

KARAKTERISTIK DAN SENSITIVITAS FILM INDIKATOR ANTOSIANIN BUNGA TELANG (*Clitoria ternatea* L.) BERBASIS MATRIKS KARAGENAN KOMBINASI

*Characteristics and Sensitivity of Anthocyanin Indicator Film of Butterfly Pea Flower (*Clitoria ternatea* L.) Based on Carrageenan Matrix Combination*

Araisyah Wahidah Sonsana*, N.Ira Sari, Tjipto Leksono

Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

*email : araisyah.wahidah2938@student.unri.ac.id

ABSTRAK

Kemasan cerdas tidak hanya berperan melindungi produk pangan, tetapi juga memantau kesegaran melalui indikator pH. Antosianin bunga telang berpotensi digunakan sebagai pewarna alami pada film indikator karena sensitif terhadap perubahan pH. Namun, film berbasis κ -karagenan memiliki stabilitas mekanis dan ketahanan terhadap kelembapan yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan ι -karagenan terhadap karakteristik dan sensitivitas film indikator berbasis antosianin bunga telang. Penelitian dilakukan menggunakan matriks κ -karagenan (KC) dan kombinasi κ - serta ι -karagenan (KK) yang ditambahkan ekstrak antosianin bunga telang. Data dianalisis menggunakan uji t independen pada taraf kepercayaan 95%. Hasil menunjukkan bahwa film KK memiliki kecerahan lebih tinggi (L^* 69,55), ketebalan lebih rendah (0,038 mm), penyerapan air lebih tinggi (9,91%), serta waktu respons yang lebih cepat terhadap uap amonia (61,67 detik) dibandingkan dengan film KC. Penambahan ι -karagenan meningkatkan responsivitas dan karakteristik film sehingga berpotensi digunakan sebagai indikator pH pada kemasan cerdas.

Kata kunci: Kemasan Cerdas, Film Indikator, Antosianin, Bunga telang, Karagenan

ABSTRACT

Smart packaging not only protects food products but also monitors freshness through pH indicators. Anthocyanins from butterfly pea flowers have the potential to serve as natural colorants in indicator films due to their pH-sensitivity. However, κ -carrageenan-based films have low mechanical stability and moisture resistance. This study aims to evaluate the effect of adding ι -carrageenan on the characteristics and sensitivity of indicator films based on butterfly pea flower anthocyanins. The study was conducted using κ -carrageenan (KC) and a combination of κ - and ι -carrageenan (KK) matrices to which butterfly pea flower anthocyanin extract was added. Data were analyzed using an independent t-test at a 95% confidence level. The results showed that the KK film had higher brightness ($L^ = 69.55$), lower thickness (0.038 mm), higher water absorption (9.91%), and a faster response time to ammonia vapor (61.67 seconds) than the KC film. The addition of ι -carrageenan improved the film's responsiveness and properties, making it a potential pH indicator for smart packaging.*

Keywords: Smart Packaging, Indicator Film, Anthocyanins, Butterfly Pea Flowers, Carrageenan

PENDAHULUAN

Kemasan cerdas merupakan teknologi inovatif yang tidak hanya melindungi produk makanan, tetapi juga memantau tingkat kesegaran serta memberikan informasi mengenai kondisi produk tanpa perlu membukanya. Sistem ini bekerja berdasarkan perubahan warna pada indikator yang disebabkan oleh perubahan pH akibat aktivitas mikroba atau proses enzimatik selama penyimpanan makanan (Mardhiah et al., 2023). Salah satu jenis kemasan cerdas yang telah dikembangkan secara luas adalah film indikator berbasis pH, karena dapat mendeteksi pembentukan senyawa basa yang mudah menguap sebagai tanda awal terjadinya kerusakan pada makanan. Perubahan pH ini ditunjukkan oleh perubahan warna film indikator, sehingga kualitas produk dapat dipantau secara visual, cepat, dan praktis (Silvia et al., 2023). Sebagian besar film indikator masih menggunakan pewarna sintetis, seperti methyl red, bromocresol purple, dan bromothymol blue, yang diketahui berpotensi beracun dan karsinogenik serta dapat menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Liu et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan pewarna alami yang aman dan sensitif terhadap perubahan pH. Salah satu sumber potensial antosianin alami adalah bunga telang, yang memiliki kandungan antosianin tinggi dan dapat menunjukkan perubahan warna yang

berbeda pada kondisi asam, netral, dan basa karena adanya kation flavilium (Yusuf et al., 2021). Karakteristik ini menjadikan antosianin sangat potensial untuk dikembangkan dalam berbagai aplikasi pangan, termasuk sistem kemasan cerdas yang mampu memberikan informasi mengenai kualitas dan tingkat kesegaran produk secara nondestruktif (Siswoyo et al., 2021). Selain berfungsi sebagai pewarna alami, antosianin dalam bunga telang diketahui memiliki aktivitas antioksidan, antibakteri, antiinflamasi, dan antikanker (Enaru et al., 2021).

Beberapa studi sebelumnya telah mengembangkan film indikator antosianin bunga telang menggunakan matriks tunggal seperti pati, gelatin, dan kitosan. Menurut Negoro (2023), salah satu polimer yang dapat digunakan sebagai matriks film adalah karagenan. Karagenan merupakan polisakarida sulfat yang dihasilkan dari rumput laut merah dan memiliki kemampuan membentuk film tipis, transparan, dan fleksibel, sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi industri sebagai bahan pengental, penstabil, serta pembentuk gel (Mailisa et al., 2020). Penelitian Amalia et al., (2021) menunjukkan bahwa penambahan antosianin ke dalam matriks κ -karagenan mampu menghasilkan perubahan warna yang jelas pada berbagai kondisi pH. Menurut Kannampilly et al., (2021), film κ -karagenan memiliki struktur semikristalin yang menunjukkan kerapatan dan kekuatan

matriks yang tinggi akibat adanya ikatan antarmolekul. Struktur yang lebih kompak ini menyebabkan difusi uap atau molekul gas ke dalam film berlangsung lebih lambat, sehingga respons perubahan warna cenderung lebih lama dibandingkan matriks yang lebih fleksibel.

Sementara itu, *i*-karagenan dari *Eucheuma spinosum* lebih elastis, transparan, dan responsif terhadap penetrasi uap, sehingga berpotensi menghasilkan perubahan warna yang lebih seragam (Nurmilla et al., 2021). Namun, penggunaan *i*-karagenan saja kurang optimal karena elastisitasnya yang tinggi menyebabkan peningkatan adhesi film dan menyulitkan proses pengelupasan (Dunggio et al., 2023). Berdasarkan karakteristik tersebut, kombinasi *k*-karagenan dan *i*-karagenan berpotensi menghasilkan film indikator dengan sifat yang lebih seimbang, kuat dan stabil, namun tetap responsif terhadap perubahan pH. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menguji karakteristik dan sensitivitas film indikator berbasis kombinasi matriks karagenan untuk antosianin bunga telang sebagai alternatif yang lebih praktis dan ramah lingkungan bagi kemasan cerdas.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Metode

Bahan utama penelitian meliputi tepung bunga telang sebagai sumber antosianin serta bubuk karagenan dari

Eucheuma cottonii dan *Eucheuma spinosum*.

Bahan pendukung yang digunakan antara lain etanol yang diasamkan dengan HCl 1%, gliserol, air suling, larutan pH 1-14, amonia (NH₃), dan asam asetat (CH₃COOH). Peralatan laboratorium digunakan untuk ekstraksi antosianin, pembuatan film indikator, serta pengujian karakteristik dan sensitivitas film.

Penelitian dilakukan secara eksperimen laboratorium dengan membuat kemasan cerdas berbasis *k*-karagenan dan *i*-karagenan yang ditambahkan ekstrak antosianin bunga telang sebagai indikator. Terdapat dua perlakuan, yaitu film berbasis *Eucheuma cottonii* (KC) dan kombinasi *Eucheuma cottonii*-*Eucheuma spinosum* (KK). Parameter yang diuji meliputi karakteristik film (warna, daya serap, ketebalan), sensitivitas terhadap uap amonia, serta simulasi fermentasi dan pembusukan. Data dianalisis menggunakan uji T tidak berpasangan pada taraf kepercayaan 95% setelah memenuhi uji normalitas dan homogenitas varians menggunakan rumus:

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Dimana $\bar{X}_1$ merupakan rata-rata film indikator karagenan tunggal (KC), $\bar{X}_2$ merupakan rata-rata film indikator karagenan

kombinasi (KK), S_1^2 merupakan varians data perlakuan KC, S_2^2 merupakan varians data perlakuan KK, S_p^2 merupakan varians gabungan (*pooled variance*), serta n_1 dan n_2 merupakan jumlah ulangan masing-masing perlakuan. Derajat kebebasan (*degree of freedom/df*) ditentukan menggunakan rumus:

$$df = n_1 + n_2 - 2$$

Nilai t hitung kemudian dibandingkan dengan nilai t tabel pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$) untuk menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan antarperlakuan.

Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Bunga telang kering yang digunakan sebagai bahan baku terlebih dahulu dihaluskan menggunakan penggiling hingga menjadi bubuk halus. Selanjutnya dilakukan proses ekstraksi antosianin dengan metode maserasi menggunakan pelarut etanol 95% yang diasamkan dengan HCl 1% dengan perbandingan bahan dan pelarut 1:10. Proses maserasi dilakukan selama 3 hari dengan pengadukan setiap 12 jam. Hasil ekstraksi kemudian disaring menggunakan kertas saring, lalu diuapkan menggunakan rotary evaporator pada suhu 60°C selama ± 5 jam hingga diperoleh ekstrak antosianin yang kental.

Tahap berikutnya adalah pembuatan film indikator berbasis karagenan. Larutan film dibuat dengan melarutkan karagenan dalam akuades menggunakan

magnetic stirrer hingga homogen. Penelitian ini menggunakan dua perlakuan, yaitu perlakuan KC yang menggunakan 4 g karagenan *Eucheuma cottonii* dalam 200 mL akuades, serta perlakuan KK yang menggunakan campuran 2 g karagenan *Eucheuma cottonii* dan 2 g karagenan *Eucheuma spinosum* dalam 200 mL akuades. Pada masing-masing perlakuan ditambahkan 4 mL gliserol sebagai plasticizer dan 2 mL ekstrak antosianin bunga telang. Larutan kemudian dihomogenisasi pada suhu 40–50°C selama ± 30 menit, dituangkan ke dalam cawan Petri, dan dikeringkan dalam oven pada suhu 40–50°C selama 48 jam. Film yang telah kering didinginkan pada suhu ruang selama ± 10 menit, kemudian dilepaskan dari cawan Petri dan dipotong berukuran 3 × 3 cm untuk digunakan sebagai sampel uji.

Pengujian respons antosianin dilakukan dengan mencampurkan 2 mL ekstrak antosianin ke dalam larutan dengan pH 1-14 untuk mengamati perubahan warna pada kondisi asam hingga basa. Nilai pH diverifikasi menggunakan pH meter, dan perubahan warna diamati secara visual serta didokumentasikan. Pengujian karakteristik film indikator meliputi uji warna, ketebalan, dan daya serap air. Uji warna dilakukan menggunakan kolorimeter untuk memperoleh nilai L^* , a^* , dan b^* . Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap perlakuan. Ketebalan film diukur menggunakan jangka

sorong digital pada lima titik berbeda dan diulang sebanyak tiga kali. Uji daya serap air dilakukan dengan merendam film berukuran 3×3 cm dalam akuades selama 1 menit, kemudian dilakukan penimbangan sebelum dan sesudah perendaman untuk menghitung persentase daya serap air film. Uji sensitivitas film indikator terhadap uap amonia dilakukan dengan menempatkan potongan film di atas larutan NH_3 dalam cawan Petri tertutup sehingga film terpapar langsung oleh uap amonia. Perubahan warna diamati secara visual dan waktu respons film dicatat. Setiap perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali ulangan. Tahap terakhir adalah simulasi fermentasi dan pembusukan. Film indikator dipaparkan pada uap asam asetat (CH_3COOH) sebagai simulasi fermentasi dan uap amonia (NH_3) sebagai simulasi pembusukan dengan konsentrasi 1% dan 5%. Film diletakkan di atas wadah berisi larutan tanpa kontak langsung dengan cairan, kemudian wadah ditutup rapat selama 10–15 menit hingga perubahan warna stabil. Perubahan warna film diamati secara visual dan didokumentasikan menggunakan kamera.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Ekstrak Antosianin Bunga Telang

Bunga telang yang digunakan adalah bunga yang dikeringkan, lalu digiling untuk mengurangi ukuran partikelnya,

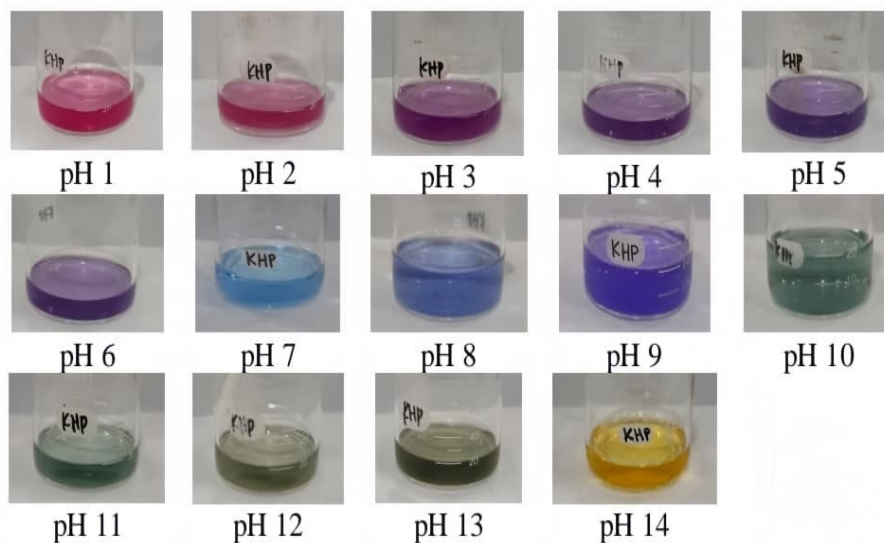
sehingga menghasilkan bubuk bunga telang. Proses penggilingan dimaksudkan untuk meningkatkan kontak antara bahan dan pelarut selama ekstraksi. Ekstraksi 100 g bubuk bunga telang dilakukan menggunakan campuran pelarut dengan perbandingan 1:10: 850 mL etanol dan 150 mL HCl 1%. Ekstraksi dilakukan melalui maserasi selama 3 hari, dengan pengadukan setiap 12 jam. Setelah proses maserasi, diperoleh ekstrak antosianin berwarna ungu tua. Metode maserasi menggunakan etanol mampu menghasilkan kandungan antosianin yang cukup tinggi, sehingga ekstrak yang diperoleh berwarna pekat dan stabil (Rifqi et al., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi metode maserasi dan pelarut etanol efektif untuk mengekstraksi pigmen antosianin dari bunga telang yang telah banyak dimanfaatkan dalam pengembangan film indikator alami pada kemasan pangan karena memiliki kemampuan sebagai indikator kualitas pangan yang aman dan ramah lingkungan (Putri et al., 2025).

Larutan ekstrak disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 1 untuk memisahkan filtrat dari residunya. Filtrat yang dihasilkan berwarna ungu dan memiliki pH 3,30. Warna ungu pada filtrat dengan pH 3,30 menunjukkan pergeseran dari ungu kemerahan (pH 1-3, bentuk flavylium) menjadi ungu kebiruan (pH 4-7, bentuk anol). Ekstrak antosianin yang telah disaring kemudian diuapkan menggunakan

evaporator rotari pada suhu 60°C selama kurang lebih 5 jam untuk menghasilkan ekstrak antosianin yang pekat. Setelah proses penguapan, warna antosianin yang sebelumnya ungu tetap stabil, yang menunjukkan stabilitas pigmen antosianin yang terkandung dalam bunga telang.

Respon Warna Ekstrak Antosianin

Uji respons antosianin dilakukan pada rentang pH 1-14 untuk mengevaluasi potensi ekstrak tersebut sebagai indikator pH alami. Hasilnya menunjukkan perubahan warna yang signifikan pada setiap tingkat pH, sebagaimana digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perubahan warna pada ekstrak antosianin pada rentang pH tertentu

Pada Gambar 1, terlihat bahwa antosianin menunjukkan warna merah muda pada pH 1-2, yang menandakan kondisi sangat asam. Selanjutnya, pada pH 3, warnanya mulai berubah menjadi ungu muda. Dalam rentang pH 4-6, warna ungu tersebut semakin gelap. Seiring pH mendekati netral (7-8), warnanya berubah menjadi biru muda lalu menjadi sedikit lebih gelap. Intensitas warna biru meningkat pada pH 9. Kemudian, pada pH 10-13, warnanya berubah menjadi hijau, semakin pucat, yang menandakan

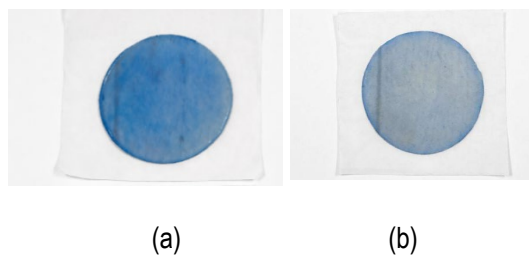
dimulainya kondisi basa. Pada pH 14, kondisi basa menjadi sangat kuat sehingga warnanya berubah menjadi kuning. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Aprilliani et al., (2022) bahwa perubahan warna ekstrak antosianin bunga telang pada berbagai kondisi pH menunjukkan pergeseran warna yang stabil. Data warna yang diperoleh berfungsi sebagai acuan untuk menafsirkan perubahan warna pada film indikator, memastikan bahwa film yang dihasilkan secara akurat mencerminkan

perubahan pH, serta memungkinkan ekstrak antosianin bunga telang digunakan sebagai indikator alami pada kemasan cerdas.

Nilai Warna Film Indikator

Pengukuran warna film indikator dilakukan menggunakan kolorimeter CS-10 berdasarkan sistem warna CIELAB untuk

memperoleh nilai L^* (kecerahan), a^* (merah-hijau), dan b^* (kuning-biru). Perbedaan nilai warna menunjukkan adanya pengaruh variasi matriks karagenan terhadap karakteristik visual film indikator. Perbedaan warna antara perlakuan KC dan KK disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kenampakan warna film indikator (a) Karagenan *Eucheuma cottonii* (b) Karagenan kombinasi

Berdasarkan Gambar 2, film (a) yang menggunakan matriks *Eucheuma cottonii* menunjukkan warna biru yang lebih pekat dan cenderung lebih gelap dibandingkan dengan film (b) yang menggunakan kombinasi karagenan *Eucheuma cottonii* dan *Eucheuma spinosum*, yang berwarna lebih terang dengan warna biru yang lebih pudar. Hal ini disebabkan oleh perbedaan matriks film karagenan, yang memengaruhi distribusi dan interaksi antosianin di dalam film. Karagenan *Eucheuma cottonii* memiliki struktur gel yang lebih kaku dan padat, sehingga molekul

antosianin cenderung terikat pada jaringan matriks, menghasilkan warna yang lebih pekat. Sebaliknya, penambahan karagenan *Eucheuma spinosum* menghasilkan struktur gel yang lebih elastis dan berpori. Struktur matriks yang lebih longgar ini memungkinkan distribusi antosianin yang lebih merata, sehingga mencegah penumpukan pada satu titik dan menghasilkan warna yang lebih terang atau lebih pudar (Siregar et al., 2025). Hasil pengukuran warna pada film indikator menggunakan kolorimeter CS-10 disajikan pada Tabel 1

Tabel 1. Nilai rata-rata warna film indikator

Perlakuan	Parameter	Rata-rata
KC	L*	64,42 ± 0,11 ^a
	a*	13,21 ± 0,18 ^a
	b*	-23,13 ± 0,49 ^a
KK	L*	69,55 ± 0,07 ^b
	a*	17,53 ± 0,18 ^b
	b*	-21,36 ± 0,12 ^b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh kode huruf berbeda dalam kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan uji t independen pada tingkat kepercayaan 95% ($p < 0,05$).

Berdasarkan Tabel 1, film karagenan campuran (KK) memiliki nilai L* yang lebih tinggi (69,55) dibandingkan dengan film karagenan *Eucheuma cottonii* (KC) (64,42), yang menunjukkan warna film yang lebih cerah. Peningkatan nilai a* dari 13,21 menjadi 17,53 menunjukkan kecenderungan ke arah warna yang lebih kemerahan, sedangkan nilai b* yang lebih negatif pada KC (-23,13) dibandingkan dengan KK (-21,36) menunjukkan warna biru yang lebih intens pada matriks *Eucheuma cottonii*. Perbedaan ini dipengaruhi oleh karakteristik matriks: *Eucheuma cottonii* membentuk struktur film yang lebih padat, sedangkan penambahan *Eucheuma spinosum* menghasilkan struktur film yang lebih homogen dan meningkatkan pantulan cahaya, sehingga film tampak lebih cerah.

Tabel 1. Nilai rata-rata ketebalan film indikator

Perlakuan	Rata-rata (mm)
KC	0,050 ± 0,03 ^a
KK	0,038 ± 0,03 ^b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh kode huruf berbeda dalam kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan uji t independen pada tingkat kepercayaan 95% ($p < 0,05$).

Tabel 2 menunjukkan ketebalan rata-rata sebesar 0,050 mm untuk perlakuan

Komposisi matriks berbasis antosianin memengaruhi intensitas warna melalui perubahan sifat optik bahan (Salsabila et al., 2025).

Nilai Ketebalan Film Indikator

Pengukuran ketebalan film dilakukan untuk menentukan karakteristik fisik film serta menilai pengaruh variasi matriks karagenan terhadap struktur film yang dihasilkan. Ketebalan film dapat memengaruhi sifat mekanis dan intensitas warna film indikator. Pengukuran ketebalan dilakukan pada beberapa titik berbeda pada masing-masing dari tiga sampel replikasi, dan hasilnya dirata-ratakan untuk memperoleh nilai akhir. Hasil pengukuran ketebalan film indikator untuk setiap perlakuan disajikan pada Tabel 2.

KC dan 0,038 mm untuk perlakuan KK. Perbedaan ketebalan ini diperkirakan terkait

dengan jenis dan komposisi karagenan, yang membentuk struktur matriks yang berbeda. Karagenan *Eucheuma cottonii* (κ-karagenan) membentuk gel yang lebih kuat dan struktur yang lebih padat, sehingga menghasilkan film KC yang lebih tebal, sedangkan kombinasi dengan *Eucheuma spinosum* (ι-karagenan) pada perlakuan KK cenderung menghasilkan jaringan yang lebih elastis dan kurang padat, sehingga menghasilkan film yang lebih tipis. Penambahan 2% antosianin dapat meningkatkan heterogenitas matriks dengan berinteraksi dengan rantai polimer, sehingga memengaruhi kepadatan dan ketebalan film.

Ketebalan film karagenan dilaporkan sebesar 0,058 mm pada konsentrasi 6% dan 0,074 mm pada konsentrasi 10%. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi karagenan berbanding lurus dengan peningkatan

ketebalan film. Sejalan dengan penelitian Nur et al., (2024), ketebalan film pada konsentrasi 4% lebih rendah, yaitu (0,038-0,050 mm), sehingga mendukung kesimpulan bahwa konsentrasi karagenan memengaruhi ketebalan film yang dihasilkan.

Nilai Daya Serap Air pada Film Indikator

Uji daya serap air dilakukan untuk menentukan kemampuan film dalam menyerap air serta stabilitasnya saat terpapar kelembapan. Parameter ini dievaluasi karena matriks karagenan bersifat hidrofilik, yang berarti interaksi dengan air dapat memengaruhi integritas struktural film serta kinerjanya sebagai indikator. Perhitungan dilakukan dengan 3 ulangan untuk setiap perlakuan sampel. Hasil pengukuran kapasitas penyerapan air pada film indikator untuk setiap perlakuan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai rata-rata daya serap air film indikator

Perlakuan	Rata-rata (%)
KC	6,08 ± 1,56 ^a
KK	9,91 ± 0,95 ^b

Keterangan: Angka yang diikuti kode huruf berbeda dalam kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan uji t independen pada tingkat kepercayaan 95% ($p < 0,05$).

Berdasarkan Tabel 3. Film indikator berbasis karagenan *Eucheuma cottonii* memiliki kapasitas penyerapan air sebesar 6,08%, sedangkan film kombinasi karagenan *Eucheuma cottonii* dan *Eucheuma spinosum* menunjukkan nilai yang lebih tinggi, yaitu 9,91%, dan perbedaannya signifikan ($p < 0,05$). Perbedaan ini mencerminkan sifat

hidrofilik matriks polisakarida serta pengaruhnya terhadap kapasitas penyerapan air pada film. *Swelling ratio* film κ-karagenan murni dilaporkan sebesar 2,85%, sedangkan setelah penambahan polisakarida lain nilainya meningkat menjadi 4,51% akibat peningkatan jumlah gugus hidrofilik dan pembentukan jaringan yang lebih longgar

(film komposit) (Kaur et al., 2019). Pada membran κ -karagenan, juga ditunjukkan bahwa film karagenan murni memiliki rasio pembengkakan dasar sekitar 48%, yang meningkat menjadi 70-150% bila dikombinasikan dengan pati dan bahkan mencapai 180% setelah perlakuan enzimatis yang meningkatkan porositas matriks film (Moustafa et al., 2021). Perbedaan *swelling ratio* diperkirakan dipengaruhi oleh jenis matriks polisakarida, konsentrasi bahan, serta kondisi pengujian. Namun, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan karagenan *Eucheuma spinosum* meningkatkan kapasitas penyerapan air pada film karena gugus

Tabel 4. Nilai sensitivitas rata-rata indikator film

Perlakuan	Rata-rata (s)
KC	107,33 $\pm$ 4,72 ^a
KK	61,67 $\pm$ 3,52 ^b

Keterangan : Angka yang diikuti kode huruf berbeda dalam kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan uji t independen pada tingkat kepercayaan 95% ($p < 0,05$).

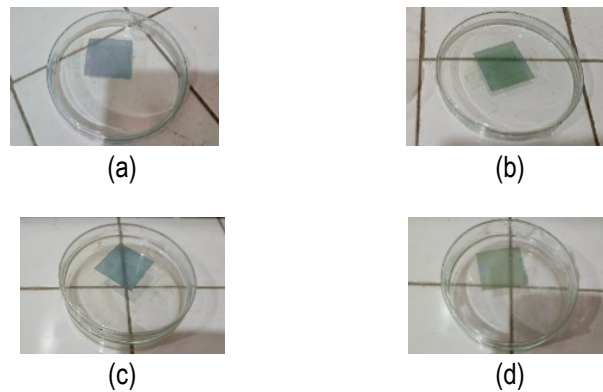
Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4, film yang mengandung karagenan *Eucheuma cottonii* (KC) menunjukkan waktu respons rata-rata sebesar 107,33 detik, sedangkan film karagenan campuran (KK) memiliki waktu respons yang lebih cepat, yaitu 61,67 detik. Respons yang lebih cepat pada film kombinasi ini diperkirakan terkait dengan struktur matriks film yang lebih terbuka dan hidrofilik, yang memfasilitasi difusi uap amonia ke dalam matriks. Kandungan gugus

hidroksil (-OH) dan sulfat ($-\text{SO}_3^-$) dalam karagenan bersifat hidrofilik dan meningkatkan penetrasi air ke dalam matriks

Nilai Sensitivitas Film Indikator

Pengujian sensitivitas film dilakukan untuk menentukan respons film terhadap paparan uap dengan mengukur perubahan warna pada kondisi basa (yang menandakan terjadinya dekomposisi). Uji sensitivitas film terhadap paparan uap amonia (NH_3) dilakukan dengan tiga ulangan per perlakuan, dan nilai yang dihasilkan dirata-ratakan untuk menentukan nilai sensitivitas akhir. Hasil pengukuran untuk setiap perlakuan disajikan pada Tabel 4.

sulfat yang lebih tinggi pada κ -karagenan dalam formulasi karagenan gabungan meningkatkan kemampuan film untuk mengikat air, sehingga uap NH_3 yang masuk dapat larut lebih mudah dan bereaksi dengan pigmen antosianin. Sebaliknya, film dengan matriks κ -karagenan cenderung menunjukkan struktur gel yang lebih padat, sehingga penetrasi gas menjadi lebih lambat dan waktu perubahan warna menjadi lebih lama.



Gambar 3. Perubahan warna film sebelum dan sesudah terpapar amonia

Berdasarkan Gambar 3, terlihat perubahan warna film indikator sebelum dan sesudah paparan uap amonia pada setiap perlakuan. Setelah paparan, kedua film mengalami perubahan warna dari kebiruan menjadi kehijauan, yang menunjukkan respons terhadap kondisi basa akibat interaksi amonia dengan antosianin. Dibandingkan dengan Tabel 5, film komposit karagenan (KK) menunjukkan perubahan warna yang lebih cepat daripada film cottonii (KC), sejalan dengan waktu respons yang lebih singkat. Hal ini menunjukkan bahwa film KK lebih sensitif terhadap uap amonia. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh

struktur matriks film KK yang lebih hidrofilik dan lebih terbuka, sehingga memfasilitasi difusi amonia dan mempercepat perubahan warna. Dengan demikian, hasil visual pada Gambar 3 mendukung data kuantitatif pada Tabel 4.

Uji Simulasi Fermentasi dan Pembusukan

Selain merespons kondisi basa, film indikator berbasis antosianin juga dapat merespons kondisi asam, seperti yang ditemukan dalam proses fermentasi makanan yang menghasilkan asam organik. Dalam kondisi tersebut, film tersebut diperkirakan akan berubah warna menjadi ungu muda.

Tabel 5. Perubahan warna film indikator (simulasi fermentasi dan pembusukan)

No.	Perlakuan		Kondisi paparan	pH		Keterangan
	KC	KK		KC	KK	
1.			Netral (tanpa paparan)	7	7	Produk masih segar
2.			Asam lemah (CH ₃ COOH 1%)	6	5	Sedikit asam (fermentasi)
3.			Asam kuat (CH ₃ COOH 5%)	5	3	Sangat terfermentasi

4.		Basa lemah (NH ₃ 1%)	10	11	Tanda pembusukan
5.		Basa kuat (NH ₃ 5%)	11	12	Pembusukan parah/produk sudah rusak

Keterangan: Perubahan warna pada lapisan indikator menandakan adanya respons terhadap perubahan pH.

Berdasarkan Tabel 5, film indikator berubah warna saat terpapar asam asetat (kondisi fermentasi) dan amonia (kondisi pembusukan), yang mencerminkan perubahan pH produk pangan selama penyimpanan. Rentang pH untuk setiap perlakuan tidak ditentukan secara langsung, melainkan disimpulkan dari kesesuaian antara warna film indikator dan perubahan warna ekstrak antosianin pada berbagai tingkat pH yang ditunjukkan pada Gambar 1; oleh karena itu, gambar tersebut berfungsi sebagai acuan untuk interpretasi warna. Antosianin dari bunga telang menunjukkan karakteristik perubahan warna yang khas: warnanya cenderung ungu pada kondisi asam, biru pada kondisi netral, dan hijau pada kondisi basa. Pola perubahan warna ini sejalan dengan penelitian yang melaporkan bahwa film yang dapat dimakan berdasarkan antosianin bunga telang menunjukkan respons warna terhadap perubahan pH lingkungan (Tarik et al., 2025).

Selain itu, terdapat perbedaan intensitas warna yang jelas antara film dengan matriks karagenan *Eucheuma*

cottonii (KC) dan karagenan campuran (KK). Secara umum, film KK menunjukkan warna yang lebih cerah dan lebih jelas dibandingkan dengan film KC, sebagaimana dibuktikan oleh nilai kecerahan (L^*) yang lebih tinggi, sehingga perubahan warna tampak lebih kontras dan lebih mudah diamati. Sebaliknya, film KC menghasilkan warna yang relatif lebih gelap, sehingga perubahan warna menjadi kurang terlihat. Dalam kondisi asam, kedua film mengalami perubahan warna ke arah ungu, dengan intensitas yang bervariasi; film KK tampak lebih cerah. Dalam kondisi basa, perubahan warna ke arah hijau juga lebih jelas pada KK dibandingkan dengan KC. Perbedaan-perbedaan ini menunjukkan bahwa komposisi matriks film memengaruhi penampilan visual warna dan kejernihan respons indikator, meskipun pola dasar perubahan warna yang dihasilkan oleh kedua film tetap serupa.

KESIMPULAN

Penelitian mengenai film indikator antosianin berbahan dasar bunga telang menunjukkan bahwa perbedaan komposisi

matriks karagenan memengaruhi karakteristik fisik dan sensitivitas warna film indikator yang dihasilkan. Film indikator dengan kombinasi karagenan *Eucheuma cottonii* dan *Eucheuma spinosum* menghasilkan sensitivitas perubahan warna yang lebih baik terhadap paparan amonia dibandingkan dengan film berbasis karagenan *Eucheuma cottonii* tunggal, meskipun memiliki ketahanan fisik yang lebih rendah. Sebaliknya, film dengan matriks karagenan tunggal menunjukkan struktur yang lebih padat dan daya tahan yang lebih baik, namun respons terhadap perubahan warna cenderung lebih lambat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi matriks karagenan berpotensi dikembangkan sebagai bahan film indikator cerdas untuk mendeteksi perubahan kualitas pangan melalui perubahan warna. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan rentang indikator warna pada berbagai kondisi pH serta melakukan pengujian langsung pada produk pangan guna mengevaluasi efektivitas dan sensitivitas film indikator dalam aplikasi kemasan cerdas.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, B., Mailisa, T., Karima, R., & Herman, S. 2021. Karakterisasi Label Kolorimetrik Dari Karagenan/Nanofiber Selulosa dan Ekstrak Ubi Ungu Untuk Indikator Kerusakan Pangan. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 43(2), 66. <https://doi.org/10.24817/jkk.v43i2.7133>
- Aprilliani, F., Ayuningtyas, L. P., & Lestari, H. A. 2022. Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.) Sebagai Indikator pH Dalam Sistem Kemasan Pintar. *Agroteknika*, 5(2), 87–97. <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v5i2.133>
- Siregar, I. D., Diharmi, A., & Karnila, R. 2025. Characteristics of Carrageenan From Red Seaweed (*Rhodophyta*) *Eucheuma spinosum* and *Eucheuma cottonii* Originating From Moro Island. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 8(3), 410–418.
- Dunggio, A. N., Rumengan, I. F., Sumilat, D. A., Windarto, A. B., & Billy, T. H. 2023. Perbandingan Karakteristik Fisika Kimia Karagenan Yang Diekstraksi Dari Rumput Laut *Eucheuma spinosum* dan *Kappaphycus alvarezii* Sebagai Bahan Baku Masker Wajah. *Media Teknologi Hasil Perikanan*, 11(2).
- Enaru, B., Dreţcanu, G., Pop, T. D., Stănilă, A., & Diaconeasa, Z. 2021. Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation. *Antioxidants*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/antiox10121967>
- Kaur, R., Sharma, A., Puri, V., & Singh, I. 2019. Preparation and Characterization of Biocomposite Films of Carrageenan/Locust Bean Gum/Montmorillonite for Transdermal Delivery of Curcumin.

- BiolImpacts*, 9(1), 37–43.
<https://doi.org/10.15171/bi.2019.05>
- Liu, D., Zhang, C., Pu, Y., Chen, S., Liu, L., Cui, Z., & Zhong, Y. 2022. Recent Advances in pH-Responsive Freshness Indicators Using Natural Food Colorants to Monitor Food Freshness. *Foods*, 11(13).
<https://doi.org/10.3390/foods11131884>
- Mailisa, T., Amalia, B., Karima, R., & Arianita, A. 2020. The Visual Sensing Film Based on Carrageenan and Anthocyanin Pigment as an Indicator Label for Fish Product Spoilage. <https://ssrn.com/abstract=3868205>
- Mardhiah, A., Musran, & Handayani, L. 2023. Intelligent Packaging Dalam Perspektif Filsafat Ilmu. *Jurnal Sains Riset*, 13(1), 125–133.
<https://doi.org/10.47647/jsr.v10i12>
- Moustafa, M., Abu-Saied, M. A., Taha, T. H., Elnouby, M., El Desouky, E. A., Alamri, S., Shati, A., Alrumman, S., Alghamdi, H., Al-Khatani, M., Al-Qahtani, R., & Al-Emam, A. 2021. Preparation and Characterization of Super-Absorbing Gel Formulated From κ -Carrageenan–Potato Peel Starch Blended Polymers. *Polymers*, 13(24).
<https://doi.org/10.3390/polym13244308>
- Negoro, M. F. Y. 2023. *Pembuatan Film Indikator Kesegaran Filet Ikan Patin (Pangasius sp.) Berbasis Ekstrak Antosianin Bunga Telang (Clitoria ternatea)*. Skripsi.
- Nur, N. S., Pasaribu, S. P., Panggabean, A. S., & Program Studi Kimia FMIPA. 2024. Article Review: Characterization Edible Film From Carrageenan Seaweed (*Eucheuma cottonii*/Kappaphycus alvarezii).
- Nurmilla, A., Kurniaty, N., & Hilda, A. 2021. Karakteristik *Edible Film* Berbahan Dasar Ekstrak Karagenan Dari Alga Merah (*Eucheuma spinosum*). *Jurnal Riset Farmasi*, 1(1), 24–32.
<https://doi.org/10.29313/jrf.v1i1.44>
- Rahmadani, D. P., & Permata, D. A. 2025. Smart Packaging Dari Limbah Cair Tahu (*Whey*) Dengan Penambahan Ekstrak Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.) Sebagai Indikator.
- Rifqi, M. 2021. Ekstraksi Antosianin Pada Bunga Telang (*Clitoria ternatea* L.): Sebuah Ulasan. *Pasundan Food Technology Journal*, 8(2).
- Salsabila, R. K. H., Putra, Y. P., & Teknik Grafika Politeknik Negeri Jakarta. 2025. Optimalisasi Komposisi *Bio-Ink* Berbasis Ekstrak Bunga Telang (*Clitoria ternatea*) dan Gum Arabic Terhadap Capaian Warna Cyan Pada Aplikasi *Inkjet Printing*. *Regional Multidisciplinary Research and Engineering*, 8(2), 231–237.
<https://doi.org/10.30596/rmme.v8i2.24763>
- Silvia, D., Khalishah, K., & Ningtyas, R. 2023. Penggunaan Ekstrak Kurkumin Untuk Pengembangan Label Cerdas Indikator Kesegaran Kerang Darah Kupas. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan*, 2(1).
- Siswoyo, M. A. A., Amelia, D., Safitri, A. D., & Tiandho, Y. 2021. Pemanfaatan Ekstrak Ubi Ungu Sebagai Indikator Label Dalam Pemantauan Kesegaran Udang Menggunakan Neural Network. *Journal of Physics (JoP)*, 7(1), 7–12.
- Tarik, K., Adila, S. N., Rusmawati, D. A., Al Farizhi, A. J., Nazar, A. F., Amelia, A. S., & Maelani, O. R. 2025. Analisis Perbandingan *Edible Film*.
<https://doi.org/10.29313/jrf.v4i2.5733>

Yusuf, A. G., Najiyah, N., Mulyono, E. W. S.,
& Abdillah, F. 2021. Studi Literatur
Potensi Ekstrak Zat Warna Alam
Sebagai Indikator. *Fullerene Journal*

of Chemistry, 6(2), 124–134.
<https://doi.org/10.37033/fjc.v6i2.338>

