

Karakterisasi *Edible Film* Berbahan Dasar Pati Gandum dengan Penambahan Kitosan, Minyak Atsiri Kulit Kayu Manis, dan Gliserol

Characterization of Edible Film Made from Wheat Starch with the Addition of Chitosan, Cinnamon Bark Essential Oil, and Glycerol

Muryeti*, Aisyah Rahmawati

Teknologi Industri Cetak kemasan, Fakultas Teknik Grafika dan Penerbitan, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia

*E-mail Korespondensi: muryeti@grafika.pnj.ac.id

ABSTRAK

Sampah plastik telah menjadi masalah global karena sulit terurai dan banyak digunakan sebagai kemasan makanan. Film edible berbasis pati telah dikembangkan sebagai alternatif yang ramah lingkungan dan aman. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi sifat fisik, mekanik, kimia, dan penghalang dari film edible yang terbuat dari pati gandum, kitosan, dan minyak esensial kulit kayu cengkeh. Metode yang digunakan adalah desain acak lengkap dengan tiga perlakuan: pati gandum (2% dan 3%), kitosan (0%, 1%, 2%), dan minyak esensial (0%, 0,5%, 0,75%), dengan konsentrasi gliserol tetap 2%. Tahapan meliputi produksi dan karakterisasi film edibel. Hasil menunjukkan nilai optimum sebagai berikut: ketebalan 0,244 mm, transparansi 89,4%, kekuatan tarik 0,925 MPa, perpanjangan 30%, elastisitas 3,366 MPa, daya serap 31%, kelarutan 34%, kandungan air 8,9%, dan WVTR 3,402 g/m²/jam.

Kata kunci:

edible film, kitosan, minyak atsiri kulit kayu manis, pati

ABSTRACT

Plastic waste has become a global problem because it is difficult to decompose and is widely used as food packaging. Edible films based on starch have been developed as an environmentally friendly and safe alternative. This study aims to characterize the physical, mechanical, chemical, and barrier properties of edible films made from wheat starch, chitosan, and clove bark essential oil. The method used was a completely randomized design with three treatments: wheat starch (2% and 3%), chitosan (0%, 1%, 2%), and essential oil (0%, 0.5%, 0.75%), with a fixed glycerol concentration of 2%. The stages included the production and characterization of edible films. The results showed the following optimum values: thickness 0.244 mm, transparency 89.4%, tensile strength 0.925 MPa, elongation 30%, elasticity 3.366 MPa, absorbency 31%, solubility 34%, moisture content 8.9%, and WVTR 3.402 g/m²/hour.

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted/Received (29 Aug 2025)

First Revised (16 Dec 2025)

Accepted (1 Mar 2026)

First Available online (9 Mar 2026)

Publication Date (9 Mar 2026)

Keyword:

chitosan, cinnamon essential oil, edible film, wheat starch

1. PENDAHULUAN

Kemasan bertujuan untuk melindungi produk agar dapat mempertahankan kualitas dari produk yang dikemas. Fungsi utama yang dimiliki kemasan pangan ialah untuk memastikan pangan terlindungi dari lingkungan sekitar guna mencegah kerusakan pangan, seperti efek dari mikroorganisme, oksigen, suhu, dan kelembapan untuk menghindari atau juga memperlambat menurunnya kualitas, dan nutrisi. Menurut Kumar (2021) meningkatnya pola produksi dan konsumsi plastik, disertai dengan penanganan yang tidak tepat menyebabkan berbagai macam kerugian dan permasalahan hingga jangka panjang, mulai dari permasalahan ekonomi, lingkungan, hingga kesehatan manusia (Kurniasari et al., 2022). Salah satu solusi alternatif untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menciptakan kemasan yang ramah lingkungan seperti *edible film* (Faridah, 2022).

Edible film merupakan kemasan pangan yang aman untuk dikonsumsi dan dapat terurai secara alami, Film yang dapat dimakan aman, ramah lingkungan, dan terurai secara hayati bahan kemasan dengan potensi besar untuk diaplikasikan sebagai kemasan bioaktif dalam komunitas kemasan (Li et al., 2024). Pati merupakan salah satu hidrokoloid dari polisakarida yang memiliki karakteristik fisik menyerupai plastik. Pati dikenal sebagai sumber daya alam terbarukan yang potensial. Pati dianggap sebagai salah satu sumber daya alam terbarukan yang paling menjanjikan karena harganya yang relatif murah, ketersediaannya yang besar, dan mudah terurai secara alami (Siskawardani, 2025). *Edible film* berbasis pati umumnya memiliki keunggulan menghasilkan film yang tidak berwarna, transparan, tidak berasa, dan tidak berbau (Sartika, 2022). Di sisi lain film berbasis pati memiliki kekurangan yakni menghasilkan film dengan sifat mekanis yang rendah (Fu et al., 2022), daya tahan air yang rendah dan penghalang uap air yang rendah (Shanbhag & Shenoy, 2023). Untuk meningkatkan karakteristik edible film, penambahan bahan aditif menjadi langkah yang diperlukan.

Untuk meningkatkan sifat mekanik edible film perlu ditambahkan aditif seperti kitosan. Kitosan, Kitin adalah polisakarida aminosasi yang dibiosintesis dalam beberapa invertebrata spesies hewan, senyawa utama dari eksoskeleton arthropoda filum hewan yang paling melimpah yang mencakup serangga dan krustasea. Kitin adalah polimer dengan berat molekul tinggi yang paling melimpah kedua (pertama adalah selulosa), dapat terurai secara hayati, dan tidak beracun, yang terdapat di alam. Kitin menunjukkan sifat kimia dan biologis yang baik, seperti biokompatibilitas, tidak beracun, dapat terurai secara hayati, dan sifat adsorpsi yang baik (Muthu et al., 2021). Film berbasis pati dan pektin dengan penambahan kitosan telah diteliti untuk pembuatan kemasan permen, penambahan kitosan mempengaruhi ketebalan dan transparansi film (Layuk et al., 2023).

Minyak atsiri kulit kayu manis (*Cinnamomum burmannii*), terdiri dari cinnamaldehyde, eugenol, dan beberapa senyawa bioaktif lainnya. Terdapat perbedaan yang signifikan dalam komposisi kimia dari berbagai spesies kayu manis dalam genus *Cinnamomum*, yang terlihat dalam kandungan dan komposisi senyawa bioaktif utama. Minyak kayu manis menunjukkan efek penghambatan yang signifikan terhadap berbagai patogen yang terdiri dari *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, dan *Escherichia coli* (Guo, 2015). Minyak atsiri kayu manis dimanfaatkan dalam pembuatan *edible film* berbasis pati singkong (Zhou et al., 2021).

Gliserol, merupakan salah satu *plasticizer* yang telah banyak digunakan dalam pembuatan *edible film*. Gliserol merupakan zat yang larut dalam air, polar, dan memiliki berat molekul rendah yang tidak mudah menguap, hal ini membuat gliserol menjadi pemlastis yang cocok untuk digunakan bersama polimer yang larut dalam air yang kompatibel (Dick et al., 2015). Penelitian terdahulu memanfaatkan gliserol sebagai plastisizer pada pembuatan *edible*

film berbasis sagu (Lintang *et al.*, 2021). Beberapa penelitian terdahulu yang telah mengembangkan kemasan *edible film*, seperti *edible film* berbasis tepung gandum berbasis kitosan (Wang *et al.*, 2022), *edible film* berbasis karagenan dengan campuran *plasticizer* gliserol dan sorbitol (Asriani *et al.*, 2025).

Untuk meningkatkan karakteristik mekanik dan menurunkan permeabilitas *edible film* yang dihasilkan maka pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan *edible film* dari pati, kitosan dan minyak atsiri kayu manis. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan kitosan, pati gandum dan minyak atsiri kayu manis terhadap sifat mekanik dan permeabilitas *edible film* yang dihasilkan. Karakterisasi yang dilakukan pengujian sifat fisik antara lain ketebalan, daya serap air, kelarutan dan kadar air. Pengujian sifat optik yaitu pengujian transparansi. Pengujian mekanik berupa uji kuat tarik (*tensile strength*), elongasi (*elongation*), dan modulus young (*elastisiticity*). Pengujian permeabilitas (*barrier*) yaitu uji laju transmisi uap air atau *water vapour transmission rate* (WVTR). Hasil pengujian ini mengacu pada *japanese industrial standard* (JIS) untuk *edible film*. Data perolehan hasil pengujian akan dilakukan analisis menggunakan perangkat lunak IBM SPSS dengan pendekatan analisis varian (ANOVA) three-ways untuk mengetahui pengaruh masing-masing komposisi dan menentukan konsentrasi optimal terhadap karakteristik *edible film*.

2. METODOLOGI

2.1 Alat dan bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah, pati gandum (yang diperoleh dari *e-commerce*), kitosan (*Sigma Aldrich*), minyak atsiri kulit kayu manis, Gliserol (ROFA *Labroratorium Centre*), Asam asetat (Merck), dan akuades. Peralatan yang digunakan yaitu *hot plate magnetic stirrer* (*Simarrec*), gelas *beaker*, gelas ukur, neraca analitik (*Fujitsu*), cawan petri, oven (*Memert*), desikator, termometer, pipet volumetri, cawan porselen, *spherical hazemeter* EEL-57D, *Universal Testing Machines* (UTM) *Housefield*.

2.2 Metode Penelitian

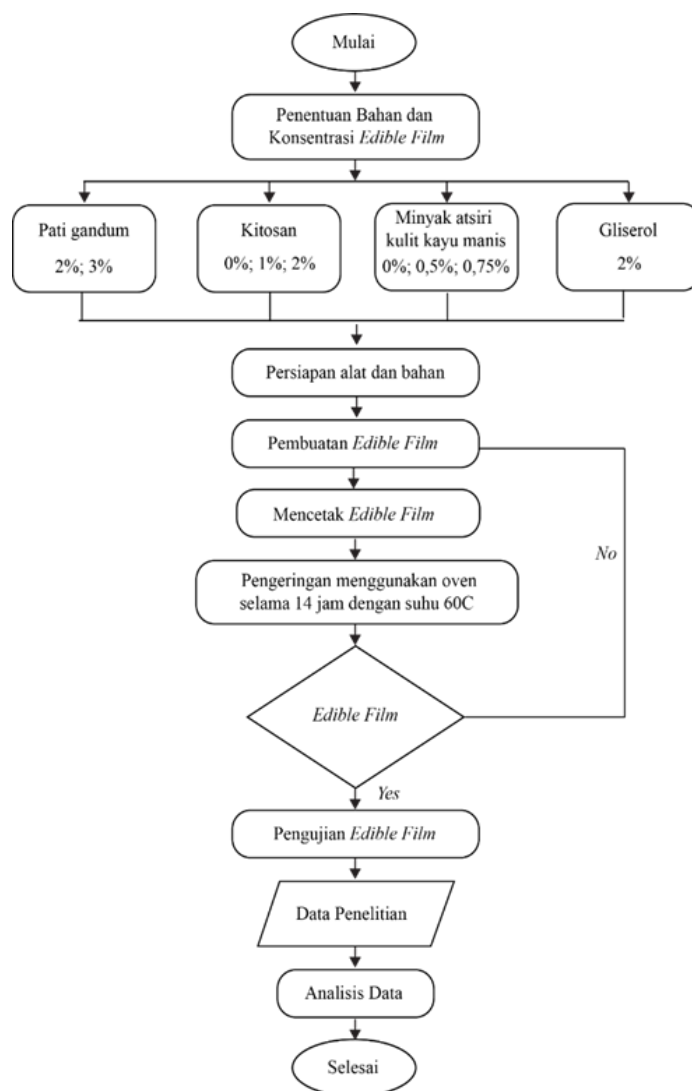
Penelitian ini dilakukan melalui dari tiga tahapan. Tahap pertama meliputi pembuatan campuran *edible film* yang terdiri dari pati gandum, kitosan dan minyak atsiri kayu manis, dan gliserol. Tahap kedua yaitu pencetakan *edible film* dengan metode casting. Tahap ketiga yaitu karakterisasi sifat *edible film* yang dihasilkan. Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL). Menggunakan tiga faktor sebagai variabel. Faktor pertama adalah pati gandum dengan konsentrasi 2% (P2) dan 3% (P3). Faktor kedua, kitosan dengan konsentrasi 0% (K1), 1% (K2), 2% (K3) Faktor ketiga ialah minyak atsiri kulit kayu manis dengan konsentrasi 0% (M1), 0,5% (M2), 0,75%. (M3) dengan penggunaan gliserol tetap yakni 2% dengan masing- masing variasi dilakukan tiga kali pengulangan, variasi komposisi secara lengkap disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Variasi Komposisi Bahan *Edible Film*

Variasi Konsentrasi			
Pati Gandum/PG (%)	Kitosan/K (%)	Minyak Atsiri Kayu Manis/M (%)	Gliserol/G (%)
2	0	0	2
2	0	0,5	2
2	0	0,75	2
2	1	0	2

Variasi Konsentrasi			
Pati Gandum/PG (%)	Kitosan/K (%)	Minyak Atsiri Kayu Manis/M (%)	Gliserol/G (%)
2	1	0,5	2
2	1	0,75	2
2	2	0	2
2	2	0,5	2
2	2	0,75	2
3	0	0	2
3	0	0,5	2
3	0	0,75	2
3	1	0	2
3	1	0,5	2
3	1	0,75	2
3	2	0	2
3	2	0,5	2
3	2	0,75	2

Rincian prosedur penelitian dalam proses pembuatan *edible film* dapat dilihat pada Gambar 1.



2.3 Karakterisasi *Edible film*

Edible film yang telah dibuat kemudian diuji untuk mengetahui karakteristiknya, pengujian tersebut berupa uji fisik, mekanik, kimia, dan *barrier*, yang meliputi:

2.3.1 Uji Ketebalan

Pengukuran ketebalan film dilakukan menggunakan mikrometer sekrup berketelitian 0,001 mm, merujuk pada penelitian terdahulu (Siskawardani, 2025), pada 5 titik berbeda. Nilai pengujian ketebalan diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Ketebalan (mm)} = \frac{\text{Titik 1} + \text{Titik 2} + \text{Titik 3} + \text{Titik 4} + \text{Titik 5}}{5} \quad (1)$$

2.3.2 Uji Transparansi

Pengujian dilakukan dengan menyiapkan film dengan ukuran 4 cm × 5 cm, kemudian film diuji menggunakan alat *spherical hazemeter* EEL-57D berdasarkan standar ASTM D1003.

2.3.3 Uji Daya Serap Air

Uji daya serap air menghitung presentase pembengkakan (*swelling*) film dengan adanya air untuk menentukan ketahanan film terhadap air (Apriliyani *et al.*, 2020) perhitungan yang digunakan pada pengujian daya serap air sebagai berikut:

$$\text{Daya serap air (\%)} = \frac{\text{berat akhir} - \text{berat awal}}{\text{berat awal}} \times 100 \quad (2)$$

2.3.4 Uji Kadar Air

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui kandungan kadar air yang terdapat dalam *edible film*, uji ini dilakukan merujuk pada penelitian terdahulu (Nishant, 2021) perhitungan yang digunakan pada pengujian kadar air sebagai berikut:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{B - C}{B - A} \times 100 \quad (3)$$

Keterangan:

A: berat cawan kosong (g)

B: berat cawan dan sampel sebelum dikeringkan (g)

C: berat cawan dan sampel setelah dikeringkan (g)

3.3.5 Uji Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian kuat tarik bertujuan untuk mengetahui kemampuan biofilm menahan gaya tarik sampai putus (Sartika, 2022). Pengujian dilakukan dengan menyiapkan film berukuran 10 cm × 1,5 cm, kemudian film diuji menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) *Hounsfield*, mengacu pada metode ASTM D-882. Nilai kuat tarik dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\tau \text{ (MPa)} = \frac{F_{\max}}{A} \quad (4)$$

Keterangan:

F_{max} : gaya maksimum yang diterima sebelum putus (N)

A : luas penampang film (mm²)

2.3.6 Uji Elongasi

Elongasi didefinisikan sebagai perubahan maksimum panjang film selama proses peregangan, dimana nilai elongasi film berbanding terbalik dengan kekuatannya (Sartika, 2022). Perhitungan yang digunakan pada pengujian elongasi sebagai berikut:

$$\text{Elongasi (\%)} = \frac{L_1 - L_0}{L_1} \times 100 \quad (5)$$

Keterangan:

Lo : panjang awal sampel film (mm)

L1 : panjang sampel film pada saat putus (mm)

2.3.7 Uji Modulus Young

Uji *modulus young* menunjukkan tingginya nilai yang diperoleh mempengaruhi tingkat kekakuan (rigid) film, dapat dikatakan memiliki fleksibilitas yang rendah (Yanti, N. A., et al, 2021). Perhitungan yang digunakan pada pengujian *modulus young* sebagai berikut:

$$\text{Modulus Young (Mpa)} = \frac{TS}{EA} \quad (6)$$

Keterangan:

TS : tensile strength

EA : elongasi

2.3.8 Uji Laju Transmisi Uap Air

Pengujian ini mengacu pada penelitian terdahulu dengan modifikasi (Siskawardani, D. D., et al, 2025). Pengujian dilakukan dengan mengisi cawan porselen dengan silica gel sebanyak 3 gram, kemudian sampel berukuran 5 cm × 5 cm diletakkan diatas porselen lalu direkatkan menggunakan plastisin, kemudian diletakkan di dalam desikator. Perhitungan yang digunakan pada pengujian laju transmisi uap air sebagai berikut:

$$\text{WVTR (g. H}_2\text{O /jam. m}^2\text{)} = \frac{\Delta w}{T.A} \times 100 \quad (7)$$

Keterangan:

Δw : perubahan berat cawan dan sampel (g)

T : waktu (jam)

A : luas permukaan (m²)

2.3.9 Uji Kelarutan

Pengujian ini dilakukan merujuk pada penelitian terdahulu (Sharma & Singh, 2016) dengan modifikasi. Perhitungan yang digunakan pada pengujian kelarutan sebagai berikut:

$$\text{Kelarutan (\%)} = \frac{\text{berat sampel awal} - \text{berat sampel akhir}}{\text{Berat sampel awal}} \times 100 \quad (8)$$

2.4 Units

2.4 Japanese Industrial Standard

Penelitian ini mengacu pada *japanese industrial standard* untuk *edible film* (JIS) 1975 yang terdapat dalam (Qoeroti et al., 2021) dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. *Japanese Industrial Standard 1975 Untuk Edible film*

Karakteristik <i>Edible film</i>	<i>Japanese Industrial Standard</i>
Elongasi (%)	$\geq 70\%$
Ketebalan (mm)	$\leq 0,25$
Kuat Tarik (MPa)	$\geq 0,39$
Laju Transmisi Uap Air (g/m ² /Jam)	≤ 7
Modulus Young (MPa)	$\geq 0,35$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Ketebalan

Berdasarkan data pada Tabel 3, ketebalan *edible film* berada pada rentang 0,198–0,310 mm. Adanya peningkatan konsentrasi pati gandum dari 2% (PG2) menjadi 3% (PG3) cenderung menghasilkan ketebalan film yang lebih tinggi pada seluruh variasi perlakuan minyak atsiri. Pada perlakuan pati gandum 2%, nilai ketebalan relatif lebih rendah dibandingkan perlakuan pati gandum 3%. Hasil ini menunjukkan bahwa ketebalan film meningkat seiring bertambahnya konsentrasi pati gandum, sehingga penggunaan konsentrasi pati yang lebih tinggi menghasilkan film yang lebih tebal (Wahidin, M., et al, 2022).

Tabel 3. Hasil Uji Ketebalan

	Ketebalan (mm)			
	K0	K1	K2	Rerata \pm SD
PG2M0	0,288	0,198	0,244	0,243 \pm 0,045
PG2M1	0,28	0,238	0,26	0,259 \pm 0,021
PG2M2	0,261	0,250	0,231	0,247 \pm 0,015
PG3M0	0,289	0,300	0,290	0,293 \pm 0,006
PG3M1	0,299	0,31	0,298	0,302 \pm 0,007
PG3M2	0,302	0,29	0,283	0,292 \pm 0,010

Berdasarkan data pada **Tabel 3**, penambahan minyak atsiri kayu manis pada berbagai konsentrasi menunjukkan fluktuasi nilai ketebalan, baik pada perlakuan pati gandum 2% maupun 3%. Namun, perubahan ketebalan yang dihasilkan tidak menunjukkan peningkatan atau penurunan yang konsisten seiring dengan penambahan minyak atsiri. Secara umum, nilai ketebalan pada perlakuan dengan minyak atsiri (M1 dan M2) relatif tidak berbeda jauh dibandingkan dengan perlakuan tanpa minyak atsiri (M0). Hal ini mengindikasikan bahwa minyak atsiri tidak memberikan pengaruh dominan terhadap ketebalan film, terutama jika dibandingkan dengan pengaruh konsentrasi pati gandum sebagai bahan pembentuk matriks utama. Hal ini disebabkan minyak atsiri bersifat hidrofobik, sehingga penambahannya dalam sistem film berbasis pati dan kitosan dapat menyebabkan terbentuknya fase terdispersi di dalam matriks polimer.

Keberadaan fase minyak ini lebih berpengaruh terhadap mikrostruktur, permeabilitas uap air dan sifat mekanik dibandingkan terhadap ketebalan film (Ge *et al.*, 2019). Dengan demikian, minyak atsiri kayu manis tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap ketebalan *edible film*, dan faktor utama yang memengaruhi ketebalan film adalah konsentrasi pati gandum. Hasil analisis variansi (ANOVA) menunjukkan konsentrasi pati gandum dan kitosan berpengaruh signifikan terhadap ketebalan film dengan nilai signifikansi 0.000 ($p < 0.05$). Sebaliknya, minyak atsiri kayu manis tidak memberikan pengaruh signifikan

terhadap transparansi ($p > 0,05$). Selain itu, tidak terdapat pengaruh nyata dari interaksi antar faktor perlakuan terhadap ketebalan *edible film*.

3.2 Uji Transparansi

Hasil pengujian transparansi *edible film* yang ditampilkan pada **Tabel 4** menunjukkan nilai transparansi berada pada rentang 86,1–89,4%. Berdasarkan data yang diperoleh, konsentrasi pati gandum berpengaruh terhadap transparansi film. Film dengan konsentrasi pati gandum 2% (PG2) cenderung memiliki nilai transparansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan film dengan konsentrasi pati gandum 3% (PG3). Kondisi ini terjadi akibat peningkatan konsentrasi pati yang memperbesar kerapatan matriks dan pembentukan struktur yang lebih tebal, sehingga cahaya yang melewati film mengalami hamburan yang lebih besar dan menurunkan tingkat transparansi. Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya, yang menunjukkan peningkatan konsentrasi polimer cenderung menurunkan transparansi film akibat meningkatnya ketebalan dan densitas struktur film (Thakur et al., 2019)

Tabel 4. Hasil Uji Transparansi

	Transparansi (%)			
	K0	K1	K2	Rerata ± SD
PG2M0	87,8	89,2	89,4	88,80 ± 0,87
PG2M1	86,4	87,4	88,7	87,50 ± 1,15
PG2M2	87,7	88,3	87,3	87,77 ± 0,50
PG3M0	89,0	88,3	88,2	88,50 ± 0,44
PG3M1	87,7	87,4	88,6	87,90 ± 0,62
PG3M2	87,9	86,1	86,8	86,93 ± 0,91

Selain itu, penambahan kitosan menunjukkan kecenderungan meningkatkan nilai transparansi pada hampir seluruh perlakuan, khususnya pada variasi K2. Hal ini disebabkan oleh sifat kitosan yang mampu membentuk larutan atau suspensi yang relatif jernih ketika terdispersi dengan baik dalam larutan pembentuk film. Kitosan memiliki struktur yang homogen dan mampu berinteraksi secara baik dengan matriks pati, sehingga dapat mengurangi hamburan cahaya dan meningkatkan kejernihan film. Pengaruh minyak atsiri kayu manis terhadap transparansi film terlihat tidak konsisten. Pada beberapa perlakuan, penambahan minyak atsiri justru menurunkan nilai transparansi, terutama pada konsentrasi pati gandum 3%. Hal ini diduga disebabkan oleh sifat hidrofobik minyak atsiri yang dapat membentuk fase terdispersi dalam matriks film, sehingga meningkatkan hamburan cahaya dan menurunkan transparansi.

Fenomena serupa juga dilaporkan bahwa penambahan minyak atsiri pada film berbasis polisakarida dapat menyebabkan penurunan transparansi akibat terbentuknya struktur film yang kurang homogen (Song et al., 2018). Analisis ANOVA *three-ways* menunjukkan bahwa minyak atsiri kulit kayu manis memberikan pengaruh nyata sebab mengindikasikan nilai signifikansi 0,004 ($p\text{-value} < 0,05$). Pada uji transparansi variasi pati gandum dan kitosan juga memberikan pengaruh signifikan dengan nilai signifikansi 0,026 ($p\text{-value} < 0,05$). Berdasarkan temuan tersebut, transparansi *edible film* terutama dipengaruhi oleh konsentrasi pati gandum, kitosan dan minyak atsiri.

3.3 Uji Daya Serap

Dibawah ini merupakan hasil uji daya serap pada *edible film* disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Uji Daya Serap

	Daya Serap (%)			
	K0	K1	K2	Rerata ± SD
PG2M0	40	39	41	40,00 ± 1,00
PG2M1	41	42	54	45,67 ± 7,23
PG2M2	48	48	60	52,00 ± 6,93
PG3M0	31	42	33	35,33 ± 5,86
PG3M1	39	36	44	39,67 ± 4,04
PG3M2	36	38	35	39,67 ± 4,04

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai daya serap berada pada rentang 31%–60%. *Edible film* dengan konsentrasi pati gandum 2% (PG2) cenderung memiliki daya serap yang lebih tinggi dibandingkan dengan film dengan konsentrasi pati gandum 3% (PG3). Hal ini diduga karena pada konsentrasi pati yang lebih rendah, struktur matriks film relatif kurang rapat, sehingga memungkinkan air lebih mudah berdifusi dan diserap ke dalam jaringan film. Sebaliknya, peningkatan konsentrasi pati gandum menyebabkan terbentuknya struktur film yang lebih padat dan kompak, sehingga menurunkan kemampuan film dalam menyerap air. Fenomena ini sejalan menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi polisakarida dapat menurunkan daya serap air akibat meningkatnya densitas matrik (Zhao *et al.*, 2021).

Penambahan minyak atsiri kayu manis menunjukkan kecenderungan meningkatkan daya serap, khususnya pada perlakuan PG2. Pada perlakuan PG2M2K2, daya serap meningkat hingga 60%. Hal ini diduga akibat terbentuknya struktur film yang kurang homogen akibat keberadaan fase minyak atsiri yang bersifat hidrofobik dan terdispersi di dalam matriks hidrofilik. Ketidakhomogenan ini dapat menciptakan mikropori pada struktur film yang memudahkan air masuk dan meningkatkan daya serap. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, penambahan minyak atsiri dapat meningkatkan penyerapan air akibat perubahan mikrostruktur film (Lian *et al.*, 2019).

Pengaruh kitosan terhadap daya serap menunjukkan kecenderungan meningkatnya nilai daya serap seiring dengan peningkatan konsentrasi kitosan, terutama pada perlakuan dengan minyak atsiri. Kitosan bersifat hidrofilik dan memiliki gugus amina serta hidroksil yang mampu membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air, sehingga meningkatkan kemampuan film untuk menyerap air (Sulisyanai *et al.*, 2024). Hasil analisis (ANOVA) pada hasil uji daya serap menunjukkan bahwa, pati memberikan pengaruh signifikan dengan *p*-value sebesar 0,000 (*p*-value < 0,05). Begitu juga dengan penambahan kitosan, berpengaruh signifikan dengan *p*-value sebesar 0,045 (*p*-value < 0,05). Penambahan pati dan minyak atsiri kulit kayu manis juga memberikan pengaruh signifikan dengan *p*-value sebesar 0,005 (*p*-value < 0,05).

3.4 Uji Kadar Air

Dibawah ini merupakan data hasil uji kadar air pada *edible film* disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Uji Kadar Air

	Kadar Air (%)			
	K0	K1	K2	Rerata ± SD
PG2M0	17,6	18,6	17,8	18,00 ± 0,53
PG2M1	16,6	4,0	6,7	9,10 ± 6,61
PG2M2	15,0	7,7	7,2	9,97 ± 4,43
PG3M0	13,1	16,3	12,2	13,87 ± 2,12
PG3M1	10,9	4,3	8,2	7,80 ± 3,37
PG3M2	8,2	9,7	8,9	8,93 ± 0,76

Hasil pengujian daya serap air (kadar air) *edible film* yang ditunjukkan pada Tabel 6, memperlihatkan nilai kadar air berada pada kisaran 4,0–18,6%. Nilai tertinggi diperoleh pada perlakuan PG2M0K1 (18,6%), sedangkan nilai terendah diperoleh pada perlakuan PG2M1K1 (4,0%). *Edible film* dengan pati gandum 3% menampilkan kadar air yang lebih rendah dan kestabilan yang lebih baik dibandingkan pati 2%, yang disebabkan terbentuknya struktur matriks yang lebih padat dan kompak pada konsentrasi pati yang lebih tinggi, sehingga mengurangi ruang bebas yang dapat diisi oleh molekul air. Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya, yang menyatakan peningkatan konsentrasi bahan pembentuk film berbasis pati dapat menurunkan kadar air akibat meningkatnya ikatan antarmolekul dalam matriks film, sehingga menghambat penetrasi air (Safitri et al., 2020).

Penambahan minyak atsiri kayu manis menunjukkan kecenderungan menurunkan kadar air, terutama pada perlakuan PG2 dan PG3 dengan variasi M1 dan M2. Nilai kadar air pada perlakuan dengan minyak atsiri relatif lebih rendah dibandingkan perlakuan tanpa minyak atsiri (M0). Hal ini berkaitan dengan sifat hidrofobik minyak atsiri, yang dapat menghambat interaksi film dengan air serta mengurangi kemampuan film dalam menyerap kelembapan. Penambahan senyawa hidrofobik seperti minyak atsiri dalam matriks *edible film* dapat meningkatkan sifat ketahanan terhadap air dengan cara mengurangi afinitas film terhadap molekul air (Safitri et al., 2020). Penambahan kitosan menunjukkan pengaruh yang bervariasi terhadap kadar air. Pada beberapa perlakuan, peningkatan konsentrasi kitosan justru menurunkan kadar air secara signifikan, seperti pada perlakuan PG2M1K1 dan PG3M1K1. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara kitosan dan pati mampu membentuk jaringan film yang lebih stabil dan rapat melalui ikatan hidrogen dan interaksi elektrostatik, sehingga menurunkan kemampuan film dalam menyerap air.

Penambahan kitosan juga memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap kadar air, namun secara umum mampu menurunkan kadar air pada kombinasi tertentu. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya interaksi ikatan hidrogen antara kitosan dan pati yang memperkuat struktur matriks film, sehingga mengurangi ruang bebas untuk molekul air. Hasil ini mendukung penelitian sebelumnya, kitosan yang terdispersi dengan baik membentuk larutan relatif jernih, sehingga mampu meningkatkan kejernihan dan kestabilan struktur film (Apriliyani et al., 2020). Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa kombinasi pati dan kitosan dapat menghasilkan film dengan kadar air yang lebih rendah dibandingkan film pati tunggal, karena terbentuknya struktur matriks yang lebih terorganisir dan kuat (Deden et al., 2020). Hasil ANOVA menunjukkan bahwa konsentrasi kitosan dan pati gandum tidak

signifikan pengaruhnya terhadap kadar air film ($p > 0,05$). Sebaliknya, minyak atsiri kayu manis berpengaruh signifikan terhadap kadar air ($p > 0,05$).

3.5 Uji Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Dibawah ini merupakan data hasil pengujian kuat tarik pada *edible film* disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Uji Kuat Tarik

	Kuat Tarik (Mpa)			
	K0	K1	K2	Rerata \pm SD
PG2M0	0,109	0,366	0,524	0,333 \pm 0,209
PG2M1	0,226	0,202	0,344	0,257 \pm 0,076
PG2M2	0,241	0,248	0,925	0,471 \pm 0,393
PG3M0	0,334	0,367	0,635	0,445 \pm 0,164
PG3M1	0,620	0,523	0,574	0,572 \pm 0,048
PG3M2	0,325	0,516	0,507	0,449 \pm 0,107

Hasil pengujian kuat tarik menunjukkan bahwa nilai nilai kuat tarik *edible film* berada dalam rentang 0,257–0,572 MPa, dengan nilai tertinggi diperoleh pada komposisi PG3M1 sebesar 0,572 Mpa, sedangkan nilai terendah pada komposisi PG2M1 (0,257 MPa). Peningkatan konsentrasi pati gandum dari 2% menjadi 3% cenderung meningkatkan kuat tarik film. Hal ini disebabkan oleh pembentukan matriks film yang lebih rapat dan kuat dengan meningkatnya jumlah polimer, sehingga meningkatkan ketahanan film terhadap gaya tarik. Struktur matriks yang lebih kompak memungkinkan distribusi tegangan yang lebih merata saat film mengalami pembebanan. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, yang menyatakan peningkatan konsentrasi polimer pati dapat meningkatkan kuat tarik *edible film* akibat meningkatnya kerapatan matriks (Deden *et al.*, 2020).

Penambahan kitosan berkontribusi terhadap peningkatan kuat tarik *edible film*. Kitosan mampu membentuk ikatan hidrogen dan interaksi elektrostatis dengan pati, sehingga memperkuat jaringan polimer dan meningkatkan integritas mekanik film. Perlakuan dengan kitosan menunjukkan nilai kuat tarik yang relatif lebih tinggi dan stabil, yang menandakan struktur film yang lebih homogen. Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya, dimana kitosan berperan sebagai agen penguat dalam *edible film* berbasis polisakarida oleh (Apriliyani *et al.*, 2020). Sebaliknya, pengaruh minyak atsiri kayu manis terhadap kuat tarik bersifat fluktuatif. Pada konsentrasi tertentu, minyak atsiri mampu meningkatkan kuat tarik, namun pada perlakuan lain justru menurunkannya yang disebabkan adanya ketidakhomogenan struktur film. Minyak atsiri dapat meningkatkan atau menurunkan sifat mekanik film tergantung pada tingkat dispersi dan kompatibilitasnya dalam matriks polimer (Lian *et al.*, 2019). Analisis variansi (ANOVA) mengindikasikan bahwa faktor konsentrasi pati gandum dan kitosan berpengaruh signifikan terhadap kuat tarik *edible film* ($p < 0,05$), sedangkan minyak atsiri tidak menunjukkan pengaruh signifikan ($p > 0,05$).

3.6 Uji Elongasi

Dibawah ini merupakan data hasil pengujian elongasi pada *edible film* disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Uji Elongasi

	Elongasi (%)			Rerata ± SD
	K0	K1	K2	
PG2M0	26%	26%	34%	28,67 ± 4,62
PG2M1	27%	30%	45%	34,00 ± 9,85
PG2M2	30%	21%	35%	28,67 ± 7,09
PG3M0	33%	24%	39%	32,00 ± 7,55
PG3M1	25%	37%	67%	43,00 ± 21,63
PG3M2	30%	37%	29%	32,00 ± 4,36

Hasil pengujian elongasi *edible film* menunjukkan bahwa nilai elongasi berada pada kisaran 28,67%-43,00%. Perlakuan PG2M2 menghasilkan nilai elastisitas tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Secara umum, peningkatan konsentrasi pati gandum dari 2% menjadi 3% cenderung meningkatkan nilai elongasi ini, berkaitan dengan pembentukan matriks film yang lebih kontinu dan elastis akibat meningkatnya jumlah rantai polimer pati, sehingga film mampu mengalami deformasi yang lebih besar sebelum mengalami kerusakan. Hasil ini mendukung pernyataan dalam penelitian sebelumnya bahwa peningkatan konsentrasi polimer pati dapat meningkatkan elongasi film hingga batas tertentu karena meningkatnya kontinuitas struktur matriks (Safitri et al., 2020). Penambahan kitosan menunjukkan pengaruh yang bervariasi terhadap elongasi *edible film*. Pada beberapa perlakuan, kitosan mampu meningkatkan elongasi akibat interaksi antarmolekul yang meningkatkan fleksibilitas jaringan polimer. Namun, pada kombinasi tertentu, kitosan justru menurunkan elongasi karena meningkatkan kekakuan struktur film. Fenomena ini konsisten dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa kitosan berfungsi sebagai agen penguat tergantung pada konsentrasi dan interaksinya dengan polimer lain (Zhao et al., 2021).

Sementara itu, minyak atsiri kayu manis memberikan pengaruh fluktuatif terhadap elongasi film. Hal ini disebabkan minyak atsiri sebagai *plasticizer* alami yang meningkatkan jarak antar rantai polimer dan meningkatkan fleksibilitas film. Namun, apabila minyak atsiri tidak terdispersi secara homogen, dapat terbentuk fase terpisah yang justru menurunkan kemampuan film untuk meregang. Hal ini sejalan dengan temuan sebelumnya, yang melaporkan bahwa minyak atsiri dapat meningkatkan elongasi film berbasis kitosan atau pati apabila terdispersi dengan baik, namun dapat menurunkan sifat mekanik apabila menyebabkan ketidakhomogenan struktur film (Mathew et al., 2025). Hasil analisa (ANOVA) menunjukkan variasi komposisi kitosan memberikan pengaruh nyata pada uji elongasi dengan $p=0,000$ ($p\text{-value} < 0,05$). Penambahan variasi minyak atsiri pun turut memberikan pengaruh signifikan dengan perolehan nilai 0,025 dimana nilai $p\text{-value} < 0,05$. Sementara komponen lainnya memperoleh nilai $p\text{-value} > 0,05$.

3.7 Uji Elastisitas (*Modulus Young*)

Dibawah ini merupakan data hasil pengujian elastisitas (*modulus young*) pada *edible film* disajikan pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Hasil Uji Elastisitas

	Elastisitas (Mpa)			
	K0	K1	K2	Rerata ± SD
PG2M0	0,392	1,427	1,554	1,124 ± 0,641
PG2M1	0,688	0,663	0,763	0,705 ± 0,053
PG2M2	0,804	1,215	3,366	1,795 ± 1,357
PG3M0	1,062	1,868	1,763	1,564 ± 0,433
PG3M1	2,648	1,413	0,843	1,635 ± 0,911
PG3M2	1,087	1,393	1,774	1,418 ± 0,349

Hasil pengujian elastisitas menunjukkan bahwa nilai elastisitas *edible film* berada pada kisaran 0,705–1,795 MPa. Nilai elastisitas tertinggi diperoleh pada perlakuan PG2M2 (1,795 MPa), sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan PG2M1 (0,705 MPa). Data pada **Tabel 9** menunjukkan terjadi peningkatan konsentrasi pati gandum cenderung meningkatkan nilai elastisitas film. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah polimer pati yang membentuk matriks film yang lebih rapat dan kaku, sehingga film memiliki ketahanan yang lebih besar terhadap deformasi elastis. Hasil ini mendukung pernyataan dalam penelitian sebelumnya bahwa peningkatan konsentrasi polimer pati menyebabkan peningkatan modulus elastisitas akibat meningkatnya densitas dan kekompakan struktur film (Safitri *et al.*, 2020).

Penambahan kitosan berkontribusi terhadap peningkatan elastisitas *edible film*. Kitosan mampu membentuk ikatan hidrogen dan interaksi elektrostatis dengan pati, yang memperkuat jaringan polimer dan meningkatkan kekakuan film. Hal ini tercermin dari nilai elastisitas yang relatif tinggi pada perlakuan dengan kitosan tertentu. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kitosan berperan sebagai agen penguat (*reinforcing agent*) pada *edible film* berbasis polisakarida (Zhao *et al.*, 2021), sedangkan pengaruh minyak atsiri kayu manis terhadap elastisitas bersifat fluktuatif. Pada beberapa perlakuan, minyak atsiri meningkatkan elastisitas, yang mengindikasikan perannya dalam memperkuat struktur film ketika terdispersi secara homogen. Namun, pada perlakuan lain, minyak atsiri justru menurunkan elastisitas akibat kemungkinan terbentuknya fase terpisah yang melemahkan kontinuitas matriks film.

Fenomena ini selaras dengan laporan sebelumnya, yang menyebutkan bahwa minyak atsiri dapat mempengaruhi sifat mekanik film tergantung pada dispersi dan kompatibilitasnya dalam matriks (Song *et al.*, 2018). Standar JIS menetapkan bahwa nilai minimum *modulus young* untuk *edible film* ialah $\geq 0,35$ MPa, sehingga berdasarkan data grafik diatas dapat disimpulkan bahwa seluruh variasi komposisi memenuhi standar nilai *modulus young* berdasarkan standar JIS. Hasil analisa (ANOVA) menunjukkan pati, kitosan dan minyak atsiri tidak memberikan pengaruh nyata pada uji elastisitas dengan nilai p-value $> 0,05$.

3.8 Uji Laju Transmisi Uap Air

Dibawah ini merupakan data hasil pengujian elastisitas (*modulus young*) pada *edible film* disajikan pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Hasil Uji Laju Transmisi Uap Air

Laju Transmisi Uap Air (g/m ² /jam)				
	K0	K1	K2	Rerata ± SD
PG2M0	5,801	4,237	5,295	5,11 ± 0,79
PG2M1	6,736	4,458	4,284	5,16 ± 1,38
PG2M2	6,505	5,634	4,115	5,42 ± 1,20
PG3M0	5,234	3,987	3,616	4,28 ± 0,85
PG3M1	4,615	3,813	3,408	3,95 ± 0,61
PG3M2	5,691	5,162	4,581	5,15 ± 0,56

Hasil pengujian laju transmisi uap air (WVTR) menunjukkan bahwa nilai WVTR film berada pada kisaran 3,95–5,42 g/m²/jam. Nilai WVTR terendah diperoleh pada perlakuan PG3M, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada perlakuan PG2M2. Secara umum, peningkatan konsentrasi pati gandum dari 2% menjadi 3% cenderung menurunkan nilai WVTR. Hal ini menunjukkan bahwa film dengan konsentrasi pati yang lebih tinggi memiliki struktur matriks yang lebih rapat dan tebal, sehingga memperpanjang jalur difusi uap air dan menurunkan laju transmisi uap air. Hasil temuan ini selaras dengan penelitian sebelumnya, bahwa peningkatan konsentrasi polimer pati menyebabkan penurunan WVTR akibat meningkatnya densitas dan kekompakan struktur film (Deden et al., 2020).

Penambahan kitosan berpengaruh terhadap penurunan nilai WVTR pada beberapa perlakuan. Kitosan dapat berinteraksi dengan pati melalui ikatan hidrogen, membentuk jaringan film yang lebih kompak dan homogen sehingga mengurangi permeabilitas uap air (Siskawardani, 2025). Hasil ini sesuai dengan laporan yang menyatakan bahwa kitosan dapat meningkatkan sifat penghalang uap air pada *edible film* berbasis polisakarida (Zhao et al., 2021). Sementara itu, pengaruh minyak atsiri kayu manis terhadap WVTR bersifat fluktuatif. Pada beberapa perlakuan, penambahan minyak atsiri menurunkan WVTR akibat sifat hidrofobiknya yang menghambat difusi uap air. Namun, pada perlakuan lain minyak atsiri justru meningkatkan WVTR, yang diduga disebabkan oleh terbentuknya struktur film yang kurang homogen akibat fase minyak yang terdispersi tidak merata. Fenomena ini selaras dengan temuan sebelumnya, yang melaporkan bahwa minyak atsiri dapat memperbaiki atau menurunkan sifat penghalang uap air tergantung pada tingkat dispersi dan kompatibilitasnya dalam matriks film (Song et al., 2018). Hasil analisis (ANOVA) menunjukkan interaksi antara pati, kitosan, dan minyak atsiri kulit kayu manis memperoleh nilai signifikansi sebesar 0,017 (p -value < 0,05), serta kitosan memperoleh nilai signifikansi sebesar 0,000 (p -value < 0,05). Sementara komponen lainnya memperoleh nilai p -value > 0,05.

3.1.9 Uji Kelarutan

Dibawah ini merupakan data hasil pengujian kelarutan pada *edible film* disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 11. Hasil Uji Kelarutan

	Kelarutan (%)			
	K0	K1	K2	Rerata ± SD
PG2M0	33	14	30	25,67 ± 10,21
PG2M1	17	32	27	25,33 ± 7,64
PG2M2	27	27	25	26,33 ± 1,15
PG3M0	30	30	20	26,67 ± 5,77
PG3M1	25	18	23	22,00 ± 3,61
PG3M2	22	14	34	23,33 ± 10,07

Berdasarkan pengujian kelarutan, nilai kelarutan *edible film* berada pada kisaran 22,00–26,67%. Nilai kelarutan tertinggi diperoleh pada perlakuan PG3M0, sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan PG3M. Secara umum, peningkatan konsentrasi pati gandum dari 2% menjadi 3% cenderung menurunkan nilai kelarutan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah polimer pati yang membentuk matriks film yang lebih rapat dan kompak, sehingga mengurangi kemampuan air untuk menembus dan melarutkan struktur film. Hasil penelitian ini mendukung pernyataan dalam studi terdahulu bahwa peningkatan konsentrasi polimer pati dapat menurunkan kelarutan film akibat meningkatnya kekompakan matriks polimer (safitri *et al.*, 2020).

Penambahan kitosan berkontribusi terhadap penurunan kelarutan pada beberapa perlakuan. Kitosan mampu membentuk ikatan hidrogen dan interaksi elektrostatis dengan pati, sehingga memperkuat jaringan polimer dan meningkatkan ketahanan film terhadap pelarutan. Temuan ini mendukung pernyataan pada penelitian sebelumnya bahwa kitosan dapat menurunkan kelarutan film dengan cara memperkuat struktur matriks dan mengurangi hidrofilitas film (Apriliyani *et al.*, 2020). Sementara itu, pengaruh minyak atsiri kayu manis terhadap kelarutan bersifat fluktuatif. Pada beberapa perlakuan, penambahan minyak atsiri menurunkan kelarutan karena sifatnya yang hidrofobik dan mampu menghambat penetrasi air ke dalam matriks film (Lutviyani *et al.*, 2024). Namun, pada perlakuan lain, nilai kelarutan justru meningkat, yang diduga disebabkan oleh ketidakhomogenan struktur film akibat dispersi minyak yang tidak merata.

Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa keberadaan minyak atsiri dapat menyebabkan peningkatan maupun penurunan kelarutan *edible film* tergantung pada tingkat kompatibilitasnya dengan matriks polimer (Lian *et al.*, 2019). Secara keseluruhan, berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kelarutan *edible film* dipengaruhi oleh kombinasi konsentrasi pati gandum, kitosan, dan minyak atsiri, dengan konsentrasi pati dan kitosan sebagai faktor utama yang menurunkan kelarutan film. Hasil analisis (ANOVA) menunjukkan interaksi antara pati gandum dengan penambahan kitosan dan minyak atsiri kulit kayu manis memperoleh nilai signifikansi sebesar 0,032 ($p < 0,05$) mengonfirmasi adanya perbedaan yang signifikan, hal ini menandakan bahwa interaksi antara ketiga bahan tersebut memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai uji kelarutan. Sementara nilai signifikansi untuk masing-masing komposisi memperoleh nilai p -value $> 0,05$.

4. KESIMPULAN

Hasil analisa karakteristik *edible film* berbahan pati gandum yang dimodifikasi melalui penambahan kitosan dan minyak atsiri dari kulit kayu manis. *edible film* (*Cinnamomum Burmannii*), dan gliserol menunjukkan konsentrasi optimal pada sifat fisik terdapat pada komposisi Pati 2%, minyak 0%, kitosan 2%, dengan nilai ketebalan 0,244 mm dan nilai transparansi 89,4%. Pada karakteristik mekanik komposisi optimum diperoleh pada

konsentrasi Pati 2%, kitosan 2%, dan minyak 2% dengan nilai uji tarik 0,925 Mpa, elongasi 30%, dan nilai elastisitas (*modulus young*) sebesar 3,366. Pada karakteristik sifat kimia, komposisi optimum terdapat pada konsentrasi Pati 3%, kitosan 2%, dan minyak 2%, dengan nilai daya serap air sebesar 31%, kadar air sebesar 8,9%, kelarutan sebesar 34%. Pada karakteristik sifat *barrier* optimum terdapat pada komposisi Pati 3%, minyak 1%, dan kitosan 2% dengan nilai WVTR sebesar 3,402 g/m²/jam. Penelitian ini mengindikasikan bahwa konsentrasi pati gandum dan kitosan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi pati gandum dan kitosan terhadap karakteristik fisik dan mekanik *edible film*.

5. CATATAN PENULIS

Para penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan terkait penerbitan artikel ini. Penulis menegaskan bahwa artikel ini bebas dari plagiarisme.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Jakarta atas dukungan pendanaan melalui hibah PMTA Tahun 2025, serta kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Jurusan Teknik Grafika dan Penerbitan atas dukungan fasilitas laboratorium yang digunakan selama kegiatan penelitian.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Apriliyani, M. W., Manab, A., Apriliyanti, M. W., & Ikhwan, A. D. (2020). *Characteristics of Moisture Content, Swelling, Opacity and Transparency with Addition Chitosan as Edible films / Coating Base on Casein*. 18(1), 9–14.
- Asriani, N., Asikin, A. N., Irawan, I., Kusumaningrum, I., & Pamungkas, B. F. (2025). Penambahan Campuran Plasticizer Gliserol dan Sorbitol Terhadap Karakteristik Edible Film Karagenan. *Journal of Marine Research*, 14(1), 45-53.
- Deden, M., Rahim, A., & Asrawaty, A. (2020). Sifat Fisik Dan Kimia Edible Film Pati Umbi Gadung Pada Berbagai Konsentrasi. *Jurnal Pengolahan Pangan*, 5(1), 26-33.
- Dick, M., Costa, T. M. H., Goma, A., Subirade, M., de Oliveira Rios, A., & Flôres, S. H. (2015). Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydrate polymers*, 130, 198-205.
- Faridah, C. N. (2022). Potensi bioplastik dengan penambahan agen antibakteri sebagai kemasan aktif ramah lingkungan. *Edufortech*, 7(1), 11-20.
- Fu, J., Alee, M., Yang, M., Liu, H., Li, Y., Li, Z., & Yu, L. (2022). Synergizing multi-plasticizers for a starch-based edible film. *Foods*, 11(20), 3254.
- Ge, X., Yu, L., Liu, Z., Liu, H., Chen, Y., & Chen, L. (2019). Developing acrylated epoxidized soybean oil coating for improving moisture sensitivity and permeability of starch-based film. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 370–375.
- Guo, M. (2015). Antimicrobial property and microstructure of micro-emulsion edible composite films against *Listeria*. *International Journal of Food Microbiology*, 208, 58–64.
- Kumar, N., Pratibha, Trajkovska Petkoska, A., Khojah, E., Sami, R., & Al-Mushhin, A. A. (2021). Chitosan edible films enhanced with pomegranate peel extract: Study on physical, biological, thermal, and barrier properties. *Materials*, 14(12), 3305.

- Kurniasari, F., Sutan, S. M., & Prasetyo, J. (2022). Aplikasi Edible Coating Kitosan Pada Cabai Merah Selama Penyimpanan terhadap Mutu dan Tingkat Kematangannya. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 10(2).
- Layuk, P., Winanda, E., Lintang, M., Lukas, A., Ramlah, S., & Ola, L. O. L. (2023, September). Characteristics of sago and pectin edible film with the addition of chitosan and its use in hard candy wrappers. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1230, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- Li, X., Li, F., Zhang, X., Tang, W., & Huang, M. (2024). Current Research in Food Science Interaction mechanisms of *edible film* ingredients and their effects on food quality. *Current Research in Food Science*, 8(December 2023), 100696.
- Lian, H., Peng, Y., Shi, J., & Wang, Q. (2019). *Effect of emulsi fi er hydrophilic-lipophilic balance (HLB) on the release of thyme essential oil from chitosan fi lms*. 97(61).
- Lintang, M., Tandi, O., Layuk, P., Karouw, S., & Dirpan, A. (2021). Characterization *edible films* of sago with glycerol as a plasticizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 807(2).
- Safitri, E. L. D., Warkoyo, W., & Anggriani, R. (2020). Kajian Karakteristik Fisik dan Mekanik Edible Film Berbasis Pati Umbi Suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*) dengan Variasi Konsentrasi Lilin Lebah. *Food Technology and Halal Science Journal*, 3(1), 57-70.
- Qoeroti, B., Pangastuti, A., & Susilowati, A. R. I. (2021). *Application of edible film incorporated with Portulaca oleracea extract to inhibit microbiological and oxidative damage in sausages*. 22(8), 3556–3561.
- Mathew, D., Sudheep, N. M., & Thomas, B. (2025). Cinnamon Essential Oil-Enhanced Arrowroot Starch-Based Biodegradable Films for Sustainable Packaging and Microbial Preservation of Chicken Meat. *Results in Surfaces and Interfaces*, 100617.
- Muthu, M., Gopal, J., Chun, S., Devadoss, A. J. P., Hasan, N., & Sivanesan, I. (2021). Crustacean waste-derived chitosan: antioxidant properties and future perspective. *Antioxidants*, 10(2), 228.
- Nishant Kumar, Pratibha, Anka Trajkovska Petkoska, Ebtihal Khojah, R. S., & Al-Mushhin, and A. A. M. (2021). Chitosan *Edible films* Enhanced with Pomegranate Peel Extract : *Materials*, 14(3305), 1–18.
- Qoeroti, B., Pangastuti, A., & Susilowati, A. R. I. (2021). *Application of edible film incorporated with Portulaca oleracea extract to inhibit microbiological and oxidative damage in sausages*. 22(8), 3556–3561.
- Sulistiyana, S., Riyandari, B. A., & Nurkamariati, N. (2024). Sintesis dan Karakterisasi Film Pengemas Aktif dari Kombinasi Kitosan-Alginat dan Asam Sitrat. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 20(1), 120-129.
- Sartika. (2022). Tensile properties of *edible films* from various types of starch with the addition of glycerol as plasticizer : a review Tensile properties of *edible films* from various types of starch with the addition of glycerol as plasticizer : a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1115(1)(012075).
- Shanbhag, C., & Shenoy, R. (2023). Formulation and characterization of starch - based novel biodegradable *edible films* for food packaging. *Journal of Food Science and Technology*, 60(11), 2858–2867.

- Sharma, L., & Singh, C. (2016). Sesame protein based *edible films*: Development and characterization. *Food Hydrocolloids*.
- Siskawardani, D. D., Warkoyo, Hidayat, R., & Sukardi. (2020, February). Physic-mechanical properties of edible film based on taro starch (*Colocasia esculenta* L. Schoott) with glycerol addition. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 458, No. 1, p. 012039). IOP Publishing.
- Song, X., Zuo, G., & Chen, F. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Effect of essential oil and surfactant on the physical and antimicrobial properties of corn and wheat starch films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 1302–1309.
- Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S. P., & Vuong, Q. V. (2019). International Journal of Biological Macromolecules Starch-based films : Major factors affecting their properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 1079–1089.
- Wahidin, M., Srimarlita, A., Sulaiman, I., & Indarti, E. (2022). Transparency and thickness of jackfruit and durian seed starch *edible film* Transparency and thickness of jackfruit and durian seed starch *edible film*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 667(1)(012030).
- Wang, J., Sun, X., Xu, X., Sun, Q., Li, M., Wang, Y., & Xie, F. (2022). Wheat flour-based edible films: effect of gluten on the rheological properties, structure, and film characteristics. *International journal of molecular sciences*, 23(19), 11668.
- Yanti, N. A., Ahmad, S. W., Ramadhan, L. O. A. N., & Walhidayah, T. (2021). Mechanical properties of *edible film* based bacterial cellulose from sago liquid waste using starch as stabilizer Mechanical properties of *edible film* based bacterial cellulose from sago liquid waste using starch as stabilizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 948(1)(012063).
- Zhao, Y., Li, B., Li, C., Xu, Y., Luo, Y., Liang, D., & Huang, C. (2021). *Comprehensive Review of Polysaccharide-Based Materials in Edible Packaging: A Sustainable Approach*.
- Zhou, Y., Wu, X., Chen, J., & He, J. (2021). Effects of cinnamon essential oil on the physical, mechanical, structural and thermal properties of cassava starch-based *edible films*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184(December 2020), 574–583.