Available online: journal.ipb.ac.id/index.php/jphpi http://dx.doi.org/10.17844/767q1565

KAJIAN SIFAT FISIKO-KIMIA *EDIBLE FILM* KOMBINASI KITOSAN-CMC DENGAN KONSENTRASI *PLASTICIZER* DAN JENIS PELARUT YANG BERBEDA

Muhammad Fakih Dermawan, Apri Dwi Anggo, Muhammad Hauzan Arifin*, Romadhon
Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Diponegoro
Jalan Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang Indonesia 50275

Diterima: 10 Februari 2026/Disetujui: 13 Agustus 2026
*Korespondensi: hauzanarifin@lecturer.undip.ac.id

Cara sitasi (APA Style 7th): Dermawan, M. F., Anggo, A. D., Arifin, M. H., & Romadhon. (2026). Kajian sifat fisiko-kimia *edible film* kombinasi kitosan-CMC dengan konsentrasi *plasticizer* dan jenis pelarut yang berbeda. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia,* 29(10), 914-928. http://dx.doi.org/10.17844/767q1565

Abstrak

Peningkatan limbah plastik konvensional yang sulit terurai mendorong pengembangan material kemasan ramah lingkungan berbasis biopolimer. Kitosan dan *carboxymethyl cellulose* (CMC) merupakan dua biopolimer yang berpotensi dikombinasikan dalam bentuk film komposit untuk meningkatkan sifat mekanik dan penghalang. Namun, karakteristik film komposit sangat dipengaruhi oleh jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* yang digunakan selama proses pembentukan film. Penelitian ini bertujuan menentukan pengaruh jenis pelarut (asam asetat, asam sitrat, dan asam laktat) serta konsentrasi *plasticizer* gliserol (40%, 50%, dan 60%) terhadap sifat fisiko-kimia edible film komposit kitosan-CMC. *Edible film* dibuat dengan metode *casting* menggunakan larutan kitosan dan CMC masing-masing 1,5% (b/v), kemudian ditambahkan gliserol sesuai perlakuan. Parameter yang diamati meliputi kuat tarik, elongasi, *water vapor transmission rate* (WVTR), pH, ketebalan, dan kelarutan. Rancangan percobaan menggunakan RAL faktorial dua faktor meliputi jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* yang berbeda dengan tiga ulangan, dan data dianalisis menggunakan ANOVA dilanjutkan uji BNJ. Hasil penelitian disimpulkan bahwa jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* berpengaruh nyata terhadap kuat tarik, elongasi, WVTR, pH, dan kelarutan (p<0,05), sedangkan ketebalan tidak berbeda nyata. Nilai kuat tarik berada pada kisaran 0,66-1,67 MPa, dengan nilai tertinggi diperoleh pada asam sitrat-plasticizer 40%. Nilai elongasi berkisar antara 78,78-166,21%, dengan elongasi tertinggi pada asam asetat-plasticizer 60%. Nilai WVTR berada pada rentang 22,78-38,41 g/m^2·hari, dengan nilai terendah pada asam sitrat-*plasticizer* 50%. Secara umum, peningkatan konsentrasi *plasticizer* menurunkan kuat tarik namun meningkatkan elongasi, kelarutan, dan WVTR.

Kata kunci: biopolimer, elongasi, gliserol, kuat tarik, WVTR

Study of the Physico-Chemical Properties of Edible Chitosan-CMC Combinations Film with Different Plasticizer Concentrations and Solvent Types

Abstract

The increase in conventional plastic waste that is difficult to decompose has encouraged the development of environmentally friendly packaging materials based on biopolymers. Chitosan and carboxymethyl cellulose (CMC) are two biopolymers that can be combined to form

This work is licensed under CC BY 4.0.

composite films with improved mechanical and barrier properties. However, the characteristics of these films are strongly influenced by the type of solvent and the concentration of plasticizer used during film formation. This study analyzed the effects of solvent type (acetic, citric, and lactic acids) and glycerol plasticizer concentration (40%, 50%, and 60%) on the physicochemical properties of chitosan-CMC edible composite films. Films were prepared by the casting method using 1.5% (w/v) chitosan and CMC solutions, followed by glycerol addition according to the treatments. Parameters observed included tensile strength, elongation, water vapor transmission rate (WVTR), pH, thickness, and solubility. The experiment used a two-factor factorial completely randomized design with three replications, and data were analyzed using ANOVA followed by HSD. The results showed that solvent type and plasticizer concentration significantly affected tensile strength, elongation, WVTR, pH, and solubility ($p<0.05$), but not thickness. Tensile strength ranged from 0.66 to 1.67 MPa, while elongation ranged from 78.78 to 166.21%. WVTR values ranged from 22.78 to 38.41 g/m^2·day. Increasing plasticizer concentration decreased tensile strength but increased elongation, solubility, and WVTR.

Keywords: chitosan-CMC, edible film, physicochemical properties, plasticizer, solvent type

PENDAHULUAN

Penggunaan plastik konvensional sebagai bahan kemasan telah menimbulkan permasalahan lingkungan global karena sifatnya yang sulit terurai dan berdampak negatif terhadap ekosistem. Plastik berbasis bahan non-*biodegradable* membutuhkan waktu hingga ratusan tahun untuk terdegradasi secara alami (Guo & Guo, 2022). Di Indonesia, timbunan sampah mencapai 28,6 juta ton pada tahun 2021 dengan kontribusi pencemaran plastik laut sekitar 1,29 juta ton per tahun (Khodijah & Tobing, 2023). Kondisi tersebut mendorong pengembangan material kemasan alternatif yang bersifat *biodegradable*, salah satunya melalui pemanfaatan biopolimer alami sebagai *edible film*.

Kitosan merupakan polisakarida hasil deasetilasi kitin yang memiliki sifat *biodegradable*, biokompatibel, tidak toksik, serta aktivitas antibakteri sehingga berpotensi diaplikasikan sebagai bahan pembentuk *edible film* (Wang & Zhuang, 2022). Film berbasis kitosan murni masih memiliki keterbatasan berupa sifat mekanik yang relatif rendah, kecenderungan rapuh, serta permeabilitas uap air yang cukup tinggi akibat karakter hidrofiliknya (Cazón & Vázquez, 2020). Pengembangan film komposit menjadi salah satu pendekatan untuk memperbaiki karakteristik fungsional tersebut.

Film komposit tersusun dari dua atau lebih biopolimer yang dikombinasikan untuk menghasilkan sifat fisik, mekanik, dan penghalang yang lebih baik dibandingkan film tunggal (Hutabarat *et al*., 2022). *Carboxymethyl cellulose* (CMC) merupakan turunan selulosa yang bersifat hidrofilik, larut dalam air, serta mampu membentuk film yang fleksibel dan transparan (Lakshmi *et al*., 2017). Kombinasi kitosan dan CMC dilaporkan mampu meningkatkan kekuatan mekanik, ketahanan air, serta homogenitas matriks film melalui interaksi elektrostatik antara gugus amina kitosan dan gugus karboksil CMC (Kong *et al*., 2024). Kitosan memiliki sifat antimikroba, antioksidan, dan dapat membentuk lapisan film yang fleksibel namun kuat sehingga efektif dalam memperpanjang umur simpan dan menjaga kualitas makanan (Arifin & Purnamayati, 2024).

Karakteristik akhir *edible film* komposit dipengaruhi oleh keberadaan *plasticizer* dan jenis pelarut. *Plasticizer* menurunkan gaya tarik antarrantai polimer sehingga meningkatkan fleksibilitas film, namun peningkatan konsentrasinya dapat menurunkan kuat tarik serta meningkatkan kelarutan dan permeabilitas uap air (Eslami *et al*., 2023). Gliserol banyak digunakan sebagai *plasticizer* karena bersifat aman, mudah larut dalam air, dan efektif meningkatkan elastisitas film (Arham *et al*., 2016). Jenis pelarut asam, yaitu asam asetat, asam laktat, dan asam sitrat memengaruhi tingkat protonasi gugus amina kitosan, homogenitas larutan,

http://dx.doi.org/10.17844/767q1565

serta pembentukan struktur matriks film. Asam sitrat juga dilaporkan dapat bertindak sebagai agen pengikat silang ringan yang meningkatkan stabilitas mekanik dan fisik film (Hardjono *et al*., 2016).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa karakteristik film kitosan sangat dipengaruhi oleh jenis pelarut dan komposisi *plasticizer*. Penelitian yang dilakukan oleh Adila *et al*. (2013) menunjukkan bahwa penggunaan pelarut asam berbeda menghasilkan kuat tarik film kitosan pada kisaran 0,8-1,5 MPa, tergantung jenis asam yang digunakan. Meskipun kombinasi kitosan dan CMC dapat memperbaiki sifat mekanik dan fungsional film, karakteristik akhir film komposit tetap ditentukan oleh formulasi, terutama jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer*. *Plasticizer* berfungsi meningkatkan fleksibilitas film melalui pelemahan interaksi antarrantai polimer. Peningkatan konsentrasi berpotensi menurunkan kuat tarik sekaligus meningkatkan kelarutan dan permeabilitas uap air, sedangkan jenis pelarut asam memengaruhi tingkat protonasi kitosan, homogenitas larutan, serta struktur matriks film. Sebagian besar penelitian masih mengkaji kedua faktor tersebut secara terpisah atau hanya pada sistem film tunggal sehingga kajian simultan pada film komposit kitosan-CMC masih terbatas. Penelitian ini memiliki kebaruan berupa kajian kombinasi jenis pelarut asam organik dan konsentrasi *plasticizer* dalam sistem film komposit kitosan–CMC secara faktorial untuk menganalisis pengaruhnya terhadap sifat fisiko-kimia film, meliputi kuat tarik, elongasi, pH, ketebalan, kelarutan, dan *water vapor transmission rate* (WVTR). Penelitian ini bertujuan menentukan pengaruh jenis pelarut (asam asetat, asam sitrat, dan asam laktat) serta konsentrasi *plasticizer* gliserol (40%, 50%, dan 60%) terhadap sifat fisiko-kimia *edible film* komposit kitosan-CMC.

BAHAN DAN METODE

Pembuatan Film Komposit Kitosan-CMC

Pembuatan film komposit kitosan-CMC ini mengacu pada penelitian Adila *et al.* (2013) yang dimodifikasi. Larutan kitosan 1,5% (b/v) dibuat menggunakan pelarut asam asetat, asam laktat, dan asam sitrat masing-masing 1%, dihomogenkan pada suhu 60°C selama 10 menit. Larutan CMC 1,5% (b/v) disiapkan secara terpisah dan dicampurkan ke dalam larutan kitosan, diikuti penambahan gliserol sebagai *plasticizer* dengan konsentrasi 40%, 50%, dan 60% (b/b). Campuran diaduk kembali pada suhu 60°C selama 10 menit hingga homogen, dituangkan ke dalam cetakan teflon (15,5×20,5 cm) dan dikeringkan dalam oven pada suhu 63°C selama 20 jam hingga diperoleh lembaran *edible film*.

Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik pada *edible film* bertujuan untuk melihat perubahan yang terjadi pada kekuatan mekanik film. Pengujian ini dapat dilakukan dengan alat *universal testing machine* (UTM) yang mengacu pada metode ASTM D882-18 dengan menempatkan sampel yang diperoleh pada alat uji tersebut kemudian ditarik dengan kecepatan konstan pada beban yang telah ditentukan. Dimensi *edible film* yang digunakan adalah dengan ukuran 2x5 cm. Nilai kuat tarik dapat ditentukan pada persamaan berikut.

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0}$$

Keterangan:
σ = kekuatan tarik (kg/cm^2)
F_{maks} = tegangan maksimum (kg)
A_0 = penampang mula – mula (cm^2)

Elongasi

Pengujian elongasi atau pemanjangan terhadap *edible film* bertujuan untuk mengetahui elastisitas sampel film yang diuji terhadap suatu tarikan. Pengujian elongasi dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tarik yang menggunakan alat *universal testing machine* (UTM) yang mengacu pada metode D882-18 dengan dimensi sebesar 2x5 cm. Nilai persentase elongasi dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Elongasi (\%)} = \frac{\text{regangan saat putus (cm)}}{\text{panjang awal (cm)}} \times 100$$

This work is licensed under CC BY 4.0.

Water Vapor Transmission Rate (WVTR)

Pengujian WVTR dilakukan berdasarkan cara Scatolino *et al.* (2022) pertama menyiapkan larutan garam jenuh, yaitu dibuat dengan melarutkan garam ke dalam air sedikit demi sedikit sambil diaduk hingga tidak ada lagi garam yang dapat larut. Garam yang tetap tersisa sebagai endapan di dasar meskipun sudah diaduk, itu menandakan bahwa air telah mencapai batas maksimal pelarutannya pada suhu tersebut. Kedua menyiapkan film untuk dipotong menjadi ukuran dengan diameter 13 mm, lalu mengganti *butyl rubber stopper* yang ada di tutup botol vial dengan potongan film yang sudah disiapkan. Botol vial diisi dengan menggunakan *silica gel*,ditutup dengan tutup yang sudah dimodifikasi, dimasukkkan kedalam desikator yang sudah terdapat larutan garam jenuh di dalamnya, dan desikator ditutup dan dibiarkan selama 24 jam. WVTR dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{WVTR} = \frac{G}{d \times A}$$

Keterangan:
WVTR : *water vapor transmission rate*
G/d : koefisien sudut yang diperoleh melalui regresi linier grafik pertambahan massa (g) versus waktu pengondisian (hari)
A : luas permeasi sampel (m^2)

Uji pH

Pengujian pH dilakukan berdasarkan metode dari Ranjbar *et al.* (2023) menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi terlebih dahulu dengan larutan buffer pada pH 4,0 dan 7,0. Sebanyak 100 mL larutan *film-forming* diambil dan diukur nilai pH-nya pada suhu ruang (25±1°C). Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil rata-rata yang representatif. Pengujian pH penting untuk menilai kestabilan kimia dari film serta interaksi biopolimer dan pelarut asam yang digunakan dalam formulasi, yang dapat memengaruhi sifat fisik dan mekanik film.

Ketebalan

Pengujian ketebalan dilakukan berdasarkan metode oleh Santacruz *et al. (*2015), dengan langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan *edible film* yang diukur ketebalannya. Pengukuran ketebalan *edible film* diukur menggunakan *hand micrometer* dengan ketelitian 0,01 mm pada beberapa titik atau 3 titik berbeda, kemudian hasil pengukuran dirata-rata. Ketebalan film dinyatakan dalam satuan mm dan *micrometer* yang digunakan mempunyai ketelitian μm. Ketebalan dapat dihitung dengan rumus:

$$\frac{\text{Tebal atas+tebal tengah+tebal bawah)}}{3}$$

Uji Kelarutan

Pengujian kelarutan dilakukan berdasarkan acuan dari Sandi *et al*. (2024) yang dilakukan dengan memotong *edible film* dengan ukuran 3×3 cm dimasukkan ke dalam cawan aluminium, kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 30 menit. Langkah berikutnya *edible film* ditimbang sebagai berat kering awal (W0), kemudian *edible film* direndam selama 24 jam, dan *edible film* yang tidak terlarut dalam larutan diangkat dan dikeringkan dalam oven selama 2 jam pada suhu 105°C. *Edible film* diambil dan disimpan dalam desikator selama ±10 menit, kemudian dilakukan penimbangan untuk mendapatkan berat *edible film* kering setelah perendaman (W1). Kelarutan dihitung dengan rumus:

$$\text{Kelarutan (\%)} = \frac{W0 - W1}{W0} \times 100$$

Analisis Data

Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian pembuatan *edible film* kitosan-CMC adalah menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor, yaitu jenis pelarut berbeda dan konsentrasi *plasticizer* berbeda. Perlakuan ini digunakan untuk mengetahui variasi penggunaan pelarut berbeda dan variasi rasio *plasticizer* terhadap sifat fisik dan mekanik film komposit dengan tiga kali pengulangan. Data yang diperoleh

http://dx.doi.org/10.17844/767q1565

dianalisis menggunakan SPSS 16 melalui uji normalitas dan homogenitas sebagai dasar penentuan penggunaan analisis data parametrik. Jika hasil yang diperoleh p>5%, maka dilakukan uji ANOVA untuk mengevaluasi pengaruh dari perlakuan apabila hasilnya p<5%, maka langkah yang dilakukan dengan uji beda nyata jujur (BNJ) untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tarik

Kuat tarik merupakan salah satu parameter sifat mekanik yang menunjukkan kemampuan *edible film* untuk menahan gaya tarik hingga terjadi putus atau kerusakan. Nilai kuat tarik digunakan sebagai indikator kekuatan struktur film serta kestabilan matriks polimer yang terbentuk. Makin tinggi nilai kuat tarik, maka makin besar gaya yang diperlukan untuk memutus film sehingga menunjukkan karakteristik mekanik yang makin baik. Pengujian kuat tarik untuk mengetahui pengaruh jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* terhadap kekuatan *edible film* kitosan-CMC. Hasil rata-rata kuat tarik *edible film* kitosan-CMC dengan jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* yang berbeda disajikan dalam *Table 1*.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan tidak ada interaksi yang signifikan antara jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* terhadap nilai kuat tarik *edible film* kitosan-CMC (p>0,05). Jenis pelarut memengaruhi nilai dari kuat tarik yang dihasilkan (p<0,05) begitu juga dengan konsentrasi *plasticizer* yang memiliki pengaruh pada nilai kuat tarik (p<0,05). Nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada perlakuan asam sitrat dengan *plasticizer* 40% sebesar 1,67±0,52 MPa, diikuti oleh asam laktat 40% sebesar 1,61±0,23 MPa. Sebaliknya, nilai terendah terdapat pada kombinasi asam asetat dengan *plasticizer* 60%, yaitu sebesar 0,66±0,03 MPa. Peningkatan konsentrasi *plasticizer* dari 40% menjadi 60% menyebabkan penurunan nilai kuat tarik pada seluruh jenis pelarut. Hal ini sejalan dengan temuan Rochima (2014) bahwa karakter dasar kitosan sebagai hasil deasetilasi kitin yang menyisakan gugus amina bebas dan menjadikannya bersifat polikationik sehingga sifat mekanik film sangat ditentukan oleh interaksi antarrantai dan lingkungan kimia pembentuk matriks. Perbedaan jenis asam sebagai pelarut secara signifikan memengaruhi pembentukan jaringan polimer yang dihasilkan (Homez-Jara *et al*., 2018).

Rata-rata pengaruh jenis pelarut menunjukkan bahwa asam laktat menghasilkan kuat tarik paling tinggi (1,45±0,20 MPa), berbeda nyata dibandingkan asam asetat, sementara asam sitrat berada pada posisi antara. Hal ini menunjukkan bahwa asam laktat mampu menghasilkan matriks film yang lebih kompak dan stabil dibandingkan dua pelarut lainnya. Melro *et al*. (2021), melaporkan bahwa penggunaan asam organik yang berbeda memengaruhi sifat mekanis matriks kitosan melalui interaksi elektrostatik dan hidrogen *bonding*, dengan residu asam laktat bertindak sebagai *plasticizer* yang memengaruhi kekuatan tarik film. Penurunan kuat tarik seiring peningkatan *plasticizer* disebabkan oleh peran *plasticizer* sebagai agen pelunak yang meningkatkan jarak antar rantai polimer sehingga menurunkan gaya ikatan intermolekuler. Hal ini sejalan dengan temuan Hidayati *et al*. (2019) yang menyatakan bahwa penambahan gliserol yang makin meningkat, mengakibatkan sifat plastis film makin rendah dan persen pemanjangan makin turun. Makin tinggi konsentrasi *plasticizer*, struktur film menjadi lebih fleksibel namun kekuatan mekanisnya menurun. Fenomena ini sesuai dengan karakteristik umum *plasticizer* yang menurunkan rigiditas jaringan polimer dan melemahkan ikatan hidrogen antar rantai kitosan-CMC (Sanyang *et al*., 2016).

Nilai kuat tarik *edible film* kitosan-CMC secara umum dipengaruhi oleh jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer*. Perlakuan dengan konsentrasi *plasticizer* 40% cenderung menghasilkan kuat tarik lebih tinggi (1,53±0,33 MPa) dibandingkan 50% (1,07±0,43 MPa) dan 60% (0,88±0,33 MPa). Peningkatan konsentrasi *plasticizer* berkontribusi terhadap meningkatnya fleksibilitas matriks film, namun sekaligus menurunkan kekuatan mekaniknya akibat melemahnya interaksi intermolekuler antarrantai polimer. Fenomena

Table 1 Interaction effect of solvent type and plasticizer concentration on the physicochemical properties of edible film
Tabel 1 Pengaruh interaksi jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* terhadap sifat fisikokimia *edible film*

Solvent Type	Plasticizer (%)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	WVTR (g/m²·day))	pH	Thickness (mm)	Solubility (%)
Acetic acid	40	1.30±0.24^{bc}	120.39±6.63^{b}	32.87±2.67^{d}	3.90±0.02^{e}	0.17±0.02^{a}	55.39±3.06^{a}
	50	0.92±0.72^{ab}	140.05±7.98^{d}	35.42±0.41^{de}	3.82±0.02^{de}	0.19±0.09^{a}	63.72±3.17^{b}
	60	0.66±0.03^{a}	166.21±5.02^{e}	37.13±1.69^{e}	3.75±0.02^{d}	0.25±0.05^{a}	73.01±2.09^{c}
Citric acid	40	1.67±0.52^{c}	82.54±2.17^{a}	22.00±1.57^{a}	3.17±0.06^{bc}	0.18±0.04^{a}	61.40±3.46^{ab}
	50	0.87±0.16^{ab}	116.02±6.16^{b}	25.80±1.26^{bc}	3.23±0.04^{bc}	0.22±0.02^{a}	64.50±3.19^{b}
	60	0.65±0.18^{ab}	131.34±6.01^{cd}	26.34±2.40^{bc}	3.30±0.05^{c}	0.20±0.02^{a}	67.70±3.12^{bc}
Lactic acid	40	1.61±0.23^{c}	78.78±4.07^{a}	23.31±1.64^{ab}	2.89±0.04^{a}	0.22±0.05^{a}	66.06±3.70^{bc}
	50	1.41±0.21^{bc}	115.79±2.67^{b}	25.14±3.15^{abc}	3.19±0.04^{bc}	0.22±0.02^{a}	66.89±0.73^{bc}
	60	1.33±0.16^{bc}	129.77±4.04^{c}	27.12±1.82^{c}	3.15±0.18^{b}	0.23±0.01^{a}	68.82±0.93^{bc}
Main Effect: Solvent Type							
Acetic acid		0.96±0.44^{a}	142.21±19.54^{b}	35.14±1.59^{b}	3.82±0.06^{c}	0.20±0.05^{a}	64.04±7.55^{a}
Citric acid		1.06±0.51^{ab}	109.97±20.80^{a}	24.71±1.74^{a}	3.23±0.07^{b}	0.19±0.02^{a}	64.38±3.70^{b}
Lactic acid		1.45±0.20^{b}	108.11±21.72^{a}	25.19±2.20^{a}	3.08±0.16^{a}	0.22±0.02^{a}	67.25±2.16^{b}
Main Effect: Plasticizer Concentration							
Acetic acid		1.53±0.33^{b}	93.90±19.17^{a}	26.06±1.96^{a}	3.32±0.42^{a}	0.18±0.03^{a}	60.80±5.18^{a}
Citric acid		1.07±0.43^{a}	123.95±12.39^{b}	28.79±1.61^{b}	3.41±0.29^{b}	0.21±0.04^{a}	65.03±2.53^{b}
Lactic acid		0.88±0.33^{a}	142.44±17.32^{c}	30.20±1.97^{b}	3.40±0.26^{ab}	0.22±0.03^{a}	69.84±2.92^{c}
ANOVA interaction		(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(+)

*Values are presented as mean ± standard deviation (n = 3). Means followed by different superscript lowercase letters within the same column indicate significant differences (p 0.05).
(+): Significant interaction effect (p<0.05); (-): No significant interaction effect (p≥0.05).

This work is licensed under CC BY 4.0.

http://dx.doi.org/10.17844/767q1565

ini sejalan dengan temuan Smith *et al.* (2021) yang melaporkan bahwa penambahan gliserol mengganggu ikatan hidrogen intramolekuler dan memicu perubahan susunan rantai polimer. Sementara itu, variasi jenis pelarut menunjukkan bahwa penggunaan asam laktat dan asam sitrat menghasilkan nilai kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan asam asetat, mengindikasikan pembentukan struktur film yang lebih kompak dan stabil secara struktural (Qiao *et al*., 2021). Hasil ini menegaskan bahwa pemilihan jenis pelarut yang tepat dan penggunaan konsentrasi *plasticizer* yang rendah berperan penting dalam mempertahankan kekuatan mekanik *edible film* kitosan-CMC

Elongasi

Elongasi merupakan parameter sifat mekanik yang menunjukkan kemampuan *edible film* untuk mengalami pemanjangan sebelum mengalami putus. Nilai elongasi menggambarkan tingkat elastisitas dan fleksibilitas film. Makin tinggi nilai elongasi, maka film makin lentur dan tidak mudah retak saat mengalami deformasi. Pengujian elongasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* terhadap tingkat fleksibilitas *edible film* kitosan-CMC. Hasil rata-rata elongasi *edible film* kitosan-CMC dengan jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* yang berbeda disajikan pada *Table 1*.

Hasil analisis ragam menunjukkan tidak ada interaksi yang signifikan antara jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* terhadap nilai elongasi (p>0,05). Namun, faktor jenis pelarut (p<0,05) dan konsentrasi *plasticizer* (p<0,05) secara mandiri memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap elastisitas film. Nilai elongasi tertinggi diperoleh pada perlakuan asam asetat dengan *plasticizer* 60% sebesar 166,21±5,02%, sedangkan nilai terendah terdapat pada asam laktat 40% sebesar 78,77±4,06%. Peningkatan konsentrasi *plasticizer* dari 40% ke 60% secara konsisten meningkatkan nilai elongasi pada seluruh jenis pelarut karena *plasticizer* masuk ke dalam rantai polimer dan membentuk ikatan hidrogen baru yang meningkatkan fleksibilitas (Warkoyo *et al.*, 2014).

Penggunaan asam asetat menghasilkan elongasi paling tinggi (142,21±19,54%), berbeda nyata dibandingkan asam sitrat (109,97±20,80) dan asam laktat (108,11±21,72). Hal ini menunjukkan bahwa film yang dilarutkan menggunakan asam asetat memiliki fleksibilitas lebih baik. Peningkatan elongasi seiring bertambahnya *plasticizer* disebabkan oleh meningkatnya mobilitas rantai polimer akibat interaksi ikatan hidrogen antara *plasticizer* dan matriks film sehingga struktur menjadi lebih fleksibel, resistansi terhadap gaya tarik menurun, dan kemampuan regang film meningkat (Afifah *et al*., 2018). Elongasi dapat dipengaruhi oleh jenis *plasticizer* yang digunakan dalam pembuatan film. *Plasticizer* gliserol akan meningkatkan elongasi dari film karena mengurangi interaksi antar rantai dari bahan sehingga meningkatkan pergerakan makromolekul (Arifin *et al*., 2022). Nilai elongasi pada *edible film* dari pati sorgum dengan gliserol meningkat seiring bertambahnya konsentrasi gliserol, penambahan gliserol 60% meningkatkan nilai elongasi hingga 65% (Kusumaningtyas *et al.,* 2018).

Nilai elongasi meningkat seiring bertambahnya konsentrasi *plasticizer* dari 40% menjadi 60% pada seluruh jenis pelarut, dengan rata-rata total meningkat dari 93,90% menjadi 142,44%. Peningkatan ini menunjukkan peran *plasticizer* dalam meningkatkan mobilitas rantai polimer melalui pembesaran volume bebas dalam matriks film (Praseptiangga *et al*., 2021). Peningkatan konsentrasi *plasticizer* gliserol dalam film biopolimer menyebabkan struktur film menjadi lebih renggang dan fleksibel karena masuknya molekul kecil di antara rantai polimer utama (Kadhim *et al*. 2018). Jenis pelarut juga memengaruhi fleksibilitas film, dengan asam asetat cenderung menghasilkan elongasi lebih tinggi dibandingkan asam sitrat dan asam laktat. Hal ini mengindikasikan bahwa jenis asam organik memengaruhi interaksi elektrostatik antara kitosan dan CMC selama proses pengeringan film (Haryati *et al*., 2022).

This work is licensed under CC BY 4.0.

Water Vapor Transmission Rate (WVTR)

Water vapor transmission rate (WVTR) merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan *edible film* dalam menahan perpindahan uap air dari lingkungan ke dalam sistem atau sebaliknya. Nilai WVTR digunakan sebagai indikator sifat penghalang (*barrier*) film terhadap uap air, makin rendah nilai WVTR, maka makin baik kemampuan film menghambat transmisi kelembapan. WVTR dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* terhadap permeabilitas uap air *edible film*. Hasil WVTR *edible film* kitosan-CMC dengan jenis pelarut dan konsetrasi *plasticizer* yang berbeda disajikan pada *Table 1*.

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa jenis pelarut ($p<0,05$) dan konsentrasi *plasticizer* ($p<0,05$) berpengaruh nyata terhadap nilai WVTR, sedangkan interaksi kedua faktor tidak berpengaruh nyata ($p>0,05$). Nilai WVTR tertinggi diperoleh pada perlakuan asam asetat dengan *plasticizer* 60% sebesar 37,13±1,69 g/m²·hari, sedangkan nilai terendah diperoleh pada asam sitrat dengan *plasticizer* 40% sebesar 22,00±1,57 g/m²·hari. Penggunaan asam asetat menghasilkan laju transmisi uap air yang lebih tinggi dibandingkan asam organik lainnya karena karakteristiknya menghasilkan struktur matriks lebih longgar, mempermudah difusi molekul air melewati film. Efektivitas hambatan uap air pada film biopolimer sangat bergantung pada kekompakan struktur mikro yang terbentuk selama proses evaporasi pelarut (Abral *et al*., 2019).

Rata-rata pengaruh jenis pelarut menunjukkan bahwa asam asetat menghasilkan WVTR tertinggi (35,14±1,59 g/m²·hari), berbeda nyata dibandingkan asam sitrat (24,71±1,74 g/m²·hari) dan asam laktat (25,19±2,20 g/m²·hari). Hal ini mengindikasikan bahwa film dengan pelarut asam sitrat dan laktat memiliki kemampuan penghambatan uap air yang lebih konsisten menghasilkan *barrier* daripada asam asetat. Hal ini berkaitan dengan pembentukan struktur film yang lebih rapat serta kemungkinan terjadinya interaksi tambahan pada sistem kitosan-CMC yang membatasi jalur difusi uap air. Asam sitrat diduga berperan dalam memperkuat interaksi antar rantai kitosan-CMC, yang menurut Uranga *et al*. (2019) dapat mengurangi ketersediaan gugus hidroksil bebas yang bersifat hidrofilik sehingga menurunkan transmisi uap air.

Nilai WVTR menunjukkan kecenderungan yang fluktuatif, namun cenderung lebih rendah pada konsentrasi *plasticizer* 40% (26,06 ± 1,96) dibandingkan 50% (28,79±1,61) dan 60% (30,20±1,97). Penurunan WVTR pada konsentrasi *plasticizer* 40% menunjukkan adanya kondisi optimum, dengan struktur film cukup rapat untuk menahan difusi uap air. Naiu *et al.* (2021) juga menyatakan bahwa penambahan CMC dapat berperan dalam membentuk matriks polimer yang lebih rapat sehingga menghambat perpindahan molekul air melalui film. *Plasticizer* pada kadar tertentu dapat mengisi kekosongan dalam jaringan polimer, namun pada konsentrasi berlebih, sifat hidrofiliknya justru akan menarik molekul air dan meningkatkan permeabilitas film (Singh *et al*., 2015). Peningkatan WVTR pada konsentrasi 60% mengindikasikan meningkatnya permeabilitas akibat struktur matriks yang makin renggang dan meningkatnya volume bebas di antara rantai polimer. Fenomena ini diperjelas oleh Rivero *et al*. (2022), yang menyatakan bahwa kelebihan *plasticizer* meningkatkan mobilitas molekul air di dalam matriks film.

pH

Nilai pH merupakan parameter kimia yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan *edible film*, yang berkaitan erat dengan jenis pelarut yang digunakan serta komposisi formulasi film. pH berperan penting dalam menentukan stabilitas matriks kitosan-CMC, sifat fungsional film, serta potensi aplikasinya sebagai bahan pengemas pangan. Pengujian pH dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* terhadap tingkat keasaman *edible film* kitosan-CMC. Hasil rata-rata pH *edible film* kitosan-CMC dengan jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* yang berbeda disajikan pada *Table 1*.

http://dx.doi.org/10.17844/767q1565

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa jenis pelarut, konsentrasi *plasticizer*, serta interaksi keduanya berpengaruh nyata terhadap nilai pH *edible film* (p<0,05). Nilai pH tertinggi diperoleh pada perlakuan asam asetat dengan *plasticizer* 40% sebesar 3,90±0,02, sedangkan nilai terendah terdapat pada asam laktat 40% sebesar 2,89±0,04. Secara rata-rata, penggunaan asam asetat menghasilkan pH paling tinggi (3,82±0,06), diikuti oleh asam sitrat (3,23±0,07) dan asam laktat (3,08±0,16). Qiao *et al* (2021) menunjukkan bahwa tipe asam (HCl, asetat, laktat, sitrat) mengubah pola interaksi ionik/ikatan hidrogen, derajat kristalinitas, dan nilai temperature gelas kitosan, yang terkait dengan kekuatan interaksi ion asam-kitosan dan lingkungan keasaman berbeda. Selain itu, Leceta *et al*. (2015) menambahkan bahwa jenis asam organik tidak hanya menentukan keasaman larutan, tetapi juga memengaruhi interaksi antar polimer dalam sistem film kitosan.

Perbedaan nilai pH ini berkaitan langsung dengan kekuatan relatif masing-masing asam organik. Asam laktat dan asam sitrat memberikan lingkungan yang lebih asam dibandingkan asam asetat karena memiliki kemampuan melepaskan ion hidrogen yang lebih tinggi dalam larutan. Peningkatan konsentrasi *plasticizer* menunjukkan pengaruh yang berbeda pada setiap pelarut. Nilai pH pada asam sitrat dan asam laktat cenderung meningkat seiring bertambahnya *plasticizer*, yang diduga akibat efek pengenceran dan interaksi molekul *plasticizer* dengan ion hidrogen bebas. Peningkatan pH film hingga 5 menyebabkan pita NH_3^+ menghilang dan sifat film berubah, menandakan deprotonasi gugus amina dan penurunan interaksi kationik (Kim *et al*., 2006). Sejalan dengan hal tersebut, Ganiari *et al*. (2017) menjelaskan bahwa penambahan *plasticizer* hidrofilik dapat memicu perubahan keseimbangan ionik dalam larutan polimer yang berakibat pada pergeseran nilai pH sistem secara keseluruhan.

Secara keseluruhan, nilai pH *edible film* dipengaruhi oleh pemilihan jenis pelarut serta efek pengenceran dari peningkatan konsentrasi *plasticizer*. Perbedaan pH ini mencerminkan tingkat keasaman medium yang berperan dalam menentukan tingkat protonasi kitosan dan homogenitas larutan. Penelitian yang dilakukan oleh Díaz *et al.* (2019) menunjukkan bahwa konsentrasi gliserol dan pH larutan mengubah konformasi dan interaksi polimer-air melalui ikatan hidrogen, dengan efek berbeda tergantung kadar *plasticizer*. Homez-Jara *et al*. (2018) melaporkan bahwa variasi pH akibat perbedaan asam organik memengaruhi karakteristik mikrosturktur dan kejernihan film. Rentang pH pada penelitian ini (2,89-3,90) masih berada pada kondisi optimal untuk menjaga stabilitas matriks kitosan-CMC.

Ketebalan

Ketebalan merupakan salah satu parameter fisik *edible film* yang berpengaruh terhadap sifat mekanik, permeabilitas, serta ketampakan film. Nilai ketebalan berkaitan dengan jumlah padatan dalam larutan film dan proses pencetakan yang digunakan. Pengukuran ketebalan dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* terhadap karakteristik fisik *edible film* kitosan-CMC. Hasil rata-rata ketebalan *edible film* kitosan-CMC dengan jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* yang berbeda disajikan pada *Table 1*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis pelarut, konsentrasi *plasticizer*, serta interaksi keduanya tidak berpengaruh nyata terhadap ketebalan *edible film* kitosan-CMC (p>0,05). Ketebalan film berada pada kisaran 0,17–0,25 mm, dengan nilai tertinggi pada perlakuan asam asetat 60% (0,25±0,05 mm) dan terendah pada asam asetat 40% (0,17±0,02 mm). Ketebalan film sering kali tidak menunjukkan perubahan signifikan apabila volume larutan dan luas permukaan cetakan dijaga tetap konstan selama proses *casting* (Giosafatto *et al.*, 2020). Hal ini diperkuat oleh Thakhiew *et al*. (2010) pada film kitosan yang dikeringkan dengan berbagai metode dan kadar gliserol, ketebalan tidak banyak berubah pada rentang konsentrasi *plasticizer* tertentu, yang berubah justru sifat mekanik pada film (kuat tarik, elongasi).

This work is licensed under CC BY 4.0.

Tidak adanya perbedaan nyata menunjukkan bahwa proses pencetakan dan volume larutan yang digunakan relatif seragam sehingga variasi perlakuan tidak cukup kuat untuk memengaruhi dimensi fisik secara statistik. Ketebalan lebih banyak dipengaruhi oleh teknik penuangan larutan serta jumlah total padatan dibandingkan dengan sifat kimiawi pelarut. Penelitian yang dilakukan oleh Sofia *et al*. (2017) menunjukkan bahwa ketebalan berada pada kisaran 0,05-0,30 mm lebih dipengaruhi oleh jumlah padatan dan kondisi proses daripada formulasi aditif, semua perlakuan dianggap seragam ketika ketebalan berada dalam kisaran sempit tersebut. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Luchese *et al.* (2017) pada film pati yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi biopolimer secara langsung menyebabkan kenaikan ketebalan film (0,07-0,17 mm), sementara perubahan komposisi internal lebih berpengaruh pada sifat mekanik dan permeabilitas daripada dimensi.

Ketebalan *edible film* kitosan-CMC yang relatif seragam pada seluruh perlakuan mengindikasikan bahwa variasi jenis pelarut maupun konsentrasi *plasticizer* tidak mengubah dimensi fisik secara signifikan. Kondisi ini mencerminkan homogenitas proses serta keseragaman volume larutan film yang digunakan. Oleh karena itu, perubahan karakteristik mekanik (kuat tarik dan elongasi) serta *barrier* (WVTR) yang diamati lebih disebabkan oleh perbedaan interaksi molekuler dalam matriks film dibandingkan oleh variasi ketebalan. Struktur dan sifat fungsional ditentukan oleh interaksi polielektrolit (konfigurasi rantai, *crosslinking*), bukan oleh variasi kecil ketebalan (Chen *et al*., 2020). Sifat permukaan dan *barrier* ditentukan oleh susunan makromolekul dan interaksi, dan ketebalan hanya digunakan sebagai parameter dasar dan tidak dianggap faktor utama perubahan sifat fungsional (Zhang *et al*., 2023).

Kelarutan

Kelarutan merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan *edible film* untuk terdispersi atau larut dalam air, yang mencerminkan stabilitas struktur matriks film terhadap lingkungan berair. Nilai kelarutan berhubungan dengan sifat hidrofilik komponen penyusun film serta keberadaan *plasticizer* dalam sistem. Pengujian kelarutan dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* terhadap daya larut *edible film* kitosan-CMC. Hasil rata-rata kelarutan *edible film* kitosan-CMC dengan jenis pelarut dan konsentrasi *plasticizer* yang berbeda disajikan pada *Table 1*.

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa jenis pelarut, konsentrasi *plasticizer*, serta interaksi kedua faktor tersebut berpengaruh nyata terhadap nilai kelarutan *edible film* kitosan–CMC ($p<0,05$). Nilai kelarutan tertinggi diperoleh pada perlakuan asam asetat dengan *plasticizer* 60% sebesar 73,01±2,09%, sedangkan nilai terendah terdapat pada asam asetat 40% sebesar 55,39±3,06%. Tingginya kelarutan pada konsentrasi *plasticizer* 60% menunjukkan bahwa penambahan *plasticizer* meningkatkan afinitas matriks terhadap molekul air melalui berkurangnya interaksi antar-rantai dan meningkatnya *free volume* sehingga rantai polimer lebih mudah terdispersi dan larut (Tarique *et al*., 2021).

Peningkatan kelarutan seiring bertambahnya *plasticizer* berkaitan dengan sifat higroskopis *plasticizer* yang mampu mengikat air lebih banyak. Kenaikan konsentrasi *plasticizer* dari 40% ke 60% secara konsisten meningkatkan kelarutan rata-rata dari 59,33% menjadi 69,47%. Kondisi ini menunjukkan menurunnya kekompakan jaringan polimer, sejalan dengan laporan Ballesteros *et al*. (2020) bahwa peningkatan gliserol meningkatkan water solubility akibat struktur matriks yang lebih longgar dan hidrofilik. Fang *et al*. (2025) juga melaporkan bahwa rasio komponen hidrofilik berperan penting dalam meningkatkan kelarutan film komposit.

Interaksi signifikan antara jenis pelarut dan *plasticizer* mengindikasikan bahwa efek *plasticizer* terhadap kelarutan bergantung pada asam yang digunakan. Asam asetat menghasilkan variasi kelarutan yang lebih besar dibandingkan asam sitrat dan laktat, yang berkaitan dengan pembentukan kompleks polielektrolit kitosan–CMC dan

http://dx.doi.org/10.17844/767q1565

derajat ionisasi pelarut. Zhao *et al*. (2024) menyatakan bahwa kombinasi interaksi antarpolimer dan fraksi komponen hidrofilik mengontrol kelarutan film, sementara Huntrakul *et al*. (2020) menegaskan bahwa struktur jaringan dan sorpsi air berperan langsung terhadap stabilitas dan ketahanan film terhadap air.

Karakteristik Umum Film Komposit

Film komposit kitosan-CMC menunjukkan variasi ketampakan yang dipengaruhi oleh jenis asam pelarut serta konsentrasi gliserol yang digunakan. Secara umum, film yang dihasilkan memiliki warna bening hingga kekuningan pucat dengan tingkat transparansi yang bervariasi. Permukaan film cenderung datar, namun pada beberapa perlakuan masih terlihat adanya gelembung udara, bintik, serta ketidakteraturan permukaan yang mengindikasikan perbedaan homogenitas matriks film. Perbedaan ini mencerminkan interaksi antara kitosan, CMC, gliserol, dan jenis asam yang digunakan dalam proses pembentukan film.

Berdasarkan hasil pengamatan visual pada *Figure 1*, film komposit kitosan-CMC

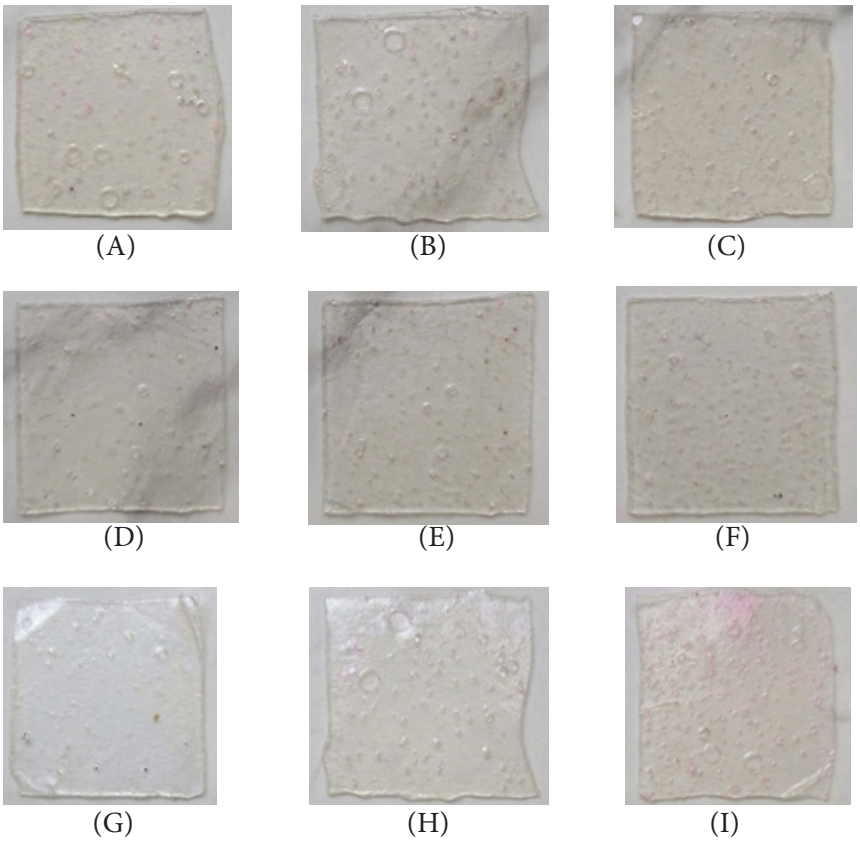

Figure 1 Visual appearance of composite edible films under various treatments: (A) Acetic acid, glycerol 40% (w/w); (B) Acetic acid, glycerol 50% (w/w); (C) Acetic acid, glycerol 60% (w/w); (D) Citric acid, glycerol 40% (w/w); (E) Citric acid, glycerol 50% (w/w); (F) Citric acid, glycerol 60% (w/w); (G) Lactic acid, glycerol 40% (w/w); (H) Lactic acid, glycerol 50% (w/w); (I) Lactic acid, glycerol 60% (w/w).

Gambar 1 Tampilan *visual composite edible film* pada berbagai perlakuan: (A) Asam asetat, gliserol 40% (b/b); (B) Asam asetat, gliserol 50% (b/b); (C) Asam asetat, gliserol 60% (b/b); (D) Asam sitrat, gliserol 40% (b/b); (E) Asam sitrat, gliserol 50% (b/b); (F) Asam sitrat, gliserol 60% (b/b); (G) Asam laktat, gliserol 40% (b/b); (H) Asam laktat, gliserol 50% (b/b); (I) Asam laktat, gliserol 60% (b/b).

This work is licensed under CC BY 4.0.

menunjukkan perbedaan ketampakan yang jelas pada setiap kombinasi jenis asam pelarut dan konsentrasi gliserol. Perbedaan tersebut meliputi warna, tingkat transparansi, serta homogenitas permukaan film. Sampel A (asam asetat, gliserol 40%) memperlihatkan film bening dengan permukaan relatif rata meskipun masih ditemukan beberapa gelembung udara berukuran sedang. Sampel B (asam asetat, gliserol 50%) menunjukkan permukaan lebih bergelombang dengan jumlah gelembung yang meningkat sehingga tampak kurang homogen. Sampel C (asam asetat, gliserol 60%) memiliki permukaan lebih halus dibandingkan sampel B, namun gelembung kecil masih terlihat cukup merata. Film dengan asam sitrat menunjukkan ketampakan yang lebih kaku dan rata. Sampel D (asam sitrat, gliserol 40%) memiliki permukaan cukup halus dengan jumlah gelembung yang lebih sedikit. Sampel E (asam sitrat, gliserol 50%) tampak lebih homogen dengan bintik halus yang tersebar. Sampel F (asam sitrat, gliserol 60%) menunjukkan permukaan lebih rata dengan distribusi gelembung yang kecil dan merata. Film yang berbasis asam laktat, yaitu sampel G (asam laktat, gliserol 40%) memiliki ketampakan paling bening dengan permukaan halus dan gelembung minimal. Sampel H (asam laktat, gliserol 50%) menunjukkan permukaan cukup homogen dengan sedikit gelembung kecil. Sampel I (asam laktat, gliserol 60%) memperlihatkan peningkatan jumlah gelembung dan sedikit ketidakteraturan permukaan, namun transparansi masih terjaga. Secara umum, peningkatan konsentrasi gliserol meningkatkan fleksibilitas visual film, sedangkan penggunaan asam laktat menghasilkan film dengan homogenitas dan transparansi terbaik.

KESIMPULAN

Jenis pelarut asam dan konsentrasi *plasticizer* gliserol berpengaruh nyata terhadap sifat mekanik, pH, laju transmisi uap air, dan kelarutan *edible film* komposit kitosan-CMC, dengan perlakuan asam sitrat pada konsentrasi gliserol 50% (S50) menghasilkan kombinasi kuat tarik dan elongasi yang seimbang serta kemampuan penghalang uap air paling baik di antara seluruh perlakuan. Ketebalan film relatif seragam dan tidak dipengaruhi nyata oleh kedua faktor tersebut sehingga tidak menjadi penentu utama dalam pemilihan perlakuan terbaik. *Edible film* komposit kitosan-CMC hasil perlakuan S50 berpotensi diaplikasikan sebagai bahan kemasan pangan *biodegradable* yang mendukung pengembangan kemasan ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro yang telah memberikan bantuan berupa dana penelitian atas nama ketua: Muhammad Hauzan Arifin, S.Pi., M.Si. dengan nomor hibah 33/UN7. F10/PP/III/2025. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu untuk dalam pelaksanaan dan penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adila, S. N., Suyatma, N. E., Firlieyanti, A. S., & Bujang, A. (2013). Antimicrobial and physical properties of chitosan film as affected by solvent types and glycerol as *plasticizer*. *Advanced Materials Research*, 748(1), 155–159. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.748.155

Afifah, N., Sholichah, E., Indrianti, N., & Darmajana, D. A. (2018). Pengaruh kombinasi *plasticizer* terhadap karakteristik *edible film* dari karagenan dan lilin lebah. *Biopropal Industri*, 9(1), 49–60. https://doi.org/ 10.36974/jbi.v9i1.3765

Arham, R., Mulyati, M. T., Metusalach, M., & Salengke, S. (2016). Physical and mechanical properties of agar based *edible film* with glycerol *plasticizer*. *International Food Research Journal*, 23(4), 1669–1675.

Arifin, M. H., & Purnamayati, L. (2024). Pengaruh penambahan coating kitosan terhadap kualitas ikan salem pindang (*Scomber japonicus*) yang dikemas vakum selama penyimpanan suhu ruang.

Jurnal Sains dan Teknologi Pangan, 9(5), 7706–7719. https://doi.org/10.63071/h0afyh35

Arifin, M. H., Suyatma, N. E., & Indrasti, D. (2022). Karakterisasi kitooligosakarida yang didepolimerisasi dengan metode berbeda dan kajiannya sebagai *active film*. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 25(1), 18–33. https://doi.org/10.17844/jphpi.v25i1.39632

[ASTM] American Society for Testing and Materials. (2001). Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. *Annual book of ASTM standards*. Designation D882-01. Philadelphia: ASTM.

Ballesteros-Martínez, L., Pérez-Cervera, C., & Andrade-Pizarro, R. (2020). Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film. *NFS Journal*, 20, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.06.002

Chen, P., Xie, F., Tang, F., & McNally, T. (2020). Thermomechanical-induced polyelectrolyte complexation between chitosan and carboxymethyl cellulose enabling unexpected hydrolytic stability. *Composites Science and Technology*, 189, 108031. https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108031

Dhall, R. K. (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435–450. https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568.

Díaz, O., Ferreiro, T., Rodríguez-Otero, J. L., & Cobos, Á. (2019). Characterization of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour films: effects of pH and *plasticizer* concentration. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5), 1246. https://doi.org/10.3390/ijms20051246

Eslami, Z., Elkoun, S., Robert, M., & Adjallé, K. (2023). A review of the effect of *plasticizer*s on the physical and mechanical properties of alginate-based films. *Molecules*, 28(18), 6637. https://doi.org/10.3390/molecules28186637

Fang, F., Li, H., Cai, Z., Wang, H., Dong, M., Huang, L., & Li, C. (2025). Preparation and characterization of edible gelatin–chitosan films incorporated with finger millet polyphenols and its application in pork. *International Journal of Biological Macromolecules*, 307(7), 142178. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.142178

Ganiari, S., Choulitoudi, E., & Oreopoulou, V. (2017). Edible and active films and coatings as carriers of natural antioxidants for lipid food. *Trends in Food Science & Technology*, 68, 70–82. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.009

Giosafatto, C. V. L., Fusco, A., Al-Asmar, A., & Mariniello, L. (2020). Microbial transglutaminase as a tool to improve the features of hydrocolloid-based bioplastics. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(10), 3656. https://doi.org/ 10.3390/ijms21103656

Guo, C., & Guo, H. (2022). Progress in the degradability of biodegradable film materials for packaging. *Membranes*, 12(5), 500. https://doi.org/10.3390/membranes12050500

Hardjono, H., Permatasari, D. A., & Sari, V. A. (2016). Pengaruh penambahan asam sitrat terhadap karakteristik film plastik biodegradable dari pati kulit pisang kepok. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 5(1), 22–28. https://doi.org/10.15294/jbat.v5i1.5965

Hidayati, S., Zulferiyenni, Z., & Satyajaya, W. (2019). Optimization of biodegradable film from cellulosa of seaweed solid waste eucheuma cottonii with addition of glycerol, chitosan, CMC and tapioca. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(2), 340-354. https://doi.org/10.17844/jphpi.v22i2.27782

Homez-Jara, A., Daza, L. D., Aguirre, D. M., Muñoz, J. A., Solanilla, J. F., & Váquiro, H. A. (2018). Characterization of chitosan *edible film*s 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

Huntrakul, K., & Harnkarnsujarit, N. (2020). Effects of *plasticizer*s on water sorption

This work is licensed under CC BY 4.0.

and aging stability of whey protein/ carboxymethyl cellulose films. *Journal of Food Engineering*, 272(3), 109809. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109809

Hutabarat, J., Bimantio, M. P., & Widyowanti, R. A. (2022). Karakteristik *edible film* komposit protein biji karet dan kitosan dengan penambahan gliserol sebagai *plasticizer*. *Journal of Bioenergy and Food Technology*, 1(02), 76–94. https://doi.org/ 10.55180/biofoodtech.v1i02.300

Kadhim, M. M., Shakheer, A. I., Fahim, A. H., & Kadhim, M. M. H. A. (2018). Effect of type and concentration of *plasticizer* on mechanical properties of protein *edible film*s. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(10), 1493–1503.

Khodijah, S., & Tobing, J. M. L. (2023). Tinjauan plastik biodegradable dari limbah tanaman pangan sebagai kantong plastik mudah terurai. *Teknotan*, 17(1), 21–28. https://doi.org/10.24198/jt.vol17n1.3

Kim, K. M., Son, J. H., Kim, S. K., Weller, C. L., & Hanna, M. A. (2006). Properties of chitosan films as a function of pH and solvent type. *Journal of Food Science*, 71(3), 119–124. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb15624.x

Kong, P., Rosnan, S. M., & Enomae, T. (2024). Carboxymethyl cellulose–chitosan *edible film*s for food packaging: a review of recent advances. *Carbohydrate Polymers*, 346(16), 122612. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122612

Kusumaningtyas, R. D., Putri, R. D., Badriah, N., & Faizah, F. E. (2018). Preparation and characterization of *edible film* from sorghum starch with glycerol and sorbitol as *plasticizer*s. *Journal of Engineering Science and Technology*, 2(1), 47–55.

Lakshmi, D. S., Trivedi, N., & Reddy, C. R. K. (2017). Synthesis and characterization of seaweed cellulose derived carboxymethyl cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1604–1610. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.042

Leceta, I., Molinaro, S., Guerrero, P., Kerry, J. P., & Caba, D.L. K. (2015). Quality attributes of MAP packaged ready-to-eat baby carrots by using chitosan-based coatings. *Postharvest Biology and Techn*ology, 100, 142–150. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.022

Luchese, C. L., Spada, J. C., & Tessaro, I. C. (2017). Starch content affects physicochemical properties of corn and cassava starch-based films. *Industrial Crops and Products*, 109, 619–626. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.020

Melro, E., Antunes, F. E., da Silva, G. J., Cruz, I., Ramos, P. E., Carvalho, F., & Alves, L. (2020). Chitosan films in food applications: tuning film properties by changing acidic dissolution conditions. *Polymers*, 13(1), 1. https://doi.org/10.3390/polym13010001

Naiu, A. S., Yusuf, N., Yusuf, S. C., & Hudongi, Y. S. (2021). Perbedaan mutu permen jeli *kappaphycus alvarezii* yang dikemas *edible film* berbasis gelatin-cmc-lilin lebah dan gelatin kitosan-nanokitin. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 24(3), 357-369. http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v24i3.36911

Praseptiangga, D., Maimuni, B. H., Manuhara, G. J., & Muhammad, D. R. A. (2018). Mechanical and barrier properties of semi refined kappa carrageenan-based composite *edible film* and its application on minimally processed chicken breast fillet [Conference session]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 333(1), 012086. https://doi.org/10.1088/1757-899X/333/1/012086

Qiao, C., Ma, X., Wang, X., & Liu, L. (2021). Structure and properties of chitosan films: Effect of the type of solvent acid. *LWT*, 135, 109984. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109984

Ranjbar, M., Tabrizzad, M. H. A., Asadi, G., & Ahari, H. (2023). Investigating the microbial properties of sodium alginate/ chitosan *edible film* containing red beetroot anthocyanin extract for smart packaging in chicken fillet as a pH indicator. *Heliyon*, 9(8), e18879. https://doi.org/ 10.1016/j.heliyon.2023.e18879

Rochima, E. (2014). Kajian pemanfaatan

limbah rajungan dan aplikasinya untuk bahan minuman kesehatan berbasis kitosan. *Jurnal Akuatika*, 5(1), 71-82.

Sandi, O. M., Muhandri, T., & Suyatma, N. E. (2024). Optimasi pembuatan heat sealable film dari kolang-kaling sebagai bahan kemasan. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan,* 35(1), 79-91. https://doi.org/10.6066/jtip.2024.35.1.79

Santacruz, S., Rivadeneira, C., & Castro, M. (2015). *Edible film*s based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, *plasticizer*, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. *Food hydrocolloids*, 49, 89-94. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.019

Sanyang, M. L., Sapuan, S. M., Jawaid, M., Ishak, M. R., & Sahari, J. (2016). Effect of *plasticizer* type and concentration on physical properties of biodegradable films based on sugar palm starch. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 326–336. https://doi.org/ 10.1007/s13197-015-2009-7

Scatolino, M. V., Bufalino, L., Dias, M. C., Mendes, L. M., da Silva, M. S., Tonoli, G. H. D., Souza, T. M., & Junior, F. T. A. (2022). Copaiba oil and vegetal tannin as functionalizing agents for açai nanofibril films: valorization of forest wastes from Amazonia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(44), 66422-66437. https://doi.org/ 10.1007/s11356-022-20520-7

Singh, T. P., Chatli, M. K., & Sahoo, J. (2015). Development of chitosan based *edible film*s: Process optimization using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 2530–2543. https://doi.org/ 10.1007/s13197-014-1318-6

Smith, D. R., Escobar, A. P., Andris, M. N., Boardman, B. M., & Peters, G. M. (2021). Understanding the molecular-level interactions of glucosamine-glycerol assemblies. *ACS Omega*, 6(39), 25227–25234. https://doi.org/ 10.1021/acsomega.1c03016

Sofia, I., Murdiningsih, H., & Yanti, N. (2017). Pembuatan dan kajian sifat fisikokimia, mekanikal, dan fungsional *edible film* dari kitosan udang windu. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 5(2), 54–60. https://doi.org/ 10.15294/jbat.v4i2.6364

Tarique, J. S. M. S., Sapuan, S. M., & Khalina, A. (2021). Effect of glycerol *plasticizer* loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot starch biopolymers. *Scientific Reports*, 11(1), 13900. https://doi.org/10.1038/s41598-021-93094-y

Thakhiew, W., Devahastin, S., & Soponronnarit, S. (2010). Effects of drying methods and *plasticizer* concentration on some physical and mechanical properties of edible chitosan films. *Journal of Food Engineering*, 99(2), 216–224. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.02.025

Uranga, J., Puertas, A. I., Etxabide, A., Dueñas, M. T., Guerrero, P., & De la Caba, K. (2019). Citric acid-incorporated fish gelatin/chitosan composite films. *Food Hydrocolloids*, 86, 95–103. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.018

Wang, J., & Zhuang, S. (2022). Chitosan-based materials: preparation, modification and application. *Journal of Cleaner Production*, 355, 131825. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131825

Zhang, H., Su, S., Liu, S., Qiao, C., Wang, E., Chen, H., & Li, T. (2023). Effects of chitosan and cellulose derivatives on sodium carboxymethyl cellulose-based films. *Molecules*, 28(13), 5211. https://doi.org/ 10.20944/preprints202305.1355.v1

Zhao, F., Jiang, L., Wang, C., Li, S., Sun, D., Ma, Q., & Jiang, W. (2024). Flexibility, dissolvability, heat-sealability, and applicability improvement of pullulan-based composite *edible film*s. *Industrial Crops and Products*, 215, 118693. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118693