

POTENSI EKSTRAK BIJI ALPUKAT SEBAGAI KOMPONEN AKTIF PENGAWET DALAM *EDIBLE FILM* BERBASIS PATI UBI KAYU

Istiyati Inayah¹, Ira Endah Rohima¹, Ina Siti Nurminabari¹, Zahrah¹

¹ Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan, Jl. Setiabudhi 193, Bandung, Indonesia

E-mail korespondensi: istiyatiinayah@unpas.ac.id

Abstrak

Edible film yang berasal dari bahan alami menjadi alternatif kemasan pangan yang berkelanjutan. Namun sifat fungsionalnya yang terbatas memerlukan penambahan senyawa bioaktif. Ekstrak biji alpukat merupakan sumber potensial senyawa antibakteri alami, tetapi penerapannya dalam film edible masih jarang dieksplorasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *edible film* berbasis pati singkong yang diperkaya dengan ekstrak biji alpukat serta mengevaluasi sifat fisikokimia dan antibakterinya. Ekstrak etanol biji alpukat dikarakterisasi menggunakan GC-MS, dianalisis total polifenolnya dan diuji aktivitas antibakterinya. *Edible film* dibuat dari pati singkong dan gliserol dan ekstrak biji alpukat dengan variasi konsentrasi (0–10% b/b). *Edible film* diuji kadar air, laju transmisi uap air, kelarutan, daya serap air, profil tekstur, dan aktivitas antibakterinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak biji alpukat mengandung empat senyawa dominan yaitu, asam n-heksadecanoat, 2-(2-hidroksiklooktil)-furan, 5,10-pentadekadien-1-ol (Z, Z), dan 1H-1,2,3-triazol-4-karboksaldehida dengan total polifenol sebesar 29,82%. Pada konsentrasi ekstrak biji alpukat 10%, zona hambat terhadap *E. coli* sebesar 15,44 mm. Penambahan ekstrak ke dalam edible film berpengaruh signifikan terhadap kadar air, kelarutan, daya serap air, dan aktivitas antibakteri, namun tidak terhadap transmisi uap air. Penambahan ekstrak biji alpukat 5% menunjukkan hasil yang terbaik pada kekuatan mekanik, sifat penghalang, dan efektivitas antibakteri. Penambahan ekstrak biji alpukat berpotensi digunakan sebagai bahan kemasan aktif alami untuk meningkatkan keamanan dan umur simpan pangan.

Kata kunci: aktivitas antibakteri, ekstrak biji alpukat, *edible film*.

Abstract

*Edible films derived from natural ingredients are a sustainable alternative to food packaging. However, its limited functional properties require the addition of bioactive compounds. Avocado seed extract is a potential source of natural antibacterial compounds, but its application in edible films is still rarely explored. This study aims to develop an edible film based on cassava starch enriched with avocado seed extract and evaluate its physicochemical and antibacterial properties. Avocado seed ethanol extract was characterized using GC-MS, analyzed for total polyphenols and tested for antibacterial activity. Edible films are made from cassava starch and glycerol and avocado seed extract with varying concentrations (0–10% b/b). Edible films are tested for their moisture content, moisture transmission rate, solubility, water absorption, texture profile, and antibacterial activity. The results showed that avocado seed extract contained four dominant compounds, namely, n-hexadecanoic acid, 2-(2-hydroxycyclokyky)-furan, 5,10-pentadecadien-1-ol (Z, Z), and 1H-1,2,3-triazole-4-carboxyladehyde with a total polyphenol of 29.82%. At a concentration of 10% avocado seed extract, the barrier zone against *E. coli* is 15.44 mm. The addition of extracts to edible films has a significant effect on moisture content, solubility, water absorption, and antibacterial activity, but not on water vapor transmission. The addition of 5% avocado seed extract showed the best results in mechanical strength, barrier properties, and antibacterial effectiveness. The addition of avocado seed extract has the potential to be used as a natural active packaging material to improve food safety and shelf life.*

Keywords: Antibacterial activity, avocado seed extract, *edible film*.

1. Pendahuluan

Penggunaan plastik sebagai pengemas pangan masih mendominasi karena sifatnya yang ringan, fleksibel, dan ekonomis. Namun, keberadaan limbah plastik *non-biodegradable* menimbulkan masalah

lingkungan seperti kontaminasi mikroplastik di tanah dan air serta emisi gas rumah kaca. Sebagai tanggapan terhadap meningkatnya kesadaran lingkungan, pengembangan kemasan yang berkelanjutan, terutama

kemasan biodegradable dan dapat dimakan menjadi kebutuhan mendesak.

Edible film yang dibuat dari bahan alami, aman dikonsumsi, dan ramah lingkungan menjadi alternatif pengganti plastik. Berbagai biopolimer seperti polisakarida, protein, dan lipid telah diteliti sebagai pengganti plastik berbasis minyak bumi (Tabassum *et al.*, 2024). Namun, *edible film* berbasis pati termasuk dari pati singkong memiliki sifat penghalang kelembapan yang buruk, kekuatan mekanik terbatas, dan tidak memiliki bioaktivitas (Mousavi and Mahmoudpour, 2024; Faisal *et al.*, 2025). Penambahan komponen bioaktif seperti antioksidan dan antimikroba menjadi strategi untuk mengatasi kelemahan tersebut (Zhou *et al.*, 2025).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan ekstrak alami, minyak atsiri, dan polifenol nabati dapat meningkatkan stabilitas mekanik dan memberikan aktivitas antimikroba pada film biopolimer. Misalnya, film berbasis kitosan dengan minyak atsiri terbukti memiliki aktivitas antibakteri yang kuat serta fleksibilitas lebih baik (Khubiev *et al.*, 2023). Kombinasi biopolimer dan senyawa bioaktif juga meningkatkan kekuatan tarik serta ketahanan air (Zhou *et al.*, 2025).

Pemanfaatan limbah pertanian sebagai aditif

elongasi, ketebalan), kimia kadar air dan aktivitas antimikroba terhadap patogen pangan terpilih terhadap *edible film* yang diperkaya oleh ekstrak biji alpukat dengan berbagai variasi konsentrasi.

2. Bahan dan Metode Penelitian

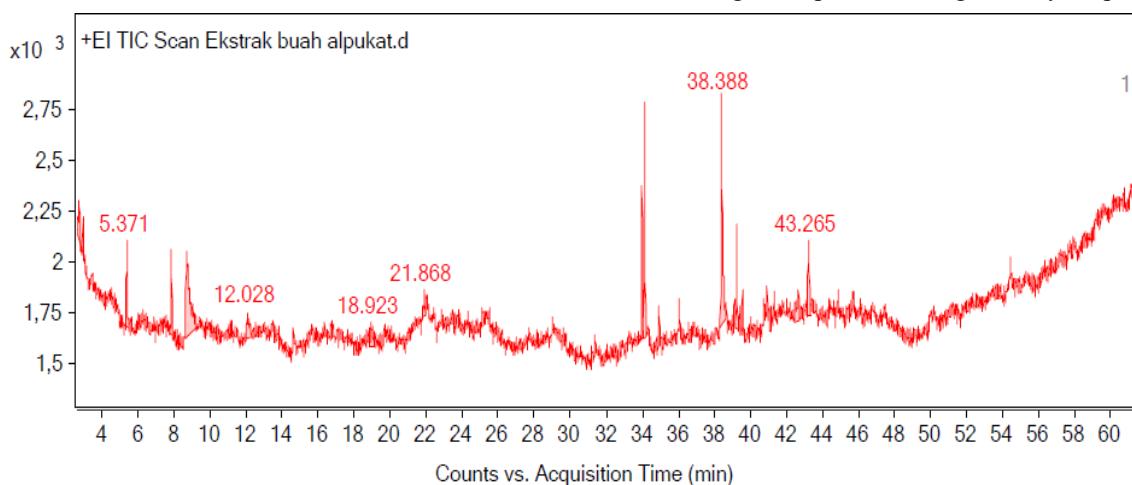
2.1 Bahan

Biji alpukat varietas *Ijo Bundar* diperoleh dari sumber lokal di Indonesia. Etanol 96%, pati singkong, akuades, gliserol, CMC, dan lilin lebah diperoleh dari Merck (Jerman). Nutrient agar dari Oxoid (UK). Strain bakteri uji meliputi *E. coli* ATCC 25922, *B. cereus* ATCC 11778, *S. typhi* ATCC 6539, *S. dysenteriae* ATCC 13313, dan *S. aureus* ATCC 25923.

Bahan kimia yang diperlukan dalam proses analisis meliputi silika gel, kertas saring Whatman, serbuk Mg, HCl 5 N, amil alkohol, kloroform, amonia, H₂SO₄ 2 M, reagen Dragendorff, Meyer, Wagner, serta FeCl₃.

2.2 Pembuatan dan Karakterisasi Ekstrak Biji Alpukat

Biji alpukat dicuci, dikeringkan, dan digiling halus. Sebanyak 100 g bubuk dimaserasi dalam 1000 mL etanol 96% (1:10 b/b) pada 25 °C selama 24 jam. Filtrat disaring dan dipekatkan dengan rotary evaporator (70 °C)



Gambar 1. Kromatogram Ekstrak Etanol Biji Alpukat

fungisional pada *edible film* masih terbatas. Biji alpukat (*Persea americana*), yang sering dibuang, kaya akan fenolik, flavonoid, dan tanin dengan potensi antimikroba tinggi (Nascimento *et al.*, 2025). Integrasi ekstrak biji alpukat ke dalam film berbasis pati singkong menjadi pendekatan inovatif untuk meningkatkan bioaktivitas film sekaligus menambah nilai limbah pertanian, sejalan dengan konsep ekonomi sirkular dan sistem pangan berkelanjutan.

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji potensi ekstrak biji alpukat sebagai bahan aktif pengawet dalam *edible film* berbasis pati ubi kayu. Secara khusus, dalam penelitian ini dilakukan karakterisasi terhadap ekstrak biji alpukat dan dilakukan evaluasi sifat fisik (kekuatan tarik,

hingga pelarut habis).

Komposisi kimia ekstrak biji alpukat dianalisis menggunakan GC-MS (Adams, 2007) dengan identifikasi berdasarkan pustaka NIST. Kandungan total polifenol ditentukan dengan metode Folin-Ciocalteu (Singleton, Orthofer and Lamuela-Raventos, 1999), dinyatakan sebagai mg ekuivalen asam galat (GAE) per g ekstrak.

Aktivitas antibakteri diuji dengan metode difusi sumur agar (CLSI, 2016) terhadap *E. coli*, *S. aureus*, *B. cereus*, *S. typhi*, dan *S. dysenteriae*. Zona hambat diukur setelah inkubasi 24 jam pada 37 °C.

2.3 Pembuatan dan Karakterisasi Edible Film yang diperkaya Ekstrak Biji Alpukat

Suspensi pati singkong (1:9 b/b) dipanaskan hingga tergelatinisasi (50 °C, 20 menit). Gliserol ditambahkan sebagai plastisizer, lalu ekstrak biji alpukat dimasukkan dengan konsentrasi 2,5; 5,0; 7,5; dan 10% (b/b). Kontrol dibuat tanpa penambahan ekstrak biji alpukat (0%). Campuran dituangkan ke dalam cetakan, dan dikeringkan (50 °C, 6 jam). Film kering dikondisikan dalam desikator sebelum diuji. Karakterisasi yang dilakukan meliputi pengujian kadar air (AOAC, 2012), kelarutan (Santoso, 2020), ketebalan, laju transmisi uap air (Santoso, 2020), dan aktivitas antibakteri sesuai standar CLSI (2012).

lipofilik. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa asam palmitat memiliki aktivitas antibakteri yang kuat, efektif menghambat *E. Coli* dan *S. Aureus* yang bekerja dengan mengganggu membran sel bakteri. Keberadaan senyawa ini dalam *edible film* berpotensi meningkatkan sifat hidrofobik film, sehingga dapat menurunkan kelarutan air dan memperbaiki ketahanan terhadap uap air, berkontribusi minor terhadap aktivitas antibakteri dan dapat membantu fleksibilitas dan tekstur film jika digunakan dengan konsentrasi yang tepat.

1H-1,2,3-Triazole-4-carboxaldehyde merupakan senyawa heterosiklik aromatik yang mengandung nitrogen. Triazole dan turunannya banyak digunakan dalam obat-obatan antijamur dan antibakteri. Senyawa ini merupakan sumber utama aktivitas antibakteri pada ekstrak, dapat bekerja efektif terhadap akteri Gram-

Tabel 1. Hasil Karakterisasi Ekstrak Etanol Biji Alpukat Menggunakan GC-MS

Puncak	Area	Waktu Retensi (RT)	% Area	Tinggi	Komponen Kimia
1	990	2.67	3.02	182.38	Urea
2	385.1	2.91	1.18	173.73	Acetamide, 2-fluoro-
3	1646	5.37	5.02	426.83	2,3-Butanediol, 2,3-dimethyl-
4	1196	7.83	3.65	415.22	1-Hexanone, 5-methyl-1-phenyl-
5	6557	8.66	20.01	415.27	Allophanic acid, phenyl ester
6	1166	12	3.56	127.74	Ethane, 1,2-dibromo-
7	1184	18.9	3.61	112.67	Carbamic acid, monoammonium salt
8	451.9	21.9	1.38	129.15	1,1-Diisobutoxy-butane
9	2527	34	7.71	752.6	Benzene, (1-methylpropoxy)
10	4051	34.1	12.36	1153.9	2-(2-Hydroxycyclooctyl)-furan:
11	6524	38.4	19.91	1140.5	n-Hexadecanoic acid
12	1684	39.2	5.14	507.17	(E)-2-(Pentadec-2-en-1-yl)furan
13	558.1	39.6	1.7	203.84	1H-1,2,3-Triazole-4-carboxaldehyde
14	1638	42.7	5	157.06	Formic acid, ethenyl ester
15	2214	43.3	6.76	367.97	5,10-Pentadecadien-1-ol, (Z,Z)-

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisis GC-MS Ekstrak Biji Alpukat

Berdasarkan kromatogram pada Gambar 1, diperoleh 15 puncak dominan dari hasil analisis GC-MS. Rincian waktu retensi, area dan intensitas senyawa kimia yang terkandung dalam ekstrak biji alpukat terlihat pada tabel 1. Senyawa paling dominan berdasarkan area dan intensitasnya adalah n-Hexadecanoic acid, 2-(2-Hydroxycyclooctyl)-furan, 5,10-Pentadecadien-1-ol (Z,Z) dan 1H-1,2,3-Triazole-4-carboxaldehyde.

n-Hexadecanoic acid atau disebut asam palmitat muncul pada waktu retensi 38,3-38,5 menit. Senyawa ini paling dominan dalam ekstrak biji alpukat dan bersifat

negatif dan Gram-positif dan stabil secara kimia dan termal, cocok untuk sistem film pangan.

2-(2-Hydroxycyclooctyl)-furan merupakan senyawa heterosiklik dengan gugus hidroksil dan cincin furan. Senyawa ini belum banyak dilaporkan secara spesifik dalam literatur, tetapi furan dan turunannya memiliki sifat antioksidan dan antibakteri. Gugus hidroksil meningkatkan kelarutan dalam air dan kemungkinan reaktivitas biologis. Keberadaan senyawa ini dalam *edible film* berpotensi sebagai antioksidan dan antibakteri dalam sistem film, mungkin berinteraksi dengan pati/gliserol melalui ikatan hidrogen, memengaruhi struktur mikrofilm dan kontribusi terhadap

aktivitas biologis dan ketahanan terhadap kontaminasi mikroba.

5,10-Pentadecadien-1-ol merupakan alkohol rantai panjang dengan dua ikatan rangkap (dien). Senyawa ini bersifat amfifilik (memiliki gugus hidrofilik dan hidrofobik), dapat bertindak sebagai emulsifier alami dan berpotensi sebagai aktivitas antimikroba ringan karena struktur tak jenuh. Keberadaan senyawa ini dalam *edible film* berpotensi meningkatkan fleksibilitas dan homogenitas film, potensial sebagai agen pembentuk lapisan pelindung terhadap mikroorganisme dan dapat membantu dispersi komponen ekstrak dalam matriks film secara merata.

3.2 Hasil Uji Total Polifenol

Berdasarkan hasil analisis, ekstrak biji alpukat mengandung total polifenol sebesar 29,82%. Namun, dari hasil analisis GC-MS, tidak terdeteksi adanya senyawa polifenol. Tidak terdeteksinya senyawa polifenol dalam GC-MS dapat disebabkan karena keterbatasan GC-MS terhadap senyawa polar dan berat molekul tinggi. GC-MS (*Gas Chromatography-Mass*

Banyak fenol dan flavonoid (*caffeic*, *ferulic*, *rutin*, *catechin*, *vanillic*) bertindak dalam merusak permeabilitas membran dan menghambat enzim vital (Rodríguez-Valdovinos *et al.*, 2024), efek sinergis Caffeic acid + quinic acid menunjukkan penurunan signifikan populasi bakteri, menunjukkan potensi antibakteri (Kabir *et al.*, 2014), aktivitas antioksidan yang kuat (catechin, chlorogenic, rutin) mendukung stabilitas struktur sel dan memperkuat efek antibakteri (Rodríguez-Valdovinos *et al.*, 2024).

3.3 Hasil Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Biji Alpukat

Pengujian aktivitas antibakteri dilakukan terhadap lima bakteri yang mewakili bakteri gram positif, gram negatif dan bakteri patogen asal makanan. Sampel uji menggunakan ekstrak biji alpukat dengan konsentrasi 10% (10mg/mL) dan 100% (100 mg/mL). Pelarut yang digunakan untuk mengencerkan ekstrak adalah DMSO. Kontrol positif berupa senyawa *chlorhexidine* dan kontrol negatif berupa pelarut DMSO. Hasil uji aktivitas antibakteri terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Biji Alpukat

Bakteri Uji	Rata-rata zona hambat (mm)			
	Ekstrak 10% (b/v)	Ekstrak 100% (b/v)	CHX* 1% (b/v)	DMSO** 10% (b/v)
<i>Escherichia coli</i>	15,44 ± 1,43	16,41 ± 0,34	20,1 ± 0,85	TA
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	17,07 ± 0,41	TA
<i>Bacillus cereus</i>	13,86 ± 0,36	13,84 ± 1,13	24,27 ± 1,27	TA
<i>Salmonella typhi</i>	15,08 ± 0,24	17,83 ± 2,43	19,80 ± 0,64	TA
<i>Shigella dysenteriae</i>	12,27 ± 2,23	12,00 ± 0,63	19,23 ± 0,63	TA

Spectrometry) sangat efektif untuk mendeteksi senyawa yang mudah menguap (volatile), senyawa dengan berat molekul rendah sampai sedang dan senyawa yang termal stabil (tidak rusak oleh panas). Sedangkan senyawa polifenol umumnya tidak mudah menguap (*non-volatile*), sangat polar (karena banyak gugus -OH) dan mudah terdegradasi oleh panas selama injeksi GC. Oleh karena itu, senyawa polifenol tidak mudah terdeteksi oleh GC-MS tanpa proses derivatisasi (misalnya silylasi) untuk membuatnya volatil. Polifenol lebih cocok dianalisis dengan LC-MS atau HPLC karena struktur polifenol sangat polar, stabil di fase cair dan tidak volatil.

Komponen polifenol yang berhasil diidentifikasi dari ekstrak etanol biji alpukat adalah *catechin*, *caffeic acid*, *chlorogenic acid*, *(Epi)catechin*, *ferulic acid*, *kaempferol*, *kaempferide*, *procyanidins*, *rutin*, *Trans-5-O-caffeyoyl-D-quinic acid* dan *Vanillic acid* (Setyawan, 2021). Beberapa senyawa polifenol tersebut berpotensi sebagai senyawa antibakteri dengan mekanisme gangguan membran & enzim bakteri

Berdasarkan hasil pengujian, ekstrak biji alpukat (10% dan 100%) menunjukkan aktivitas antibakteri yang signifikan terhadap empat bakteri uji yaitu *E. coli*, *B. cereus*, *S. typhi* dan *S. dysenteriae*. Sementara itu, tidak terlihat aktivitas antibakteri pada bakteri *S. aureus*.

Diameter zona hambat untuk semua bakteri uji berbeda-beda. Perbedaan ini dapat disebabkan perbedaan komponen penyusun dinding sel bakteri dan ketahanan bakteri terhadap senyawa antibakteri. Bakteri gram positif memiliki dinding sel yang tebal dan terdiri atas lapisan peptidoglikan yang kaya, mencapai 20–80 nm, tanpa lapisan membran luar. Sebaliknya, bakteri Gram negatif memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih tipis (sekitar 2–7 nm) tetapi dilindungi oleh membran luar yang mengandung lipopolisakarida (LPS), yang berfungsi sebagai penghalang tambahan terhadap senyawa asing, termasuk senyawa antibakteri (Madigan and Martinko, 2005). Perbedaan ini menyebabkan bakteri gram negatif umumnya lebih resisten terhadap berbagai zat antimikroba dibandingkan gram positif.

Meskipun secara umum bakteri gram negatif lebih tahan terhadap senyawa antimikroba karena adanya membran luar yang kompleks, efektivitas ekstrak tumbuhan juga sangat bergantung pada jenis dan konsentrasi senyawa aktif yang terkandung dalam ekstrak tersebut. Ekstrak biji alpukat mengandung senyawa fenolik, flavonoid, tanin, dan saponin, namun profil fitokimia dan kelarutan senyawa-senyawa ini dapat mempengaruhi spektrum aktivitas antibakterinya. Beberapa senyawa antibakteri yang berasal dari tanaman bersifat lebih efektif terhadap bakteri gram negatif karena mekanisme kerja spesifik yang mengganggu struktur membran luar atau proses metabolisme khas gram negatif (Evans and Cowan, 2016).

Faktor lain yang menyebabkan tidak terbentuknya zona bening pada *S. aureus* adalah konsentrasi senyawa aktif yang belum mencukupi untuk menghambat pertumbuhan *S. aureus*. Selain itu, *S. aureus* memiliki sistem pertahanan lain seperti enzim-enzim inaktivator dan biofilm yang bisa menghambat kerja senyawa antimikroba (Otto, 2014). Konsentrasi fenolik dalam ekstrak biji alpukat efektif terhadap *E. coli* karena sifat lipofilik senyawa tersebut mampu menembus membran luarnya, tetapi belum cukup kuat untuk memengaruhi dinding sel atau sistem pertahanan *S. aureus*.

3.4 Hasil Karakterisasi *Edible Film* Ekstrak Biji Alpukat

Edible film yang telah ditambahkan ekstrak biji alpukat dilakukan pengujian untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh penambahan ekstrak biji alpukat terhadap karakteristik dan aktivitas antibakteri *edible film*. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kadar air, laju transmisi uap air, kelarutan, *water uptake*, profil tekstur dan aktivitas antibakteri dari *edible film*.

3.4.1 Kadar Air *Edible Film*

Kadar air *edible film* merupakan salah satu standar mutu yang penting untuk menentukan kualitas *edible film* yang dihasilkan (Diova, Darmanto and Rianingsih, 2013). Kadar air *edible film* sangat memengaruhi kualitas *edible film* yang dihasilkan. *Edible film* akan menjadi lebih mudah rusak apabila memiliki kadar air yang tinggi, selain itu juga dapat menyebabkan sifat elastisitas dan plastisitasnya akan berkurang.

Berdasarkan hasil analisis pada tabel 3, kadar air *edible film* yang dihasilkan sudah memenuhi standar nasional Indonesia yaitu SNI 06-3735-1995, yang menyatakan syarat mutu *edible film* adalah memiliki kadar air maksimum 16%. Dalam penelitian ini, kadar air *edible film* pati ubi kayu dipengaruhi oleh konsentrasi ekstrak biji alpukat. Hal ini disebabkan karena penambahan ekstrak meningkatkan jumlah padatan dalam *edible film* sehingga kadar airnya menurun. Hal ini sejalan dengan penelitian Shintia A., et.al. (2022) yang menyatakan bahwa semakin banyak penambahan ekstrak metanol daun tahongai ke dalam pembuatan *edible film* galaktomanan, maka kadar airnya akan semakin menurun.

Tabel 3. Hasil Analisis Kadar Air *Edible Film* Ekstrak Biji Alpukat

Ekstrak Biji Alpukat (%)	Nilai Rata-Rata Kadar Air (%)
0	12,29 ± 0,373 ^d
2,5	10,26 ± 0,103 ^c
5	9,12 ± 0,734 ^b
7,5	8,19 ± 0,649 ^a
10	7,76 ± 0,878 ^a

Keterangan: Huruf yang berbeda pada setiap perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf 5%.

Senyawa yang terkandung dalam ekstrak biji alpukat juga memiliki peran dalam penurunan kadar air *edible film*. Senyawa fenolik seperti tanin dan flavonoid yang terdapat dalam ekstrak biji alpukat dapat berinteraksi dengan gugus hidroksil pada molekul pati melalui ikatan hidrogen atau ikatan kovalen. Interaksi tersebut memperkuat struktur film dan mengurangi ruang bebas untuk molekul air, akibat dari jaringan ikatan silang, sehingga menurunkan kadar air dalam film (Wang et al., 2022). Penambahan asam galat yang merupakan salah satu jenis senyawa fenolik ke dalam *film* pati kentang menghasilkan penurunan kadar air dan kelarutan air (Zhang, Zhao and Shi, 2016). Hal ini disebabkan oleh pembentukan ikatan silang antara asam galat dan pati, yang meningkatkan kekompakan struktur film dan mengurangi kemampuan film untuk menyerap air.

3.4.2 Laju Transmisi Uap Air *Edible Film*

Laju transmisi uap air adalah jumlah uap air yang melalui suatu permukaan luas yang memiliki fungsi untuk mengetahui kemampuan *edible film* dalam menahan uap air (Gontard, Guilbert dan Cuq, 1993). Laju transmisi uap air dapat memberikan perkiraan jumlah uap air yang terserap maupun keluar dari produk ketika produk dikemas.

Berdasarkan hasil analisis variansi (ANOVA), penambahan ekstrak biji alpukat tidak berpengaruh nyata terhadap laju transmisi uap air *edible film* pati singkong dengan hasil seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Laju Transmisi Uap Air *Edible Film* Ekstrak Biji Alpukat

Ekstrak Biji Alpukat (%)	Rata-Rata Laju Transmisi Uap Air (g/m ² .hari)
0	0,45 ± 0,015
2,5	0,41 ± 0,011
5	0,36 ± 0,011
7,5	0,33 ± 0,013
10	0,28 ± 0,015

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi ekstrak yang ditambahkan akan menurunkan WVTR *edible film*. Berdasarkan Japanese Industrial Standard dalam (Dwimayasantini, 2016) *film* plastik yang

dikategorikan sebagai kemasan makanan memiliki laju transmisi uap air maksimum $10 \text{ g/m}^2 \cdot 24 \text{ jam}$. Laju transmisi uap air *edible film* dalam penelitian ini sekitar $0,28 - 0,45 \text{ g/m}^2 \cdot \text{hari}$, itu berarti laju transmisi uap air *edible film* masuk ke dalam *range standard*.

Laju transmisi uap air pada *edible film* umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti sifat hidrofilik bahan penyusun, ketebalan film, dan interaksi antar komponen dalam matriks polimer (Gontard, Guilbert dan Cuq, 1993). Dalam penelitian ini, bahan dasar pembentuk film adalah pati ubi kayu yang bersifat hidrofilik, sehingga memungkinkan uap air dengan mudah melalui jaringan film. Sementara itu, ekstrak biji alpukat yang ditambahkan dalam berbagai konsentrasi belum cukup membentuk struktur penghalang yang efektif terhadap uap air. Hal ini mengindikasikan bahwa senyawa aktif seperti flavonoid dan tanin yang terkandung dalam ekstrak belum cukup berkontribusi dalam menurunkan nilai WVTR secara signifikan. Sifat permeabilitas suatu film sangat dipengaruhi oleh kemampuan polimer untuk membentuk struktur yang rapat dan kurang hidrofilik. Jika bahan tambahan yang dimasukkan ke dalam matriks film tidak mampu meningkatkan kerapatan struktur atau mengurangi afinitas terhadap air, maka laju transmisi uap air akan cenderung tetap tinggi (Nilsawan, Benjakul dan Prodpran, 2016).

Penelitian oleh Alifah (2022) menunjukkan hasil yang sama, pada penambahan konsentrasi dari ekstrak metanol daun tahongai akan menurunkan laju transmisi uap air pada *edible film*. Hal ini disebabkan karena penambahan ekstrak dengan konsentrasi tertentu akan menambah jumlah padatan sehingga ketebalannya meningkat dan menahan laju transmisi uap air.

Kusumawati dan Putri (2013) dalam Ramadhani (2021) menyatakan bahwa konsentrasi dari bahan *edible film* aktif dapat mempengaruhi karakteristik film yang dihasilkan. Konsentrasi yang tinggi akan meningkatkan jumlah polimer sehingga total padatan dan ketebalan film ikut meningkat.

3.4.3 Kelarutan *Edible Film*

Klarutan *edible film* merupakan faktor penting yang menentukan nilai biodegradabilitas film sebagai pengemas. Berdasarkan analisis variansi (ANOVA), penambahan ekstrak biji alpukat berpengaruh nyata terhadap klarutan *edible film* pati singkong.

Tabel 5. Hasil Analisis Klarutan *Edible Film* Ekstrak Biji Alpukat

Ekstrak Biji Alpukat (%)	Nilai Rata-Rata Klarutan (%)
0	$99,08 \pm 24,96^b$
2,5	$84,18 \pm 5,76^{ab}$
5	$80,87 \pm 14,69^a$
7,5	$70,56 \pm 3,82^a$
10	$69,85 \pm 2,57^a$

Keterangan: Huruf yang berbeda pada setiap perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf 5%.

Berdasarkan tabel 5, hasil uji klarutan tertinggi ditunjukkan pada film tanpa penambahan ekstrak biji alpukat dengan nilai 99,08% sedangkan klarutan terendah adalah dengan penambahan ekstrak biji alpukat 10% dengan nilai 69,85%. Peningkatan konsentrasi ekstrak biji alpukat menghasilkan klarutan *edible film* yang semakin rendah. Hal tersebut disebabkan karena ekstrak biji alpukat mengandung senyawa-senyawa aktif seperti alkaloid, triterpenoid, tanin, flavonoid, dan saponin yang bersifat hidrofobik hingga semi-polar (Asngad, Marudin dan Cahyo, 2020). Senyawa-senyawa tersebut dapat berinteraksi dengan matriks pati singkong, mengurangi afinitas film terhadap air sehingga menurunkan klarutannya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jika ekstrak biji alpukat ditambahkan ke dalam pembuatan film makanan berbasis pati singkong, tingkat klarutan film dalam air turun. Interaksi kimia antara senyawa aktif dalam ekstrak biji alpukat, terutama senyawa fenolik seperti tanin dan flavonoid, dan gugus hidroksil pada molekul pati dapat menjelaskan fenomena ini. Bentuk struktur jaringan film yang lebih rapat dan kurang mudah ditembus oleh molekul air disebabkan oleh ikatan hidrogen yang terbentuk antara senyawa fenolik dan rantai polimer pati. Akibatnya, proses pelarutan terhambat.

Selain itu, senyawa bioaktif yang terkandung dalam ekstrak biji alpukat umumnya memiliki sifat hidrofobik, yang semakin memperkuat ketahanan film terhadap pelarutan. Peningkatan sifat hidrofobik ini mengurangi afinitas film terhadap air karena berkurangnya gugus polar bebas yang dapat berinteraksi dengan molekul air. Dengan demikian, semakin tinggi konsentrasi ekstrak yang ditambahkan, maka semakin besar kecenderungan film untuk mempertahankan integritas strukturalnya dalam media berair.

3.4.4 Water Uptake *Edible Film*

Water uptake atau daya serap air *edible film* adalah salah satu uji yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan *edible film* terhadap serap air. Pengujian ini dilakukan untuk melihat kemampuan *film* dalam melindungi produk dari air (Lazuardi, et al, 2013).

Berdasarkan analisis variansi, penambahan ekstrak biji alpukat berpengaruh nyata terhadap *water uptake* *edible film* pati singkong. Hasil analisis *water uptake* *edible film* dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Analisis *Water Uptake Edible Film* Ekstrak Biji Alpukat

Ekstrak Biji Alpukat (%)	Nilai Rata-Rata Water Uptake (%)
0	$110,37 \pm 8,71^{bc}$
2,5	$145,05 \pm 1,99^d$
5	$129,88 \pm 3,33^{cd}$
7,5	$81,54 \pm 19,36^{ab}$
10	$69,21 \pm 6,29^a$

Keterangan: Huruf yang berbeda pada setiap perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf 5%

Berdasarkan tabel 6, terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi ekstrak biji alpukat yang ditambahkan (dari b5 ke b2), semakin rendah kemampuan film untuk menyerap air. Hal ini dapat dikaitkan dengan kandungan senyawa fenolik dan lipid dalam ekstrak biji alpukat yang bersifat hidrofobik, sehingga mampu mengurangi interaksi antara matriks film dengan molekul air. Diketahui bahwa ekstrak biji alpukat mengandung senyawa bioaktif seperti fenolik, flavonoid, dan asam lemak (Rodríguez-Carpena et al., 2011). Dengan sifat hidrofobiknya, senyawa-senyawa ini, terutama lipid dan senyawa fenolik, memiliki kemampuan untuk mengurangi afinitas matriks film terhadap air. Senyawa hidrofobik ini memiliki kemampuan untuk mengganggu keteraturan ikatan hidrogen antara molekul air dan gugus polar pada polimer pembentuk film ketika ditambahkan ke dalam larutan film. Akibatnya, daya serap air edible film menurun. Selain itu, senyawa fenolik yang bersifat aromatik dan memiliki gugus hidroksil berfungsi untuk memperkuat interaksi antar rantai polimer melalui ikatan hidrogen atau interaksi hidrofobik (Zhu et al., 2019). Kehadiran senyawa ini dalam matriks film dapat meningkatkan kerapatan struktur film dan mengurangi ruang antar molekul yang biasanya ditempati oleh air. Akibatnya, difusi air ke dalam matriks film menjadi lebih terbatas.

Keberadaan senyawa lipid, seperti asam oleat dan linoleat, dalam ekstrak biji alpukat dapat meningkatkan efek penghambatan terhadap daya serap air. Sifat umum lipid adalah menolak air. Selain itu, ketika didistribusikan secara merata dalam matriks film berbasis polisakarida, seperti kitosan atau pati, mereka dapat membentuk lapisan emulsi hidrofobik yang berukuran mikro atau makro (Ma et al., 2020). Lapisan-lapisan ini menghalangi permeasi air secara fisik, sehingga efek pengurangan pengambilan air pada film dengan konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi diperkuat.

3.4.5 Hasil Analisis Profil Tekstur *Edible Film* Ekstrak Biji Alpukat

Parameter analisis tekstur yang digunakan pada pengujian *edible film* ini meliputi elongasi, elastisitas, gaya tarik maksimal dan jarak gaya tarik maksimal. Hasil penelitian ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Analisis *Texture Analyzer Edible Film* Ekstrak Biji Alpukat

Kode	Konsentrasi Ekstrak biji Alpukat	Elongasi (%)	Elastisitas (Nm ²)	Gaya Tarik Maksimal (KgForce)	Jarak gaya Tarik Maksimal (mm)
b1	0%	20,58	14,02	0,34	-12,35
b2	2,5%	66,78	2,45	0,20	-40,07

b3	5%	84,38	2,12	0,21	-50,63
b4	7,5%	67,23	2,38	0,19	-40,34
b5	10%	8,58	54,53	0,55	-5,15

Elongasi (%) adalah kemampuan film untuk memanjang sebelum putus, yang mengindikasikan fleksibilitas. Elongasi berbanding terbalik dengan kekakuan. Semakin tinggi elongasi maka film semakin fleksibel. Berdasarkan tabel 7, elongasi meningkat tajam dari b1 ke b3, yang menunjukkan bahwa penambahan ekstrak hingga 5% meningkatkan fleksibilitas film secara signifikan. Namun, pada konsentrasi 7,5% (b4) nilai elongasi menurun dan drastis turun pada 10% (b5). Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan ekstrak biji alpukat meningkatkan fleksibilitas hingga titik optimal di 5%, namun pada konsentrasi tinggi struktur film menjadi lebih rapuh atau tidak homogen. Agar film cukup lentur dan tidak mudah sobek saat digunakan, nilai elongasi yang disarankan di atas 50% (Pelissari et al., 2009).

Elastisitas (Nm²) adalah kemampuan film untuk kembali ke bentuk semula setelah diberi tegangan. Nilai elastisitas yang semakin tinggi menunjukkan film yang lebih kaku & getas, sedangkan nilai yang terlalu rendah menyebabkan film terlalu lembek dan mudah berubah bentuk sehingga nilai elastisitas yang disarankan berada di nilai pertengahan (Sothornvit & Krochta, 2000). Berdasarkan hasil penelitian, penambahan ekstrak biji alpukat hingga 7,5% menyebabkan penurunan elastisitas, yang menandakan film menjadi lebih plastis dan tidak elastis. Namun, lonjakan elastisitas sangat tinggi pada penambahan ekstrak biji alpukat sebesar 10% (b5). Hal ini dapat terjadi karena struktur kembali kaku atau terbentuknya jaringan baru yang lebih kuat. Konsentrasi tinggi ekstrak biji alpukat dapat mengubah struktur molekuler film, membuatnya lebih kaku atau lebih tahan terhadap deformasi.

Gaya Tarik Maksimal (kgForce) adalah gaya maksimum yang bisa diterima sebelum film putus. Nilai ini menunjukkan seberapa kuat film menahan tekanan tarik sebelum sobek, yang mewakili kekuatan mekanik. Nilai ideal tergantung aplikasinya, namun kisaran 0,2-0,5 kgF masih dapat diterima untuk film berbasis polisakarida/ protein (Arvanitoyannis & Biliaderis, 1999). Nilai gaya tarik menurun dari b1 ke b4, menunjukkan bahwa film menjadi lebih lemah secara mekanis akibat penambahan ekstrak. Namun, terjadi peningkatan tajam di b5 (10%) yang menandakan adanya perubahan struktur fisik/kimia yang membuat film menjadi kuat secara mekanik. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan ekstrak biji alpukat dapat membentuk interaksi baru yang memperkuat film.

Jarak Gaya Tarik Maksimal (mm) adalah jarak saat gaya maksimum dicapai. Semakin besar nilai negatifnya maka semakin lentur film sebelum putus. Parameter ini mirip dengan elongasi, tapi menunjukkan titik retak kritis di bawah tegangan maksimum. Nilai panjang yang relatif besar (karena penarikan) menunjukkan fleksibilitas

tinggi, sedangkan nilai yang terlalu kecil menunjukkan film yang mudah sobek tanpa sempat meregang. Berdasarkan hasil penelitian, nilai tertinggi (dalam kelenturan) dicapai pada 5% (b3), sedangkan nilai terendah dicapai pada penambahan ekstrak biji alpukat 10% (b5). Nilai yang rendah menunjukkan film menjadi rapuh/ mudah robek. Penambahan ekstrak meningkatkan kelenturan sampai 5% kemudian menurun drastis pada 10% yang menunjukkan adanya degradasi struktur pada konsentrasi tinggi.

Berdasarkan hasil analisis tekstur, sampel yang terbaik secara umum adalah sampel b3. Edible film yang ditambahkan ekstrak biji alpukat sebanyak 5% ini memiliki nilai elongasi tertinggi (84,38%), gaya tarik maksimal yang cukup stabil (0,21 kgF), nilai elastisitas yang rendah ($2,12 \text{ Nm}^2$) yang menunjukkan film lebih fleksibel dan jarak gaya tarik yang paling panjang (-50,63 mm).

3.4.6 Kajian Karakteristik Biologis (Aktivitas Antibakteri) Edible Film Ekstrak Biji Alpukat

Edible film yang ditambahkan ekstrak biji alpukat diharapkan dapat memberikan efek pengawetan terhadap produk yang dikemasnya, sehingga pada penelitian ini dilakukan terlebih dahulu pengujian aktivitas antibakteri pada *edible film* yang ditambahkan ekstrak biji alpukat.

adanya senyawa fenolik, tanin, flavonoid, saponin, triterpenoid, steroid, dan alkaloid yang ada di dalam ekstrak biji alpukat. Total polifenol ekstrak mencapai 29,82%. Berdasarkan hasil analisis GC-MS ekstrak biji alpukat, ditemukan *n-Hexadecanoic acid*, *2-(2-Hydroxycyclooctyl)-furan*, *5,10-Pentadecadien-1-ol (Z,Z)* dan *1H-1,2,3-Triazole-4-carboxaldehyde* yang berpotensi sebagai agen antibakteri.

Jika tabel 2 dengan tabel 8 dibandingkan, diameter zona hambat *edible film* yang ditambah ekstrak biji alpukat memberikan nilai yang lebih kecil dibandingkan diameter zona hambat ekstrak biji alpukat 10%. Hal tersebut dapat disebabkan oleh pengaruh matriks film yang memperlambat difusi senyawa aktif keluar dari film ke media uji.

Edible film dapat berfungsi sebagai matriks yang memungkinkan pelepasan senyawa aktif secara terkontrol atau perlahan. Ketika senyawa antibakteri dari ekstrak biji alpukat terintegrasi dalam matriks film, agen antibakteri tidak langsung dilepaskan dalam jumlah besar sekaligus (Karolina, 2012). Sebaliknya, pelepasan terjadi secara bertahap seiring waktu, menciptakan konsentrasi agen antibakteri yang stabil dan berkelanjutan di lingkungan target. Paparan agen antibakteri yang terus-menerus ini bisa lebih efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri dibandingkan dengan paparan sesaat dengan konsentrasi tinggi yang mungkin tidak

Tabel 8. Hasil Analisis Aktivitas Antibakteri Edible Film

Kode Sampel	Konsentrasi Ekstrak Biji Alpukat	Diameter Zona Hambat (mm)				
		<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>B. cereus</i>	<i>S. typhi</i>	<i>Shigella sp.</i>
b1	0%	0,00±0,00 ^a	0,00±0,00 ^a	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
b2	2,5%	8,43±0,29 ^b	8,86±0,18 ^b	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
b3	5%	9,18±0,22 ^c	10,00±0,15 ^c	9,73±0,21	10,70±0,22	9,07±0,17
b4	7,50%	11,18±0,22 ^d	11,14±0,16 ^d	12,67±0,33	11,70±0,16	9,30±0,22
b5	10%	12,22±0,22 ^e	12,22±0,14 ^e	13,70±0,37	12,13±0,26	11,03±0,45

Berdasarkan tabel 8, penambahan konsentrasi ekstrak biji alpukat 2,5-10% menunjukkan daya hambat terhadap *E. coli* dan *S. aureus*, sedangkan penambahan ekstrak biji alpukat 5-10% menunjukkan daya hambat terhadap *B. cereus*, *S. typhi* dan *Shigella sp.*. Nilai diameter zona hambat semakin besar seiring dengan semakin banyaknya ekstrak biji alpukat yang ditambahkan. Pada konsentrasi rendah, kandungan senyawa aktif antibakteri dalam ekstrak biji alpukat belum cukup untuk menghambat pertumbuhan bakteri tersebut secara signifikan. Diameter zona hambat tertinggi untuk semua bakteri uji diperoleh dengan penambahan ekstrak biji alpukat 10%, dengan nilai 12,22 mm untuk *E. coli*, 12,22 mm untuk *S. aureus*, 13,70 untuk *B. cereus*, 12,13 mm untuk *S. typhi* dan 11,03 mm untuk *Shigella sp.*. Adanya aktivitas antibakteri ini disebabkan

bertahan lama atau tidak mencapai target secara optimal (Ruben, 2015). Selanjutnya, dalam hal peningkatan stabilitas senyawa aktif, maktriks *edible film* dapat melindungi senyawa aktif dalam ekstrak biji alpukat dari degradasi yang disebabkan oleh faktor lingkungan seperti cahaya, oksigen, atau fluktuasi suhu. Dalam bentuk ekstrak murni yang terpapar langsung, senyawa antibakteri mungkin lebih rentan terhadap oksidasi atau degradasi lainnya, yang dapat mengurangi atau menghilangkan efektivitasnya. Dengan terenkapsulasi dalam film, stabilitas senyawa aktif dapat meningkat, memungkinkan mereka mempertahankan aktivitas antibakteri lebih lama (Benbettaïeb, Debeaufort and Karbowiak, 2019)

4. Kesimpulan

Ekstrak biji alpukat berpotensi digunakan sebagai bahan kemasan aktif untuk meningkatkan umur simpan pangan. Berdasarkan hasil karakterisasi kimia, terdapat empat senyawa kimia dominan yang terdapat dalam ekstrak biji alpukat, yaitu *n-Hexadecanoic acid*, *2-(2-Hydroxycyclooctyl)-furan*, *5,10-Pentadecadien-1-ol (Z,Z)* dan *1H-1,2,3-Triazole-4-carboxaldehyde* dengan total polifenol ekstrak etanol biji alpukat sebesar 29,82%. Ekstrak biji alpukat (10%) menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap *E. coli*, *B. cereus*, *S. typhi* dan *S. Disentriae* dengan diameter zona hambat berturut-turut 15,44, 13,86, 15,08 dan 12,27 mm. Penambahan ekstrak biji alpukat pada *edible film* mempengaruhi kadar air, kelarutan, *water uptake*, dan aktivitas antibakteri, namun tidak mempengaruhi laju transmisi uap air. Berdasarkan profil tekstur *edible film*, rekomendasi penggunaan ekstrak biji alpukat sebesar 5% dengan kadar air sebesar 9,12 %, laju transmisi uap air sebesar 0,36 g/m².hari, kelarutan sebesar 80,87%, *water uptake* sebesar 129,88%, elongasi 84,38%, elastisitas 2,12 Nm², gaya tarik maksimal 0,21 kgForce dan jarak gaya tarik maksimal -50,63 mm.

5. Daftar Pustaka

1. Adams, R. (2007) *Identification of essential oil components by gas chromatography / mass spectrometry*, *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*.
2. Asngad, A., Marudin, E. J. and Cahyo, D. S. (2020) ‘Kualitas Bioplastik dari Umbi Singkong Karet dengan Penambahan Kombinasi Plasticizer Gliserol dengan Sorbitol dan Kitosan’, *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi*, 6(1), pp. 36–44. doi: 10.23917/bioeksperimen.v6i1.10431.
3. Benbettaïeb, N., Debeaufort, F. and Karbowiak, T. (2019) ‘Bioactive edible films for food applications: mechanisms of antimicrobial and antioxidant activity’, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(21), pp. 3431–3455. doi: 10.1080/10408398.2018.1494132.
4. Clinical, L. S. A. I. (2016) *Clinical and Laboratory Standards Institute: Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing Supplement M100S*.
5. Diova, D. A., Darmanto, Y. and Rianingsih, L. (2013) ‘Karakteristik Edible Film Komposit Semirefined Karaginan Dari Rumput Laut Eucheuma Cottonii Dan Beeswax’, *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 2(3), pp. 1–10.
6. Evans, S. M. and Cowan, M. M. (2016) ‘Plant products as antimicrobial agents’, *Cosmetic and Drug Microbiology*, 12(4), pp. 205–231. doi: 10.3109/9781420019919-17.
7. Faisal, M. et al. (2025) ‘Edible Coating Combining Liquid Smoke from Oil Palm Empty Fruit Bunches and Turmeric Extract to Prolong the Shelf Life of Mackerel’, *Foods*, 14(1), pp. 1–13. doi: 10.3390/foods14010139.
8. GONTARD, N., GUILBERT, S. and CUQ, J. - L (1993) ‘Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film’, *Journal of Food Science*, 58(1), pp. 206–211. doi: 10.1111/j.1365-2621.1993.tb03246.x.
9. Kabir, F. et al. (2014) ‘Antimicrobial effects of chlorogenic acid and related compounds’, *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 57(3), pp. 359–365. doi: 10.1007/s13765-014-4056-6.
10. Khubiev, O. M. et al. (2023) ‘Chitosan-Based Antibacterial Films for Biomedical and Food Applications’, *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13). doi: 10.3390/ijms241310738.
11. Madigan, M. T. and Martinko, J. M. (2005) *Brock Biology of Microorganisms*. 8th edn. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
12. Mousavi, M.-M. and Mahmoudpour, M. (2024) ‘Function and Application of Some Active and Antimicrobial Packaging in the Food Industry: A Review’, *Journal of Microbiota*, 1(1), pp. 1–8. doi: 10.5812/jmb-144616.
13. Nascimento, A. P. S. et al. (2025) ‘Bioactive Compounds, Technological Advances, and Sustainable Applications of Avocado (*Persea americana* Mill.): A Critical Review’, *Foods*, 14(15), pp. 1–22. doi: 10.3390/foods14152746.
14. Nilsawan, K., Benjakul, S. and Prodpran, T. (2016) ‘Influence of palm oil and glycerol on properties of fish skin gelatin-based films’, *Journal of Food Science and Technology*, 53(6), pp. 2715–2724. doi: 10.1007/s13197-016-2243-7.
15. Otto, M. (2014) ‘*Staphylococcus aureus* toxins’, *Current Opinion in Microbiology*, 17(1), pp. 32–37. doi: 10.1016/j.mib.2013.11.004.
16. Pelissari, F. M. et al. (2009) ‘Antimicrobial, Mechanical, and Barrier Properties of Cassava

- Starch–Chitosan Films Incorporated with Oregano Essential Oil’, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(16), pp. 7499–7504.
doi: 10.1021/jf9002363.
17. Rodriguez-Valdovinos, K. Y. *et al.* (2024) ‘Antioxidant and Antifungal Activities and Characterization of Phenolic Compounds Using Ultra-High Performance Liquid Chromatography and Mass Spectrometry (UPLC-MS) of Aqueous Extracts and Fractions from Verbesina sphaerocephala Stems’, *Plants*, 13(19), pp. 1–14. doi: 10.3390/plants13192791.
 18. Singleton, V. L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventos, R. M. (1999) ‘Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent’, in *Methods in Enzymology*, pp. 152–178. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30489-7.
 19. Tabassum, Z. *et al.* (2024) ‘Advancing sustainability: a novel biopolymer-based degradable nanoclay composite film for next-generation packaging’, *Materials Advances*, 5(20), pp. 8060–8073. doi: 10.1039/d4ma00476k.
 20. Wang, J. *et al.* (2022) ‘Wheat Flour-Based Edible Films: Effect of Gluten on the Rheological Properties, Structure, and Film Characteristics’, *International Journal of Molecular Sciences*, 23(19). doi: 10.3390/ijms231911668.
 21. Zhang, P., Zhao, Y. and Shi, Q. (2016) ‘Characterization of a novel edible film based on gum ghatti: Effect of plasticizer type and concentration’, *Carbohydrate Polymers*, 153, pp. 345–355. doi: 10.1016/j.carbpol.2016.07.082.