



**APLIKASI INDIKATOR pH BERBASIS GELATIN IKAN-PVA DENGAN
EKSTRAK KUBIS MERAH DALAM MONITORING KESEGERAN UDANG
VANAME (*Litopaneus vannamei*) SELAMA PENYIMPANAN DINGIN**

***APPLICATION OF FISH GELATIN-PVA BASED pH INDICATORS WITH RED
CABBAGE EXTRACT FOR MONITORING THE FRESHNESS OF WHITELEG
SHRIMP (*Litopaneus vannamei*) DURING COLD STORAGE***

Nadia Dwi Narda^{1*}, Iis Rostini², Irfan Zidni² dan Rusky Intan Pratama²

¹Program Studi Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran

²Departemen Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran

*Korespondensi: nadia22014@mail.unpad.ac.id

Dikirim: 25 Mei 2026 / Diterima: 30 Juli 2026

ABSTRAK

Penurunan mutu udang vaname selama penyimpanan suhu dingin menyebabkan perubahan sifat kimia dan sensori sehingga diperlukan metode pemantauan kesegaran yang cepat, mudah, dan non-destruktif. Indikator dengan penambahan ekstrak kubis merah yang sensitif terhadap perubahan pH dapat digunakan untuk memantau kesegaran udang secara visual dan *real time*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi ekstrak kubis merah terbaik pada *film* indikator pH berbasis gelatin ikan dan *polyvinyl alcohol* (PVA) dalam mendeteksi perubahan mutu udang vaname. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan empat perlakuan penambahan ekstrak kubis merah dengan konsentrasi sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% pada formulasi *film*. Tahapan penelitian meliputi fabrikasi dan karakterisasi *film* berdasarkan ketebalan, sensitivitas pH, dan ammonia (NH₃), kemudian diaplikasikan pada udang vaname selama 9 hari penyimpanan di suhu $\pm 4^{\circ}\text{C}$. Parameter kemunduran mutu udang diamati meliputi pH, TVB-N, dan organoleptik. Perubahan warna indikator dianalisis dan dihubungkan dengan parameter kemunduran mutu udang selama penyimpanan secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan nilai pH meningkat dari $7,20 \pm 0,17$ menjadi $7,70 \pm 0,17$ dan nilai TVB-N meningkat dari 3,36 menjadi 38,66 mg/100 g disertai penurunan organoleptik yang berbeda nyata ($p < 0,05$) berdasarkan uji Kruskal-Wallis. *Film* indikator pH dengan penambahan 10% ekstrak kubis merah memberikan respons perubahan warna yang paling representatif terhadap nilai pH, TVB-N, dan penurunan mutu organoleptik, sehingga merupakan formulasi terbaik untuk monitoring kesegaran udang vaname selama penyimpanan suhu dingin.

Kata Kunci: Antosianin kubis merah, *Film* indikator cerdas, Gelatin ikan, *Litopenaeus vannamei*

ABSTRACT

The quality deterioration of whiteleg shrimp during cold storage is characterized by changes in chemical and sensory properties, highlighting the need for a rapid, simple, and non-destructive freshness monitoring method. A pH indicator containing red cabbage extract, which is sensitive to pH changes, can be used to visually monitor shrimp freshness in real time. This study aimed to determine the optimum concentration of red cabbage extract in a fish gelatin/polyvinyl alcohol (PVA)-based pH indicator *film* for detecting quality changes in whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). An experimental method was employed using four concentrations of red cabbage extract (0%, 5%, 10%, and 15%) incorporated into the *film* formulation. The study consisted of *film* fabrication and characterization based on thickness, pH sensitivity, and ammonia (NH₃) sensitivity, followed by application to whiteleg shrimp stored at $\pm 4^{\circ}\text{C}$ for 9 days. Shrimp quality deterioration was evaluated through pH, total volatile base nitrogen (TVB-N), and organoleptic analysis. Color changes of the indicator *film* were descriptively analyzed and correlated with shrimp quality parameters during storage. The results showed that pH increased from 7.20 ± 0.17 to 7.70 ± 0.17 , while TVB-N increased from 3.36 to 38.66 mg/100 g, accompanied by a significant decline in organoleptic quality ($p < 0.05$) based on the Kruskal–Wallis test. The pH indicator film containing 10% red cabbage extract exhibited the most representative color-change response to pH, TVB-N, and organoleptic quality deterioration, making it the best formulation for monitoring the freshness of vanamei shrimp during cold storage.

Keywords: Fish gelatin, Intelligent indicator film, , *Litopenaeus vannamei*, Red cabbage anthocyanin,

1. PENDAHULUAN

Udang merupakan salah satu komoditas unggulan perikanan di Indonesia. Kementerian Kelautan dan Perikanan mencatat total produksi udang di Indonesia mencapai 1,19 juta ton pada tahun 2022 dengan komposisi 77,5% dari produksi budidaya serta 22,5% berasal dari produksi tangkapan. Total produksi udang vaname dilaporkan sebesar 75% dari total produksi udang di Indonesia. Udang vaname termasuk ke dalam salah satu udang introduksi dengan nilai ekonomis yang tinggi. Udang vaname mengandung air sekitar 74,6%, protein sebesar 22,3%, lemak 1,1%, abu 1,7%, energi 425 kkal dan beberapa kandungan mineral lainnya [1]. Kandungan nutrisi ini dinilai dapat memenuhi asupan gizi yang dibutuhkan oleh tubuh manusia, tetapi menyebabkan udang menjadi sangat rentan terhadap penurunan kesegaran dan pembusukan selama penyimpanan. Penurunan kesegaran udang berpengaruh terhadap nilai jual dan penerimaan konsumen dan bisa berakibat fatal bagi tubuh manusia jika tetap dikonsumsi, dapat menimbulkan penyakit seperti gastroenteritis dan sepsisemia.

Pengujian kesegaran udang sangat penting dilakukan sebagai dasar penentuan kualitas udang yang dapat ditentukan melalui dua metode, yaitu secara subjektif menggunakan organoleptik dengan mengandalkan kelima indera manusia dan objektif melalui pengujian laboratorium

melalui analisis degradasi karakteristik kimia seperti peningkatan total *volatile base nitrogen* dan pH yang memerlukan waktu dan prosedur yang kompleks. *Intelligent packaging* hadir sebagai sebuah inovasi teknologi di bidang pengemasan yang dapat menginformasikan perubahan pada produk dan lingkungan di sekitarnya secara *real time*, salah satunya menggunakan indikator pH yang secara visual memiliki kepekaan terhadap perubahan pH pada produk perikanan [2].

Indikator pH biasanya terdiri dari dua bagian, yaitu matriks padat biopolimer yang dapat membentuk *film* dan bersifat *biodegradable* dan *biocompatible*, serta indikator pewarna yang peka terhadap perubahan pH [3]. Gelatin ikan merupakan biopolimer protein yang digunakan dalam pembuatan *film* indikator yang diperoleh dari hidrolisis kolagen pada kulit, tulang, atau sisik ikan, sehingga bersifat berkelanjutan sebagai bentuk pemanfaatan limbah perikanan. Gelatin dapat membentuk lapisan tipis yang padat, transparan, dan agak elastis, namun sifat mekaniknya terbatas, *film* yang dihasilkan cenderung kaku, getas, serta *elongation at break* yang rendah ($EAB < 25$), serta cenderung rapuh dan mudah patah [4]. Sifat mekanik *film* indikator gelatin ini dapat diperbaiki dengan penambahan polimer sintetik yang kompatibel untuk meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan air, seperti *polyvinyl alcohol* (PVA)

yang mampu meningkatkan sifat mekanik ketika dikombinasikan dengan gelatin karena elastis dan mampu berikatan dengan polimer lain [5].

Penambahan pewarna pada *film* indikator dilakukan untuk memberikan kemampuan deteksi perubahan pH melalui perubahan warna yang dihasilkan. Penelitian yang dilakukan oleh Etxabide [6], menunjukkan bahwa antosianin menunjukkan respons warna (merah-ungu-biru-hijau) pada rentang pH yang lebih luas. Kubis merah merupakan jenis tanaman dengan kandungan antosianin yang tinggi yaitu 11,11 – 17,8 g/kg. Tanaman ini relatif mudah ditemukan baik di pasar tradisional maupun pasar modern, memiliki harga yang lebih murah, serta penggunaan kubis merah masih terbatas hanya sebagai sayur asin dan campuran salad [7].

Beberapa penelitian mengenai konsep *intelligent packaging* telah banyak dilakukan. Zeng [5], melakukan pengembangan indikator *film* berbasis gelatin dan *polyvinyl alcohol* dengan menambahkan ekstrak antosianin dari mulberry untuk memonitoring kesegaran ikan. Nuroniyah [8], melakukan pengembangan *edible* sensor berbasis pati jagung dan kitosan dengan penambahan ekstrak pewarna kubis merah untuk monitoring kesegaran filet ikan nila. Zheng [9], mengembangkan *film* indikator berbasis kitosan dengan ekstrak antosianin dari buah *blueberry* untuk pemantauan kesegaran udang. Penelitian mengenai pengaruh variasi konsentrasi ekstrak kubis merah pada *film* indikator berbasis gelatin ikan-PVA terhadap kemampuan memantau kemunduran mutu udang vaname selama penyimpanan suhu dingin masih terbatas, sehingga penelitian ini bertujuan untuk menentukan penambahan konsentrasi ekstrak kubis merah terbaik pada *film* indikator pH berbasis gelatin ikan-PVA dalam memantau kesegaran udang vaname selama penyimpanan dingin berdasarkan perubahan pH, TVB-N, dan mutu organoleptik.

2. METODE

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah kubis merah dan udang vaname yang diperoleh dari Supermarket di Jatinangor, akuades, gelatin ikan, *polyvinyl alcohol*, gliserol, larutan ammonia 0,8 M,

larutan buffer, *trichloroacetic acid* 7,5%, K_2CO_3 3 N, H_3BO_3 3%, dan HCl 0,02 N. Alat yang digunakan selama penelitian diantaranya adalah *hot plate stirrer* (Faithful), pisau, *beaker glass*, gelas ukur, spatula, timbangan digital, erlenmeyer, cawan petri, oven (Kirin), *chiller* (Sharp), pH meter, *thinwall*, *smartphone*, pipet tetes, *score sheet*, mortar dan alu, tabung reaksi, rak tabung reaksi, spektrofotometer (Agilent Cary 60), sentrifuge (Ceturi Scientific), buret, cawan conway, incubator (Mettler), statif dan klem, wadah plastik, jangka sorong, termometer.

2.2. Desain Penelitian

Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan 4 perlakuan penambahan ekstrak kubis merah dengan konsentrasi 0%, 5%, 10%, 15% pada formulasi *film* indikator pH. Tahapan pendahuluan dimulai dengan ekstraksi antosianin kubis merah, kemudian dikarakterisasi panjang gelombangnya berdasarkan pH. Tahapan utama meliputi fabrikasi *film* indikator pH berbasis gelatin ikan dan PVA yang ditambahkan ekstrak kubis merah masing-masing pada konsentrasi berbeda, kemudian dikarakterisasi berdasarkan ketebalan dan sensitivitasnya terhadap amonia (NH_3). Indikator pH diaplikasikan pada kemasan sampel udang vaname dan disimpan selama 9 hari di suhu dingin ($\pm 4^\circ C$) untuk memonitoring kesegaran udang vaname. Pengamatan setiap hari dilakukan untuk melihat perubahan warna indikator. Pengujian kesegaran udang yang meliputi pH, TVB-N, serta organoleptik dilakukan setiap 3 hari selama 9 hari yaitu, hari ke-0, hari ke-3, hari ke-6, dan hari ke-9. Monitoring udang vaname secara organoleptik dilakukan oleh 20 orang panelis semi-terlatih melalui uji skoring (SNI 2728:2006) pada parameter kenampakan, bau, dan tekstur. Prosedur penelitian adalah sebagai berikut.

2.3. Prosedur penelitian

2.3.1. Ekstraksi Kubis Merah

Kubis merah dicacah menjadi potongan kecil menggunakan pisau dan ditimbang sebanyak 50 g. Cacahan kubis merah dimasukkan ke dalam aquades sebanyak 150 ml dengan perbandingan antara bahan dan pelarut yaitu 1 : 3 (b/v), lalu dipanaskan pada

suhu 80° C selama 7-10 menit. Cacahan kubis merah yang sudah berwarna putih dipisahkan dari larutan, dan larutan disentrifugasi selama 30 menit dengan 5000 rpm [2].

2.3.2. Uji Perubahan Warna Ekstrak Kubis Merah Berdasarkan pH

Ekstrak kubis merah diletakkan pada 3 tabung reaksi berbeda. Larutan buffer ditambahkan ke dalam ekstrak kubis merah untuk mendapatkan sampel dengan pH asam, netral dan basa. Masing-masing sampel dengan pH berbeda dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 400, 450, 500, 550, 600, 650, dan 700 nm [2].

2.3.3. Fabrikasi Indikator pH

Gelatin ditimbang sebanyak 2 g dan dilarutkan ke dalam 100 mL akuades yang telah dipanaskan hingga suhu $\pm 40^{\circ}\text{C}$ di atas *hot plate stirrer* sambil diaduk kurang lebih 30 menit. PVA ditimbang sebanyak 10 g dan dilarutkan dalam 100 mL akuades lalu dipanaskan hingga suhu $\pm 85^{\circ}\text{C}$ sambil diaduk secara konstan hingga PVA larut total (± 1 jam). Larutan gelatin dan larutan PVA dicampurkan dengan rasio volume (1:1) ke dalam *beaker glass* dan diaduk selama ± 1 jam hingga larutan homogen. Gliserol ditambahkan sebanyak 1 ml dan dihomogenkan selama ± 10 menit. Larutan polimer tersebut ditambahkan ekstrak kubis merah masing-masing dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15%. Larutan tersebut dituangkan ke dalam cawan petri sebanyak 15 ml dan dikeringkan menggunakan oven bersuhu 40°C selama ± 3 jam [5].

2.3.4. Uji Ketebalan Film Label Indikator

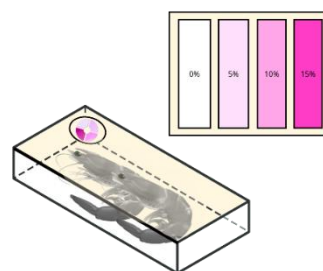
Ketebalan *film* label indikator diukur menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,05 mm di 5 titik lokasi yang berbeda [10].

2.3.5. Uji Sensitivitas Film Label Indikator Terhadap Amonia (NH_3)

Larutan amonia 0,8 M sebanyak 10 ml diletakkan di dalam *thinwall. Film* indikator yang telah dipotong diletakkan di atas tutup *thinwall*. Pengamatan dilakukan terhadap reaksi uap NH_3 dari larutan amonia 0,8 M dengan larutan ekstraksi setiap 5 menit selama 45 menit [11].

2.3.6. Aplikasi dan Monitoring Kesegaran Udang Vaname dengan Indikator pH

Dua ekor sampel udang vaname diambil lalu dicuci menggunakan akuades, sampel dimasukkan ke dalam kemasan *thinwall. Film* dipotong dengan ukuran 1x3 cm yang ditempelkan di lapisan dalam tutup kemasan sehingga indikator bisa bereaksi tanpa menyentuh produk udang. Pengamatan dilakukan setiap 3 hari selama 9 hari dengan dua ulangan, yaitu pengamatan hari ke-0, hari ke-3, hari ke-6, dan hari ke-9 [12]. Pengaplikasian indikator pH dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaplikasian dan Pengujian Indikator pH

Fig. 1. Application and Testing of pH Indicators

2.3.7. Pengamatan Perubahan Warna Selama Penyimpanan Udang Vaname

Pengamatan warna dilakukan dengan pengambilan gambar menggunakan *smartphone* selama proses monitoring udang untuk mengamati perubahan warna yang terjadi selama proses penyimpanan, kemudian dianalisis secara deskriptif kualitatif berdasarkan pengamatan [8].

2.3.8. Pengujian pH

Berdasarkan SNI No. 6989-11 mengenai cara uji pH menggunakan pH meter [13], yaitu pH meter digital dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan buffer standar pH 4 dan 7. Sampel daging udang vaname diambil sebanyak 10 g dihancurkan lalu dihomogenkan dengan 90 ml akuades. Hasil homogenisasi tersebut diukur dengan pH meter yang telah dikalibrasi.

2.3.9. Pengujian TVB-N

Berdasarkan SNI 2354.8 mengenai penentuan kadar *Total Volatil Base Nitrogen* (TVB-N) dan Trimetil Amin Nitrogen (TMA-N)

pada produk perikanan [14] menggunakan metode *Conway Microdiffusion* adalah sebanyak 15 g daging udang ditimbang menggunakan timbangan analitik dengan ketelitian hingga 0,01 g. Sampel dihomogenkan selama 1 menit, lalu disaring hingga diperoleh filtrat jernih. Sebanyak 1 mL larutan asam borat (H_3BO_3) 3% dimasukkan ke dalam *inner chamber* cawan Conway. Sebanyak 1 mL filtrat sampel dimasukkan ke dalam *outer chamber* pada sisi kiri cawan Conway. Sebanyak 1 mL larutan K_2CO_3 3N jenuh ditambahkan ke *outer chamber* sisi kanan. Cawan Conway ditutup

rapat menggunakan vaselin untuk memastikan sistem tertutup sempurna. Cawan digerakkan secara perlahan hingga larutan filtrat dan K_2CO_3 3 N bercampur. Cawan kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 2 jam. Larutan asam borat dalam *inner chamber* dititrasi menggunakan larutan HCl 0,02 N hingga terjadi perubahan warna menjadi merah muda. Volume HCl yang digunakan selama titrasi dicatat dan dimasukkan ke dalam rumus perhitungan kadar TVB-N. Rumusnya adalah sebagai berikut.

$$\text{TVB} - \text{N} = \frac{(V_C - V_B) \times N \times 14,007 \times 2 \times 100}{W}$$

Keterangan : V_C merupakan volume HCl untuk titrasi sampel, V_B merupakan volume HCl untuk titrasi blanko, N merupakan normalitas HCl , 14,007 merupakan berat atom nitrogen, 2 merupakan faktor pengenceran, W merupakan berat sampel

2.3.10. Pengujian Organoleptik (Skoring)

Berdasarkan SNI 2728 mengenai persyaratan bahan baku udang segar [15]. Uji organoleptik udang dilakukan menggunakan penilaian *score sheet* rentang 1-9 berdasarkan kenampakan, bau, dan tekstur pada udang segar dengan standar minimal nilai organoleptik yaitu 7. Pengujian organoleptik dilakukan oleh 20 orang panelis semi terlatih (individu yang telah menerima pelatihan dasar dalam penilaian organoleptik) yang terdiri dari mahasiswa Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjadjaran.

warna label indikator, data nilai pH, TVB-N yang akan dianalisis secara deskriptif serta nilai organoleptik akan dianalisis secara statistika inferensial menggunakan uji Kruskal Wallis dan uji lanjut Dunn. Perubahan warna indikator dianalisis secara deskriptif kualitatif dan dihubungkan dengan parameter kemunduran mutu udang selama penyimpanan.

Analisis data organoleptik dilakukan untuk mengetahui pengaruh lama penyimpanan terhadap skor organoleptik udang vaname yang meliputi kenampakan, bau, dan tekstur. Rumus perhitungan uji Kruskal Wallis [16], adalah sebagai berikut.

2.4. Analisis Data

Data yang dihasilkan yaitu data perubahan

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

Keterangan: H merupakan nilai Kruskal-Wallis dari hasil penghitungan, R_i merupakan jumlah rank dari kelompok/kategori ke- i , n_i merupakan banyaknya kasus dalam sampel pada kelompok /kategori ke- i , k merupakan banyaknya kelompok/kategori, N merupakan jumlah seluruh observasi ($N = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k$), keputusan : H_0 ditolak apabila $H \geq \chi_{tabel}^2$.

Nilai $H \geq \chi_{tabel}^2$ menunjukkan adanya perbedaan yang nyata secara statistik, sehingga diperlukan uji lanjut yaitu Uji Dunn [17] dengan rumus sebagai berikut.

$$|\bar{R}_2 - \bar{R}_1| < Z(\alpha/k(k-1)) \sqrt{\frac{N(N+1)}{12} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}$$

Keterangan: R_1 merupakan rata-rata ranking kelompok/perlakuan ke-1, R_2 merupakan rata-rata ranking kelompok/perlakuan ke-2, $Z(\alpha/k(k-1))$ merupakan nilai Z pada taraf signifikansi α yang telah dikoreksi, merupakan jumlah kelompok/perlakuan, N merupakan jumlah seluruh data (total sampel semua kelompok), n_1 merupakan jumlah sampel pada kelompok ke 1, n_2 merupakan jumlah sampel pada kelompok ke 2.

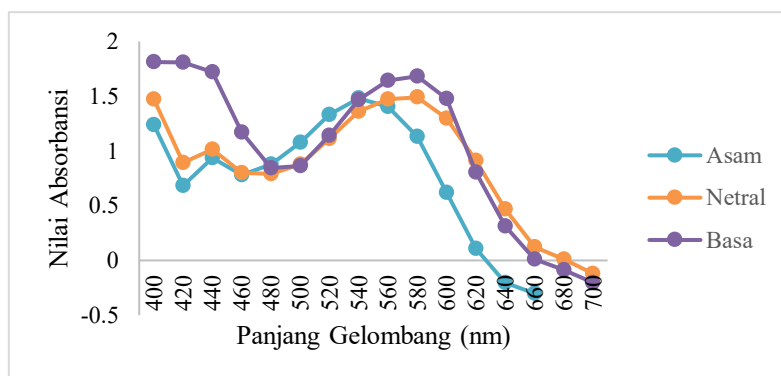
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Antosianin Ekstrak Kubis Merah Berdasarkan pH

Berdasarkan uji ekstrak menggunakan spektrofotometer pada rentang panjang gelombang 400-700 diperoleh pergeseran puncak absorbansi maksimum (λ_{max}) seiring perubahan kondisi pH, dapat dilihat pada Gambar 2.

Antosianin yang telah diekstraksi dari kubis merah diberikan larutan buffer untuk mendapatkan kondisi asam, netral, dan basa. Pada kondisi asam, spektrum menunjukkan

bahwa pada kondisi asam puncak absorbansi maksimum (λ_{max}) berada dalam kisaran panjang gelombang 540 nm yang mengindikasikan struktur molekuler antosianin yang mendominasi adalah kation flavilium. Pada kondisi netral puncak absorbansi (λ_{max}) menunjukkan pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih besar, yaitu pada kisaran 580 nm yang mengindikasikan adanya proses deprotonasi pada kation flavylilium membentuk kesetimbangan dengan struktur molekul berbentuk basa kuinoidal yang dominan [18].



Gambar 2. Nilai Absorbansi Antosianin pada Variasi pH

Fig. 2. Anthocyanin Absorbance Value at pH Variations

Kondisi basa memiliki puncak absorbansi (λ_{max}) berada pada kisaran 580 nm dengan intensitas yang lebih tinggi, serta pelebaran spektrum berada pada kisaran 600-640 nm yang menunjukkan struktur antosianin menjadi anionik kuinoidal serta kalkan alami. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Yong [10] dan Zeng [5] yang memperlihatkan puncak absorbansi (λ_{max}) ekstrak ubi ungu dan mulberry mengalami pergeseran batokromik pada rentang 500 sampai 600 nm pada kondisi pH dari asam, netral, dan basa, hal ini mengonfirmasi bahwa fenomena ini merupakan respons umum pada kelompok antosianin berbasis sianidin terlepas dari sumber tanaman yang digunakan.

3.2. Karakterisasi Ketebalan Indikator

Variasi penambahan konsentrasi ekstrak kubis merah pada *film* indikator mempengaruhi ketebalan indikator. Ketebalan rata-rata *film* indikator yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Table 1. Ketebalan Label Indikator
Table 1. Indicator Label Thickness

Perlakuan (%)	Ketebalan <i>Film</i> Indikator (mm)
0%	0,07 ± 0,01
5%	0,11 ± 0,01
10%	0,13 ± 0,01
15%	0,19 ± 0,02

Prietto [19], menyebutkan presentase ekstrak antosianin yang ditambahkan ke dalam *film* berkontribusi dalam meningkatkan ketebalan *film*. Hal ini disebabkan oleh adanya peningkatan total padatan terlarut yang terdapat pada larutan pembentuk *film*. Proses pengeringan akan mengakibatkan pelarut menguap, sedangkan material padatan akan tertinggal dan menyusun struktur *film* yang lebih tebal [10]. Hasil ini sejalan dengan penelitian Yong [10], yang memperlihatkan peningkatan ketebalan *film* berbasis kitosan seiring dengan penambahan ekstrak ubi ungu

5%, 10%, dan 15% dari 0,072 sampai 0,086 mm. Nadi [20], menunjukkan ketebalan *film* berbasis *basil seed gum* dan kitosan meningkat seiring dengan penambahan ekstrak kubis merah 2,5%, 5%, dan 10% yaitu 0,056 sampai 0,079 mm.

3.3. Karakterisasi Sensitivitas *Film* Indikator Terhadap Amonia (NH_3)

Pengamatan perubahan warna dilakukan selama 45 menit yang diamati selama 5 menit sekali. Perubahan warna *film* indikator dapat dilihat pada Tabel 2.

Table 2. Perubahan Warna Label Indikator Terhadap Amonia (NH_3)
Table 2. Color Change of Ammonia (NH_3) Indicator Labels

Perlakuan	Lama Paparan NH_3 (Menit)									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
A (0%)										
B (5%)										
C (10%)										
D (15%)										

Film dengan konsentrasi 0% tidak menunjukkan perubahan, menunjukkan bahwa polimer dasar tidak bereaksi terhadap uap amonia. Indikator dengan penambahan 5% memperlihatkan perubahan warna pada menit ke-5 menjadi warna ungu, pada menit ke-20 memperlihatkan warna biru, dan warna sedikit kehijauan pada menit ke-25, semakin jelas sampai menit ke-45. Indikator dengan penambahan 10% dan 15% mengalami pergeseran warna yang hampir sama, pemudaran warna dan pergeseran warna merah muda menjadi warna ungu pada menit ke-15, pada menit ke-25 terlihat warna biru yang lebih jelas pada konsentrasi 15%, dan mengarah kearah hijau mulai dari menit ke-35 dan semakin jelas dan pekat sampai pada menit pengamatan terakhir yaitu menit ke-45.

Transformasi warna pada *film* indikator dari merah muda, menjadi ungu dan biru sampai warna hijau disebabkan oleh sifat halokromik antosianin yang berada dalam

matriks polimer gelatin dan *Polyvinyl alcohol*. Perubahan warna ini mengindikasikan bahwa struktur antosianin yang berada pada ekstrak kubis merah yang ditambahkan dalam matriks polimer menunjukkan sensitivitasnya terhadap senyawa volatil amonia melalui proses difusi [21]. Agunos [22], menyatakan bahwa perubahan kolorimetri *film* dimulai ketika amonia (NH_3) yang menguap akan bergabung dengan H_2O yang ada pada *film* indikator $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ yang akan dihidrolisis dan menghasilkan NH_4^+ dan OH^- . Hasil hidrolisis ini akan meningkatkan nilai pH sehingga menyebabkan perubahan warna yang ada pada *film* indikator yang dihasilkan. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Prietto [19] yang memperlihatkan adanya perubahan warna yang terjadi pada label *film* indikator yang terpapar ammonia yaitu warna merah muda, ungu, biru, dan hijau. Latiff [23] menyatakan bahwa, peningkatan konsentrasi antosianin akan memperlihatkan perubahan

warna yang lebih jelas dan mencolok seiring dengan waktu respons.

3.4. Perubahan Warna Label Indikator selama Penyimpanan Udang Vaname

Hasil pengamatan perubahan warna label indikator selama penyimpanan udang vaname suhu dingin selama 9 hari secara visual disajikan pada Tabel 3.

Table 3. Perubahan Warna Label Indikator selama Penyimpanan Udang Vaname
Table 3. Color Changes of Indicator Labels during Storage of Vaname Shrimp

Perlakuan	Lama Penyimpanan (Hari)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A (0%)										
B (5%)										
C (10%)										
D (15%)										

Perubahan warna pada label dengan konsentrasi lebih rendah terjadi lebih cepat jika dibandingkan dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Label dengan penambahan ekstrak 5% memperlihatkan perubahan warna menjadi ungu pada hari ke-3, menjadi biru pada hari ke-5 dan lebih pekat pada hari-hari berikutnya. Label dengan penambahan ekstrak 10% memperlihatkan perubahan warna menjadi ungu pada hari ke-5, menjadi biru pada hari ke-7. Penambahan ekstrak paling tinggi yaitu 15% menunjukkan perubahan warna yang cukup lambat jika dibandingkan dengan dua label lainnya, perubahan menjadi warna ungu pada hari ke-6, dan menjadi biru pada hari ke-7 sampai hari ke-9.

Penurunan mutu udang selama proses penyimpanan disertai dengan produksi senyawa-senyawa volatil, seperti amonia, trimetilamin (TMA) dan dimetilamin (DMA) yang mempengaruhi nilai pH dan berikatan dengan label *film* indikator sehingga menyebabkan deprotonasi yang mengubah struktur antosianin dan menghasilkan variasi warna. Konsentrasi antosianin yang lebih tinggi memiliki kemampuan yang lebih kuat untuk mempertahankan warna *film* karena senyawa fenolik yang ada pada antosianin serta menyatakan bahwa sensitivitas label *film* indikator dipengaruhi oleh substrat pembentuk *film* atau matriks *film* yang

digunakan [24]. Pernyataan ini diperkuat oleh Ren [25], yang menyatakan bahwa perubahan warna yang lebih lambat disebabkan karena antosianin yang tinggi dapat menyebabkan agregasi yang berikatan lebih kuat dengan matriks *film*. Hasil penelitian ini, sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Huang [24] menunjukkan perubahan warna pada penambahan antosianin bunga rosella dalam monitoring udang vaname 0,12% dan 0,18% berubah menjadi warna hijau pada hari ke 4, sedangkan penambahan 0,24% berubah menjadi warna hijau pada hari ke-6, tetapi warna yang dihasilkan lebih jelas dan Ren [25], yang memperlihatkan bahwa peningkatan konsentrasi antosianin bluberi menjadi 10% menghasilkan perubahan warna yang lebih lambat jika dibandingkan dengan konsentrasi 5%.

3.5. Nilai pH Udang Vaname selama Penyimpanan Dingin

Nilai pH udang vaname selama penyimpanan suhu dingin dapat dilihat pada Tabel 4. Nilai pH udang vaname menunjukkan nilai $7,20 \pm 0,17$ pada hari ke-0, udang masih dalam kondisi segar. Pengujian pada hari ke-3 memperlihatkan penurunan nilai pH menjadi $6,39 \pm 0,15$ setelah itu nilai pH meningkat pada hari ke-6 dan hari ke-9 dengan nilai $7,60 \pm 0,10$ dan $7,70 \pm 0,17$.

Table 4. Nilai pH Udang Vaname selama Penyimpanan
Table 4. pH Value of Vaname Shrimp during Storage

Lama Penyimpanan (Hari)	Nilai pH
Hari ke-0	7,20 ± 0,17
Hari ke-3	6,39 ± 0,15
Hari ke-6	7,60 ± 0,10
Hari ke-9	7,70 ± 0,17

Karimkhani [26], menyatakan bahwa penurunan pH terjadi akibat pemecahan glikogen otot setelah kematian udang yang menyebabkan produksi asam laktat. Ketika cadangan glikogen yang berada pada otot habis dan pembentukan asam laktat berhenti. Protein serta asam amino diuraikan oleh enzim endogen menyebabkan proses autolisis yang disertai dengan pertumbuhan mikroba, menghasilkan senyawa-senyawa volatile yang bersifat basa, sehingga nilai pH meningkat secara bertahap selama penyimpanan [27]. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang

dilakukan oleh Liu [27] dan Karimkhani [26], memperlihatkan pola grafik yang sama, nilai pH menurun dan kembali meningkat pada hari-hari selanjutnya.

3.6. Nilai TVB-N Udang Vaname selama Penyimpanan Dingin

Nilai TVB-N ditentukan melalui proses menguapkan senyawa volatile yang terbentuk akibat penguraian asam amino yang ada pada udang vaname [28]. Nilai TVB-N udang vaname selama penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 5.

Table 5. Nilai TVB-N Udang Vaname selama Penyimpanan
Table 5. TVB-N Value of Vaname Shrimp during Storage

Lama Penyimpanan (Hari)	Nilai TVB-N mg/100 g
Hari ke-0	3,36
Hari ke-3	8,40
Hari ke-6	20,17
Hari ke-9	38,66

Nilai TVB-N udang vaname selama penyimpanan memperlihatkan peningkatan seiring dengan masa simpan udang vaname. Berdasarkan kategori kesegaran produk hasil perikanan berdasarkan nilai TVB-N menurut Fadhli [29], didapatkan bahwa nilai TVB-N udang vaname pada hari ke-0 dan hari ke-3 masing-masing sebesar 3,36 mg/100g dan 8,40 mg/100g mengindikasikan bahwa udang vaname berada pada kategori sangat segar. Pengujian pada hari ke-6 adalah sebesar 20,17 mg/100g masih berada pada kategori masih dapat dikonsumsi, sedangkan pada hari ke-9 udang vaname sudah tidak dapat dikonsumsi karena memiliki nilai sebesar 38,66 mg/100g.

Meningkatnya nilai TVB-N mengindikasikan penurunan mutu udang yang

diakibatkan oleh dekarboksilasi asam amino oleh aktivitas enzim dan mikroorganisme pembusuk [30]. Herawati [31], menyatakan bahwa peningkatan nilai TVB-N diakibatkan oleh enzim proteolitik menjadi asam karboksilat, asam sulfida, amonia maupun jenis asam lain. Meningkatnya nilai TVB-N juga berkaitan dengan peningkatan jumlah bakteri yang dapat memecah protein dan asam amino menjadi senyawa basa nitrogen. Proses pemecahan tersebut mengakibatkan terbentuknya sejumlah basa yang mudah menguap seperti amonia (NH₃), dimetilamin (DMA), monometilamin (MMA), hydrogen sulfida (H₂S) dan trimetilamin (TMA) akibat proses perombakan trimetilamin oksida (TMAO) [32]. Penelitian ini sejalan dengan

penelitian yang dilakukan oleh Kim [33] dan Kim [30] yang memperlihatkan pola peningkatan nilai TVB-N seiring dengan masa simpan udang vaname.

3.7. Nilai Organoleptik Udang Vaname Selama Penyimpanan Dingin

Grafik penilaian organoleptik secara umum memperlihatkan pola penurunan nilai

skoring seiring dengan masa simpan udang vaname. Analisis ketiga parameter menggunakan Kruskal Wallis menunjukkan adanya perbedaan signifikan selama waktu penyimpanan ($p < 0.05$). Nilai skoring dan notasi udang vaname berdasarkan uji Dunn selama penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 6.

Table 6. Nilai Organoleptik Udang Vaname selama Penyimpanan
Table 6. Organoleptic Value of Vaname Shrimp during Storage

Parameter	Lama Penyimpanan (Hari)			
	Hari ke-0	Hari ke-3	Hari ke-6	Hari ke-9
Kenampakan	8,5 a	7,1 b	5,9 bc	4,4 c
Bau	8,3 a	7,3 a	5,1 b	5,1 b
Tekstur	8,6 a	7,5 b	6,1 b	6,3 b

Catatan : Pengelompokan notasi mengindikasikan hubungan antar masa simpan secara bertahap, notasi yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata, sedangkan notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata

Kim [33], menyatakan bahwa kandungan astaxanthin yang berikatan dengan protein akan menunjukkan warna biru-hijau spesifik udang, tetapi akibat adanya denaturasi protein akan melepaskan ikatan astaxanthin dan memunculkan warna kemerahan. Bercak hitam diakibatkan oleh pembentukan melanin melalui aktivitas enzim tyrosinase dan pengaruh hemosianin yang dikenal dengan istilah melanosis. Udang juga akan mengeluarkan bau tidak sedap seperti amonia, dihasilkan akibat dekomposisi asam amino oleh adanya aktivitas bakteri. Menurut Azizah [34], udang segar akan mengalami fase awal yang disebut pre-rigor yang ditandai dengan tubuh udang yang lemas dan mudah dibengkokkan. Ketika tekstur udang vaname sudah kurang elastis tapi masih kompak dan padat menunjukkan udang berada pada fase rigor mortis, perubahan daging menjadi lebih keras dikarenakan adanya penggabungan protein aktin dan miosin menjadi protein kompleks aktomiosin. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kim [33], yang menyatakan bahwa perubahan sensorik pertama yang terjadi pada udang selama penyimpanan berkaitan dengan kenampakan, bau dan kemudian tekstur. Azizah [34] menunjukkan penurunan nilai

organoleptik seiring dengan masa simpan udang vaname.

3.8. Hubungan Perubahan Warna Indikator dengan Parameter Kesegaran

Pengamatan parameter kesegaran udang vaname pada hari ke-0 dan hari ke-3 menunjukkan bahwa udang masih berada pada kategori segar dengan nilai pH berturut-turut $7,20 \pm 0,17$ dan $6,39 \pm 0,15$, TVB-N 3.36 dan 8.4. Berdasarkan parameter pH dan TVB-N batas penerimaan udang vaname berada pada hari ke-6 yaitu pH $7,60 \pm 0,10$ dan TVB-N 20 mg/100 g, artinya udang vaname pada hari ke-0 sampai ke-6 masih layak untuk dikonsumsi tetapi sudah mengindikasikan awal terjadinya fase penurunan mutu [27], [29]. Hasil ini sejalan dengan penelitian Kaewprachu [3] yang melaporkan bahwa pada penyimpanan suhu 4°C , udang mencapai kondisi pembusukan sempurna saat pH mencapai 7,52 dan TVB-N mencapai 35,98 mg/100g, mengonfirmasi bahwa rentang pH 7,0–8,0 merupakan zona kritis yang menandai transisi dari kondisi layak konsumsi menuju pembusukan pada produk udang. Pengujian parameter organoleptik berdasarkan SNI 01- 2728.1:2006 dikatakan bahwa nilai minimal udang segar adalah 7, sehingga batas penerimaan udang vaname secara organoleptik adalah pada hari ke-3.

Pada pengamatan hari ke-6 nilai organoleptik rata-rata sudah mencapai nilai antara 6-5, sehingga sudah melewati nilai minimum penerimaan udang vaname segar. Pengamatan pada hari ke-9 menunjukkan udang vaname sudah tidak layak untuk dikonsumsi, terlihat

dari nilai pH yaitu $7,70 \pm 0,17$, TVB-N yaitu 38,66 dan organoleptik sudah berada pada rentang nilai 6 sampai 4. Korelasi perubahan warna indikator dengan parameter kesegaran udang dapat dilihat pada Tabel 7.

Table 10. Hubungan Perubahan Warna dengan Parameter Kesegaran Udang
Table 10. The Relationship Between Color Changes and Shrimp Freshness Parameters

Hari Ke-	Perubahan Warna Indikator				pH	TVB-N mg/100g	Organoleptik
	0%	5%	10%	15%			
0					$7,20 \pm 0,17$	3,36	Kenampakan : 8,5 Bau : 8,3 Tekstur : 8,6
1					-	-	-
2					-	-	-
3					$6,93 \pm 0,15$	8,4	Kenampakan : 7,1 Bau : 7,3 Tekstur : 7,5
4					-	-	-
5					-	-	-
6					$7,60 \pm 0,10$	20,17	Kenampakan : 5,9 Bau : 5,1 Tekstur : 6,1
7					-	-	-
8					-	-	-
9					$7,70 \pm 0,17$	38,66	Kenampakan : 4,4 Bau : 5,1 Tekstur : 6,3

Perubahan warna selama penyimpanan dihubungkan dengan parameter kesegaran untuk menghasilkan konsentrasi yang tepat dalam mengindikasikan penurunan mutu udang vaname. Batas warna yang dihasilkan

untuk mengindikasikan udang vaname berada pada batas penerimaan adalah warna biru, berkaitan dengan transformasi antosianin menjadi bentuk basa kuinonoidal pada rentang pH 7-8 yang menandakan penurunan mutu

pada udang [35]. Indikator dengan konsentrasi 5% memperlihatkan perubahan warna yang relatif cepat, hari ke-2 menjadi ungu dan berubah menjadi warna biru pada hari ke-5, sementara udang masih berada dalam kondisi segar dan berada dibawah ambang batas penerimaan. Perubahan warna yang terjadi bersifat kurang kontras secara kasat mata, sehingga respon dinilai kurang tepat untuk aplikasi praktis. Perubahan warna indikator dengan konsentrasi 10% memiliki rentang warna yang lebih luas dengan perubahan menjadi warna ungu terjadi pada hari ke-5 dan menjadi biru pada hari ke-7, hal ini mengindikasikan bahwa perubahan warna pada hari ke-5 berfungsi sebagai peringatan dini (*early warning*) sebelum udang mencapai ambang batas konsumsi. Indikator dengan konsentrasi 15% menunjukkan respons yang lebih lambat, menjadi ungu pada hari ke-6 dan menjadi warna biru pada hari ke-7, sehingga rentang peringatannya lebih sempit. Hal ini konsisten dengan temuan Huang [24] bahwa peningkatan konsentrasi antosianin memperpanjang waktu respons *film* akibat pembentukan jaringan ikatan hidrogen yang lebih rapat antara antosianin dan matriks polimer, yang memperlambat difusi gas amin volatil ke dalam *film*. Pola korespondensi temporal antara perubahan warna *film* dan parameter kesegaran udang merupakan parameter utama validitas kinerja *film* indikator, di mana perubahan warna yang terjadi bersamaan atau sedikit mendahului parameter kimia kesegaran dianggap sebagai respons yang tepat untuk aplikasi praktis. Berdasarkan ketepatan waktu respons dan kejelasan visual konsentrasi 10% dinilai sebagai formulasi yang paling optimal karena memberikan respons yang tepat terhadap parameter kesegaran udang vaname.

4. KESIMPULAN

Film indikator dengan penambahan 10% ekstrak kubis merah menunjukkan perubahan warna yang paling representatif terhadap penurunan kesegaran udang vaname, ditandai dengan korelasi yang baik terhadap peningkatan pH dan TVB-N serta penurunan nilai organoleptik. Perubahan warna yang terjadi secara bertahap dan jelas memungkinkan *film* berfungsi sebagai

indikator peringatan dini (*early warning*) hingga penanda akhir masa simpan. Oleh karena itu, penambahan 10% ekstrak kubis merah merupakan formulasi paling optimal karena memberikan respons visual yang akurat, tepat waktu, dan efisien dalam memantau kemunduran mutu udang vaname selama penyimpanan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Li, X., Wang, Y., Li, H., Jiang, X., Ji, L., Liu, T., & Sun, Y. (2021). Chemical and Quality Evaluation of Pacific White Shrimp *Litopenaeus vaname*: Influence of Strains on Flesh Nutrition. *Food Science and Nutrition*, 9(10), 5352–5360.
- [2] Supardianningsih, S., Mutsa, A., Riana, M., Ardiani, S., & Amalia, B. 2023. Development of Smart Packaging *Film* Label Based on pH Sensor from Natural Source: Red Spinach for Freshness Detector of Meat. *Journal of Aceh Physics Society*, 12(3): 8–14.
- [3] Kaewprachu, P., Jaisan, C., Rawdkuen, S., & Osako, K. 2024. Colorimetric Indicator *Films* Based on Carboxymethyl Cellulose and Anthocyanins as a Visual Indicator for Shrimp Freshness Tracking. *Heliyon*, 10(11): e31572.
- [4] Zulkiflee, I., dan Fauzi, M. B. 2021. Gelatin-Polyvinyl alcohol *Film* for Tissue Engineering: A Concise Review. *Biomedicines*, 9(8): 979.
- [5] Zeng, P., Chen, X., Qin, Y. R., Zhang, Y. H., Wang, X. P., Wang, J. Y., Ning, Z. X., Ruan, Q. J., & Zhang, Y. S. 2019. Preparation and Characterization of a Novel Colorimetric Indicator *Film* Based on Gelatin/Polyvinyl alcohol Incorporating Mulberry Anthocyanin Extracts for Monitoring Fish Freshness. *Food Research International*, 126, 108604.
- [6] Etxabide, A., Kilmartin, PA, & Maté, JI. 2021. Color Stability and pH-Indicator Ability of Curcumin, Anthocyanin and Betanin Containing Colorants Under Different Storage Conditions for *Intelligent packaging* Development. *Food Control*, 121, 107645.
- [7] Putri, A. S., Kristiani, E.B., dan Haryati, S. 2018. Kandungan Antioksidan pada Kubis Merah (*Brassica oleracea* L.) dan Aplikasinya pada Pembuatan Kerupuk. *METANA*, 14(1): 1-6.
- [8] Nuronyah, H., Kuswandi, B., & Puspaningtyas, A. R. 2022. Pengembangan Edible Sensor Berbasis Antosianin Kubis Merah (*Brassica oleracea var capitata* L.) untuk Monitoring Kesegaran Filet Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Pustaka Kesehatan*, 10(2): 75-80.
- [9] Zheng, D., Cao, S., Li, D., Wu, Y., Duan, P., Liu, S., Li, X., Zhang, X., & Chen, Y. 2024. Fabrication and Characterization of Chitosan/Anthocyanin Intelligent Packaging *Film* Fortified by Cellulose Nanocrystal for Shrimp Preservation and Visual

- Freshness Monitoring. *International Journal of Biological Macromolecules*, 264 : 130692.
- [10] Yong, H., Wang, X., Bai, R., Miao, Z., Zhang, X., & Liu, J. 2019. Development of Antioxidant and Intelligent pH-sensing Packaging Films by Incorporating Purple-fleshed Sweet Potato Extract into Chitosan Matrix. *Food hydrocolloids*, 90: 216-224.
 - [11] Suratsawadee, A., Wangmo, L., Ratvijitvech, T., & Siripinyanond, A. 2022. A Spoilage Indicator Card Based on Distance-Based Color Change of Paper Impregnated with Acid-Base Indicator for Freshness Monitoring of Shrimp. *Microchemical Journal*, 175: 107110.
 - [12] Silvia, D., Ishaq, A. N. N., & Prastiwinarti, W. 2021. Label Cerdas Berbasis Ekstrak Kubis Merah (*Brassica oleracea*) sebagai Indikator Kesegaran Filet Ikan Tuna (*Thunnus* sp.) pada suhu 4°C. *J. Fishtech*, 10(2): 86-94.
 - [13] [BSN]. Badan Standarisasi Nasional. 2019. Standarisasi Nasional Indonesia No. 06- 6989.11-2019. Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan Menggunakan pH Meter. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
 - [14] [BSN]. Badan Standarisasi Nasional. 2009. Penentuan kadar *Total Volatile Base Nitrogen* (TVB-N) dan *Trimetil Amin Nitrogen* (TMA-N) pada produk perikanan No. 2354.8: 2009. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
 - [15] Badan Standarisasi Nasional. 2006. Spesifikasi Udang Segar. SNI-01-2728.1 2006. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
 - [16] Wulansari, A. D. 2023. Aplikasi Statistika Nonparametrik dalam Penelitian. Jawa Timur : *Thalibul Ilmi Publishing & Education*.
 - [17] Santoso, S. 2010. Statistik Nonparametrik: Konsep dan Aplikasi dengan SPSS. Jakarta: PT Elex Media Komputindo
 - [18] Abedi-Firoozjah, R., Yousefi, S., Heydari, M., Seyedfatehi, F., Jafarzadeh, S., Mohammadi, R., Rouhi, M & Garavand, F. 2022. Aplikasi antosianin kubis merah sebagai pigmen sensitif pH dalam kemasan makanan pintar dan sensor. *Polimer* , 14 (8): 1629.
 - [19] Prietto, L., Mirapalhete, T. C., Pinto, V. Z., Hoffmann, J. F., Vanier, N. L., Lim, L. T., Dias, A. R. G., & Zavareze, E. D. R. 2017. pH-Sensitive Films Containing Anthocyanins Extracted From Black Bean Seed Coat and Red Cabbage. *Lwt*, 80: 492-500.
 - [20] Nadi, M., Razavi, S. M. A., & Shahrampour, D. 2023. Fabrication of Green Colorimetric Smart Packaging Based on Basil Seed Gum/Chitosan/Red Cabbage Anthocyanin for Real-Time Monitoring of Fish Freshness. *Food Science & Nutrition*, 11(10): 6360-6375.
 - [21] Nastasi, JR, Hay, TO, Fitzgerald, MA, & Kontogiorgos, V. 2025. Design and Evaluation of pH-Sensitive Pectin Films Infused with Anthocyanin-Rich Extracts from Australian Native Fruits for Intelligent Food Packaging Applications. *Biofisika Pangan* , 20 (1): 1.
 - [22] Agunos, R. I. F., Mendoza, D. V. M., & Rivera, M. A. S. (2020). Research Article Anthocyanin Colorimetric Strip for Volatile Amine Determination. *International Journal of Food Science*.
 - [23] Latiff, NF, Sulaiman, NF, Shaik, MI, Mohamad, NJ, Khairul, WM, Daud, AI, & Sarbon, NM. (2025). Halochromic Smart Film: A Gelatin-Based pH-Sensitive Film Embedded with Anthocyanin from Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) Extracts for Potential Food Spoilage Indicator Application. *Food science* , 90 (3): e70134.
 - [24] Huang, J., Liu, J., Chen, M., Yao, Q., & Hu, Y. 2021. Immobilization of Roselle Anthocyanins Into Polyvinyl alcohol/Hydroxypropyl Methylcellulose Film Matrix: Study on The Interaction Behavior and Mechanism for Better Shrimp Freshness Monitoring. *International Journal of Biological Macromolecules* , 184 , 666-677.
 - [25] Ren, Y., Guo, J., Zhong, Z., Chen, J., Jin, P., Zheng, Y., & Wu, Z. 2025. Integrated Smart Packaging of Modified Silica/Anthocyanin/Nanocellulose for Preservation and Monitoring. *Foods* , 14 (11), 1888.
 - [26] Karimkhani, MM, Javanshir, S., Ebadifard, F., Salari, A., & Shahri, MSA. 2025. Shelf-Life Extension of Green Tiger Prawn (*Penaeus semisulcatus*) Using Chitosan Coating Incorporated with Jujube Extract, Cinnamon Essential Oil and Thymoquinone During Cold Storage. *LWT* , 118252.
 - [27] Liu, S., Zhang, L., Chen, J., Li, Z., Liu, M., Hong, P., ... & Li, H. 2024. Effect of Freeze-Thaw Cycles on the Freshness of Prepackaged *Penaeus vannamei*. *Foods* , 13(2): 305.
 - [28] Rondonuwu, T. C., Naiu, A. S., & Mile, L. 2024. Nilai TVBN dan pH Fillet Ikan Kakalang (*Katsuwonus pelamis*) yang Dilapisi dengan Larutan Kitosan dan Air Kelapa Selama Penyimpanan Dingin. *The NIKÉ Journal*, 12(3): 127-133.
 - [29] Fadhli, I., Dewi, E. N., & Fahmi, A. S. 2022. Aplikasi Methyl Red Sebagai Label Indikator Kesegaran Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) Pada Suhu Penyimpanan Dingin yang Berbeda. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*, 4(1): 15-23.
 - [30] Kim, JH, Hong, WS, & Oh, SW. 2018. Effect of layer-by-layer antimicrobial edible coating of alginate and chitosan with grapefruit seed extract for shelf-life extension of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) stored at 4°C. *International Journal of Biological Macromolecules* , 120: 1468-1473.
 - [31] Herawati, D., Purnamayati, L., & Kurniasih, R. A. 2020. Perubahan kualitas udang putih (*Penaeus merguensis*) selama penyimpanan dingin dengan penambahan ekstrak daun jati (*Tectona grandis*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*, 2(2): 1-6.
 - [32] Suwetja IK. 2013. Indeks Mutu Kesegaran Ikan. Malang (ID): *Bayumedia Publishing*.
 - [33] Kim, S. H., Jung, E. J., Hong, D. L., Lee, S. E., Lee, Y. B., Cho, S. M., & Kim, S. B. 2020. Quality Assessment and Acceptability of Whiteleg Shrimp (*Litopenaeus*

- vaname) using Biochemical Parameters. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(1): 21.
- [34] Azizah, L. H. 2015. Analisis Kemunduran Mutu Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) Secara Kimiawi dan Mikrobiologis. [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [35] Ghareaghajlou, N., Hallaj-Nezhadi, S., & Ghasempour, Z. 2021. Red Cabbage Anthocyanins: Stability, Extraction, Biological Activities and Applications In Food Systems. *Food Chemistry*, 365, 130482.