

KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK *EDIBLE FILM* HIDROKOLOID DARI KOMBINASI KARAGENAN DAN GELATIN LIMBAH TULANG IKAN TUNA (*Thunnus albacares*)

Physical And Mechanical Properties of Hydrocolloid Edible Films Made from a Combination of Carrageenan and Gelatin Derived From Tuna (Thunnus albacares) Bone

Jarris R.B. Mailuas^{1*}, Feny Mentang², Wilmy E. Pelle³, Roike I. Montolalu²,
Rose O.S.E. Mantiri⁴, Markus T. Lasut³

¹Program Studi Ilmu Perairan, Program Pasca Sarjana, Universitas Sam Ratulangi, Manado

²Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, FPIK, Universitas Sam Ratulangi, Manado

³Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi, Manado

⁴Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, FPIK, Universitas Sam Ratulangi, Manado

*Penulis koresponden: jarrismailuas055@student.unsrat.ac.id

(Diterima 23-06-2026; Direvisi 23-07-2026; Dipublikasi 04-08-2026)

Reliance on synthetic plastics has driven the development of eco-friendly packaging, such as edible films. This study aimed to examine the effect of combining carrageenan (a polysaccharide) and tuna bone gelatin (a protein) on the physical and mechanical characteristics of edible films. A Completely Randomized Design (CRD) was employed, featuring treatments with varying ratios of carrageenan to gelatin (A0=4:0, A1B1=3:1, A2B2=2:2, A3B3=1:3, and B0=0:4 w/w). The parameters tested included physical characteristics (thickness, water vapor transmission rate) and mechanical characteristics (tensile strength, percentage elongation). Statistical analysis revealed that the combination of carrageenan and tuna bone gelatin significantly affected the tensile strength and water vapor transmission rate of the edible films, but did not significantly affect thickness or percentage elongation. Increasing the gelatin concentration across treatments A0 through B0 tended to decrease thickness and increase the water vapor transmission rate. Tensile strength and percentage elongation values peaked at the balanced concentration (A2B2) but declined as gelatin concentration became dominant (A3B3 through B0). The optimal edible film characteristics were achieved with the A2B2 formulation (2% tuna bone gelatin and 2% carrageenan), yielding a thickness of 0.168 mm, tensile strength of 25.76 N/mm², elongation of 41.65%, and a water vapor transmission rate (WVTR) of 28.79 g/h.m². The results indicate that a balanced combination of carrageenan and gelatin enhances both the strength and elasticity of edible films.

Kata kunci: carrageenan, edible film, Tuna bone gelatin, waste fishery

Ketergantungan pada plastik sintetis mendorong pengembangan kemasan ramah lingkungan seperti *edible film*. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh formulasi kombinasi karagenan (polisakarida) dan gelatin tulang ikan tuna (protein) terhadap karakteristik fisik dan mekanik *edible film*. Metode penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan variasi rasio kombinasi karagenan berbanding gelatin (A0=4:0, A1B1=3:1, A2B2=2:2, A3B3=1:3, dan B0=0:4 b/b). Parameter yang diuji meliputi karakteristik fisik (ketebalan, laju transmisi uap air) serta karakteristik mekanik (kuat tarik, dan persen pemanjangan). Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa kombinasi karagenan dan gelatin tulang ikan tuna berpengaruh nyata terhadap nilai kuat tarik dan laju transmisi uap air *edible film*, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai ketebalan dan persen pemanjangan. Peningkatan konsentrasi gelatin pada perlakuan A0 sampai B0 berturut-turut cenderung menurunkan nilai ketebalan dan meningkatkan nilai laju transmisi uap air. Nilai kuat tarik dan persen pemanjangan tertinggi pada konsentrasi seimbang (A2B2), tetapi menurun seiring dengan didominasi konsentrasi gelatin (A3B3 sampai B0). Karakteristik terbaik *edible film* dicapai oleh formulasi A2B2 (2% gelatin tulang ikan tuna dan 2% karagenan) dengan nilai ketebalan 0,168 mm, kuat tarik sebesar 25,76 N/mm², persen pemanjangan sebesar 41,65%, dan laju transmisi uap air (WVTR) 28,79 g/jam.m². Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi karagenan dan gelatin secara seimbang mampu meningkatkan kekuatan dan elastisitas *edible film*.

Kata kunci: edible film, gelatin tulang ikan tuna, karagenan, limbah perikanan

PENDAHULUAN

Ketergantungan industri pengemasan makanan pada plastik sintetis *non-biodegradable* telah memicu krisis lingkungan global akibat akumulasi limbah dan polusi mikroplastik (Geyer *et al.*, 2017). Seiring meningkatnya kesadaran konsumen terhadap aspek keberlanjutan lingkungan dan keamanan pangan, telah mendorong berbagai penelitian dalam pengembangan kemasan alternatif yang tidak hanya ramah lingkungan dan berbahan baku terbarukan, tetapi juga aman untuk kontak langsung dengan produk pangan. Salah satu inovasi hijau yang menjanjikan adalah *edible film*, yaitu lapisan tipis hidrokoloid (polisakarida dan

protein) yang berfungsi melindungi makanan dengan menahan migrasi kelembaban, oksigen, dan zat terlarut (Perdani, 2021).

Karagenan merupakan polisakarida dari rumput laut seperti *Kappaphycus alvarezii* yang potensial sebagai bahan dasar *edible film* karena berlimpah di Indonesia, memiliki sifat pembentukan gel (*gelling agent*) yang kokoh, serta menghasilkan film dengan sifat mekanik dan *barrier* oksigen yang baik (Farhan & Hani, 2020; Taher *et al.*, 2021). Namun, *edible film* dari karagenan tunggal bersifat kaku, rapuh, dan memiliki nilai persen pemanjangan (*elongation at break*) yang sangat rendah (Wardani *et al.*, 2021). Untuk mengatasi kelemahan tersebut, diperlukan teknik pencampuran polimer (*polymer blending*) dengan protein seperti gelatin untuk meningkatkan elastisitas dan fleksibilitas matriks *film* (Suderman *et al.*, 2018).

Di sisi lain, penggunaan gelatin mamalia (sapi/babi) sering terkendala isu kehalalan dan risiko penyakit zoonosis (Al-Nimry *et al.*, 2021). Sebagai alternatif, limbah tulang ikan tuna (*Thunnus albacares*) dari industri filet domestik yang mencapai 15–20% dari bobot total ikan sangat potensial dimanfaatkan karena kaya akan kolagen (Trilaksani *et al.*, 2012). Gelatin ikan terbukti mampu menghasilkan *edible film* dengan sifat mekanik dan kemampuan penghalang (*barrier*) uap air serta oksigen yang baik (Oko & Hasyim, 2022; Perdani, 2021). Meski demikian, *film* dari 100% gelatin ikan memiliki kelemahan mekanis berupa sifat higroskopis dan laju transmisi uap air (*Water Vapor Transmission Rate/WVTR*) yang tinggi (Hosseini, S.F. *et al.*, 2013).

Untuk mengoptimalkan karakteristik *film*, penambahan *plasticizer* seperti gliserol atau lilin lebah diperlukan guna meningkatkan kelenturan. Secara molekuler, kombinasi formulasi karagenan (polisakarida) dan gelatin tulang ikan tuna (protein) diproyeksikan membentuk kompleks polielektrolit melalui ikatan hidrogen dan interaksi elektrostatis yang kuat (Nilsen-Nygaard *et al.*, 2021). Integrasi biner kedua hidrokoloid ini diharapkan mampu merekayasa karakteristik fisik (kelarutan air, ketebalan, kejernihan) sekaligus memperbaiki parameter mekanik utama seperti kuat tarik (*tensile strength*). Berdasarkan potensi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh formulasi bahan terhadap karakteristik fisik dan mekanik *edible film* hasil penggabungan antara karagenan dan gelatin tulang ikan tuna.

MATERIAL DAN METODE

Material

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tulang ikan tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*) yang diambil dari PT. Benteng Laut Samudera Bitung, asam klorida (HCl) 37%, aquades, gliserol, tepung kappa karagenan (KRI 02), lilin lebah. Sedangkan alat yang digunakan adalah *thermometer*, timbangan analitik, *beaker glass* 500 mL, labu ukur 500 mL, gelas ukur 100 mL, gelas ukur 10 mL, botol reagen 2000 mL, Erlenmeyer 2000 mL, batang pengaduk kaca, pH meter, *waterbath*, oven, *stirring hot plate*, loyang, talenan, nampan 20 × 30 cm, kertas saring whatman, *aluminium foil*, penggaris, gunting/*cutter*, pisau, penyaring stainless, cetakan *edible film* ukuran 20 × 20 cm yang terbuat dari akrilik, *digital thickness meter* dengan *measuring range* 0–12,7 mm dan ketelitian 0,01 mm.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) non faktorial dengan lima perlakuan dan masing-masing perlakuan dibuat dua kali pengulangan, dimana formulasi perbandingan konsentrasi karagenan berbanding gelatin yaitu, A0 = 0% Gelatin : 4% Karagenan, A1B1 = 1% Gelatin 3% Karagenan, A2B2 = 2% Gelatin : 2% Karagenan, A3B3 = 3% Gelatin : 1% Karagenan, dan B0 = 4% Gelatin : 0% Karagenan. Setiap perlakuan ditambahkan bahan pemlastis gliserol dan lilin lebah. Formulasi bahan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Formulasi *Edible Film*

Perlakuan	Sampel	Konsentrasi Bahan				
		Karagenan	Gelatin	Gliserol	Lilin Lebah	Aquades
1	A0	4%	0%	2%	1,2%	100 mL
2	A1B1	3%	1%	2%	1,2%	100 mL
3	A2B2	2%	2%	2%	1,2%	100 mL
4	A3B3	1%	3%	2%	1,2%	100 mL
5	B0	0%	4%	2%	1,2%	100 mL

Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari dua tahap, dimana penelitian tahap pertama yaitu melakukan ekstraksi gelatin dan penelitian tahap kedua yaitu pembuatan *edible film*.

Proses ekstraksi gelatin mengacu pada penelitian terdahulu yang dimodifikasi (Panjaitan, 2016; Aisman *et al.*, 2022; Kholis, 2023), sebagai berikut: tulang ikan tuna yang diperoleh dibersihkan dan dicuci dari sisa-sisa daging yang masih menempel, kemudian direbus pada suhu 80°C untuk menghilangkan sisa-sisa lemak yang masih menempel, lalu ditiriskan dan dipotong kecil ukuran 2-3 cm. Selanjutnya tulang ditimbang sebanyak 300g, direndam dalam larutan HCl 3% dengan perbandingan 1:8 (b/v) selama 36 jam hingga tulang menjadi lunak (*ossein*), lalu dicuci dengan air mengalir hingga pH netral (6-7). Kemudian ekstraksi dengan aquades perbandingan 1:3 (b/v) menggunakan waterbath pada suhu 80°C selama 4 jam. Gelatin cair yang diperoleh disaring menggunakan kertas whatman no. 4. Ekstrak gelatin kemudian dimasukkan dalam wadah dan dipanaskan pada suhu 50-60°C selama 24 jam. Setelah itu gel yang sudah kering, dihaluskan menggunakan blender menjadi gelatin bubuk, kemudian dihitung rendemen, dan dianalisis FTIR untuk melihat gugus fungsi gelatin.

Pembuatan *edible film* mengacu pada beberapa penelitian terdahulu yang dimodifikasi (Taher *et al.*, 2021; Oko & Hasyim, 2022; Indriani *et al.*, 2024) sebagai berikut: timbang masing-masing sesuai formula bubuk gelatin (0%, 1%, 2%, 3%, dan 4%) dilarutkan dengan aquades secukupnya pada suhu 60°C. Selanjutnya karagenan ditimbang masing-masing sesuai formula (0%, 1%, 2%, 3%, dan 4%) dilarutkan dalam sedikit aquades sambil dipanaskan pada *hot plate*, dengan suhu 60°C. Kedua larutan gelatin dan karagenan dicampur sambil diaduk hingga homogen, lalu sambil ditambahkan gliserol 2% dan lilin lebah 1,2%, setelah itu ditambahkan aquades hingga 100 mL sambil terus diaduk hingga homogen menggunakan *stirring hot plate* dengan kecepatan homogenisasi 300 rpm. Setelah homogen, larutan *edible film* dituang pada cetakan akrilik ukuran 20cm x 20cm setelah itu dimasukkan dalam lemari pendingin suhu 4°C untuk menghilangkan sisa-sisa gelembung yang terbentuk pada larutan. *Edible film* selanjutnya dikeringkan pada suhu 60°C selama 8-10 jam hingga *edible film* benar-benar kering ditandai mudah lepas dari cetakan. *Edible film* yang dilepas dari cetakan dapat dibungkus dengan aluminium foil dan dimasukkan ke dalam desikator agar terjaga kelembapannya untuk kemudian dilakukan pengamatan (Nurdiani *et al.*, 2019).

Pengujian Produk

Rendemen

Rendemen diperoleh dengan menghitung rasio berat kering produk gelatin yang diperoleh (g) dengan berat bahan segar yang telah dibersihkan (g). Perhitungan rendemen dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$R (\%) = \frac{B1 (g)}{B2 (g)} \times 100\%$$

Keterangan:

- R : Rendemen (%)
B1 : Berat gelatin (g)
B2 : Berat limbah tulang ikan tuna (g)

Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Analisis Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR) menggunakan spektroskopi FT-IR. Sebanyak ±5 mg sampel ditempatkan langsung di atas kristal ATR diamond tanpa preparasi pelet KBr. Sebelum pengukuran, background diakuisisi tanpa sampel untuk koreksi baseline. Spektrum direkam pada rentang bilangan gelombang 4000–400 cm⁻¹ dengan resolusi 4 cm⁻¹ dan akumulasi 32 scan. Setiap sampel diukur dua kali untuk memastikan reproduktibilitas data. Setelah pengukuran, kristal ATR dibersihkan dengan etanol 70% dan dikeringkan dengan tissue lens. Interpretasi spektrum difokuskan pada empat pita khas kolagen/gelatin: Amida A pada daerah 3300–3400 cm⁻¹ yang berkaitan dengan vibrasi ulur N–H dan ikatan hidrogen; Amida I pada 1630–1660 cm⁻¹ yang merepresentasikan vibrasi ulur C=O dan sensitif terhadap struktur konformasi heliks; Amida II pada 1520–1550 cm⁻¹ akibat deformasi N–H dan ulur C–N; serta Amida III pada 1230–1250 cm⁻¹ yang menunjukkan vibrasi ulur C–N dan deformasi N–H. Rasio absorbansi Amida I terhadap Amida II yang mendekati 1,0 mengindikasikan integritas rantai peptida gelatin tipe A maupun tipe B. Keberadaan keempat pita tersebut menjadi bukti konfirmasi adanya struktur protein kolagen terhidrolisis dalam sampel.

Ketebalan

Ketebalan *edible film* setelah dilepas dari cetakan diukur memakai mikrometer sekrup dengan tingkat ketelitian 0,01 mm pada 5 titik berbeda yang dipilih secara acak. Selanjutnya, rata-rata hasil pengukuran dari kelima titik tersebut dihitung dan digunakan sebagai nilai ketebalan *edible film* (Setiani *et al.*, 2013).

Kuat Tarik

Pengujian kekuatan tarik dapat dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine*, lembaran *edible film* dipotong dengan ukuran 5x2 cm kemudian dijepit pada alat tersebut untuk dilakukan pengujian. Penghitungan nilai *tensile strength* menggunakan persamaan berikut menurut Nuriyah *et al.*, (2018):

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

σ : Kuat tarik
F : Gaya tarik maksimum
A : Luas penampang

Persen Pemanjangan

Elongasi atau pemanjangan dihitung dengan membagi pertambahan panjang potongan *film* saat sobek (ΔL) dan panjang awal *film* sebelum ditarik (L_0). Secara matematis pemanjangan dihitung menggunakan persamaan berikut (Nuriyah *et al.*, 2018):

$$E (\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \%$$

Keterangan:

E : Elongasi (persen pemanjangan) (%)
 ΔL : Pertambahan panjang (mm)
 L_0 : Panjang awal (mm)

Laju Transmisi Uap Air (WVTR)

Pengujian laju transmisi uap air *edible film* dilakukan mengacu pada metode gravimetri “*Cup Method*” sesuai ASTM E96 dan prosedur operasional standar Laboratorium Penguji Balai Standardisasi Pengujian Industri Hasil Pertanian Makassar. Prinsip pengujian didasarkan pada pengukuran kenaikan massa desikan akibat uap air yang berdifusi menembus uji per satuan luas dan waktu. Sampel *edible film* dikondisikan terlebih dahulu pada suhu $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ dan RH $50 \pm 2\%$ selama 24 jam untuk mencapai kesetimbangan. Sebanyak ± 15 g silika gel anhidrat dimasukkan ke dalam cup uji WVTR sebagai desikan. Sampel *film* dengan ukuran dipotong 5x5cm dipasang menutup mulut cup sehingga area transmisi yang terbuka memiliki diameter konstan. Tepi *film* direkatkan dan disegel sempurna pada bibir cup menggunakan lilin parafin untuk mencegah kebocoran uap air dari sisi samping. Cup uji yang telah terpasang *film* kemudian ditimbang hingga ketelitian 0.0001 g sebagai berat awal W_0 dan dicatat waktu awal t_0 . Cup selanjutnya diinkubasi dalam ruang kondisi pada suhu $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ dengan RH $75 \pm 2\%$ sehingga terjadi gradien tekanan uap air 0% RH di dalam cup dan 75% RH di luar cup. Penimbangan cup dilakukan setiap interval 24 jam selama 5-7 hari hingga diperoleh hubungan linier antara kenaikan massa terhadap waktu. Setiap penimbangan dilakukan cepat <30 detik untuk menjaga kestabilan RH ruang uji. Nilai WVTR dihitung berdasarkan slope linier dari kurva pertambahan massa G/t terhadap waktu. Perhitungan WVTR dinyatakan dalam satuan $\text{g/m}^2 \cdot 24$ jam menggunakan persamaan:

$$\text{WVTR} = \frac{G/t}{A} \times 24$$

Keterangan:

G/t : Slope pertambahan massa perja (g/jam)
A : Luas area transmisi *film* yang terbuka (m^2)
 L_0 : Panjang awal (mm)

Analisis Data

Data yang diperoleh akan dianalisis secara statistik menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA), jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka dilakukan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT). Data yang diperoleh kemudian ditampilkan dan disajikan secara deskriptif dalam bentuk tabel dan histogram.

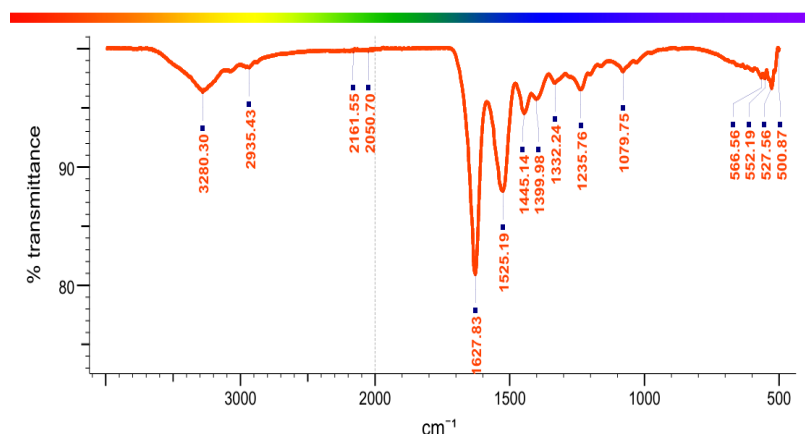
HASIL DAN PEMBAHASAN

Rendemen

Penelitian ini menghasilkan rendemen gelatin dari tulang ikan tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*) sebesar 24,262 g dari 300 g bahan baku, atau setara dengan 8,09%. Capaian ini dipengaruhi oleh penggunaan asam klorida (HCl) 3% saat demineralisasi. Konsentrasi pelarut tersebut berhasil mengembangkan dan membuka struktur kolagen, sehingga kolagen lebih mudah terkumpul pada ossein dan mempermudah konversinya menjadi gelatin selama ekstraksi. Hal ini sejalan dengan penelitian Singkuku *et al.*, (2017) dimana peningkatan konsentrasi asam akan menaikkan nilai rendemen karena asam bertugas memutus ikatan hidrogen pada kolagen selama perendaman. Istiqlaal, (2018) menambahkan bahwa Selain konsentrasi asam, faktor pH, durasi perendaman, dan suhu ekstraksi juga turut memengaruhi rendemen yang dihasilkan.

Fourier Transform Infrared (FTIR)

Karakterisasi senyawa hasil ekstraksi dilakukan menggunakan analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk memastikan identitasnya sebagai gelatin. Sebagai senyawa protein, gelatin umumnya tersusun atas unsur Karbon (C), Hidrogen (H), serta gugus hidroksil (O-H), karbonil (C=O), dan amina (N-H) (Martianingsih & Atmaja, 2010).



Gambar 1. Analisis FTIR

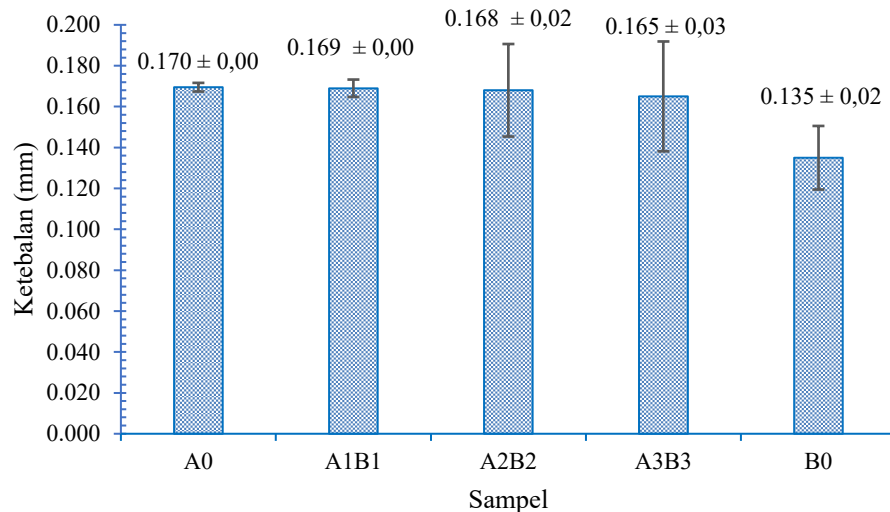
Hasil pembacaan spektrum pada Gambar 1 menunjukkan profil fungsional berupa empat daerah amida utama yang menjadi ciri khas ikatan peptida, yaitu amida A, I, II, dan III. Keberadaan pita amida ini menganalisis struktur protein, di mana amida I yang muncul pada rentang bilangan gelombang 1600–1700 cm^{-1} mencerminkan struktur sekunder protein akibat adanya vibrasi ulur (*stretching*) C=O yang berikatan hidrogen dengan COO.

Secara spesifik, spektrum FTIR gelatin tulang ikan tuna mendeteksi pita Amida A pada bilangan gelombang 3280,30 cm^{-1} yang mengindikasikan vibrasi ulur N-H; bentuk pita yang melebar ini dipengaruhi oleh ikatan hidrogen antar rantai polipeptida. Selanjutnya, pita Amida I teramati dengan intensitas kuat pada 1627,83 cm^{-1} akibat vibrasi ulur C=O gugus amida. Pergeseran Amida I ke area 1627 cm^{-1} menjadi bukti bahwa struktur *triple-helix* kolagen telah mengalami denaturasi menjadi struktur *β -sheet* dan *random coil* khas gelatin. Sementara itu, pita Amida II muncul pada 1525,19 cm^{-1} yang merepresentasikan kombinasi vibrasi tekuk (*bending*) N-H dan ulur C-N, serta pita Amida III terdeteksi lemah pada 1235,76 cm^{-1} . Kehadiran keempat pita amida ini mengonfirmasi adanya ikatan peptida (-CO-NH-) sebagai penyusun utama gelatin. Berdasarkan kesesuaian profil gugus fungsi dengan gelatin

komersial (Martianingsih & Atmaja, 2010), dapat disimpulkan bahwa senyawa yang diperoleh dalam penelitian ini adalah gelatin.

Ketebalan

Berdasarkan hasil penelitian, ketebalan rata-rata *edible film* yang diperoleh berkisar antara 0,135 mm hingga 0,170 mm, dengan tren yang cenderung menurun pada setiap perlakuan. Ketebalan tertinggi mencapai 0,170 mm yang ditemukan pada perlakuan A0 dengan konsentrasi karagenan murni 4%. Sebaliknya, nilai ketebalan terendah tercatat pada perlakuan B0 sebesar 0,135 mm, yaitu pada penggunaan gelatin murni dengan konsentrasi yang sama (4%).



Gambar 2. Grafik Ketebalan *Edible Film*

Data pada histogram Gambar 2 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi gelatin yang disertai penurunan konsentrasi karagenan secara bertahap menyebabkan ketebalan *film* semakin berkurang. Fenomena ini sejalan dengan temuan Oko dan Hasyim, (2022) yang menyatakan bahwa konsentrasi karagenan yang tinggi sebagai polisakarida akan meningkatkan ketebalan dan stabilitas *edible film* karena polimer penyusunnya semakin padat. Prabowo dan Mutamimah, (2020) juga mengonfirmasi bahwa peningkatan total padatan terlarut dalam larutan akibat penambahan konsentrasi bahan pengisi seperti karagenan secara bertahap akan meningkatkan ketebalan *film*.

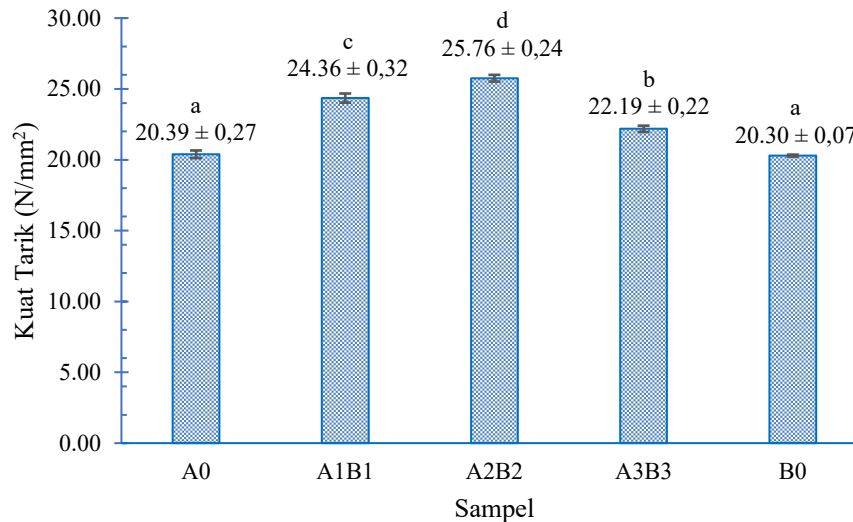
Secara struktural, semakin besar jumlah karagenan yang diaplikasikan, maka matriks polimer penyusun *film* akan semakin rapat sehingga menghasilkan lapisan yang lebih tebal. Prasetyaningrum *et al.*, (2010) menambahkan bahwa formulasi dengan komposisi bahan yang maksimal akan menghasilkan larutan yang sangat kental, sehingga ketebalannya melebihi variasi lainnya. Dari aspek fungsional, *film* yang lebih tebal terbukti lebih efektif dalam menahan penetrasi faktor eksternal ke dalam produk pangan, yang pada akhirnya memperpanjang umur simpan produk (Jacoeb *et al.*, 2014). Meski demikian, Japanese Industrial Standard (JIS, 1975) menetapkan batas maksimal ketebalan *edible film* sebesar 0,25 mm untuk mencegah *film* menjadi rapuh dan mudah retak. Adapun faktor-faktor utama yang mengontrol ketebalan ini meliputi luas area cetakan, volume larutan, dan jumlah total padatan terlarut (Jacoeb *et al.*, 2014).

Kuat Tarik

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa nilai ($F_h > F_t$), yang mengindikasikan bahwa variasi konsentrasi campuran karagenan dan gelatin tulang ikan tuna memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kekuatan tarik *edible film* yang dihasilkan. Adapun nilai rata-rata kekuatan tarik produk *edible film* dalam penelitian ini berada pada rentang 20,30–25,76 N/mm².

Berdasarkan data pada Gambar 3, nilai kekuatan tarik *edible film* tertinggi dicapai oleh perlakuan A2B2 (kombinasi 2% gelatin tulang ikan tuna dan 2% karagenan) sebesar 25,76 N/mm², sedangkan nilai paling rendah ditemukan pada perlakuan B0 (4% gelatin tulang ikan tuna tanpa karagenan) yaitu 20,30 N/mm². Peningkatan kekuatan tarik dari perlakuan A0 menuju A2B2 ini dipicu oleh interaksi sinergis antara gugus sulfat pada karagenan dengan gugus amina pada gelatin yang menghasilkan matriks *film*

yang lebih kompak dan rapat. Kekuatan tarik yang tinggi mencerminkan kemampuan *film* yang lebih baik dalam menahan tekanan dan kerusakan akibat peregang, sehingga meningkatkan mutu fisik produk. Sejalan dengan hal tersebut, Ramadhan, (2016) mengemukakan bahwa komponen polisakarida di dalam formula *edible film* berperan penting sebagai pembentuk matriks dan penyedia sifat kohesi struktural, yang mengontrol kokoh atau tidaknya ikatan antarmolekul rantai polimer. Praseptianga *et al.*, (2016) juga menegaskan bahwa integrasi antara polisakarida dan protein mampu menciptakan ikatan silang yang meningkatkan karakteristik mekanik *film*.



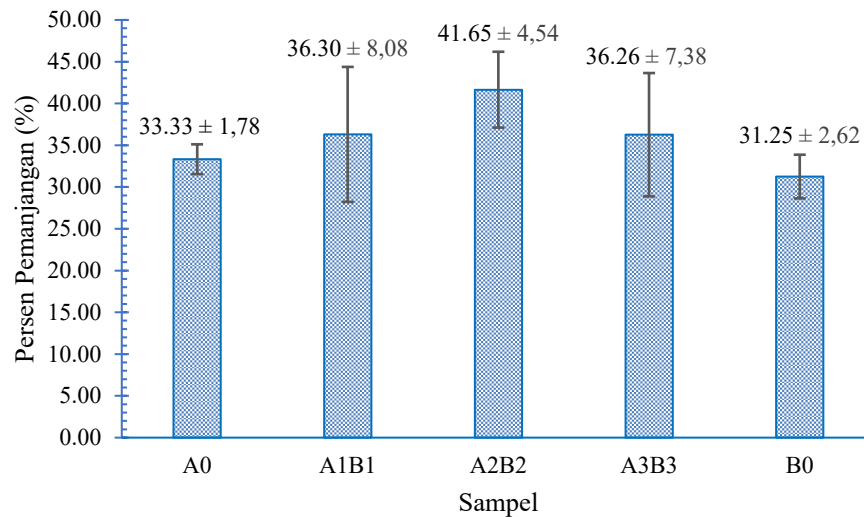
Gambar 3. Grafik Kuat Tarik *Edible Film*

Di sisi lain, dominasi gelatin yang berlebihan pada perlakuan A3B3 justru menurunkan nilai kekuatan tarik menjadi 22,19 N/mm². Penurunan ini terjadi karena sifat gelatin yang fleksibel dan higroskopis, sehingga keberadaannya dalam konsentrasi tinggi melunakkan struktur matriks *film*. Fenomena ini serupa dengan laporan Nabila, (2024), di mana kekuatan tarik *edible film* berbahan gelatin murni terbukti lebih rendah daripada *film* komposit hasil perpaduan gelatin dan polisakarida. Merujuk pada Japanese Industrial Standard (JIS, 1975), syarat minimal untuk nilai *tensile strength* sebuah *edible film* adalah 3,9226 MPa (atau setara dengan 40 kgf/cm²). Dengan demikian, pemanfaatan rasio seimbang (1:1) antara karagenan 2% dan gelatin 2% pada perlakuan A2B2 dalam penelitian ini terbukti menjadi formulasi paling optimal dalam menghasilkan kekuatan tarik *edible film* yang ideal.

Persen Pemanjangan

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan nilai ($F_t < F_h$), yang mengindikasikan bahwa variasi konsentrasi pada setiap perlakuan tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap persen pemanjangan (*elongation*) *edible film* yang dihasilkan. Berdasarkan Gambar 13, rata-rata nilai persentase pemanjangan *film* berada pada rentang 31,25% hingga 41,65%. Formulasi A2B2 (kombinasi 2% karagenan dan 2% gelatin) menghasilkan nilai pemanjangan tertinggi sebesar 41,65%, sedangkan perlakuan B0 (gelatin murni dengan konsentrasi 4%) menghasilkan nilai terendah.

Data pada histogram (gambar 4) menunjukkan bahwa perlakuan A2B2 menghasilkan persentase pemanjangan (*elongation*) tertinggi sebesar 41,65%. Hal ini membuktikan bahwa rasio karagenan dan gelatin tulang ikan tuna seimbang 1:1 (2% : 2%) mampu meningkatkan kekuatan tarik sekaligus elastisitas *film*. Karakteristik pemanjangan *edible film* ini umumnya dipengaruhi oleh agen pelunak (*plasticizer*), seperti gliserol, yang dapat menciptakan bahan dengan tingkat elastisitas dan fleksibilitas yang tinggi (Togas *et al.*, 2017). Dalam formulasi ini, penambahan gelatin tulang tuna ke dalam karagenan berfungsi sebagai *plasticizer* internal; gelatin menyisip di antara rantai-rantai karagenan, sehingga kekakuan *film* berkurang dan mobilitas rantai polimernya meningkat. Sebaliknya, karagenan menyediakan kerangka struktural yang kokoh untuk mencegah gelatin menjadi terlalu lunak. Sinergi ini menghasilkan *edible film* yang liat, kuat, dan mulur. Temuan tersebut sejalan dengan Setiani *et al.*, (2013) yang menyatakan bahwa komposit protein-polisakarida memiliki kemampuan elongasi yang lebih superior dibandingkan komponen tunggalnya.



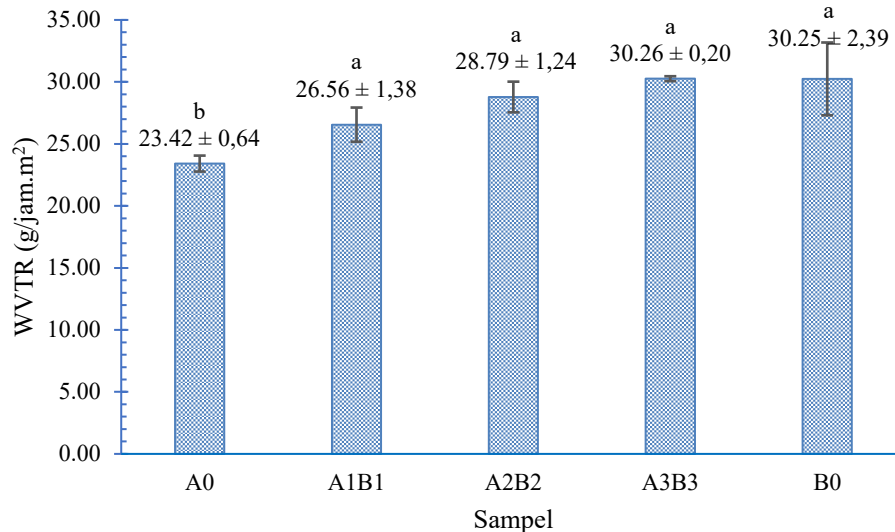
Gambar 4. Grafik Persen Pemanjangan *Edible Film*

Pada perlakuan A0 (4% karagenan murni tanpa gelatin), nilai pemanjangan yang diperoleh relatif rendah, yaitu sebesar 33,33%. Kondisi ini disebabkan oleh sifat dasar karagenan murni yang membentuk struktur *double-helix* yang cenderung kaku dan rapuh, sehingga walaupun *film* kuat menahan beban, kemampuannya untuk meregang sangat terbatas. Sementara itu, perlakuan B0 (4% gelatin murni tanpa karagenan) justru mencatatkan nilai elongasi paling rendah sebesar 31,25%. Secara teoritis, gelatin memiliki sifat elastis yang didukung oleh struktur *triple-helix*-nya. Namun, penggunaan gelatin dalam konsentrasi tinggi tanpa adanya agen pengikat silang (*cross-linking agent*) membuat *film* menjadi sangat higroskopis. Pada perlakuan A3B3, nilai pemanjangan mengalami penurunan menjadi 36,26% akibat kelebihan konsentrasi gelatin yang membuat matriks *film* didominasi oleh protein yang tidak stabil terhadap kelembapan. Hal ini memicu terbentuknya struktur *film* yang tidak homogen, sehingga menciptakan banyak titik lemah (*crack*) yang menyebabkan *film* mudah putus saat ditarik. Terlepas dari variasi tersebut, jika merujuk pada standar Japanese Industrial Standard (JIS Z 1707, 1975), *edible film* dikategorikan baik jika memiliki persen pemanjangan lebih besar dari 10%. Dengan demikian, seluruh formulasi dalam penelitian ini telah memenuhi kualifikasi sebagai bahan pengemas yang fleksibel.

Laju Transmisi Uap Air (*Water Vapor Transmission Rate/WVTR*)

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan nilai ($F_h > F_t$), yang mengindikasikan bahwa variasi konsentrasi campuran karagenan dan gelatin memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap karakteristik Laju Transmisi Uap Air (*Water Vapor Transmission Rate/WVTR*) dari *edible film* yang dihasilkan. Adapun rata-rata nilai WVTR pada penelitian ini berada pada rentang 23,42–30,26 g/jam.m².

Berdasarkan data pada Gambar 5, hasil uji Laju Transmisi Uap Air (*Water Vapor Transmission Rate/WVTR*) menunjukkan tren di mana peningkatan konsentrasi gelatin berbanding lurus dengan kenaikan nilai WVTR *edible film*, begitu pula sebaliknya. Nilai WVTR tertinggi ditemukan pada perlakuan A3B3 sebesar 30,26 g/jam.m², sedangkan nilai paling rendah tercatat pada perlakuan A0 yaitu 23,42 g/jam.m². Untuk diaplikasikan sebagai bahan pengemas, nilai WVTR yang rendah lebih dikehendaki karena mengindikasikan kemampuan *film* yang lebih superior dalam menghambat penetrasi uap air. Hasil pengujian juga memperlihatkan bahwa *film* komposit karagenan-gelatin (A1B1, A2B2, A3B3) cenderung memiliki nilai WVTR yang lebih tinggi daripada *film* berbasis polimer tunggal (A0 dan B0). Peningkatan transmisi ini dipicu oleh sifat gelatin yang sangat hidrofilik dan higroskopis. Endah *et al.*, (2025) menyatakan bahwa peningkatan kadar gelatin akan menaikkan nilai WVTR akibat sifat hidrofiliknya yang tinggi, sehingga mempermudah molekul uap air terserap dan ditransmisikan melewati matriks *film*. Secara struktural, gelatin kaya akan gugus hidroksil (-OH) dan amina (-NH₂) yang sangat mudah berikatan dengan air. Selain itu, kehadiran *plasticizer* seperti gliserol turut memengaruhi permeabilitas uap air pada *edible film*.



Gambar 5. Grafik Laju Transmisi Uap Air *Edible Film*

Melalui uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT), diperoleh notasi "b" pada A0 dan "a" pada kelompok A1B1–B0 yang menegaskan bahwa penggunaan karagenan tunggal merupakan faktor kunci dalam menentukan sifat penahan (*barrier*) uap air yang optimal. Senada dengan hal tersebut, Bourtoom, (2008) menjelaskan bahwa *film* berbasis protein umumnya memiliki nilai WVTR yang lebih tinggi dibandingkan *film* polisakarida karena karakter hidrofiliknya. Temuan dalam penelitian ini juga sejalan dengan penelitian Moga *et al.*, (2018) pada *edible film* karagenan (dengan nilai rata-rata WVTR 1731–2266 g/m².24 jam, di mana penurunan konsentrasi karagenan dari 3,50% menjadi 1,50% terbukti meningkatkan laju transmisi uap air. Fenomena serupa dilaporkan oleh Endah *et al.*, (2025) yang mencatat rentang WVTR sebesar 9,13–11,36 g/m²/hari, di mana penambahan konsentrasi gelatin dari 2,5% hingga 10% secara signifikan mendongkrak nilai transmisi uap air *film*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai karakteristik fisik, mekanik, dan perlindungan (*barrier*) *edible film* gelatin dari limbah tulang ikan tuna dengan kombinasi karagenan, dapat disimpulkan bahwa *edible film* hidrokoloid gelatin dan karagenan dapat meningkatkan sifat mekanik dan fisik *film* secara signifikan. Formulasi optimal ditemukan pada perlakuan A2B2 kombinasi 2% karagenan dan 2% gelatin, menghasilkan *edible film* yang kuat, elastis, dan memiliki sifat penghalang air yang baik dan memenuhi standar JIS untuk bahan kemasan. Kombinasi karagenan dan gelatin memberikan efek peningkatan (*reinforcement*) yang signifikan pada sifat mekanik (kuat tarik dan elongasi) dibandingkan penggunaan komponen tunggal. Produk ini memiliki potensi besar sebagai alternatif kemasan makanan biodegradable berbasis limbah perikanan yang ramah lingkungan dan bernilai tambah tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisman, Wellyalina, Refdi, C. W., Syukri, D., & Abdi. (2022). Extraction of Gelatin from Tuna Fish Bones (*Thunnus* sp) on Variation of Acid Solution. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1059(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1059/1/012049>
- Al-Nimry, S., Dayah, R. A., Hasan, I., & Daghmash, R. (2021). Cosmetic, biomedical and pharmaceutical applications of fish gelatin/hydrolysates. *Marine Drugs*, 19(3), 145.
- Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3), 237–248.
- Endah, S. E. A. T., Naiu, S., & Kalaka, S. R. (2025). Pengaruh Gelatin Tulang Tuna Terhadap Aktivitas Antibakteri dan Sifat Penghalang Kemasan Alami yang di Inkorporasi dengan Ekstrak Daun *Thallasia hemprichii*. In *Media Teknologi Hasil Perikanan* (Vol. 13, Issue 1, pp. 1–5). <https://doi.org/10.35800/mthp.13.1.2025.61323>
- Farhan, A., & Hani, N. M. (2020). Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol. *Food Hydrocolloids*, 105, 105780.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.

- Hosseini, S.F., Rezaei, M., Zandi, M., & Farahmandghavi, F. (2013). Preparation and Characterization of Chitosan Nanoparticles-Loaded Fish Gelatin-Based Edible Films. *J Food Processing Eng*, 39(5), 521–530. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpe.12246>
- Indriani, S. S., Syah, H., & Ratna. (2024). Pengaruh Konsentrasi Gliserol Terhadap Karakteristik Edible Film Gelatin. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 9(3), 237–251.
- Istiqlaal, S. (2018). Characteristics of Gelatin Produced Immersion of Tuna Bone in Lontar Vinegar from East Nusa Tenggara. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(3), 443. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v21i3.24716>
- Jacoeb, A. M., Nugraha, R., & Utari, S. P. S. D. (2014). Pembuatan Edible Film dari Pati Buah Lindur dengan Penambahan Gliserol dan Karaginan. *Jphpi 2014*, 17(1), 14–21.
- Kholis, M. N. (2023). Ekstraksi dan Aplikasi Gelatin Tulang Ikan Tuna pada Permen Jelly. *Pendidikan Teknologi Pertanian*, 9, 137–144.
- Martianingsih, N., & Atmaja, L. (2010). Analisis Sifat Kimia, Fisik, dan Termal Gelatin Dari Ekstraksi Kulit Ikan Pari (Himantura gerrardi) melalui Variasi Jenis Larutan Asam. *Prosiding KIMIA FMIPA-ITS*, 1–9.
- Moga, T., Montotolu, R. I., Berhimon, S., & Mentang, F. (2018). Physical characteristics of edible film from carrageenan with liquid smoke addition Karakteristik fisik edible film dari karaginan dengan penambahan asap cair. *Journal of Aquatic Science & Management*, 6(1), 15–21. <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jasm/index>
- Nabila, N. R. A. P. (2024). *Formulasi Edible Film Dari Gelatin Kulit Ikan Patin Yang Ditambahkan Pati Jagung*. Universitas Abdurrah.
- Nilsen-Nygaard, J., Fernández, E. N., Radusin, T., Rotabakk, B. T., Sarfraz, J., Sharmin, N., ... & Pettersen, M. K. (2021). Current status of biobased and biodegradable food packaging materials: A review. *Polymer International*, 70(1), 7–21.
- Nurdiani, R., Yufidasari, H. S., & Sherani, J. S. (2019). Karakteristik Edible Film Dari Gelatin Kulit Ikan Kakap Merah (Lutjanus argentimaculatus) Dengan Penambahan Pektin. *Jphpi*, 22(1), 174–186. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jphpi/article/download/25896/16879/>
- Nuriyah, L., Saroja, G., Ghufro, M., Razanata, A., Rosid, N. F., Fisika, J., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2018). Karakteristik Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik Berbahan Pati Ubi Jalar Cilembu dengan Variasi Jenis Pemlastis. *Natural B*, 4(4), 177–182.
- Oko, S., & Hasyim, M. (2022). Pembuatan Edible Film dari Gelatin Tulang Ikan Nila (Oreochromis niloticus) Dengan Penambahan Karagenan. *Prosiding 6th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2022*, 31–36.
- Panjaitan, T. F. C. (2016). Optimalisasi Ekstraksi Gelatin dari Tulang Ikan Tuna (Thunnus albacares). *Jurnal Wiyata*, 3(1), 11–16.
- Perdani, A. W. (2021). Active Edible Film dari Bahan Gelatin Untuk Pengemas Makanan. *Prosiding Pendidikan Teknik Boga Busana*, 16(1), 4–7.
- Prabowo, I., & Mutamimah, D. (2020). Karakteristik Edible Film yang Diproduksi dari Kombinasi Ulva Lactuca dan Gelatin. *Ilmu Perikanan Dan Kelautan*, 2(2), 81–92.
- Praseptianga, D., Aviany, T. P., & Parnanto, N. H. R. (2016). Pengaruh Penambahan GUM Arab Terhadap Karakteristik Fisikokimia Dan Sensoris Fruit Leather Nangka (Artocarpus heterophyllus). *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 9(1), 71–83.
- Prasetyaningrum, A., Rokhati, N., Kinasih, D. N., & Dita Novia Wardani, F. (2010). Karakterisasi Bioactive Edible Film Dari Komposit Alginat dan Lilin Lebah Sebagai Bahan Pengemas Makanan Biodegradable. *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses*, 1–6.
- Ramadhan, S. (2016). *Kajian Konsentrasi Tepung Ketan (Oryza sativa Glutinous) dan Gliserol Terhadap Karakteristik Edible Film Tepung Ketan*.
- Setiani, W., Sudiarta, T., & Rahmidar, L. (2013). Preparasi Dan Karakterisasi Edible Film Dari Poliblend Pati Sukun-Kitosan. *Jurnal Kimia VALENSI*, 3(2). <https://doi.org/10.15408/jkv.v3i2.506>
- Singkuku, F. T., Onibala, H., & Agustin, A. T. (2017). Ekstraksi Kolagen Tulang Ikan Kakap (Lutjanus niloticus) Menjadi Gelatin Dengan Asam Klorida. *Jurnal Media Teknologi Hasil Perikanan*, 5(3), 69–72. <https://doi.org/10.35800/mthp.5.3.2017.16846>
- Suderman, N., Isa, M. I. N., & Sarbon, N. M. (2018). Characterization on the mechanical and physical properties of chicken skin gelatin films in comparison to mammalian gelatin films. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 440(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/440/1/012033>
- Taher, N., Mantiri, D. M. H., Dien, H. A., Mentang, F., Montolalu, R. I., & Ngangi, E. L. A. (2021). Optimization and characterization of edible film composite of k-carrageenan *kappaphycus alvarezii* and beeswax nanoemulsion. *AACL Bioflux*, 14(4), 1897–1907.
- Togas, C., Berhimon, S., Montolalu, R. I., Dien, H. A., & Mentang, F. (2017). Karakteristik Fisik Edible Film Komposit Karaginan dan Lilin Lebah Menggunakan Proses Nanoemulsi. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20, 468–477.
- Trilaksani, W., Nurilmala, M., & Setiawati, I. H. (2012). Ekstraksi Gelatin Kulit Ikan Kakap Merah (Lutjanus sp.) Dengan Proses Perlakuan Asam Gelatin Extraction From Snapper (Lutjanus sp.) Skins with Acid Treatment. 15.
- Wardani, K. A., Purwadi, P., & Thohari, I. (2021). Efek penambahan plastisiser terhadap kuat tarik dan perpanjangan edible film karagenan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 16(2), 112–121.