



Potensi *Food Packaging* Bioplastik dari Pektin dan Ekstrak Kulit Buah Jeruk (*Citrus Sp.*)

Irul Hidayati, Funsu Andiarna, Eva Agustina*

Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Corresponding Author: eva_agustina@uinsa.ac.id

Article Information

DOI

10.33830/fsj.v5i1.10691.2025

Kata Kunci:

Bioplastik, Ekstrak, Gliserol, Kitosan, Pektin

Abstrak

Bioplastik berbasis bahan alam semakin menarik perhatian sebagai alternatif pengganti plastik konvensional, terutama dalam bidang pengemasan makanan, karena sifatnya yang lebih ramah lingkungan dan mudah terurai. Namun, tantangan dalam pengembangan bioplastik adalah menghasilkan produk yang memiliki sifat mekanik dan fungsional yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi bioplastik berbahan dasar pektin dengan tambahan ekstrak kulit buah jeruk (*Citrus sp.*) sebagai material *food packaging* yang aman dan berkualitas. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan **Rancangan Acak Lengkap (RAL)** yang terdiri atas tiga perlakuan variasi konsentrasi pektin (1%, 3%, dan 5%) serta penambahan ekstrak kulit buah jeruk (*Citrus sp.*) sebagai substituen alami. Bioplastik yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi melalui pengujian sifat mekanik seperti uji kadar air, kuat tarik, persen elongasi, dan modulus Young. Data dianalisis menggunakan Kruskal Wallis dan uji lanjut Mann Whitney pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bioplastik yang dihasilkan berupa lembaran tipis berwarna bening kekuningan. Nilai kadar air untuk konsentrasi pektin 1%, 3%, dan 5% masing-masing adalah 0,9%, 1,7% dan 3%. Nilai kuat tarik berturut-turut adalah 0; 1,106; dan 0,9 MPa. Elongasi berturut-turut adalah 0; 1,8; dan 0,49%. Sementara itu, modulus Young tertinggi tercatat pada pektin 3% sebesar 1,84 MPa, menurun pada pektin 5% menjadi 0,97 MPa. Berdasarkan data tersebut, bioplastik dengan konsentrasi pektin 3% menunjukkan keseimbangan terbaik antara kekuatan dan elastisitas, menjadikannya paling potensial untuk digunakan sebagai bahan kemasan makanan seperti sosis yang aman untuk dikonsumsi.

Keywords:

Bioplastic, Extract, Glycerol,
Chitosan, Pectin

Abstract

Bioplastics made from natural materials had gained increasing attention as an alternative to conventional plastics, especially in the field of food packaging, due to their more environmentally friendly and biodegradable nature. However, one of the challenges in bioplastic development was producing materials with good mechanical and functional properties. This study aimed to evaluate the potential of bioplastics based on pectin with the addition of citrus peel extract (*Citrus sp.*) as a safe and high-quality food packaging material. This study used an experimental method with a Complete Random Design (RAL) consisting of three treatments of pectin concentration variations (1%, 3%, and 5%) and the addition of citrus peel extract (*Citrus sp.*) as a natural substituent. The resulting bioplastics were then characterized through mechanical property testing, including moisture content, tensile strength, elongation percentage, and Young's modulus. The data were analyzed using Kruskal Wallis and Mann Whitney's follow-up test at the level of 5%. The results showed that the bioplastics formed thin, translucent yellowish sheets. The moisture content values for 1%, 3%, and 5% pectin concentrations were 0.9%, 1.7%, and 3%, respectively. The tensile strength values were 0; 1.106; and 0.9 MPa, while the elongation percentages were 0; 1.8%; and 0.49%, respectively. The highest Young's modulus was recorded at 3% pectin with a value of 1.84 MPa, which decreased to 0.97 MPa at 5% pectin. Based on these results, bioplastics with a 3% pectin concentration demonstrated the best balance between strength and elasticity, making them the most promising for use as food packaging materials, such as sausage casings that are safe for consumption.

This journal is licensed under a Creative Commons
Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



PENDAHULUAN

Indonesia masih dianggap sebagai negara penyumbang sampah plastik terbesar kedua di dunia, setelah Tiongkok (Apriadi *et al.*, 2024). Berdasarkan Statistik Persampahan Indonesia Tahun 2021, total timbunan sampah di Indonesia mencapai 23 juta ton per tahun. Dari jumlah tersebut, sekitar 8 juta ton merupakan sampah yang tidak tertangani dengan baik. Pada tahun yang sama, tingkat penanganan sampah di Indonesia baru mencapai 48%. Jenis sampah plastik menduduki peringkat kedua tertinggi dalam hal proporsi, dimana sekitar 18% dari total sampah dibuang ke lingkungan (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), 2023).

Plastik merupakan salah satu jenis wadah yang umum digunakan dalam industri makanan. Plastik pada umumnya bersifat *non-biodegradable*, sehingga berpotensi mencemari lingkungan dan produk yang diwadahi. Hal ini disebabkan oleh komposisi plastik yang terbentuk melalui proses polimerisasi sintetik atau semi sintetik dari bahan kimia seperti hidrogen, klorin, belerang, dan nitrogen. Komponen dasar plastik juga melibatkan minyak dan gas alam (Sari, 2017). Oleh karena itu, salah satu pendekatan untuk mengurangi dampak negatif plastik terhadap lingkungan adalah dengan menggantikan kemasan plastik sintetik dengan bahan-bahan yang dapat terdegradasi secara alami dan ramah lingkungan, termasuk di dalamnya adalah Bioplastik.

Bioplastik memiliki berbagai kegunaan dalam kemasan makanan, termasuk memperpanjang umur simpan makanan produk dan mengurangi sampah plastik, karena bioplastik dapat dikonsumsi bersama makanan. Saat ini, penggunaan film dan pelapis yang dapat dimakan menjadi menarik karena berkurangnya penggunaan film sintesis dan dampak lingkungan. Namun, keamanan bioplastik yang dikonsumsi bersama produk adalah hal yang paling penting diutamakan (Bourtoom, 2009). Hal ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan (He *et al.*, 2023) yang menyatakan bahwa Film *biodegradable* yang diperkaya dengan antioksidan alami dan agen

antimikroba terbukti efektif dalam memperpanjang masa simpan makanan dan mencegah kontaminasi mikroba. Bahan aktif seperti ekstrak tanaman, minyak atsiri, dan nanopartikel logam menunjukkan aktivitas biologis yang signifikan terhadap patogen pangan.

Bioplastik adalah lapisan tipis yang terbuat dari bahan yang dapat dikonsumsi, ditempatkan di antara komponen makanan, atau digunakan sebagai penghalang untuk mengatur perpindahan massa seperti kelembaban, oksigen, lipid dan zat terlarut. Bioplastik juga berperan sebagai penghantar bahan makanan (Polnaya *et al.*, 2016). Berbagai bahan baku yang umumnya digunakan dalam pembuatan bioplastik meliputi polimer alami dan bahan seperti pati, gelatin, kitosan, dan protein (Homez-Jara *et al.*, 2018). Selain tepung pati, pektin juga dapat digunakan sumber polisakarida dalam pembuatan bioplastik. Bahan dari pati cenderung menghasilkan persen elongasi yang rendah. Sementara itu, pektin menghasilkan tingkat pemanjangan (elongasi) dan tingkat degradasi yang tinggi. Konsentrasi pektin memiliki dampak signifikan terhadap karakteristik dari bioplastik yang dihasilkan (Said *et al.*, 2024).

Penambahan kulit jeruk dalam pembuatan bioplastik bukan ditujukan untuk meningkatkan kandungan gizi, melainkan untuk meningkatkan fungsionalitas material bioplastik itu sendiri. Kulit jeruk kaya akan pektin, suatu polisakarida yang berperan sebagai agen pembentuk gel, sehingga dapat memperbaiki sifat mekanik dan fisik bioplastik. Dalam penelitian oleh (Sholekhawati & Sedyadi, 2020), penambahan pektin dari kulit jeruk bali pada bioplastik berbasis pati garut meningkatkan ketebalan dan elongasi, meskipun menurunkan kuat tarik dan Modulus Young. Hal ini menunjukkan bahwa pektin dari kulit jeruk dapat mempengaruhi sifat mekanik bioplastik. Berdasarkan pemaparan di atas perlu dilakukan penelitian tentang sintesis dan karakterisasi bioplastik dari pektin dengan substituen ekstrak kulit buah jeruk (*Citrus sp.*).

METODE

Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian **eksperimental** yang bertujuan untuk mengetahui potensi bioplastik berbahan dasar pektin dengan penambahan ekstrak kulit buah jeruk (*Citrus sp.*) sebagai substituen alami dalam aplikasi food packaging. Desain penelitian yang digunakan adalah **Rancangan Acak Lengkap (RAL)** dengan satu faktor perlakuan, yaitu **variasi konsentrasi pektin** yang terdiri atas tiga taraf: 1%, 3%, dan 5%. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali, sehingga terdapat total sembilan satuan percobaan.

Proses sintesis bioplastik dilakukan melalui metode pencampuran dan pemanasan, dengan mencampurkan pektin pada konsentrasi yang telah ditentukan ke dalam larutan pelarut, disertai penambahan ekstrak kulit jeruk sebagai agen bioaktif alami. Campuran kemudian dipanaskan dan diaduk hingga homogen, dituangkan ke dalam cetakan, dan dikeringkan hingga terbentuk lembaran bioplastik.

Setelah proses sintesis selesai, bioplastik yang dihasilkan diuji karakteristik fisiknya, yang meliputi daya serap, uji kuat tarik, elongasi, dan modulus young. Data hasil pengamatan dianalisis secara statistik menggunakan analisis kruskal wallis untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap masing-masing parameter. Apabila terdapat perbedaan yang signifikan, maka dilanjutkan dengan uji lanjut mann whitney pada taraf signifikansi 5%.

Penggunaan Rancangan Acak Lengkap dalam penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan bias dan memastikan bahwa setiap satuan percobaan memiliki peluang yang sama dalam menerima perlakuan, sehingga hasil yang diperoleh dapat diinterpretasikan secara valid dan obyektif. Pada penelitian ini variabel bebas adalah variasi pektin kulit buah jeruk, kemudian uji daya serap air

dan uji mekanik seperti uji kuat tarik, elongasi, dan modulus young yang merupakan variabel terikat.

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi blender, ayakan, timbangan analitik, oven, corong *buchner*, loyang, kertas saring, pengaduk, *magnetic stirrer*, erlenmeyer, gelas *beaker*, *hot plate*, cetakan Bioplastik, baskom, rotary evaporator, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) *Agilent Cary 630* dan *Universal Testing Machine* (UTM).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pektin kulit jeruk komersial diperoleh dari toko Indonesia Organic Butter, kulit jeruk, HCl Pa Merck, etanol 96% pro analysis, indikator PP Merck, NaOH Pa Merck, kitosan Sigma Aldirch, gliserol dan aquadest.

Karakterisasi Pektin Kulit Jeruk

Uji Gugus Fungsi Pektin

Sampel pektin dikarakterisasi dengan instrument spektrofotometer FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dari senyawa yang terkandung. Perangkat instrument FTIR dinyalakan dan serbuk pektin diletakkan sampai menutupi seluruh holder FTIR. Spektra hasil FTIR dianalisis lebih lanjut dengan membandingkan bilangan gelombang sampel dengan standar spektra FTIR. Petunjuk uji sesuai dengan prosedur penggunaan instrumen (FTIR) *Agilent Cary 630*.

Uji Kadar Air

Sebanyak 1gram sampel pektin dimasukkan ke dalam krus yang beratnya telah ditimbang terlebih dahulu. Selanjutnya, sampel tersebut dimasukkan oven dengan suhu 105°C selama periode 1 jam. Setelah proses pemanasan selesai, sampel diambil dari oven dan didinginkan dalam desikator. Sampel tersebut kemudian ditimbang kembali secara berkala hingga mencapai berat yang konstan (Pardede *et al.*, 2013).

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Berat zat awal (g)} - \text{Berat zat konstan}}{\text{Berat zat awal (g)}} \times 100\% \quad (1)$$

Uji Kadar Abu

Pektin sebanyak 1gram dimasukkan ke dalam krus yang beratnya konstan dan kemudian ditempatkan di dalam muffle furnace pada suhu 600°C selama 3 jam. Setelah itu, sampel diletakkan dalam desikator selama satu jam dan di timbang sampai mencapai berat konstan (Pardede *et al.*, 2013).

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{Berat abu}}{\text{Berat pektin}} \times 100\% \quad (2)$$

Penentuan Berat Ekuivalen Pektin

Penentuan hasil berat ekuivalen pektin kulit buah jeruk ditentukan melalui metode titrasi asam basa. Sebanyak 0,5gram sampel pektin dicampur dengan 5 mL etanol 96% dan dilarutkan dalam 100 mL aquadest yang mengandung 1gram NaCl. Larutan ini kemudian dititrasi dengan larutan

NaOH 0,1 N menggunakan indikator phenolptalein 1 %. Titration dihentikan saat warna larutan berubah menjadi merah muda (pH 7,5) (Febriyanti *et al.*, 2018).

$$\text{Berat ekuivalen} = \frac{\text{Bobot pektin dalam mg}}{(\text{Volume NaOH} \times \text{Konsentrasi NaOH})} \quad (3)$$

Penetapan Kandungan Metoksil Pektin

Larutan netral yang digunakan dalam penentuan berat ekuivalen diencerkan dengan menambahkan NaOH 0,25 N sebanyak 25 mL. Larutan ini kemudian diaduk secara merata dan dibiarkan selama sekitar 30 menit pada suhu ruang dengan penutup tertutup. Setelah itu, HCl 0,25 N ditambahkan sebanyak 25 mL ke dalam larutan. Selanjutnya, dilakukan titrasi menggunakan larutan NaOH 0,1 N dengan menggunakan indikator fenolftalein 1%. Titrasi dihentikan ketika warna larutan berubah menjadi merah muda, menunjukkan pH 7,5 (Febriyanti *et al.*, 2018).

$$\text{Kadar Metoksil (\%)} = \frac{\text{Volume NaOH} \times 31 \times \text{Konsentrasi NaOH}}{\text{Bobot Pektin dalam mg}} \times 100\% \quad (4)$$

Penentuan Kadar Galakturonat Pektin

Penentuan kadar galakturonat pektin dilakukan dengan menghitung nilai mili-ekuivalen (mEq) NaOH yang diperoleh dari penentuan berat ekuivalen (BE) dan kandungan metoksil dalam sampel pektin (Febriyanti *et al.*, 2018).

$$\text{KAG (\%)} = \frac{176 \times 0,1z \times 100}{\text{massa sampel (mg)}} + \frac{31 \times 0,1y \times 100}{\text{massa sampel (mg)}} \quad (5)$$

Keterangan:

z = volume larutan mL NaOH yang digunakan dalam penentuan berat ekuivalen (mL).

y = volume larutan NaOH yang digunakan dalam penentuan kadar metoksil (mL)

31 = nilai bobot molekul metoksil

176 = nilai bobot molekul galakturonat

KAG = Kadar Asam Galakturonat (%)

Penentuan Derajat Esterifikasi Pektin

Derajat esterifikasi pada pektin kulit buah jeruk dihitung berdasarkan kadar metoksil dan kadar asam galakturonat yang telah diukur (Febriyanti *et al.*, 2018). Ini dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Derajat Esterifikasi (\%)} = \frac{\% \text{ metoksil} \times 176}{\% \text{ galakturonat} \times 31} \times 100\% \quad (6)$$

Ekstraksi Kulit Jeruk

Kulit jeruk diekstraksi menggunakan metode maserasi dengan menggunakan pelarut etanol 96%. Proses persiapan dimulai dengan mencuci bersih kulit jeruk dan memotongnya menjadi potongan kecil. Selanjutnya, kulit jeruk dikeringkan dalam oven pada suhu 55°C hingga mencapai tingkat kekeringan yang diinginkan. Setelah kulit jeruk kering, dilakukan penghalusan untuk menghasilkan serbuk kulit jeruk yang halus. Serbuk kulit jeruk dimaserasi dengan pelarut etanol

selama 2x24 jam. Hasil maserasi disaring, filtrat disimpan sedangkan residunya diremaserasi lagi sampai larutan bening. Filtrat yang telah diperoleh dikumpulkan dan kemudian dipekatkan menggunakan alat rotary evaporator. Hasil dari proses penyarian ini adalah ekstrak pekat dari kulit jeruk yang telah diekstraksi dengan pelarut etanol.

Pembuatan Bioplastik

Proses pembuatan Bioplastik dengan cara melarutkan pektin dengan beberapa variasi konsentrasi (1%, 3%, 5% b/v) pada 100 mL aquades. Campuran yang diperoleh dipanaskan dan diaduk pada suhu 60°C selama 3 menit menggunakan *hot plate* yang dilengkapi dengan *magnetic stirrer*. Selama proses ini, campuran diaduk secara magnetik untuk memastikan homogenitas. Di sisi lain, kitosan dilarutkan menggunakan asam asetat 1% sebanyak 100 mL. Larutan kitosan ini kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 20 menit hingga mencapai keadaan homogen. Larutan kitosan 100 mL kemudian diicampur dengan gliserin 10% (v/v). Proses pengenceran gliserol dengan menggunakan pelarut akuades. Sebanyak 50 mL campuran kitosan dan gliserin kemudian dicampurkan dan dihomogenkan. Setelahnya, ekstrak kulit jeruk ditambahkan ke dalam campuran dan diaduk hingga mencapai keadaan homogen selama sekitar 5 menit pada suhu 80°C. Larutan Bioplastik yang telah terbentuk kemudian dituangkan ke dalam cetakan plat atau cetakan resin. Selanjutnya, larutan ini dikeringkan dalam oven selama 12-24 jam dengan suhu yang diatur pada 60°C.

Pengujian Bioplastik Pektin

Uji Daya Serap Air

Sampel Bioplastik ditimbang untuk mengetahui berat awalnya. Setelah itu, sampel direndam dalam air suling (aquadest) selama 30 menit. Setelah proses perendaman selesai, sampel diangkat dan ditimbang kembali untuk mendapatkan berat akhirnya (Muryeti, 2024).

$$A = \frac{W1 - W0}{W0} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan :

A = penyerapan air dalam persentase (%).

W1 = adalah berat akhir sampel setelah direndam (gram).

W0 = adalah berat awal sampel sebelum direndam (gram).

Uji Kuat Tarik

Pada penelitian ini, uji kuat tarik dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) dan mengacu pada standar ASTM D882. Hasil dari uji kuat tarik ini akan memberikan informasi mengenai seberapa kuat atau tahan sampel *Bioplastik* terhadap gaya tarik yang diberikan (Muryeti, 2024).

$$\text{Kuat tarik } (\sigma) = \frac{F_{\text{maks}}}{A} \quad (8)$$

Keterangan :

σ adalah tegangan tarik dalam Megapascal (MPa).

F adalah gaya tarik dalam Newton (N).

A adalah luas penampang melintang dalam milimeter persegi (mm²).

Elongasi

Pengukuran persentase elongasi dilakukan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) dengan mengacu pada standar ASTM D882. Persentase elongasi dihitung berdasarkan pertambahan panjang sampel dibandingkan dengan panjang awal sebelum terputus (Rhim & Wang, 2013).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (9)$$

Keterangan :

ε = elongasi (%)

ΔL = (L-L₀) pertambahan panjang (nm)

L_0 = panjang mula-mula (nm)

Modulus Young

Modulus Young atau elastisitas suatu Bioplastik diketahui dari perbandingan antara tegangan dan renggangan (Lailyningtyas *et al.*, 2020).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (10)$$

Keterangan :

σ = tegangan

ε = renggangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Pektin

Pektin hasil isolasi yang diperoleh dari toko Indonesia Organic Butter dikarakterisasi dengan tujuan untuk melihat apakah pektin yang dihasilkan memiliki kesesuaian dengan standar yang berlaku. Karakterisasi kadar air pektin hasil penelitian sebesar 13%. Uji kadar air tersebut melebihi batas maksimal yang telah ditetapkan oleh IPPA (*International Pectin Producers Association*) pada tahun 2023, yaitu maksimal 12% untuk standar kelayakan pektin (IPPA, 2024). Pengeringan yang tidak maksimal menjadi salah satu faktor tingginya kadar air. Selain itu wadah penyimpanan pektin juga mempengaruhi kadar air. Tingginya kadar air pada pektin yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor penyimpanan. Penggunaan wadah yang tidak kedap udara dan kondisi tempat penyimpanan yang lembab dapat menjadi penyebab meningkatnya kadar air dalam pektin.

Kadar air juga sebanding dengan konsentrasi etanol dan lama pengendapan. Seiring bertambahnya waktu pengendapan menyebabkan kadar air yang dihasilkan mengalami peningkatan (Nantika, 2022). Etanol dapat mendehidrasi pektin sehingga koloid tidak stabil dan pektin mengalami koagulasi. Selain itu pada saat proses pengeringan pektin juga akan mempengaruhi kadar air. Suhu pengeringan pektin pada penelitian ini yakni 50°C. Penggunaan suhu pengeringan yang tidak terlalu tinggi bertujuan untuk meminimalisir terjadinya degradasi pada pektin (Hanum *et al.*, 2012).

Karakterisasi pektin selanjutnya dilakukan dengan mengukur kadar abu. Kadar abu merupakan parameter kualitatif yang mengindikasikan jumlah komponen anorganik yang tersisa dalam pektin setelah proses pembakaran (Arimpi & Pandia, 2019). Proses pembakaran pada suhu tinggi digunakan untuk menghilangkan komponen organik, seperti karbon dioksida dan alkali, dari

senyawa karbonat (Purnama *et al.*, 2015). Abu dalam pektin merupakan komponen anorganik yang tersisa setelah pembakaran. Komponen ini berasal dari residu atau sisa pembakaran bahan organik (Nurviani *et al.*, 2014). Pengujian kadar abu tidak hanya mengukur kandungan mineral, tetapi juga mengindikasikan tingkat kemurnian pektin. Semakin rendah kadar abu, semakin tinggi tingkat kemurnian pektin (Roikah *et al.*, 2016). Hasil analisis kadar abu dalam penelitian ini menunjukkan kadar sebesar 7,74%. Standar kadar abu yang ditetapkan oleh IPPA pada tahun 2023 adalah maksimal 10%. Dengan demikian, kadar abu pektin dalam penelitian ini memenuhi standar yang ditetapkan oleh IPPA. Uji kadar abu pektin bertujuan untuk mengukur kadar residu bahan anorganik yang terkandung dalam sampel (Sulihono *et al.*, 2012). Komponen anorganik ini dapat berupa unsur seperti kalsium dan magnesium yang terhidrolisis bersama protopektin. Proses analisis kadar abu memberikan informasi penting mengenai kemurnian dan kualitas pektin yang dihasilkan, serta sejauh mana pektin tersebut memenuhi standar yang berlaku.

Senyawa pektin tersusun dari asam poligalakturonat. Kadar galakturonat dalam pektin memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan sifat fungsional dari larutan pektin. Penelitian yang dilakukan oleh (Tuhuloula *et al.*, 2013) menunjukkan bahwa asam galakturonat memainkan peran penting dalam membentuk struktur gel pektin. Penelitian lain yang dilakukan oleh (Chasanah *et al.*, 2019) juga mengonfirmasi bahwa semakin tinggi kadar asam galakturonat dalam pektin, semakin tinggi pula kualitas pektin tersebut.

Kandungan galakturonat menjadi parameter untuk mengukur kemurnian sampel terhadap bahan organik netral. Salah satu contoh bahan organik netral adalah polisakarida seperti arabinosa, galaktosa, dan gula-gula lainnya. Kandungan galakturonat digunakan sebagai indikator kemurnian pektin sesuai dengan standar minimal sebesar 65% (IPPA, 2024). Estimasi kadar asam galakturonat sangat penting untuk menentukan tingkat kemurnian, derajat esterifikasi, serta mengevaluasi sifat fisik pektin (Picauly & Tetelepta, 2020). Dalam penelitian ini, kadar asam galakturonat dalam pektin tercatat sebesar 9,488%. Menurut (Nurviani *et al.*, 2014), kandungan asam galakturonat memiliki hubungan sejajar dengan kualitas pektin. Hasil penelitian menunjukkan kadar asam galakturonat lebih rendah dari standar hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah metode ekstraksi sumber bahan baku, dan kondisi proses. Metode ekstraksi pektin dapat mempengaruhi kadar GalA yang dihasilkan. Ekstraksi menggunakan asam sitrat pada pH rendah dapat meningkatkan kadar asam galakturonat, sedangkan ekstraksi pada pH tinggi atau suhu tinggi dapat menyebabkan degradasi GalA. Penelitian oleh (Sengkhampan *et al.*, 2019) menunjukkan bahwa ekstraksi pada pH rendah dan suhu tinggi menghasilkan pektin dengan kadar GalA yang lebih tinggi. Sebaliknya, (Denman & Morris, 2015) melaporkan bahwa pH awal yang lebih tinggi dapat menurunkan kadar GalA dalam pektin. Menurut (Nurviani *et al.*, 2014), kandungan asam galakturonat memiliki hubungan sejajar dengan kualitas pektin. Kadar asam galakturonat tinggi menunjukkan pektin dengan kualitas tinggi sehingga mampu membentuk gel kuat, sedangkan kadar asam galakturonat rendah kurang efektif sebagai agen pembentuk gel.

Derajat esterifikasi adalah metode analisis kuantitatif yang digunakan untuk mengukur persentase jumlah residu asam D-galakturonat yang mengalami esterifikasi dengan gugus karboksilnya oleh etanol (Latupeirissa *et al.*, 2019). Esterifikasi adalah reaksi yang bertujuan membentuk senyawa ester melalui prekursor dan mekanisme tertentu. Umumnya, reaksi esterifikasi banyak diaplikasikan dalam berbagai industri seperti industri parfum, polimer, dan tekstil. Pada penelitian ini, derajat esterifikasi pada pektin kulit jeruk tercatat sebesar 504,55. Reaksi kimia antara asam karboksilat (serta derivatifnya) dengan alkohol, yang menggunakan air sebagai pelarut, menghasilkan produk berupa senyawa ester dalam reaksi yang dikenal sebagai esterifikasi. Pembentukan senyawa ester tergantung pada prekursor yang digunakan, yaitu asam karboksilat dan alkohol.

Kandungan gugus asam galakturonat yang tidak mengalami esterifikasi dalam rantai molekul pektin juga dikenal sebagai berat ekuivalen (Aziz *et al.*, 2018). Hasil berat ekuivalen untuk pektin dalam penelitian ini mencapai 16.666,67 mg. Menurut standar *International Pectin Producers Association* (IPPA), berat ekuivalen pektin seharusnya berada dalam kisaran 600-800 mg. Pada penelitian ini, berat ekuivalen pektin ternyata tidak memenuhi standar yang ditetapkan. Hasil berat ekuivalen pektin yang diperoleh dari penelitian ini masih lebih rendah daripada penelitian yang dilakukan oleh (Arimpi & Pandia, 2019) serta (Latupeirissa *et al.*, 2019). Berat ekuivalen pektin sangat tergantung pada kualitas bahan baku, metode ekstraksi, jenis tanaman yang digunakan, dan perlakuan sampel selama proses ekstraksi (Febriyanti *et al.*, 2018). Terdapat hubungan terbalik antara berat ekuivalen dan derajat esterifikasi asam galakturonat dengan etanol. Semakin tinggi derajat esterifikasi, semakin rendah berat ekuivalen pektin yang dihasilkan.

Hasil kadar metoksil pektin penelitian ini sebesar 8,432% yang dikategorikan sebagai pektin berkadar metoksil tinggi (>7,12%) dan telah memenuhi standar *International Pectin Producers Association* (IPPA). Kadar metoksil dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu konsentrasi etanol saat pengendapan pektin dan lama pengendapan pektin. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Arimpi & Pandia, 2019) kadar metoksil tertinggi pada sampel dengan variasi konsentrasi etanol tertinggi (95%) dengan variasi perendaman terlama (20 jam). Tingginya kadar metoksil dalam pektin disebabkan oleh proses demetilasi dan deesterifikasi (hidrolisis gugus ester) pada molekul pektin. Kenaikan jumlah oksigen terlarut dalam larutan akan mempercepat reaksi ini. Proses pengendapan yang berlangsung lama akan mendorong terjadinya proses demetilasi pada pektin. Proses demetilasi ini melibatkan perpindahan gugus metil yang tadinya terikat pada struktur pektin, sehingga mengakibatkan pelepasan gugus metil dalam jumlah yang lebih banyak (Lumbantoruan *et al.*, 2014).

Pektin dengan kandungan metoksil yang tinggi akan membentuk gel karena adanya gula atau asam dalam larutan. Di sisi lain, pektin yang memiliki kandungan metoksil yang rendah dapat membentuk gel saat ada kehadiran kation polivalen seperti kalsium (Ardiansyah *et al.*, 2014). (Chasanah *et al.*, 2019) melaporkan bahwa kandungan metoksil cenderung meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi etanol yang digunakan sebagai bahan pengendap pektin. Kadar metoksil yang sejalan dengan konsentrasi etanol saat proses pengendapan terjadi karena adanya proses demetilasi dan deesterifikasi (hidrolisis gugus ester) dalam pektin. Hal ini dapat meningkatkan jumlah gugus metil yang dilepaskan. Reaksi ini dapat dipercepat oleh kandungan oksigen yang terlarut dalam larutan. Oleh karena itu, jika proses pengendapan berlangsung lama, maka akan menyebabkan terjadinya proses demetilasi. Gugus metil yang tadinya terikat pada struktur pektin akan berpindah, sehingga akan mengakibatkan pelepasan gugus metil dalam jumlah yang lebih banyak (Arimpi & Pandia, 2019). Ringkasan hasil karakterisasi pektin dapat dilihat pada Tabel 1.

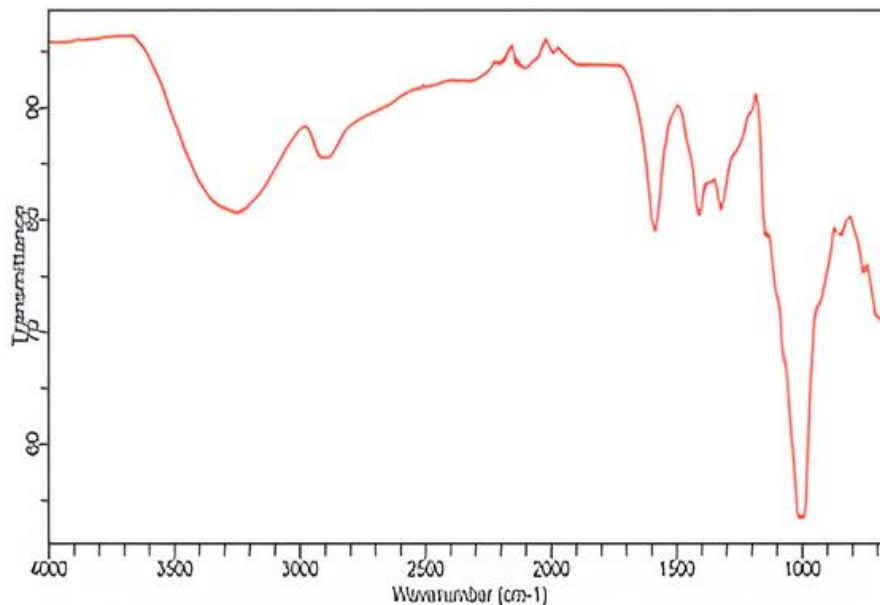
Tabel 1. Karakterisasi Pektin Kulit Jeruk

No	Karakterisasi Pektin Kulit Jeruk	Hasil	Standar IPPA	Kriteria
1	Kadar air	13%	12%	Tidak memenuhi
2	Kadar abu	7,74%	<10%	Memenuhi
3	Kadar asam galakturonat	9,488%.	65%	Tidak memenuhi
4	Berat ekuivalen	16.666,67 mg	600 - 800 mg	Tidak memenuhi
5	Kadar metoksil	8432%	>7,12%	Memenuhi

Karakterisasi pektin yang tidak memenuhi standar kualitas, seperti kadar asam galakturonat (GalA) di bawah 65% masih dapat digunakan sebagai bahan bioplastik, terutama jika

dikombinasikan dengan bahan lain seperti gliserol atau pati. Penelitian (Al Fath *et al.*, 2024) menyatakan bahwa penambahan pati sagu dan gliserol pada pektin menghasilkan bioplastik dengan kuat tarik hingga 4,22 MPa, meskipun pektin yang digunakan memiliki kadar GalA yang tergolong rendah menurut standar IPPA

Karakterisasi pektin dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi. Spectra FTIR dapat dilihat pada Gambar 1.

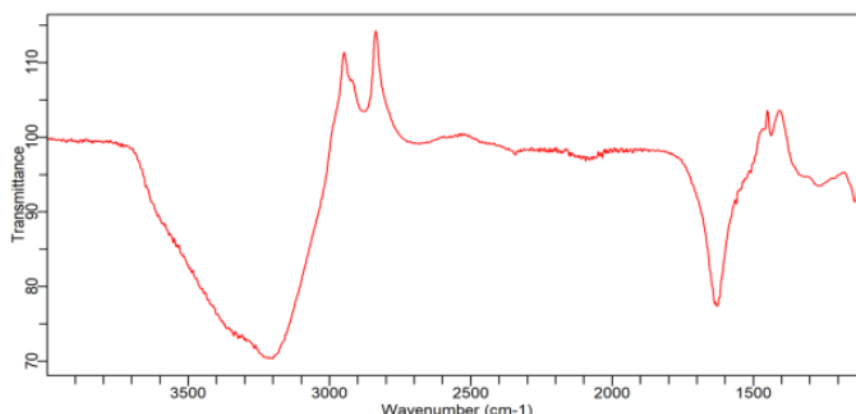


Gambar 1. Spektra FTIR Pektin

Serapan pada panjang gelombang 3250 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus (-OH) dalam struktur pektin. Vibrasi ulur CH_3 pada rentang panjang gelombang 2899 cm^{-1} merujuk pada gugus metoksil dalam pektin. Serapan pada bilangan gelombang 1587 cm^{-1} pada pektin hasil ekstraksi menunjukkan keberadaan gugus karboksil ($\text{C}=\text{O}$). Sedangkan serapan pada bilangan gelombang 1416 cm^{-1} mengindikasikan kehadiran gugus (-O-) dalam struktur pektin (Nantika, 2022). Berdasarkan hasil analisis gugus fungsi keberadaan gugus hidroksil (-OH), metoksil (CH_3), karboksil ($\text{C}=\text{O}$), dan eter (-O-) yang terdeteksi melalui spektrum FTIR merupakan karakteristik khas struktur pektin, sehingga keberadaan gugus-gugus fungsi tersebut mengkonfirmasi bahwa senyawa hasil ekstraksi merupakan pektin.

Rendemen Ekstrak Kulit Jeruk

Serbuk kulit jeruk diekstraksi menggunakan metode maserasi. Keuntungan utama dari metode maserasi adalah tidak memerlukan pemanasan, sehingga mampu mencegah degradasi zat aktif yang terkandung dalam sampel (Sa'adah & Nurhasnawati, 2015). Kulit jeruk mengandung senyawa flavonoid glikosida seperti hesperidin. Hasil rendemen ekstrak kulit jeruk sebesar 3,57%. Karakterisasi ekstrak kulit jeruk dengan FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektra FTIR Ekstrak Kulit Jeruk

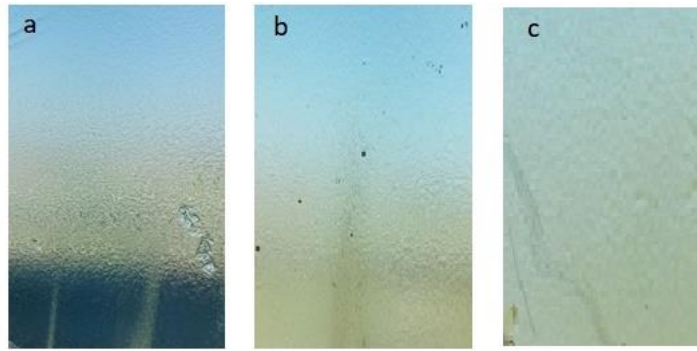
Tabel 2. Spektra FTIR ekstrak kulit jeruk

No	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Intensitas
1	3600 - 3000	-OH	Melebar
2	1600 - 1700	-C=O	Tajam

Hasil spektra FTIR ekstrak kulit jeruk pada Gambar 2 menunjukkan bilangan gelombang 3000 hingga 3600 cm⁻¹ mengindikasikan terdapatnya gugus OH pada ekstrak kulit jeruk. Serapan pada bilangan gelombang sekitar 1700 cm⁻¹ dalam spektrum inframerah mengindikasikan gugus -C=O, yang merupakan salah satu dalam ikatan senyawa flavonoid. Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu, yang melaporkan bahwa spektrum FTIR hesperidin, salah satu flavonoid utama dalam jeruk, menunjukkan pita serapan pada 3404 cm⁻¹ untuk -OH dan 1645 cm⁻¹ untuk C=O. Selain itu, penelitian sebelumnya juga menemukan bahwa ekstrak kulit jeruk memiliki kandungan flavonoid yang tinggi, yang dapat diidentifikasi melalui spektrum FTIR yang menunjukkan pita serapan pada bilangan gelombang yang sama. Berdasarkan spektrum-spektrum FTIR ekstrak kulit jeruk terindikasi mengandung senyawa flavonoid (Darmawati *et al.*, 2015).

Bioplastik Pektin dan Ekstrak Kulit Jeruk

Bioplastik adalah jenis plastik yang terbuat dari bahan alami atau komponen alami yang dapat terurai dengan mudah oleh tanah atau mikroorganisme. Hal ini membuat plastik ini lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan plastik sintetis yang umumnya sulit terurai (Agustin & Padmawijaya, 2016). Bahan tambahan pada pembuatan Bioplastik yaitu gliserol dan kitosan. Gliserol merupakan senyawa kimia yang biasa disebut juga dengan gliserin. Kitosan merupakan polimer turunan dari kitin dan dapat diubah melalui metode deasetilasi. Pada Gambar 3 menampilkan bioplastik dengan berbagai konsentrasi pektin.

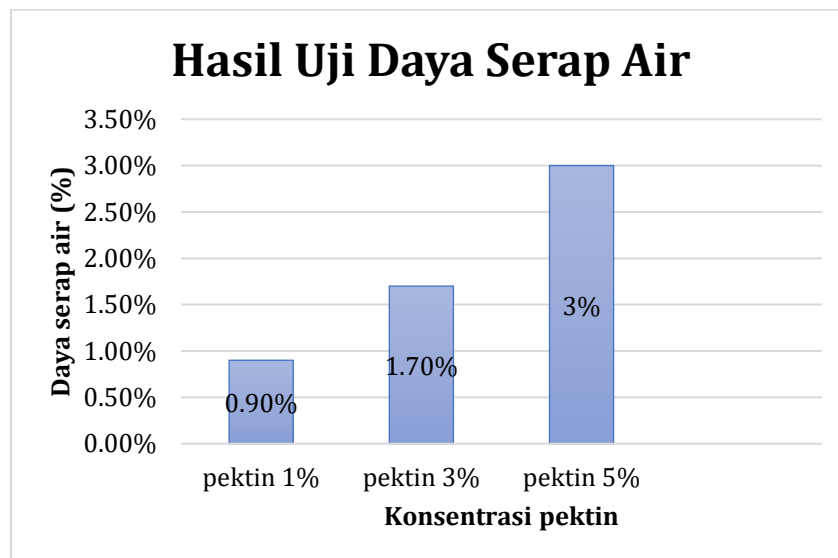


Gambar 3. Bioplastik dengan Konsentrasi Pektin (a) 1% ; (b) 3% dan (c) 5%

Karakterisasi Bioplastik

Uji Daya Serap Air

Daya serap air mengukur kemampuan bioplastik untuk menyerap dan mempertahankan air tanpa mengurangi kualitas bioplastik tersebut. Pengujian dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai air yang diserap oleh bioplastik. Semakin kecil nilai daya serap air, maka ketahanan bioplastik terhadap air semakin tinggi. Hasil yang didapatkan yaitu sisa air 1%, 3% dan 5% adalah 0,9%, 1,7% dan 3%.



Gambar 4. Hasil Uji Daya Serap Air Bioplastik

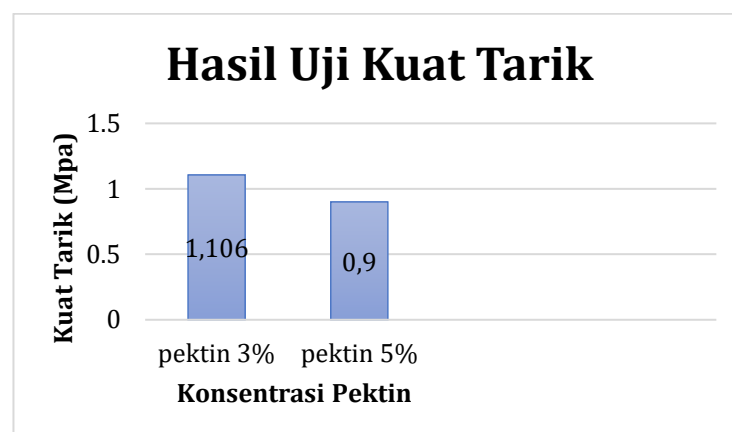
Berdasarkan Gambar 4, dapat diamati bahwa nilai daya serap air mengalami peningkatan sejalan dengan kenaikan konsentrasi pektin. Persentase air yang diserap oleh bioplastik memiliki hubungan terbalik dengan ketahanan air plastik. Dengan kata lain, semakin rendah nilai persentase air yang diserap oleh plastik, maka semakin tinggi ketahanan air yang dimiliki oleh plastik tersebut. Sehingga dapat disimpulkan semakin tinggi konsentrasi pektin yang ditambahkan maka ketahanan terhadap airnya semakin berkurang atau plastic lebih mudah menyerap air. Penambahan konsentrasi pektin memiliki pengaruh terhadap ketahanan air bioplastik. Konsentrasi pektin yang lebih rendah mengakibatkan lebih sedikit kandungan air dalam permen jelly (Isnanda *et al.*, 2016). Fenomena ini muncul karena pektin mampu menyerap air, yang mengakibatkan berkurangnya jumlah air yang bebas. Pektin merupakan senyawa polimer yang memiliki kapasitas mengikat air, dan mampu membentuk gel atau mengentalkan cairan. Penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan pektin dari kulit

buah naga untuk membuat film bioplastic menyatakan bahwa peningkatan rasio pektin terhadap polietilen glikol (PEG) meningkatkan kandungan air film, yang menunjukkan peningkatan sifat hidrofilik (Truong & Kobayashi, 2020). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa peningkatan kadar pektin dalam campuran termoplastik pati kacang hijau dan polietilena densitas rendah (LDPE) justru meningkatkan penyerapan air, karena pektin memiliki gugus hidroksil dan karboksil yang bersifat hidrofilik (Prachayawarakorn *et al.*, 2010).

Uji Kuat Tarik

Pada penelitian ini, dilakukan uji kuat tarik pada dua sampel, yaitu pektin dengan konsentrasi 3% dan 5%. Pektin dengan konsentrasi 1% tidak dilakukan uji kuat tarik karena sampel tersebut tidak memungkinkan untuk diuji. Berdasarkan fisik, sampel dengan pektin 1% terlalu tipis dan sangat lengket untuk dilakukan pengujian. Hal tersebut kemungkinan karena konsentrasi pektin yang sedikit dan konsentrasi gliserol lebih tinggi.

Gliserol memiliki kemampuan untuk berperan sebagai plastisizer yang dapat mengurangi gaya tarik antara molekul-molekul dalam suatu bahan. Dampak dari ini adalah mengurangi ketahanan bahan tersebut terhadap tekanan mekanis. Dalam kasus ini, plastisizer yang digunakan adalah gliserol. Ketika gliserol ditambahkan, interaksi antarmolekul dalam bahan menjadi lebih lemah, yang pada gilirannya akan mengakibatkan penurunan ketahanan bahan terhadap perlakuan mekanis. Gliserol berfungsi sebagai plastisizer dengan cara mengurangi gaya intermolekul, sehingga dapat memperbesar ruang antar molekul dan mobilitas biopolimer. Grup polar (-OH) pada rantai gliserol menyebabkan pembentukan ikatan hidrogen antara biopolimer dan gliserol, yang akan menggantikan interaksi antarmolekul pada biopolimer. Peningkatan konsentrasi gliserol akan menghasilkan penurunan interaksi antarmolekul, yang pada gilirannya akan memperlambat pergerakan rantai molekul dalam bahan. Hasil akhir dari efek plastisizer ini adalah membuat bahan menjadi lebih fleksibel dan mudah ditekuk, namun pada saat yang sama juga mengurangi ketahanan mekanisnya (Radhiyatullah *et al.*, 2015). Gambar 5 menunjukkan hasil kuat tarik bioplastik dengan beberapa variasi konsentrasi.



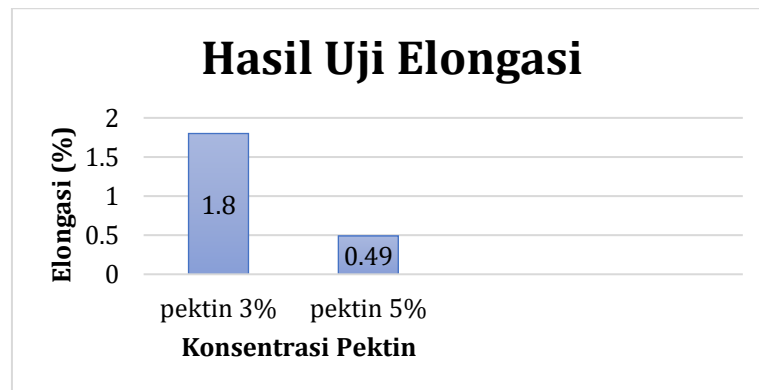
Gambar 5. Hasil Uji Kuat Tarik *Bioplastik*

Gambar 5 menggambarkan bahwa hasil terbaik diperoleh pada konsentrasi pektin 3%. Uji kuat tarik pada konsentrasi 5%, mengalami penurunan. Ini dapat dijelaskan oleh adanya reduksi interaksi antarmolekul dalam rantai protein, yang mengakibatkan jumlah matriks Bioplastik yang terbentuk menjadi lebih sedikit. Penambahan gliserol mengakibatkan sifat plastisizer yang dapat mengurangi interaksi antarmolekul, mengganggu struktur yang padat dari pati, dan meningkatkan mobilitas dalam Bioplastik. Faktor lain yang menyebabkan penurunan nilai kuat tarik adalah kemungkinan ketidaksempurnaan dalam distribusi molekul bioplastik. Hal ini

mungkin mengakibatkan ketidakhomogenan dalam struktur dan kualitas bioplastik, yang pada gilirannya akan mempengaruhi ketahanan mekanisnya (Sholekhahwati & Sedyadi, 2020).

Elongasi

Uji persen elongasi pada 2 sampel yaitu pada pektin dengan konsentrasi 3% dan 5%. Sama halnya dengan uji kuat tarik, pada pengujian persen elongasi pektin dengan konsentrasi 1% tidak dilakukan uji kuat tarik karena sampel tersebut tidak memungkinkan untuk diuji. Persen elongasi menunjukkan kemampuan film untuk memanjang. Elastisitas plastik dapat diamati melalui peningkatan elongasi pada film plastik. Ketika nilai kuat tarik semakin tinggi, maka tingkat elastisitas plastik cenderung menurun. Sebaliknya, jika persentase elongasi semakin tinggi, maka nilai kuat tarik akan cenderung lebih rendah (Haryati *et al.*, 2017).

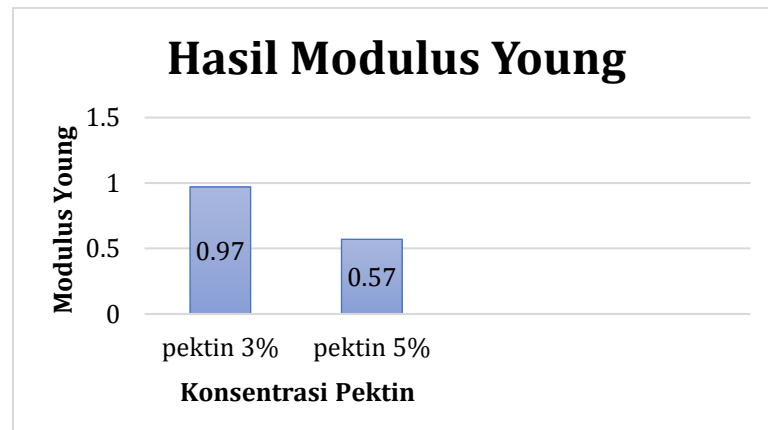


Gambar 6. Hasil Uji Elongasi Bioplastik

Persentase elongasi umumnya cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya konsentrasi pektin, menandakan bahwa semakin banyak pektin yang ditambahkan, semakin rendah nilai elongasi yang tercapai. Persentase elongasi yang paling optimal terjadi pada konsentrasi pektin 3%. Hal ini dapat dijelaskan oleh pembentukan ikatan hidrogen antara molekul pektin dari kulit jeruk dan molekul gliserol. Semakin banyak ikatan hidrogen yang terbentuk dalam polimer, semakin panjang rantai polimer tersebut dan hal ini mengakibatkan peningkatan dalam nilai elongasi. Hasil penelitian ini berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Sholekhahwati & Sedyadi, 2020). Dalam penelitian tersebut, penambahan konsentrasi pektin justru menghasilkan peningkatan nilai elongasi. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh penggunaan ekstrak kulit jeruk manis murni dalam penelitian ini. Ekstrak kulit jeruk manis tersebut kemungkinan berperan dalam mempengaruhi persentase elongasi pada Bioplastik. Ini menunjukkan bahwa berbagai faktor seperti komposisi bahan dan metode eksperimen dapat memengaruhi sifat mekanis dari Bioplastik yang dihasilkan.

Modulus Young

Nilai dari Modulus Young diperoleh dari hasil perbandingan antara kuat tarik dan persen elongasi. Berikut ini hasil pengukuran Modulus Young bioplasik dari pektin angka yang ditambahkan substituen ekstrak kulit jeruk:



Gambar 7. Hasil Uji Modulus Young Bioplastik

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai Modulus Young berada dalam kisaran 0,57 hingga 0,97 MPa. Semakin rendah nilai kuat tarik, maka nilai Modulus Young juga cenderung lebih rendah. Penurunan nilai Modulus Young mengindikasikan bahwa fleksibilitas dari Bioplastik yang dihasilkan semakin meningkat (Nahwi, 2016). Ringkasan hasil uji daya serap air, uji kuat tarik, elongasi, dan modulus young dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Uji karakteristik Bioplastik

No	Uji	Bioplastik dengan Pektin		
		1%	3%	5%
1	Uji Daya Serap Air	0,9%	1,7%	3%.
2	Uji Kuat Tarik	-	1106 MPa	0,9 MPa
3	Elongasi	-	1,8%	0,49%
4	Modulus Young	-	0,97 Mpa	0,57 Mpa

Berdasarkan ringkasan hasil uji karakteristik bioplastik dapat diketahui bahwa bioplastik yang memiliki nilai kuat tarik, elongasi dan modulus young yang baik adalah bioplastik dengan penambahan pektin 3%. Dengan demikian bioplastik dengan konsentrasi pektin 3% paling sesuai digunakan untuk *food packaging* seperti selongsong sosis dan bahan makanan lainnya.

Hasil Analisis Statistik

Berikut hasil uji statistik Kruskal Wallis untuk melihat perbedaan keempat parameter daya serap, uji kuat tarik, elongasi dan modulus young.

Tabel 4. Hasil Analisis Statistik Uji Kruskal Wallis

Nilai p (sig)	Daya serap	Uji kuat tarik	Elongasi	Modulus young
	0,026	0,023	0,024	0,024

Hasil analisis menggunakan uji statistik Kruskal Wallis menunjukkan bahwa parameter daya serap, uji kuat tarik, elongasi, dan modulus young memperoleh nilai signikansi dibawah 0,05 (p-value <0,05), hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan di semua kelompok perlakuan. Untuk melihat kelompok mana yang menunjukkan perbedaan, maka dilakukan uji lanjutan yaitu uji Mann Whitney dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Analisis Statistik Uji Mann Whitney

Kelompok	Daya Serap	Uji Kuat Tarik	Elongasi	Modulus Young
Kadar Pektin 1% vs Kadar Pektin 3%	0,046	0,037	0,037	0,037
Kadar Pektin 1% vs Kadar Pektin 5%	0,043	0,034	0,037	0,037
Kadar Pektin 3% vs Kadar Pektin 5%	0,046	0,046	0,050	0,050

Hasil uji statistik mann whitney seluruh perbandingan antar kelompok menunjukkan nilai p-value < 0,05, yang berarti ada perbedaan signifikan pada daya serap, kekuatan tarik, elongasi, dan modulus Young berdasarkan variasi kadar pektin. Namun pada kelompok perbandingan kadar pektin 3% vs. 5% parameter elongasi dan modulus young menunjukkan nilai p-value=0,050. Meski mendekati ambang batas, nilai p masih menunjukkan **perbedaan yang signifikan** secara statistik. Ini mengindikasikan bahwa kadar pektin mempengaruhi sifat fisik dan mekanik material yang diuji.

Tabel 6. Hasil Perbandingan Konsentrasi Kadar Pektin

Parameter	Kelompok	Mean Rank
Daya serap	Kadar Pektin 1%	2,00
	Kadar Pektin 3%	5,00
	Kadar Pektin 5%	8,00
Uji kuat tarik	Kadar Pektin 1%	2,00
	Kadar Pektin 3%	8,00
	Kadar Pektin 5%	5,00
Elongasi	Kadar Pektin 1%	2,00
	Kadar Pektin 3%	8,00
	Kadar Pektin 5%	5,00
Modulus young	Kadar Pektin 1%	2,00
	Kadar Pektin 3%	8,00
	Kadar Pektin 5%	5,00

Tabel 6 menunjukkan nilai mean rank dari masing-masing kelompok kadar pektin (1%, 3%, dan 5%) pada empat parameter yaitu daya serap, kuat tarik, elongasi, dan modulus Young. Dalam uji non-parametrik Kruskal-Wallis dan Mann-Whitney, semakin tinggi nilai mean rank, semakin baik performa kelompok dalam parameter yang diuji (jika arah parameter dianggap positif, misalnya semakin besar daya serap, semakin baik). Kadar pektin 3% menunjukkan performa paling baik dalam tiga dari empat parameter (kuat tarik, elongasi, dan modulus young). Kadar pektin 5% paling unggul hanya dalam parameter daya serap. Kadar pektin 1% konsisten menunjukkan performa paling rendah (mean rank 2,00 untuk semua parameter), artinya merupakan konsentrasi yang paling tidak optimal.

SIMPULAN

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah bioplastik dengan penambahan pektin 3% merupakan formulasi yang paling optimal, karena memiliki kekuatan, elastisitas, dan kestabilan yang sesuai untuk digunakan sebagai bahan kemasan makanan, khususnya kemasan produk seperti sosis. Selain ramah lingkungan, bioplastik dari bahan pektin aman digunakan dan dapat menggantikan kemasan sintesis yang sulit terurai.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, Y. E., & Padmawijaya, K. S. (2016). Sintesis Bioplastik dari Kitosan-Pati Kulit Pisang Kepok dengan Penambahan Zat Aditif. *Jurnal Teknik Kimia*, 10(2), 43–51. https://doi.org/10.33005/JURNAL_TKKIM.V10I2.537
- Al Fath, M. T., Ayu, G. E., Hasibuan, G. C. R., Dalimunthe, N. F., & Alexander, V. (2024). The Effect of Glycerol and Sago Starch Addition on the Characteristics of Bioplastics Based on Orange Peel Pectin. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 30(4), 359–365. <https://doi.org/10.2298/CICEQ231214007A>
- Apriadi, B. F., Setiawan, R. P., & Firmansyah, I. (2024). Policy scenario of plastic waste mitigation in Indonesia using system dynamics. *Waste Manag Res*, 42(11), 1008–1018.
- Ardiansyah, G., Hamzah, F., & Efendi, R. (2014). Variasi Tingkat Keasaman dalam Ekstraksi Pektin Kulit Buah Durian. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Riau*, 1(2), 1–9.
- Arimpi, A., & Pandia, S. (2019). Pembuatan Pektin dari Limbah Kulit Jeruk (*Citrus sinensis*) dengan Metode Ekstraksi Gelombang Ultrasonik Menggunakan Pelarut Asam Sulfat (H₂SO₄). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 8(1), 18–24. <https://doi.org/10.32734/JTK.V8I1.1602>
- Aziz, T., Johan, M. E. G., & Sri, D. (2018). Pengaruh Jenis Pelarut, Temperatur dan Waktu Terhadap Karakterisasi Pektin Hasil Ekstraksi dari Kulit Buah Naga (*Hylocereuspolyrhizus*). *Jurnal Teknik Kimia*, 24, 1.
- Bourtoom, T. (2009). Review Article. Edible protein films: properties enhancement. *International Food Research Journal*, 16.
- Chasanah, J., Rohadi, R., Kunarto, B., & Pratiwi, E. (2019). Pengaruh Konsentrasi Etanol pada Proses Pengendapan Pektin Kasar Kulit dan Dami Nangka (*Artocarpus heterophyllus* L.) Pasca Hidrolis dengan HCl terhadap Karakteristik Pektin Kasar. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Hasil Pertanian*, 14(2), 30–41. <https://doi.org/10.26623/JTPHP.V14I2.2435>
- Darmawati, A. A. S. K., Bawa, I. G. A. G., & Suirta, I. W. (2015). Isolasi dan Identifikasi Senyawa Golongan Flavonoid pada Daun Nangka (*Artocarpus heterophyllus* Lmk) dan Aktivitas Antibakteri Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*, 9(2). <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2015.V09.I02.P10>
- Denman, L. J., & Morris, G. A. (2015). An experimental design approach to the chemical characterisation of pectin polysaccharides extracted from *Cucumis melo* Inodorus. *Carbohydrate Polymers*, 117, 364–369. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2014.09.081>
- Febriyanti, Y., Rahman Razak, A., Sumarni, N. K., Soekarno, J., Km, H., Tadulako, K. B., & Palu, T. (2018). Ekstraksi dan Karakterisasi Pektin dari Kulit Buah Kluwih (*Artocarpus camansi* Blanco). *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 4(1), 60–73. <https://doi.org/10.22487/KOVALEN.2018.V4.I1.10185>
- Hanum, F., Tarigan, M. A., & Kaban, I. M. D. (2012). Ekstraksi Pektin dari Kulit Buah Pisang Kepok (*Musa paradisiaca*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1(1).
- Haryati, S., Septia Rini, A., & Safitri, Y. (2017). Pemanfaatan biji durian sebagai bahan baku plastik biodegradable dengan plasticizer giserol dan bahan pengisi CaCO₃. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(1), 1–8.
- He, X., Jin, Y., Tang, L., & Huang, R. (2023). A Brief Review and Perspective on the Functional Biodegradable Films for Food Packaging. *ArXiv*.
- Homez-Jara, A., Daza, L. D., Aguirre, D. M., Muñoz, J. A., Solanilla, J. F., & Váquiro, H. A. (2018). Characterization of chitosan edible films obtained with various polymer concentrations and drying temperatures. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 1233–1240. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2018.03.057>
- IPPA. (2024). How is pectin made? - correct - Pectin Producers. <https://pectinproducers.com/factsheet-hub/how-is-pectin-how-is-pectin-made/>

- Isnanda, D., Novita, M., & Rohaya, S. (2016). Pengaruh Konsentrasi Pektin dan Karagenan terhadap Permen Jelly Nanas (*Ananas comosus* L. Merr). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 1(1), 912–923. <https://doi.org/10.17969/JIMFP.V1I1.1114>
- Lailyningtyas, D. I., Iutfi, M., & Ahmad, A. M. (2020). Uji Mekanik Bioplastik Berbahan Pati Umbi Ganyong (*Canna edulis*) dengan Variasi Selulosa Asetat dan Sorbitol. *Journal of Tropical Agricultural Engineering and Biosystems - Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 8(1), 91–100. <https://doi.org/10.21776/UB.JKPTB.2020.008.01.09>
- Latupeirissa, J., Fransina, E. G., Tanasale, M. F. J. D. P., & Batawi, C. Y. (2019). Ekstraksi Dan Karakterisasi Pektin Kulit Jeruk Manis Kisar (*Citrus* sp.). *Indonesian Journal of Chemical Research*, 7(1), 61–68. <https://doi.org/10.30598/IJCR.2019.7-EGF>
- Lumbantoruan, D. I. P., Ginting, S., & Suhaidi, I. (2014). Effect of Sedimentor Concentration and Deposition Time on the Quality Pectin Extraction Results of Durian Peel. *Jurnal Rekayasa Pangan Dan Pertanian*, 2(2).
- Muryeti, M. (2024). Pengaruh Penambahan Pektin Kulit Jeruk, Kitosan, dan Peppermint Oil terhadap Karakteristik Bioplastik. *Jurnal Chemurgy*, 8(2), 166–177. <https://doi.org/10.30872/CMG.V8I2.17188>
- Nahwi, N. F. (2016). *Analisis pengaruh penambahan plastisizer gliserol pada karakteristik edible film dari pati kulit pisang raja, tongkol jagung dan bonggol enceng gondok*. UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Nantika, E. (2022). *Karakteristik Senyawa Pektin Dari Kulit Buah Pisang Kepok (Musa acuminata balbisiana) Dengan Variasi Konsentrasi Etanol*. UIN AR-RANIRY.
- Nurviani, N., Bahri, S., & Sumarni, N. K. (2014). Ekstraksi dan Karakterisasi Pektin Kulit Buah Pepaya (*Carica papaya* L.) Varietas Cibinong, Jinggo dan Semangka. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 3(3). <https://doi.org/10.22487/25411969.2014.V3.I3.3342>
- Pardede, A., Ratnawati, D., & Putranto, A. M. (2013). Ekstraksi dan karakterisasi pektin dari kulit kemiri (*Alleurites mollucana* Willd). *Media Sains*, 5(1), 1–6.
- Picauly, P., & Tetelepta, G. (2020). Karakteristik Pektin Kulit Pisang Tongka Langit (*Musa troglodytarum*) Berdasarkan Variasi Waktu Ekstraksi. *AGRITEKNO: Jurnal Teknologi Pertanian*, 9(1), 28–34. <https://doi.org/10.30598/JAGRITEKNO.2020.9.1.28>
- Polnaya, F. J., Ega, L., & Wattimena, D. (2016). Karakteristik Edible Film Pati Sagu Alami dan Pati Sagu Fosfat dengan Penambahan Gliserol. *AgriTECH*, 36(3), 247–252. <https://doi.org/10.22146/AGRITECH.16661>
- Prachayawarakorn, J., Hommanee, L., Phosee, D., & Chairapaksatien, P. (2010). Property improvement of thermoplastic mung bean starch using cotton fiber and low-density polyethylene. *Starch/Staerke*, 62(8), 435–443. <https://doi.org/10.1002/STAR.201000002>
- Purnama, H. S., Herbert, & Tambun, R. (2015). Pengaruh Waktu dan Suhu Pembakaran dalam Pembuatan Abu dari Kulit Buah Markisa sebagai Sumber Alkali. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(4), 32–38. <https://doi.org/10.32734/JTK.V4I4.1511>
- Radhiyatullah, A., Indriani, N., Hendra, M., & Ginting, S. (2015). Pengaruh Berat Pati dan Volume Plasticizer Gliserol terhadap Karakteristik Film Bioplastik Pati Kentang. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(3), 35–39. <https://doi.org/10.32734/JTK.V4I3.1479>
- Rhim, J. W., & Wang, L. F. (2013). Mechanical and water barrier properties of agar/ κ -carrageenan/konjac glucomannan ternary blend biohydrogel films. *Carbohydrate Polymers*, 96(1), 71–81. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2013.03.083>
- Roikah, S., Rengga, W. D. P., Latifah, L., & Kusumastuti, E. (2016). Ekstraksi dan Karakterisasi Pektin dari Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi*, L.). *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 5(1).
- Sa'adah, H., & Nurhasnawati, H. (2015). Perbandingan Pelarut Etanol dan Air pada Pembuatan Ekstrak Umbi Bawang Tiwai (*Eleutherine americana* Merr) Menggunakan Metode Maserasi. *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 1(2), 149–153. <https://doi.org/10.51352/JIM.V1I2.27>

- Said, N. S., Olawuyi, I. F., & Lee, W. Y. (2024). Tailoring Pectin-PLA Bilayer Film for Optimal Properties as a Food Pouch Material. *Polymers*, 16(5), 712. <https://doi.org/10.3390/POLYM16050712/S1>
- Sari, G. L. (2017). Kajian Potensi Pemanfaatan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), 6–13. <https://doi.org/10.29080/ALARD.V3I1.255>
- Sengkhampan, N., Lasunon, P., & Tettawong, P. (2019). Effect of Ultrasound Assisted Extraction and Acid Type Extractant on Pectin from Industrial Tomato Waste. *CMUJ NS Special Issue on Food and Applied Bioscience to Innovation and Technology*, 18(2). <https://doi.org/10.12982/CMUJNS.2019.0016>
- Sholekhahwati, S., & Sedyadi, E. (2020). Effect of Addition Bali Orange Peel Pectins on The Mechanical Properties of Garut Starch Bioplastic. *Gontor Agrotech Science Journal*, 6(3), 369–391. <https://doi.org/10.21111/AGROTECH.V6I3.4927>
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). (2023). *Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah: Atasi Sampah Plastik dengan Cara Produktif*. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan.
- Sulihono, A., Tarihoran, B., & Agustina, T. E. (2012). Pengaruh Waktu, Temperatur, dan Jenis Pelarut Terhadap Ekstraksi Pektin dari Kulit Jeruk Bali (Citrus Maxima). *Jurnal Teknik Kimia*, 18(4).
- Truong, T. C. T., & Kobayashi, T. (2020). Pectin bioplastic films regenerated from dragon fruit peels. *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering*, 62(4), 18–22. [https://doi.org/10.31276/VJSTE.62\(4\).18-22](https://doi.org/10.31276/VJSTE.62(4).18-22)
- Tuhuloula, A., Budiarti, L., & Fitriana, E. N. (2013). Karakterisasi Pektin dengan Memanfaatkan Limbah Kulit Pisang Menggunakan Metode Ekstraksi. *Konversi*, 2(1), 21–27. <https://doi.org/10.20527/K.V2I1.123>