

Pengembangan Label Cerdas Kolorimetrik untuk Indikator Kesegaran Lobster Air Tawar dari *Film* PVA dan Chitosan dengan Ekstrak Kulit Buah Naga Merah

[Development of Colorimetric Smart Labels for Crayfish Freshness Indicators from PVA and Chitosan Films with Red Dragon Fruit Peel Extract]

Firman Yudha Axiomawan¹⁾, Nugraha Edhi Suyatma^{2)*}, dan Muhammad Arpah²⁾

¹⁾ Program Studi Ilmu Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

²⁾ Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

Received February 16th 2024 / Revised August 19th 2024 / Accepted October 8th 2024

ABSTRACT

Crayfish (*Cherax quadricarinatus*) is an economically valuable fishery product but its freshness and nutritional content decreases quickly during storage. To observe the freshness level of crayfish, a smart label was developed with the addition of color indicators made from red dragon fruit peel extracts (RDFPE). The purpose of this study was to apply RDFPE as an indicator of colorimetric smart labels in monitoring the freshness of crayfish. There were four levels of RDFPE, namely 0, 15, 20, and 25%. When different levels of pH were used, RDFPE colors changed. Optimization using Design Expert (V13) software indicated that the use of 15% (v/v) of RDFPE in PVA and chitosan film was the best treatment for preparing a colorimetric smart label. This smart film had a thickness of 101 μm , tensile strength of 4.4 MPa, elongation of 118%, and water vapor permeability of $4.3 \times 10^{-10} \text{ g s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$. The pH, total volatile basic (TVB), and total plate count (TPC) values of crayfish rose along with storage time and they had a strong correlation with the ΔE value of the smart label. This study concluded that the addition of RDFPE could be used as a color indicator to fabricate colorimetric smart labels for monitoring the freshness of packaged crayfish.

Keywords: chitosan, freshness indicator, polyvinyl alcohol (PVA), red dragon fruit peel, smart label

ABSTRAK

Lobster air tawar (*Cherax quadricarinatus*) merupakan hasil perikanan bernilai ekonomis yang cepat mengalami penurunan kualitas kesegaran serta kandungan gizi selama proses penyimpanan. Untuk melihat tingkat kesegaran lobster air tawar, dilakukan pengembangan label cerdas dari polivinil alkohol (PVA) dan kitosan dengan ditambahkan indikator warna dari ekstrak kulit buah naga merah (EKBNM). Tujuan penelitian ini adalah mengkaji potensi EKBNM sebagai indikator warna pada label cerdas kolorimetrik untuk memantau kesegaran lobster air tawar. Penelitian ini terdiri dari 4 perlakuan penambahan EKBNM, yaitu 0, 15, 20, dan 25% (v/v) pada larutan *film* PVA dan kitosan. Hasil pengujian perubahan warna indikator terhadap perubahan pH menunjukkan bahwa terdapat konsistensi perubahan warna indikator jika kondisi pH divariasikan. Hasil optimasi menggunakan piranti lunak Design Expert (V13) menunjukkan perlakuan terbaik untuk membuat label cerdas adalah dengan penggunaan 15% (v/v) EKBNM yang menghasilkan *film* cerdas dengan ketebalan 101 μm , kuat tarik 4,4 MPa, elongasi 118%, serta permeabilitas uap air $4,3 \times 10^{-10} \text{ g s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$. Nilai pH, *total volatile basic* (TVB), serta *total plate count* (TPC) dari lobster air tawar mengalami peningkatan seiring bertambahnya lama penyimpanan dan mempunyai korelasi yang kuat dengan nilai ΔE *smart label* dan dapat teramati secara kasat mata. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan EKBNM dapat digunakan sebagai indikator warna dalam pembuatan label pintar kolorimetri untuk memantau kesegaran lobster air tawar dalam kemasan.

Kata kunci: indikator kesegaran, kulit buah naga, kitosan, label cerdas, polivinil alkohol (PVA)

*Penulis Korespondensi: E-mail: nugrahaedhi@apps.ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Lobster air tawar (*Cherax quadricarinatus*) termasuk ke dalam kelompok *crustacea* yang hidup di perairan air tawar (Santi *et al.*, 2021). Lobster bernilai ekonomis tinggi dan berpotensi dibudidayakan secara luas. Lobster air tawar lebih mudah dibudidayakan secara masal dan mengandung gizi yang cukup tinggi (Taqwa *et al.*, 2014), seperti kandungan proteinnya sebesar 14,25%, lemak 1,52%, abu 1,16%, dan air 81,01% (Tanjung, 2013). Kandungan protein yang relatif tinggi mengakibatkan produk hasil perikanan cepat mengalami penurunan mutu kesegaran dan pembusukan (Suprayitno, 2020).

Kualitas dari suatu produk perikanan dilihat dari kesegarannya. Kesegaran dapat dipertahankan apabila ditangani dengan tepat, cepat, dan bersih (Wibowo *et al.*, 2014). Hasil perikanan dikatakan segar apabila memiliki kondisi yang masih sama dengan ketika masih hidup, seperti bau, tekstur, dan bentuk (Nurqaderianie *et al.*, 2016). Kualitas bahan pangan merupakan indikator yang menunjukkan kesehatan dan kelayakan dari bahan pangan. Terbatasnya informasi tentang kondisi dan asal makanan secara langsung mengakibatkan konsumen pada risiko *foodborne illness* (Yousefi *et al.*, 2019). Seiring perkembangan zaman, dikembangkan inovasi label cerdas atau *smart indicator* yang memberikan informasi *real time* tentang kondisi suatu bahan pangan yang dikemas. Bentuk secara umum *smart indicator* adalah berwujud label tipis yang diletakkan pada permukaan, sehingga dapat menampilkan perubahan warna sesuai kondisi aktualnya (Yusuf *et al.*, 2018). Pada pengembangannya, ditambahkan sensor warna sebagai indikator (Warsiki dan Putri, 2012). Indikator warna yang digunakan yaitu pigmen alami yang sensitif terhadap perubahan pH seperti betasianin (Jiang *et al.*, 2023).

Buah naga (*Hylocereus costaricensis*) adalah buah yang sering ditemukan dan dibudidayakan di Indonesia. Kulit buah naga merah merupakan 30% bagian buah yang jarang dimanfaatkan. Kulit buah naga merah kaya akan senyawa biologis khususnya betalain (Lira *et al.*, 2019). Zat warna yang termasuk ke dalam golongan betalain adalah betasianin yang memiliki sifat larut dalam air. Betasianin merupakan konjugat ammonium dari asam betalamat dengan siklo-DOPA dan memberikan warna pigmentasi merah-ungu pada buah dan sayuran (Ananda *et al.*, 2022). Pigmen ini memiliki efek biologis yaitu aktivitas antioksidan, antikanker, dan antiinflamasi. Betasianin dapat terdegradasi selama pengolahan dan penyimpanan.

Salah satu pemanfaatan betasianin adalah dengan mengekstrak untuk dimanfaatkan sebagai bahan dasar beragam pangan fungsional (Wisesa dan Widjanarko 2014) dan dapat dimanfaatkan

sebagai indikator titrasi asam basa pengganti fenoltalein indikator sintetis dalam penentuan suatu zat dalam larutan (Meganingtyas dan Alauhdin, 2021). Berdasarkan penelitian (Yao *et al.*, 2020) betasianin dari buah *cactus pears* (*Opuntia ficus-indica*) dapat digunakan sebagai indikator warna pada *smart packaging* untuk memantau kesegaran udang. Selain itu, juga pigmen alami lain seperti antosianin dari kubis merah digunakan untuk *smart indicator* dalam memantau kesegaran daging babi dan menunjukkan rentang warna merah-ungu menjadi biru ketika mengalami pembusukan (Liu *et al.*, 2021).

Berdasarkan informasi tersebut, dilakukan pengembangan label cerdas dengan penambahan ekstrak kulit buah naga merah sebagai indikator warna untuk memberikan informasi *real time* kepada konsumen lobster air tawar mengenai kondisi selama penyimpanan. Penelitian ini bertujuan menentukan konsentrasi ekstrak kulit buah naga terbaik yang mengandung pigmen betasianin sebagai indikator pada label cerdas kolorimetrik dalam memantau kesegaran lobster air tawar.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan utama penelitian ini adalah buah naga merah yang diperoleh dari toko buah Mamaizza di Cibanteng, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Kemudian kulit dipisahkan dari buah di Laboratorium Kimia Pangan, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, IPB University. Lobster air tawar (*Cherax quadricarinatus*) diperoleh dari Warwer Lobster, Kota Bogor, Jawa Barat. Lobster air tawar yang digunakan adalah yang berukuran 4–5 inci dengan umur berkisar 5–6 bulan. Bahan-bahan yang digunakan yaitu chitosan (Phy Edumedia, Indonesia), polivinil alkohol (PVA) (Sains Laboratory, Indonesia), etanol 96% (Merck, Jerman), NaOH (Merck, Jerman), HCl (Merck, Jerman), gliserol (*food grade*) (Nurra Gemilang, Indonesia), asam asetat glasial (Smart Lab, Indonesia), akuades, dan *trichloroacetic acid* (TCA) (Merck, Jerman).

Persiapan bahan baku dan ekstraksi kulit buah naga

Kulit buah naga merah dikupas dan dipisahkan terlebih dahulu dari daging buahnya. Bagian yang berwarna hijau dari kulit buah dihilangkan, lalu dipotong menjadi ukuran lebih kecil. Kulit buah yang telah dipreparasi, ditimbang sebanyak 100 g kemudian dicampurkan dengan 150 mL pelarut etanol 67% dengan perbandingan 3:7 (v/v) dan dihaluskan menggunakan *blender* (Viaris Multifunction DD-760, Indonesia) pada suhu ruang. Kulit buah naga yang telah halus dipindahkan ke dalam botol gelap ukuran

250 mL, dan dimaserasi selama 48 jam pada suhu alat *refrigerator*. Hasil dari maserasi disentrifuse menggunakan *centrifuge* 5810R (Eppendorf AG, Jerman), setelah itu disaring menggunakan kertas saring dan menggunakan corong Buchner serta *vacuum filter* (Butchi B-169, US) pada suhu ruang berdasarkan dari modifikasi penelitian Imawan *et al.* (2018). Hasil dari filtrasi disimpan pada *refrigerator* dan dihitung rendemen serta dilakukan karakterisasi pH dari pH 1-12 mengacu pada penelitian Yao *et al.* (2020).

Pembuatan film label cerdas kolorimetrik

Kitosan 2 g dilarutkan dengan asam asetat 1% (v/v) sebanyak 100 mL sampai homogen. PVA 2 g ditambahkan akuades 100 mL dan dipanaskan (90 °C; 30 menit). Larutan povinil alkohol (PVA) dan kitosan dikombinasikan dengan perbandingan 60:40 (100 mL). Sebanyak 1 mL gliserol dicampurkan ke dalam larutan PVA-kitosan dan selanjutnya variasi konsentrasi ekstrak kulit buah naga yang telah ditentukan ditambahkan yaitu 0, 15, 20, dan 25 mL. Masing-masing larutan dihomogenkan selama 10 menit dan setelah homogen dituangkan pada cetakan ukuran 21×16×2 cm. Larutan *film* dikeringkan menggunakan oven (24 jam; 40 °C). Pembuatan dan formulasi pembuatan *film* label didasarkan dari modifikasi penelitian Hidayati *et al.* (2021).

Analisis warna

Analisis warna dilakukan dengan pengambilan gambar secara visual menggunakan kamera Canon 1100D pada lingkungan yang terkontrol dengan mini studio. Analisis warna dilakukan menggunakan CIE L*, a*, dan b* dari piranti lunak *Adobe Photoshop CS6*. Parameter yang diukur yaitu L* (tingkat kecerahan) dari 0 (hitam) sampai 100 (putih), a* (tingkat kroma) antara -a* (hijau) dan +a* (merah) dan b* (*hue*) antara +b* (kuning) dan -b* (biru). Kemudian dihitung ΔE menggunakan Persamaan 1.

$$\Delta E = \sqrt{(L-L^*)^2 + (a-a^*)^2 + (b-b^*)^2} \dots\dots\dots (1)$$

Analisis ketebalan

Ketebalan *film* label diukur dengan ketelitian 0,001 mm menggunakan mikrometer. Pengukuran dilakukan di 5 titik posisi acak dan nilai ketebalan didapat dari nilai rata-rata pengukuran (Warkoyo *et al.*, 2014).

Kuat tarik dan elongasi

Kuat tarik dan elongasi film label cerdas dianalisis menggunakan alat mekanis (instron 2710-004, US). Tiga ulangan dari sampel film label cerdas setiap perlakuan dipotong ukuran 80×20 mm. Pengujian menggunakan alat uji mekanis, sampel ditarik de-

ngan beban yang ditentukan dan kecepatan konstan. Persen elongasi didapatkan dengan membandingkan selisih panjang awal dan pertambahan panjang dengan panjang awal film (ASTM, 2022).

$$\text{Kuat Tarik (MPa)} = \frac{\text{Tegangan maksimum (N)}}{\text{Luas penampang (mm)}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Elongasi (\%)} = \frac{\text{Panjang awal} - \text{Pertambahan panjang (mm)}}{\text{Panjang awal (mm)}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Water vapor permeability (WVP)

Sampel *film* yang akan diuji diletakkan pada bagian atas atau *cover* untuk menutupi cawan yang berisi 10 g silika gel. Cawan diletakkan di dalam *chamber* berisi larutan NaCl jenuh pada kondisi RH 75% ± 2 pada suhu 25 °C ±2. Uap air yang masuk ke dalam cawan melewati film label diserap oleh silika gel, sehingga bobot silika gel bertambah. Bobot cawan dicatat setiap 1 jam selama 8 jam. Nilai *water vapor permeability* (WVP) dapat dirumuskan dengan Persamaan 4 (didasarkan dari modifikasi penelitian Ismawati *et al.*, 2020):

$$\text{WVP} = \frac{\left(\frac{W}{t \cdot A}\right) \cdot T}{P (R1-R2)} \dots\dots\dots (4)$$

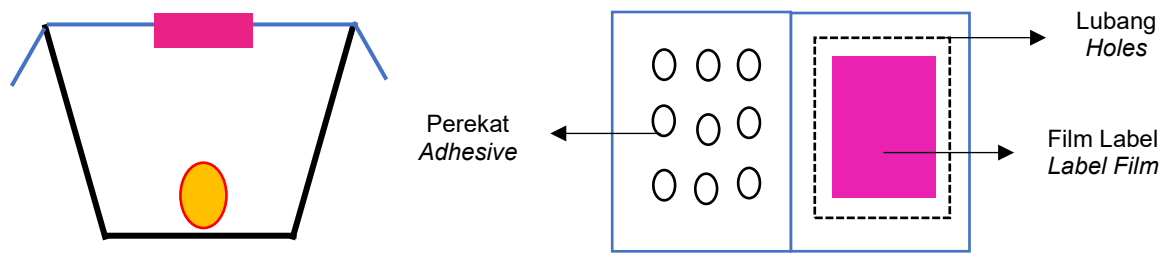
W merupakan pertambahan bobot, t adalah waktu, A adalah area dari film, T adalah ketebalan, P adalah tekanan uap air, R1 adalah kelembapan pada *chamber* (RH 75%), dan R2 adalah kelembapan pada cawan.

Uji sensitivitas amonia

Label cerdas ukuran 3×3 cm diletakkan pada *headspace* pada cawan petri yang sudah berisi larutan amonia (2 mol/L) sebanyak 15 mL. Perubahan warna pada label didokumentasikan dan diamati setiap 10 menit selama 60 menit (Yao *et al.*, 2020).

Pengaplikasian label cerdas kolorimetrik

Lobster air tawar dengan ukuran 4–5 inci dengan umur berkisar 5–6 bulan yang sudah dibersihkan, dibelah menjadi dua (bentuk *butterfly*) pada suhu ruang. Lobster air yang sudah bersih dikemas dan label dengan ukuran 3×3 cm ditempelkan pada plastik wrap (PE) yang menutupi cup plastik berisi lobster air tawar. Lobster disimpan pada suhu ruang selama 48 jam dan dilihat perubahan warna serta analisis kimia dan mikrobiologi setiap 12 jam (Qin *et al.*, 2020). Ilustrasi pengaplikasian label cerdas kolorimetrik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaplikasian label cerdas
Figure 1. Label application

Total volatile base nitrogen (TVBN)

Sampel 15 g ditempatkan di dalam gelas beaker, ditambahkan TCA 7% sebanyak 45 mL dan dihomogenkan dengan *homogenizer* selama 1 menit hingga tercampur rata. Larutan disaring menggunakan kertas saring kasar dan didapatkan filtrat. Bagian kiri cawan *conway* ditambahkan 1 mL filtrat. Bagian kanan cawan *conway* pada *outer chamber* ditambahkan 1 mL K₂CO₃. H₃BO₃ sebanyak 1 mL ditambahkan pada *inner chamber* cawan *conway*. Cawan ditutup rapat dan diinkubasi (2 jam; 35 °C). Larutan H₃BO₃ dititrasi dengan HCl 0,014 N di dalam *inner chamber* (AOAC, 1995). Kemudian titik titrasi dicatat dengan terbentuknya warna merah muda dan dilakukan perhitungan dengan Persamaan 5.

$$N \left(\text{mg} \frac{N}{100\text{g}} \right) = (j-i) \times N \text{ HCl} \times \frac{100}{\text{g contoh}} \times \frac{Fp}{1} \times 14.007 \text{ mg N}/100 \text{ g} \dots\dots\dots (5)$$

J merupakan mL titrasi sampel, i adalah mL titrasi blanko, N adalah normalitas larutan HCl, dan Fp adalah faktor pengenceran.

Total plate count (TPC)

Uji TPC pada sampel lobster air tawar mengacu pada BSN (2015). Sampel 25 g dimasukkan pada tabung reaksi steril. Larutan buffer fosfat (*Butterfield's phosphate buffered*) 225 mL ditambahkan dan dihomogenkan (2 menit). Larutan dengan pengenceran 10⁻¹ merupakan homogenat. Sebanyak 10 mL homogenat dipindahkan pada 90 mL larutan buffer fosfat (*Butterfield's phosphate buffered*) menggunakan pipet steril untuk pengenceran 10⁻³, 10⁻⁴, dan seterusnya. Setiap pengenceran dipipet sebanyak 1 mL pada cawan petri steril. Sampel di dalam cawan petri ditambahkan 12–15 mL *plate count agar* (PCA). Supaya tercampur sempurna, cawan diputar ke kiri kanan dan ke depan belakang. Cawan diposisikan terbalik dan diinkubasi pada inkubator (24 jam; 35 °C).

Uji pH

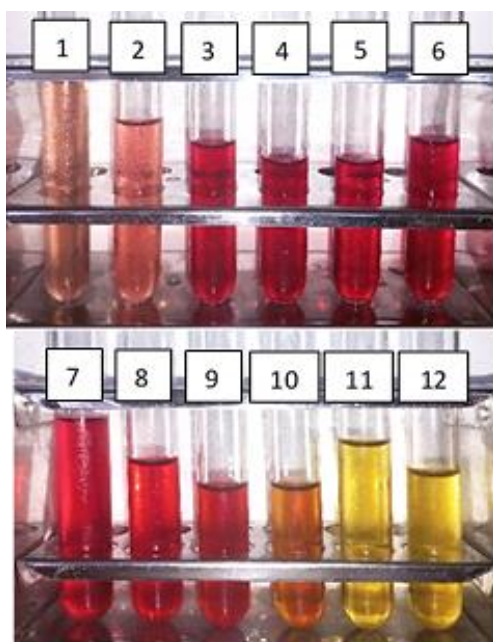
Sampel sebanyak 10 g dimasukkan ke dalam gelas beaker ukuran 50 mL atau menggunakan botol ipi. Kemudian ditambahkan 45 mL akuades dan dihomogenkan hingga tercampur merata. pH diukur menggunakan pH meter (Laqua PH 1100, Jepang) dengan mengkalibrasi terlebih dahulu. Selanjutnya dihitung nilai pH menggunakan pH meter dan dicatat nilai pH yang didapatkan (didasarkan dari modifikasi penelitian Suprayitno, 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstrak kulit buah naga

Metode yang digunakan untuk ekstraksi kulit buah naga merupakan metode maserasi. Maserasi adalah metode ekstraksi dingin yang optimal dalam mengeskrak pewarna alami betasianin yang tergolong dalam senyawa yang sangat sensitif terhadap panas (Sugiastawa *et al.*, 2021). Ekstrak cair kulit buah naga yang didapat sebesar 41,8% dengan pH 5,48. Hasil ekstraksi kulit buah naga merah dengan menggunakan etanol 30% lebih tinggi dibandingkan dengan ekstraksi menggunakan methanol 80% (Qin *et al.*, 2020).

Perubahan warna dari ekstrak kulit buah naga kondisi pH 1–2 (Gambar 2) diperlihatkan dengan warna ekstrak cenderung berwarna ungu pudar dibandingkan dengan warna awalnya. Pada pH 3–7 ekstrak kulit buah naga berwarna merah-violet dan cenderung lebih stabil. Seiring meningkatnya pH>7, ekstrak mengalami perubahan warna pada pH 8–9 menjadi cokelat kemerahan, pada pH 10 cokelat, dan pada pH 11 dan 12 kuning. Pigmen betasianin cenderung lebih stabil pada pH 3–7. Pada nilai pH di bawah 3, struktur dari betasianin berubah dari bentuk anionik (merah) menjadi kationik (ungu). Pada nilai pH diatas 7 terjadi hidrolisis ikatan aldimine betalain, sehingga terbentuk asam betalimat dan siklo-dopa-5-O-β-glukosida yang menyebabkan warna berubah menjadi kuning kecokelatan (Miguel, 2018).



Gambar 2. Perubahan warna betasianin pH 1–12
Figure 2. Betacyanin color change pH 1–12

Warna film label cerdas kolorimetrik

Label cerdas (Tabel 1) dengan konsentrasi ekstrak cair kulit buah naga sebesar 0, 15, 20, 25% (v/v) memberikan hasil warna label yang berbeda-beda. Konsentrasi ekstrak cair buah naga masing-masing dibuat berdasarkan total volume larutan PVA-kitosan serta gliserol pada pembuatan film label. Film label 0% adalah kontrol yang bersifat transparan dan tidak berwarna. Seiring meningkatnya konsentrasi ekstrak kulit buah naga pada film label, label semakin berwarna violet dan pekat secara bertahap. Semakin bertambahnya konsentrasi ekstrak betasianin buah naga, maka film akan berubah menjadi merah jambu dibandingkan dengan film kontrol (Qin *et al.*, 2020).

Nilai a^* , b^* , dan ΔE (Tabel 1) mengalami peningkatan seiring bertambahnya konsentrasi ekstrak kulit yang ditambahkan. Nilai L^* /kecerahan mengalami penurunan seiring peningkatan konsentrasi. Nilai L^* memiliki rentang dari 0 (hitam) sampai 100 (putih), nilai a^* mempunyai rentang dari -80 (hijau) sampai 100 (merah) dan nilai b^* mempunyai rentang -80 (biru) sampai 70 (kuning) (Zolfi *et al.*, 2014). Penambahan ekstrak buah naga pada film polisakarida/PVA meningkatkan nilai a^* secara positif menjadi warna merah dan meningkatkan nilai b^* menjadi kuning (Yao *et al.*, 2022).

Karakteristik fisik dan sifat mekanis film label cerdas

Sifat fisik dan sifat mekanis suatu film berhubungan dengan proses pembuatan, pencetakan, sifat, dan jenis bahan dari film yang digunakan dalam membentuk suatu film. Ketebalan film label cerdas

(Tabel 2) mengalami peningkatan yang tidak begitu signifikan setelah ditambahkan ekstrak kulit buah cccnaga. Ketebalan yang dihasilkan dari label cerdas ekstrak kulit buah naga antara 92–103 μm . Berdasarkan penelitian Liu *et al.* (2021), penambahan ekstrak kubis merah pada pembuatan film PVA/natrium karboksimetil selulosa (*sodium carboxymethyl cellulose*) meningkatkan secara linear ketebalan dari film kolorimetrik. Hal ini karena, ketebalan suatu film dipengaruhi oleh komposisi dari matriks film suatu kemasan (Noshirvani *et al.*, 2017).





Kuat tarik film label cerdas seiring penambahan dan naiknya konsentrasi ekstrak kulit buah naga merah mengalami penurunan (Tabel 2). Kuat tarik yang dihasilkan antara 3,0–6,1 MPa. Sifat mekanik menurun disebabkan karena hancurnya jaringan polimer yang disebabkan oleh kandungan pigmen yang berlebihan (Zhang *et al.*, 2020).

Elongasi yang dihasilkan dari film label cerdas antara 79,3–125,1% (Tabel 2). Seiring naiknya konsentrasi ekstrak kulit buah naga yang ditambahkan pada larutan film polivinil alkohol dan kitosan, persen elongasi mengalami penurunan. Peningkatan dan penurunan persen elongasi berhubungan dengan bertambah atau berkurangnya interaksi antar molekul antara molekul bahan film dengan ekstrak yang ditambahkan, sehingga dapat meningkatkan atau menurunkan mobilitas rantai dan elastisitas film (Jamróz *et al.*, 2019). Perbedaan nilai elongasi dan kuat tarik antara semua jenis film berhubungan dengan betasianin yang berbeda komposisi dan kandungan di dalam ekstrak (Aparicio-fernandez *et al.*, 2017).

Water vapor permeability (WVP)/permeabilitas uap air dari film label cerdas mengalami penurunan dengan penambahan ekstrak kulit buah naga pada larutan film. Menurunnya nilai permeabilitas uap air dari film disebabkan ekstrak kulit buah naga mampu membentuk interaksi antar molekul yang kuat dengan matriks film, sehingga membatasi interaksi antara uap air dan matriks film (Wang *et al.*, 2019). Seiring naiknya konsentrasi ekstrak kulit buah naga, permeabilitas uap air mengalami peningkatan (Tabel 2). Label cerdas konsentrasi 15% mempunyai nilai permeabilitas uap air terendah sebesar $4,3 \times 10^{-11} \text{ g s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ dibandingkan perlakuan yang lain.

Peningkatan permeabilitas uap air disebabkan kekompakan film secara bertahap menurun seiring dengan bertambahnya ekstrak yang ditambahkan. Faktor yang memengaruhi permeabilitas uap air dari film adalah ketebalan, integritas matriks 14.007 mg N/100 g, dan interaksi antara gugus fungsi komponen film (Iahnke *et al.*, 2016). Berdasarkan keempat perlakuan yang dianalisis, sampel 15% memberikan hasil terbaik berdasarkan hasil optimasi pada piranti lunak *Design Expert* (V13) dengan nilai *desirability* sebesar 0,716, tertinggi dibandingkan perlakuan lain.

Tabel 1. Warna label cerdas yang menggunakan ekstrak cair kulit buah naga sebesar 0, 15, 20, 25% (v/v)
 Table 1. Smart label color which uses liquid dragon fruit peel extract of 0, 15, 20, 25% (v/v)

Sampel (Samples)	Kenampakan (Visual)	L*	a*	b*	ΔE
Kontrol (Control)		78.6±2.9 ^a	0.6±0.9 ^d	1.8±1.1 ^a	14.9±2.9 ^d
15%		73.4±1.1 ^b	11.2±2.9 ^c	2.4±0.9 ^a	23.6±2.1 ^c
20%		69.2±0.8 ^b	21.2±2.3 ^b	2.8±0.8 ^a	33.0±1.8 ^b
25%		63.4±3.4 ^c	28.0±2.1 ^a	3.0±1.2 ^a	41.9±2.7 ^a

Keterangan: Data yang ditunjukkan merupakan nilai rata-rata±standar deviasi (n= 3). Perbedaan huruf pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf signifikansi 5%. L*= tingkat keterangn antara hitam dan putih), a*= tingkat kroma antara hijau dan merah, b*= Tingkat kroma antara biru dan kuning, ΔE= total perbedaan warna
 Note: Values are means±standard deviation of triplicate determination (n= 3). Different notations are significantly different (p<0.05). L*= chroma level between black and white, a*= chroma level between green and red, b*= chroma level between blue and yellow, ΔE= total color difference

Tabel 2. Sifat fisik dan mekanis label cerdas
 Table 2. Physical and mechanical properties of smart label

Sampel (Samples)	Ketebalan (μm) (Thickness (μm))	Kuat Tarik (MPa) (Tensile Strength (MPa))	Elongasi (%) (Elongation (%))	Permeabilitas Uap Air (x10 ⁻¹⁰ g s ⁻¹ m ⁻¹ Pa ⁻¹) (Water Vapor Permeability (x10 ⁻¹⁰ g s ⁻¹ m ⁻¹ Pa ⁻¹))	Desirability
Kontrol (Control)	92±0.004 ^b	6.1±0.22 ^a	125.1±12.9 ^a	6.6±0.16 ^a	0.424
15%	101±0.002 ^{ab}	4.4±0.15 ^b	118.6±8.9 ^a	4.3±0.29 ^b	0.716 <i>selected</i>
20%	101±0.002 ^a	4.0±0.18 ^b	79.3±2.1 ^b	5.1±0.27 ^c	0.467
25%	103±0.003 ^a	3.0±0.18 ^c	105.7±9.5 ^a	6.1±0.04 ^a	0.437

Keterangan: Data yang ditunjukkan merupakan nilai rata-rata±standar deviasi (n=3). Perbedaan huruf pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf signifikansi 5%
 Note: Values are means±standard deviation of triplicate determination (n= 3). Different notations are significantly different (p<0.05)

Sensitivitas label cerdas terhadap amonia

Film label cerdas povilinin alkohol dan kitosan dengan ekstrak kulit buah naga konsentrasi 15, 20, dan 25% (Tabel 3) memperlihatkan perubahan warna yang signifikan dalam waktu setiap 10 menit, warna merah-ungu memudar dan berubah menjadi warna kuning. Setiap peningkatan 10 menit paparan amonia, nilai a* label pada penelitian ini mengalami penurunan dan nilai b* mengalami peningkatan. Nilai a* berkaitan dengan warna merah, apabila nilainya semakin meningkat maka warna semakin merah. Nilai b* semakin meningkat menunjukkan warna semakin kuning. Perubahan warna disebabkan karena NH₃ yang mudah menguap bergabung dan bertemu dengan H₂O yang terkandung di dalam film, menghasilkan ion NH₄⁺ dan OH⁻ (Zhai et al., 2017). Amonia dapat berdifusi masuk ke dalam film dan selanjutnya dihidrolisis menjadi ion hidroksil, sehing-

ga menghasilkan lingkungan basa di dalam film (Zhang et al., 2019).

Nilai L* (Tabel 4) dari ketiga sampel 15, 20, dan 25% menunjukkan peningkatan selama uji amonia, hal ini menggambarkan bahwa kecerahan film semakin tinggi. Nilai ΔE untuk semua perlakuan label cerdas menjelaskan perubahan warna yang dapat dilihat secara kasat mata oleh mata manusia. Pada nilai ΔE >5, perubahan warna dapat dengan mudah terdeteksi oleh mata manusia. Sementara itu, perbedaan warna terlihat nyata mungkin dapat terlihat oleh panelis yang tidak terlatih apabila nilai ΔE >12 (Ma et al., 2017). Semakin tinggi konsentrasi ekstrak dan betasianin di dalam film menunjukkan perubahan warna yang signifikan pada label dari ungu menjadi kuning (Yao et al., 2020).

Tabel 3. Sensitivitas label cerdas terhadap amonia
 Table 3. Sensitivity of smart label to ammonia

Sampel (Samples)	Waktu (Menit) Time (Minutes)						
	0	10	20	30	40	50	60
15%							
20%							
25%							

Tabel 4. Nilai Lab dan ΔE sensitivitas label cerdas terhadap amonia 15, 20, dan 25%
 Table 4. Lab and ΔE values of smart label sensitivity to ammonia 15, 20, and 25%

Waktu (Menit) Time (Minutes)	L*	a*	b*	ΔE
Amonia 15% (15% ammonia)				
0	77.40±4.28 ^c	12.60±1.81 ^a	-2.60±0.55 ^f	21.04±4.14 ^a
10	84.60±2.41 ^{ab}	6.20±0.84 ^b	2.40±0.55 ^e	11.95±1.45 ^{bc}
20	81.60±1.14 ^{bc}	4.40±1.14 ^b	4.40±0.55 ^d	13.98±0.85 ^{bc}
30	84.80±0.92 ^{ab}	1.60±0.55 ^c	6.20±0.45 ^c	11.49±1.26 ^{bc}
40	87.20±1.64 ^a	1.00±1.00 ^c	7.40±0.55 ^c	10.68±1.09 ^c
50	84.80±3.35 ^{ab}	-1.40±0.55 ^d	11.20±1.64 ^b	15.02±2.74 ^b
60	83.20±0.83 ^{ab}	-3.40±0.55 ^d	18.00±1.23 ^a	21.67±0.64 ^a
Amonia 20% (20% ammonia)				
0	66.20±1.92 ^d	23.00±2.35 ^a	-7.40±3.13 ^a	36.90±1.38 ^a
10	72.60±5.46 ^{1c}	15.40±1.81 ^b	1.40±0.89 ^b	26.78±3.77 ^b
20	74.60±1.82 ^{bc}	9.80±0.83 ^c	3.40±2.07 ^{bc}	22.06±2.03 ^{bc}
30	71.80±3.27 ^{cd}	7.40±0.89 ^c	8.00±2.00 ^{cd}	24.84±2.66 ^{bc}
40	75.20±0.84 ^{abc}	3.00±1.00 ^d	10.80±3.03 ^{de}	22.07±1.41 ^{bc}
50	79.20±3.42 ^{ab}	0.20±0.84 ^e	15.00±2.35 ^e	21.57±2.13 ^c
60	81.20±2.28 ^a	-2.20±0.84 ^e	21.00±1.87 ^f	25.19±2.31 ^{bc}
Amonia 25% (25% ammonia)				
0	63.80±3.35 ^c	32.00±1.41 ^a	-4.00±1.23 ^f	44.42±2.81 ^a
10	59.40±3.36 ^c	27.00±2.92 ^b	-0.80±1.30 ^{ef}	43.97±4.22 ^a
20	72.20±1.48 ^b	16.40±3.05 ^c	2.60±0.55 ^{de}	27.68±1.86 ^c
30	78.20±1.48 ^a	7.80±1.48 ^c	4.80±0.84 ^d	18.44±1.39 ^d
40	78.20±1.48 ^a	4.20±1.30 ^d	13.60±2.51 ^c	21.79±0.57 ^{cd}
50	71.80±3.96 ^b	1.80±0.84 ^e	24.80±3.11 ^b	33.75±4.38 ^b
60	82.40±1.14 ^a	-1.80±0.84 ^e	34.40±3.21 ^a	37.10±3.18 ^b

Keterangan: Data yang ditunjukkan merupakan nilai rata-rata±standar deviasi (n= 3). Perbedaan huruf pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf signifikansi 5%. L*= tingkat keterangan antara hitam dan putih, a*= tingkat kroma antara hijau dan merah, b*= tingkat kroma antara biru dan kuning, ΔE= total perbedaan warna

Note: Values are means±standard deviation triplicate determination (n= 3). Different notations are significantly different (p<0.05). L*= chroma level between black and white, a*= chroma level between green and red, b*= chroma level between blue and yellow, ΔE= total color difference

Aplikasi label cerdas kolorimetrik

pH, total plate count (TPC), dan total volatile base nitrogen (TVBN) (Tabel 5) merupakan parameter yang sering digunakan dalam menentukan tingkat kesegaran dari produk pangan, salah satunya produk perikanan. Nilai pH (Tabel 5) mengalami peningkatan dari pH awal sebesar 6,79 menjadi 7,92 pada jam ke-48. pH awal dengan nilai 6,79 diperoleh ketika sampel lobster masih dalam kondisi segar dan dibersihkan dengan air mengalir, lalu dimatikan dengan membelahnya menjadi 2 bagian dari ujung kepala hingga

ekor menggunakan pisau steril. Nilai pengukuran pH awal demikian, karena lobster masih dalam fase *pre-rigor*, dan belum mengalami penurunan pH yang terjadi pada fase *rigor* akibat proses perubahan ATP menjadi ADP pada kondisi anaerob. Nilai TVBN juga mengalami peningkatan selama proses penyimpanan pada suhu ruang, dengan nilai TVBN jam ke-0 sebesar 4,45 mg/100 g menjadi 299,38 mg/100 g pada jam ke-48. Degradasi protein menjadi senyawa lebih sederhana terjadi selama penyimpanan akibat aktivitas mikrobiologis dan enzimatis.

Tabel 5. Kesegaran lobster air tawar dikemas dengan label cerdas

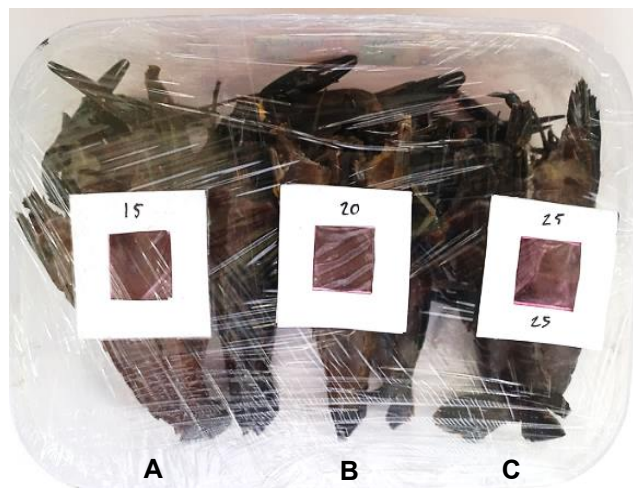
Table 5. Freshness of crayfish packaged with smart label

Waktu (Jam) / Time (Hours)	pH	TVBN (mg N/100 g)	TPC (Log CFU/g)
0	6.79±0.02 ^e	4.45±0.45 ^e	4.99±0.01 ^e
12	7.21±0.02 ^d	37.13±0.45 ^d	8.21±0.01 ^d
24	7.56±0.01 ^c	154.78±1.19 ^c	9.03±0.03 ^c
36	7.66±0.01 ^b	243.42±2.97 ^b	9.14±0.01 ^b
48	7.92±0.02 ^a	299.38±3.54 ^a	9.26±0.03 ^a

Keterangan: Data yang ditunjukkan merupakan nilai rata-rata±standar deviasi (n= 3). Perbedaan huruf pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf signifikansi 5%. TVBN= total volatile base nitrogen, TPC= total plate count

Note: Values are means±standard deviation of triplicate determination (n= 3). Different notations are significantly different (p<0.05). TVBN= total volatile base nitrogen, TPC= total plate count

Nilai pH dan TVB lobster air tawar mengalami peningkatan karena adanya senyawa basa volatil yaitu amonia dan trimetilamin. Penguraian protein terjadi selama penyimpanan, mengubah protein menjadi senyawa-senyawa basa. Proses terurainya protein terjadi karena adanya enzim proteolitik dan bantuan bakteri (Angela *et al.*, 2015). Label cerdas semua perlakuan (Gambar 3 dan Tabel 6) ketika proses pengaplikasian dengan kondisi tanpa sampel, secara visual tidak menunjukkan perubahan warna selama proses penyimpanan 48 jam. Dapat dikatakan bahwa perubahan warna dari label cerdas tidak diakibatkan oleh faktor lain seperti oksigen, kelembapan, dan cahaya, tetapi dari interaksi antara senyawa basa volatile yang dihasilkan oleh proses degradasi protein di dalam daging lobster dengan betasianin yang terkandung di dalam label cerdas.



Keterangan: Pengaplikasian pada lobster air tawar selama 48 jam pada suhu ruang. A= label cerdas ekstrak kulit buah naga merah 15% (v/v), B= label cerdas ekstrak kulit buah naga merah 20% (v/v), C= label cerdas ekstrak kulit buah naga merah 25% (v/v)

Note: Application to crayfish for 48 h at room temperature. A= smart label red dragon fruit peel extract 15% (v/v), B= smart label dragon fruit peel extract 20% (v/v), C= smart label dragon fruit peel extract 25% (v/v)

Gambar 3. Aplikasi label cerdas kolorimetrik
Figure 3. Colorimetric smart label application

Tabel 6. Aplikasi label cerdas kondisi kontrol tanpa sampel

Table 6. Application of smart label control conditions without samples

Waktu (Jam) / Time (Hour)	Perlakuan (Treatment)		
	15%	20%	25%
0			
12			
24			
36			
48			

Hasil nilai TPC mengalami peningkatan setiap 12 jam, pada jam ke-0 sebesar 4,99 log CFU/g menjadi 9,26 log CFU/g pada jam ke-48. Bakteri pembusuk pada lobster memanfaatkan senyawa basa volatil hasil degradasi protein untuk digunakan berkembang biak dan respirasi (Lestari *et al.*, 2020). Jumlah bakteri di dalam produk semakin meningkat dikarenakan kondisi lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan bakteri, sehingga bakteri berkembang biak dan tumbuh secara maksimal (Utami *et al.*, 2022).

Tabel 7 menunjukkan, seiring bertambahnya lama waktu penyimpanan, nilai TVBN lobster air tawar mengalami peningkatan yang signifikan dan berbeda nyata setiap 12 jam. Respon dari label cerdas juga menunjukkan perubahan warna dari merah-ungu menjadi kuning. Lobster air tawar jam ke-0 tergolong masih sangat segar dan masih dalam fase *pre-rigor* karena mempunyai nilai TVBN di bawah 10 mg N/100 g dan pH 6,79 dengan respon

label cerdas masih bewarna merah-ungu. Jam ke-12 hingga 48, lobster air tawar termasuk kategori tidak disarankan untuk dikonsumsi dan masuk pada fase *post rigor* dikarenakan mempunyai nilai TVBN diatas 30 mg N/100 g dan pH berturut-turut sekitar 7,21–7,92 dengan respon label cerdas mempunyai rentang warna ungu, coklat, dan kuning. Ikan dikatakan dalam kondisi dan kategori sangat segar jika memiliki nilai TVBN <10 mg N/100 g dan ikan dikatakan dalam kondisi segar jika memiliki nilai TVBN 10–20 mg N/100 g. Nilai TVBN >30 mg N/100 g ikan dikategorikan pada kondisi sudah busuk (Fadhli *et al.*, 2022). Penurunan kesegaran terdapat dalam tiga fase yaitu *pre-rigor*, *rigor mortis*, dan *post rigor mortis*. Nilai pH ketika ikan pada fase *pre-rigor* yaitu 6,9–7,2, ikan pada fase *rigor mortis* 6,2–6,6, dan ikan pada fase *post rigor mortis* yaitu 7,5–8,0. Ikan masih dalam kategori segar yaitu pada fase *pre-rigor* dan *rigor mortis* (Suprayitno, 2020). Senyawa basa volatil hasil degradasi protein akan menguap ke antara permukaan makanan dan bagian bawah pengemas (*head space*), sehingga seiring bertambahnya waktu penyimpanan, senyawa basa menjadi lebih padat dan diserap oleh *film* label cerdas yang menempel pada permukaan kemasan. Senyawa ini mengakibatkan peningkatan ion hidroksil di dalam *film*, sehingga terjadi proses deprotonisasi hidroksil mengubah

struktur betasianin dari warna warna merah-ungu menjadi coklat-kuning (Zhang *et al.*, 2020).

Hubungan antara parameter warna nilai a^* dan b^* dengan nilai TVBN (Tabel 8 dan Gambar 4) menunjukkan korelasi signifikan ($p < 0,05$) dengan TVBN. Nilai a^* ketiga perlakuan mempunyai korelasi negatif dengan TVBN. Seiring meningkatnya TVBN dan lama penyimpanan, nilai a^* menurun. Sebaliknya, nilai b^* mempunyai korelasi positif dengan TVBN karena semakin meningkatnya TVBN, nilai b^* juga semakin meningkat. Nilai a^* cenderung menurun menunjukkan warna berubah dari merah-ungu menjadi hijau. Nilai b^* cenderung meningkat menunjukkan perubahan warna dari biru menjadi kuning.

Nilai ΔE (Tabel 9) menunjukkan bahwa semua perlakuan label cerdas untuk perubahan warna yang dihasilkan selama proses penyimpanan dapat dilihat secara kasat mata. Ekstrak kulit buah naga merah paling cocok untuk memantau kesegaran karena mempunyai variasi warna $\Delta E > 5$ (Yao *et al.*, 2021). Korelasi antara nilai ΔE *film* label cerdas dengan TVBN lobster air tawar (Gambar 5) selama penyimpanan pada suhu ruang menunjukkan korelasi negatif yang kuat antara TVBN dengan ΔE *film* label cerdas semua perlakuan (15% R^2 : 0,6374; 20% R^2 : 0,6098; dan 25% R^2 : 0,6786).

Tabel 7. Tingkat kesegaran dan respon label cerdas pada aplikasi untuk lobster air tawar

Table 7. Freshness level and the smart label response in application to crayfish

Jam (Hours)	TVBN (mg N/100 g)	Tingkat Kesegaran (Freshness Level)	Sampel (Sample)		
			15%	20%	25%
0	4.45±0.45 ^e	Sangat segar (TVB <10 mg N/100 g) (Very fresh (TVB <10 mg N/100 g))			
12	37.13±0.45 ^d	Tidak layak konsumsi (>30 mg N/100 g) (Not suitable for consumption (>30 mg N/100 g))			
24	154.78±1.19 ^c	Tidak layak konsumsi (>30 mg N/100 g) (Not suitable for consumption (>30 mg N/100 g))			
36	243.42±2.97 ^b	Tidak layak konsumsi (>30 mg N/100 g) (Not suitable for consumption (>30 mg N/100 g))			
48	299.38±3.54 ^a	Tidak layak konsumsi (>30 mg N/100 g) (Not suitable for consumption (>30 mg N/100 g))			

Keterangan: TVBN= total volatile base nitrogen. Data yang ditunjukkan merupakan nilai rata-rata±standar deviasi (n= 3).

Perbedaan huruf pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf signifikansi 5%

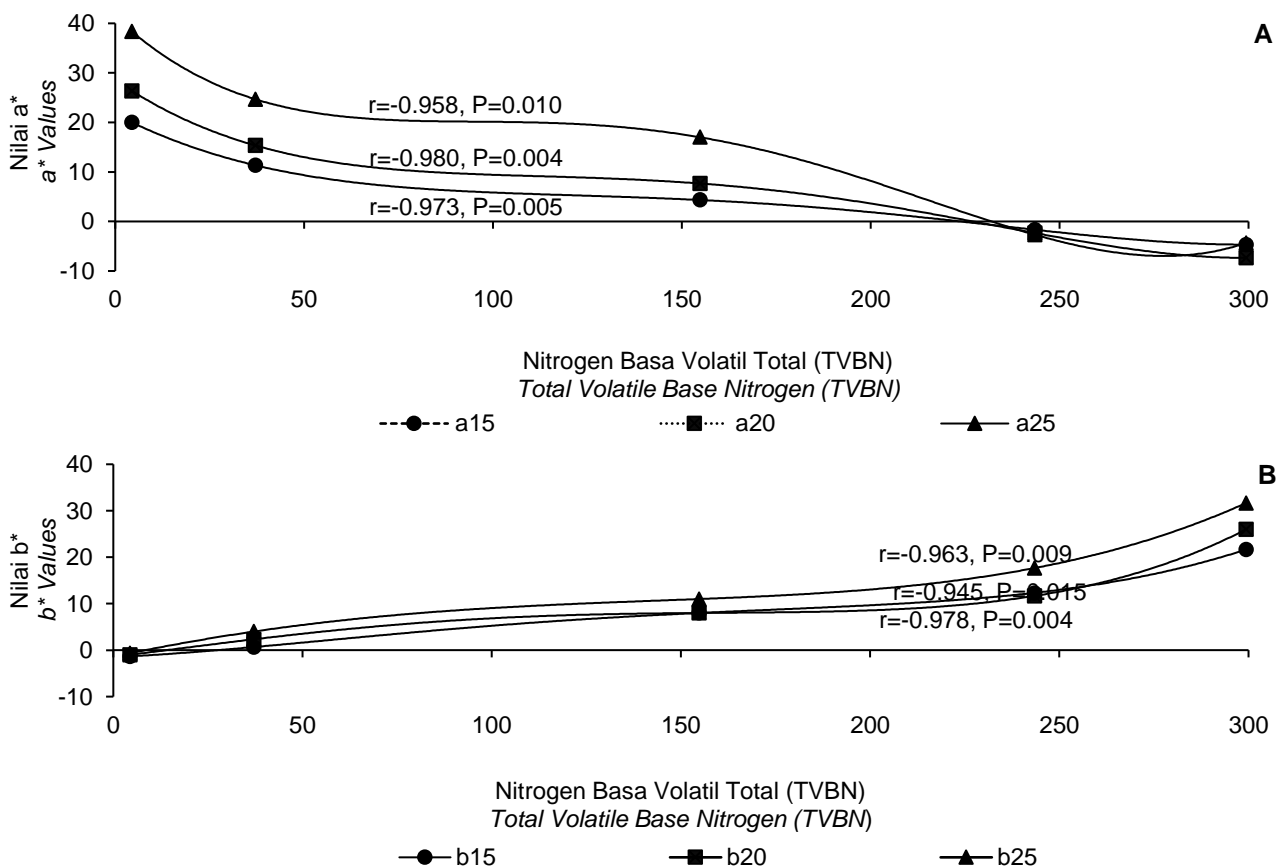
Note: TVBN= total volatile base nitrogen. Values are means±standard deviation of triplicate determination (n= 3). Different notations are significantly different ($p < 0.05$)

Tabel 8. Perubahan warna label cerdas pada aplikasi untuk lobster air tawar
 Table 8. Smart label color in application for crayfish

Jam (Hours)	15%	a*	b*	20%	a*	b*	25%	a*	b*
0		20.0 ^a ± 0.0	-1.3 ^d ± 0.6		26.3 ^a ± 1.5	-1.0 ^e ± 1.0		38.3 ^a ± 1.5	-0.7 ^d ± 0.6
12		11.3 ^b ± 1.2	0.7 ^d ± 1.2		15.3 ^b ± 0.6	-2.3 ^b ± 0.6		24.7 ^b ± 1.5	4.0 ^d ± 1.0
24		4.3 ^c ± 0.6	8.0 ^c ± 0.0		7.7 ^c ± 1.5	8.0 ^c ± 1.7		17.0 ^c ± 2.0	11.0 ^c ± 1.7
36		-1.7 ^d ± 0.6	12.3 ^b ± 1.2		-2.3 ^d ± 0.6	11.7 ^d ± 1.5		-2.7 ^d ± 1.2	17.7 ^b ± 0.6
48		-4.7 ^e ± 1.2	21.7 ^a ± 0.6		-7.3 ^e ± 1.5	26.0 ^e ± 1.0		-0.3 ^d ± 5.5	31.7 ^a ± 3.8

Keterangan: Data yang ditunjukkan merupakan nilai rata-rata ± standar deviasi (n= 3). Perbedaan huruf pada baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf signifikansi 5%. a* (tingkat kroma antara hijau dan merah), b* (Tingkat kroma antara biru dan kuning)

Note: Values are means ± standard deviation of triplicate determination (n= 3). Different notations are significantly different (p<0.05). a* (Chroma level between green and red), b* (Chroma level between blue and yellow)



Keterangan: Hubungan nilai a* dengan TVBN (A), Hubungan nilai b* dengan TVBN (B), r= korelasi pearson, P= p-value
 Note: Correlation between a* value and TVBN (A), Correlation between b* value and TVBN (B), r= pearson correlation, P= p-value

Gambar 4. Korelasi antara TVBN dengan nilai a dan b
 Figure 4. Correlation between TVBN and a and b

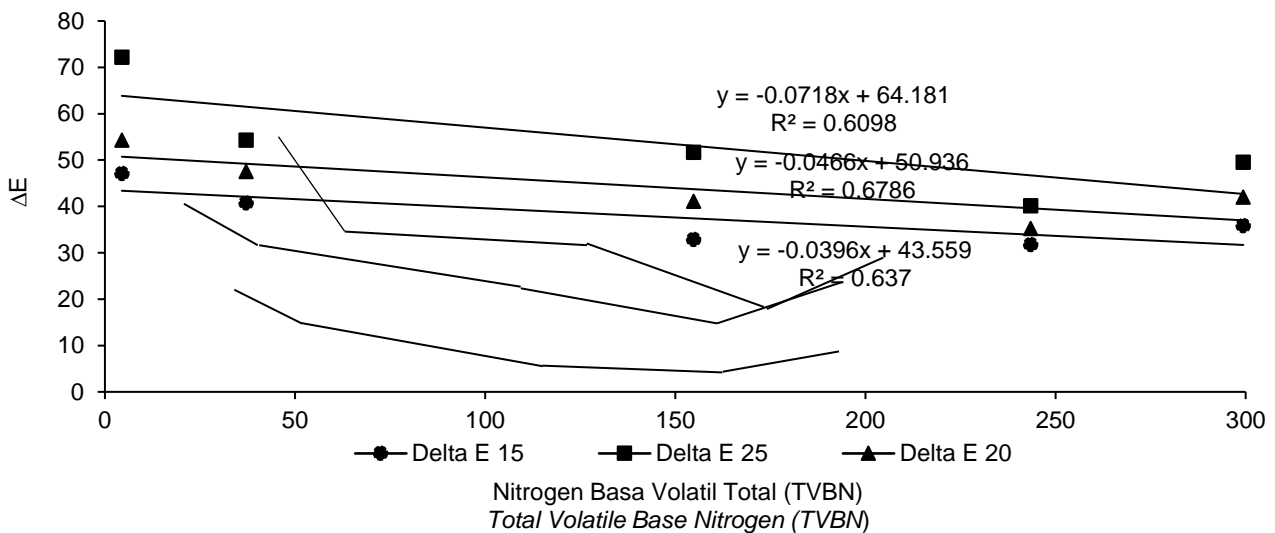
Tabel 9. Nilai ΔE aplikasi label cerdas untuk lobster air tawar

Table 9. ΔE value of smart label application for crayfish

Jam (Hours)	ΔE 15%	ΔE 20%	ΔE 25%
0	47.14±1.54 ^a	54.29±1.63 ^a	72.23±0.60 ^a
12	40.81±2.15 ^b	47.55±1.27 ^a	54.28±1.11 ^b
24	32.89±0.86 ^c	41.15±2.33 ^c	51.66±1.29 ^{bc}
36	31.80±1.445 ^c	35.24±1.59 ^d	40.16±0.86 ^d
48	35.85±1.99 ^c	42.04±1.93 ^c	49.53±2.39 ^c

Keterangan: ΔE= total perbedaan warna. Data yang ditunjukkan merupakan nilai rata-rata±standar deviasi (n= 3). Perbedaan huruf pada baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf signifikansi 5%. ΔE (total color difference)

Note: ΔE= total color difference. Values are means±standard deviation of triplicate determination (n= 3). Different notations are significantly different (p<0.05)



Keterangan: ΔE= total perbedaan atau variasi warna

Notes: ΔE= total difference or color variation

Gambar 5. Korelasi antara TVBN dengan ΔE

Figure 5. Correlation between TVBN and ΔE

KESIMPULAN

Pemanfaatan dan penambahan ekstrak kulit buah naga merah pada label cerdas kolorimetrik efektif dan dapat digunakan sebagai indikator warna dalam memantau kesegaran lobster air tawar. Hasil optimasi menggunakan piranti lunak *Design Expert* (V13), yakni label cerdas ekstrak kulit buah naga konsentrasi 15% dengan nilai ketebalan 101 mm, kuat tarik 4,4 MPa, Elongasi 118%, dan WVP $4,3 \times 10^{-10} \text{ g s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$. Berdasarkan analisis warna CIE L*, a*, b*, dan ΔE, label cerdas ekstrak kulit buah naga konsentrasi 15% menunjukkan variasi perubahan warna label cerdas dari warna awal merah-violet menjadi ungu, coklat, dan kuning selama pengujian sensitivitas amonia dan pengaplikasian untuk memantau kesegaran lobster air tawar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, R., & Azhar, M. (2022). Ekstraksi dan karakterisasi betasianin dari kulit buah naga merah (*Hylocereus sp.*). *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, 11(1), 1–4. <https://doi.org/10.24036/p.v11i1.113067>
- Angela, G. C., Mentang, F., & Sanger G. (2015). Kajian mutu ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*, L.) asap dari tempat pengasapan desa girian atas yang dikemas vakum dan non vakum selama penyimpanan dingin. *Media Teknologi Hasil Perikanan*, 3(2), 29–40. <https://doi.org/10.35800/mthp.3.2.2015.9219>
- Aparicio-fernández, X., Vega-ahuatzin, A., Ochoavelasco, C. E., & Cid-pérez, S. (2017). Physical and antioxidant characterization of edible films added with red prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) cv. San Martín Peel and/or its aqueous extracts. *Food and Bioprocess Technology*,

- 11(2), 368–379. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-2017-x>
- 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. <https://doi.org/10.14710/jitpi.2022.12694>
- Hidayati, N. A., Wijaya, M. W., Bintoro, V. P., Mulyani, S., & Pratama, Y. (2021). Development of biodegradable smart packaging from chitosan, polyvinyl alcohol (PVA) and butterfly pea flower's (*Clitoria ternatea* L.) anthocyanin extract. *Food Research*, 5(3), 307–314. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(3\).537](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(3).537)
- Iahnke, A. O. E. S., Costa, T. M. H., Rios, A. D. O., & Flores, S. H. (2016). Antioxidant films based on gelatin capsules and minimally processed beet root (*Beta vulgaris* L. var. *Conditiva*) residues. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(10), 43094. <https://doi.org/10.1002/app.43094>
- Imawan, C., Fitriana, R., Listyarini, A., Sholihah, W., & Pudjiastuti, W. (2018). Kertas label kolorimetrik dengan ekstrak ubi ungu sebagai indikator pada kemasan pintar untuk mendeteksi kesegaran susu. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 40(1), 25–32. <https://doi.org/10.24817/jkk.v40i1.3525>
- Ismawati, R. D., Putri, W. D. R., Murtini, E. S., & Purwoto, H. (2020). Edible film made of corn starch-carrageenan-rice bran: the characteristic of formula's viscosity, water content, and water vapor transmission rate. *Industria: Jurnal Teknologi Manajemen Agroindustri*, 9(3), 173–183. <https://doi.org/10.21776/ub.industria.2020.009.03.2>
- Jamróz, E., Kulawik, P., Guzik, P., & Duda, I. (2019). The verification of intelligent properties of furcellaran films with plant extracts on the stored fresh Atlantic mackerel during storage at 2 °C. *Food Hydrocolloids*, 97, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105211>
- Jiang, H., Zhang, W., Pu, Y., Chen, L., Cao, J., & Jiang, W. (2023). Development and characterization of a novel active and intelligent film based on pectin and betacyanins from peel waste of pitaya (*Hylocereus undatus*). *Food Chemistry*, 404, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134444>
- Lestari, S., Baehaki, A., & Rahmatullah, I. M. (2020). Pengaruh kondisi post mortem ikan patin (*Pangasius Djambal*) dengan kematian menggelepar yang disimpan pada suhu berbeda terhadap mutu filletnya. *Jurnal Fishtech*, 9(1), 34–44. <https://doi.org/10.36706/fishtech.v9i1.11005>
- Lira, S. M., Dionísio, A. P., Holanda, M. O., Marques, C. G., Silvestre, G., Correa, L. C., Batista, G., Santos, M., Antonio, F., & Abreu, P. D. (2019). Metabolic profile of pitaya [*Hylocereus polyrhizus* (F.A.C. Weber) Britton and Rose] by UPLC-QTOF-MSE and assessment of its toxicity and anxiolytic-like effect in adult zebrafish. *Food Research International*, 127, 108701. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108701>
- Liu, D., Cui, Z., Shang, M., & Zhong, Y. (2021). A colorimetric film based on polyvinyl alcohol/sodium carboxymethyl cellulose incorporated with red cabbage anthocyanin for monitoring pork freshness. *Food Packaging and Shelf Life*, 28, 100641. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.100641>
- Ma, Q., Ren, Y., Gu, Z., & Wang, L. (2017). Developing an intelligent film containing Vitis amurensis husk extracts: The effects of pH value of the film-forming solution. *Journal of Cleaner Production*, 166, 851–859. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.099>
- Meganingtyas, W., & Alauhdin, M. (2021). Ekstraksi antosianin dari kulit buah naga (*Hylocereus costaricensis*) dan pemanfaatannya sebagai indikator alami titrasi asam-basa. *Jurnal Agritech*, 41(3), 278–284. <https://doi.org/10.22146/agritech.52197>
- Miguel, M. G. (2018). Betalains in some species of the Amaranthaceae family: A review. *Antioxidants (Basel)*, 7(4), 53. <https://doi.org/10.3390/antiox7040053>
- Noshirvani, N., Hong, W., Ghanbarzadeh, B., Fasihi, H., & Montazami, R. (2017). Study of cellulose nanocrystal doped starch-polyvinyl alcohol bionanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 2065–2074. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.083>
- Nurqaderanie, A. S., Metusalach., & Fahrul. (2016). Tingkat kesegaran ikan kembung lelaki (*Rastrelliger kanagurta*) yang dijual eceran keliling di Kota Makassar. *Jurnal IPTEKS Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan*, 3(6), 528–543. <https://doi.org/10.20956/jipsp.v3i6.3062>
- Qin, Y., Liu, Y., Zhang, X., & Liu, J. (2020). Development of active and intelligent packaging by incorporating betalains from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel into starch/polyvinyl alcohol films. *Food Hydrocolloids*, 100, 105410. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105410>
- Santi, F., Hanisah., Hasri, I., & Putra, A. (2021). Pengaruh pemberian pakan tambahan yang berbeda terhadap pertumbuhan lobster air tawar (*Cherax quadricarinatus*). *Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(3), 586–593. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.005.03.11>

- Sugiastawa, I. M., Wartini, N. M., & Arnata, I. W. (2021). The effect of Initial pH and storage temperature on the stability of betacyanin dye extract from globe amaranth (*Gomphrena globosa* L.). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 9(4), 439–455. <https://doi.org/10.24843/JRMA.2021.v09.i04.p02>
- Suprayitno, E. (2020). Kajian kesegaran ikan di pasar tradisional dan modern Kota Malang. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 4(2), 289–295. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2020.004.02.13>
- Tanjung, L. R. (2013). Kandungan gizi dan nilai ekonomis pensi, tutut dan cherax dari Danau Maninjau. *Prosiding Seminar Nasional Riset Pangan, Obat-Obatan dan Lingkungan untuk Kesehatan*, 21–30.
- Taqwa, F. H., & Yulian, I. S. (2014). Pemanfaatan alang-alang segar sebagai media transportasi sistem kering induk lobster air tawar dengan waktu yang berbeda. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 17(3), 197–206.
- Utami, T. A., Munandar, A., & Surilayani, D. (2022). Analisis mutu fillet ikan lele (*Clarias sp.*) pada penyimpanan suhu chilling dan digoreng. *Media Teknol Has Perikan*, 10(1), 43–48. <https://doi.org/10.35800/mthp.10.1.2022.39783>
- Wang, X., Yong, H., Gao, L., Li, L., Jin, M., & Liu, J. (2019). Preparation and characterization of antioxidant and pH-sensitive films based on chitosan and black soybean seed coat extract. *Food Hydrocolloids*, 89, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.019>
- Warkoyo., Rahardjo, B., Marseno, D. W., & Karyadi, J. N. W. (2014). Sifat fisik, mekanik dan barrier edible film berbasis pati umbi kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*) yang diinkorporasi dengan kalium sorbat. *Agritech*, 34(1), 72–81. <https://doi.org/10.22146/agritech.9525>
- Warsiki, E., & Putri C. D. W. (2012). Pembuatan label/film indikator warna dengan pewarna alami dan sintetis. *Jurnal Agroindustri Indonesia*, 1(2), 82–87.
- Wibowo, I. R., Darmanto, Y., & Anggo, A. D. (2014). Pengaruh cara kematian dan tahapan penurunan kesegaran ikan terhadap kualitas pasta ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 3(3), 106–112.
- Wisesa, T. B., & Widjanarko, S. B. (2014). Maximum value determination of red dragon fruit peel extraction process. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 2(3), 88–97.
- Yao, X., Hu, H., Qin, Y., & Liu, J. (2020). Development of antioxidant, antimicrobial and ammonia-sensitive films based on quaternary ammonium chitosan, polyvinyl alcohol and betalains-rich cactus pears (*Opuntia ficus-indica*) extract. *Food Hydrocolloids*, 106, 105896. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105896>
- Yao, X., Liu, J., Hu, H., Yun, D., & Liu, J. (2022). Development and comparison of different polysaccharide/PVA-based active/intelligent packaging films containing red pitaya betacyanins. *Food Hydrocolloids*, 124, 107305. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107305>
- Yao, X., Qin, Y., Zhang, M., Zhang, J., Qian, C., & Liu, J. (2021). Development of active and smart packaging films based on starch, polyvinyl alcohol and betacyanins from different plant sources. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 358–368. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.152>
- Yousefi, H., Su, H. M., Imani, S. M., Alkhaldi, K., Filipe, C. D., & Didar, T. F. (2019). Intelligent food packaging: A review of smart sensing technologies for monitoring food quality. *ACS Sensors*, 4(4), 808–821. <https://doi.org/10.1021/acssensors.9b00440>
- Yusuf, M., Indriati, S., & Attahmid, N. F. U. (2018). Karakterisasi antosianin kubis merah sebagai indikator pada kemasan cerdas. *Jurnal Galung Tropika*, 7(1), 46–55. <https://doi.org/10.31850/jgt.v7i1.298>
- Zhai, X., Shi, J., Zou, X., Wang, S., Jiang, C., Zhang, J., Huang, X., Zhang, W., & Holmes, M. (2017). Novel colorimetric films based on starch/polyvinyl alcohol incorporated with roselle anthocyanins for fish freshness monitoring. *Food Hydrocolloids*, 69, 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.02.014>
- Zhang, J., Zou, X., Zhai, X., Huang, X. W., Jiang, C., & Holmes, M. (2019). Preparation of an intelligent pH film based on biodegradable polymers and roselle anthocyanins for monitoring pork freshness. *Food Chemistry*, 272, 306–312. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.041>
- Zhang, K., Huang, T. S., Yan, H., Hu, X., & Ren, T. (2020). Novel pH-sensitive films based on starch/polyvinyl alcohol and food anthocyanins as a visual indicator of shrimp deterioration. *International Journal Biological Macromolecules*, 145, 768–776. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.159>
- Zolfi, M., Khodaiyan, F., Mousavi, M., & Hashemi, M. (2014). The improvement of characteristics of biodegradable films made from kefiran-whey protein by nanoparticle incorporation. *Carbohydrate Polymers*, 109, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.018>