Protein Isolate/Cinnamaldehyde Blend Crosslinked With Xylose. *Frontiers in Nutrition* 9: 796356.
- Zhao, T., and Jiang, L. 2018. Contact angle measurement of natural materials. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 161: 324-330.