

KARAKTERISTIK SMART EDIBLE FILM PACKAGING BERBAHAN PEKTIN, EKSTRAK BUNGA ROSELA, SORBITOL, DAN TEPUNG CANGKANG TELUR AYAM

Characteristics of Smart Edible Film Packaging Made from Pectin, Roselle Flower Extract, Sorbitol, and Eggshell Powder

Eric Huggie Irawan, Erni Setijawaty, Adrianus Rulianto Utomo, Ignasius Radix A.P. Jati*

Program Studi Teknologi Pangan – Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Jl. Dinoyo 42-44 – Surabaya 60265

*Penulis Korespondensi, email : radix@ukwms.ac.id

Disubmit : 20 Februari 2024

Direvisi : 2 Agustus 2024

Diterima : 26 Desember 2024

ABSTRAK

Smart edible film packaging merupakan penggabungan antara *edible film* dengan *smart packaging*. Penelitian ini bertujuan mengembangkan *smart edible film packaging* dengan bahan komposit pektin, ekstrak bunga rosela, dan cangkang telur, serta menginvestigasi sifat fisikokimia akibat perbedaan konsentrasi ekstrak dan cangkang telur. Bunga rosela diekstrak dengan menggunakan air dengan perbandingan 1:30 dan 1: 15, sementara air saja digunakan sebagai kontrol. Sedangkan untuk perlakuan cangkang telur, konsentrasi yang ditambahkan sebesar 0,15% dan 0,3% (b/v). Formulasi tanpa cangkang telur (0%) digunakan sebagai kontrol. Rancangan penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok dua faktor yang terdiri dari tiga perlakuan konsentrasi ekstrak dan konsentrasi cangkang telur dengan masing-masing 3 ulangan. Hasil menunjukkan bahwa ekstrak bunga rosela yang ditambahkan berpengaruh nyata terhadap kandungan antosianin (0,04-6,39 mg cy-3-glu equivalent/100 g bahan), kandungan fenol (111,60-950,71 mg GAE/100 g bahan), aktivitas antioksidan (5,13-65,31% RSA), kuat tarik (0,89-8,36 N/mm²), persen pemanjangan (0,22-48,36%), dan laju transmisi uap air (128,6873-232,3983 g/hari/m²) *smart edible film packaging*. Sementara, terdapat perbedaan signifikan pada kuat tarik, persen pemanjangan, dan laju transmisi uap air yang diakibatkan oleh konsentrasi cangkang telur. Hasil analisis menunjukkan nilai WVTR, kuat tarik, dan persen pemanjangan dipengaruhi oleh interaksi kedua perlakuan. Pengujian pada model daging ayam kukus yang disimpan menunjukkan bahwa terjadi perubahan warna *smart edible film packaging* akibat perubahan tingkat kesegaran daging ayam.

Kata kunci: Antioksidan; Antosianin; Cangkang Telur; Rosela; *Smart Edible Packaging*

ABSTRACT

Smart edible film packaging is a combination of *edible film* and *smart packaging*. This research aims to develop *smart edible film packaging* with a composite material of pectin, roselle flower extract, and eggshell, as well as investigate the physicochemical properties due to differences in the concentration of the extract and eggshell. Roselle flowers were extracted using water in a ratio of 1:30 and 1:15, while water alone was used as a control. Meanwhile, for the eggshell treatment, the concentrations added were 0.15% and 0.3% (w/v). The formulation without eggshell (0%) was used as a control. The research design used a two-factor randomized block design consisting of three extract and eggshell concentration treatments with three replications each. The results showed that the added roselle flower extract had a significant effect on the anthocyanin content (0.04-6.39 mg cy-3-glu equivalent/100 g of material), phenol content (111.60-950.71 mg GAE/100 g of material), antioxidant activity (5.13-65.31% RSA), tensile strength (0.89-8.36

N/mm²), percent elongation (0.22-48.36%), and water vapor transmission rate (128.6873-232.3983 g/day/m²) of smart edible film packaging. Meanwhile, there were significant differences in tensile strength, percent elongation, and water vapor transmission rate caused by eggshell concentration. The analysis showed that the interaction between the two treatments influenced the WVTR, tensile strength, and percent elongation values. Tests on models of stored steamed chicken meat showed a change in the smart edible film packaging color due to changes in the freshness level of the chicken meat.

Keywords : Antioxidant; Anthocyanin; Eggshell; Roselle; Smart Edible Packaging

PENDAHULUAN

Smart edible film packaging merupakan penggabungan antara *smart packaging* dengan *edible film*. *Smart packaging* merupakan sistem pengemasan yang mengacu pada penambahan teknologi untuk memonitor kondisi bahan yang dikemas. Teknologi yang dipergunakan dapat berupa indikator, sensor, maupun pencatat data (Amin *et al.*, 2022). Indikator digunakan untuk merespon perubahan kualitas melalui perubahan suhu, waktu, kesegaran, gas, maupun warna. Sementara perubahan biologis dan mikrobiologi yang terjadi dapat dideteksi dengan alat yang berfungsi sebagai sensor. Sedangkan pencatat data berfungsi merekam asal usul produk untuk menghindari pemalsuan atau pencurian. Keberadaan indikator, sensor, dan pencatat data menjadikan kemasan menjadi *smart* yang berarti memiliki fungsi lebih untuk memberikan informasi tentang produk kepada konsumen (Azlim *et al.*, 2022).

Umumnya, bahan yang dapat dikemas adalah makanan, obat-obatan, dan bahan lainnya (Barbosa *et al.*, 2021). *Edible film* dikombinasikan dengan *smart packaging* sebagai inovasi baru dalam sistem pengemasan. Definisi *edible film* adalah lapisan tipis atau dapat disebut *film*. Sifat *edible* diperoleh dari bahan penyusunnya yang merupakan bahan pangan yang aman untuk dikonsumsi seperti hidrokoloid, lipid, dan campuran antara lipid dan hidrokoloid (Chhikara dan Kumar, 2022). Fungsi dari *edible film* adalah melindungi produk dari uap air, gas, cahaya, dan mikroorganisme yang berasal dari lingkungan, sehingga diharapkan mampu mempertahankan kualitas dari produk yang dikemas (Gaspar dan Braga, 2023). Keberadaan *smart edible film packaging* sangat penting untuk melindungi

konsumen sekaligus mengurangi permasalahan global limbah plastik. Pektin merupakan bahan potensial yang dapat dipergunakan dalam pembuatan *edible film*.

Pektin adalah polisakarida struktural pada dinding sel tumbuhan (Zhang dan Cai, 2023). Pektin dikenal sebagai makromolekul dengan berat molekul tinggi yang dapat diubah menjadi hidrogel dan membentuk jaringan rantai polimer yang fleksibel (Estrada-Girón *et al.*, 2020). Pektin dapat digunakan dalam pembuatan *edible film* karena mampu menjadi penghalang terhadap masuknya minyak, oksigen, karbon dioksida, dan senyawa volatil, mengurangi kerusakan fisik, mencegah terjadinya oksidasi, dan berperan sebagai penghambat tumbuhnya mikroba patogen maupun mikroba pembusuk sehingga dapat melindungi makanan (Go dan Song, 2020). Sumber pektin terutama berasal dari kulit buah-buahan (Karlan dan Rahmadhia, 2022).

Edible film dapat digunakan sebagai *edible packaging* dan selanjutnya dikembangkan menjadi *smart edible film packaging* dengan ditambahkan bahan aktif sebagai indikator penurunan kualitas bahan yang dikemas. Penelitian *smart edible film packaging* yang dilakukan menggunakan bahan aktif berupa *methyl red* dan *bromothymol blue* sebagai indikator adanya perubahan kualitas produk. Bahan aktif yang ditambahkan akan bereaksi terhadap perubahan yang terjadi pada produk yang dikemas (Yolanda *et al.*, 2020). Contoh bahan aktif yang dapat dipergunakan dalam pembuatan *edible film* adalah ekstrak bunga rosela (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) dan cangkang telur ayam.

Bunga rosela merupakan salah satu komoditas yang kaya akan senyawa antosianin (Maciel *et al.*, 2018). Antosianin adalah hasil metabolisme sekunder tumbuhan yang dapat berperan sebagai

pigmen warna alami. Antosianin memiliki sifat larut dalam air dan termasuk kedalam senyawa flavonoid. Pigmen warna antosianin memberikan warna merah hingga biru, di mana pigmen warna antosianin pada bunga rosela memberikan warna merah. Perubahan warna antosianin bergantung pada pH lingkungannya sehingga dapat dimanfaatkan sebagai indikator untuk mengetahui kerusakan pangan. Pada pH rendah, antosianin pada bunga rosela akan berwarna merah muda, sedangkan pada pH tinggi antosianin akan berwarna hijau (Khoo *et al.*, 2022).

Antosianin pada *smart edible film packaging* juga berperan sebagai antioksidan, sehingga mampu memperpanjang umur simpan makanan dengan cara memperlambat laju reaksi oksidasi dalam komponen makanan tersebut (Coelho *et al.*, 2021). Antioksidan akan bereaksi dengan radikal bebas sehingga menghambat terjadinya oksidasi pada makanan yang dikemas (Moghadam *et al.*, 2020). Selain bunga rosela, bahan aktif lain yang ditambahkan adalah cangkang telur ayam.

Telur yang banyak dikonsumsi menghasilkan limbah dalam jumlah banyak berupa cangkang telur. Cangkang telur memiliki komponen CaO sebagai salah satu bahan penyusunnya (Vonnice *et al.*, 2022). Kandungan CaO pada tepung cangkang telur memiliki sifat yang aktif dalam menangkap CO₂ (Nata *et al.*, 2020). Dalam produksi *edible film*, tepung cangkang telur ayam berperan sebagai *filler*. Hal ini dapat berpengaruh terhadap ketebalan yang dihasilkan.

Komposit dari bahan penyusun *edible film* bertanggungjawab terhadap karakteristik spesifiknya. Keberadaan ekstrak dengan kandungan antosianin yang memiliki gugus OH akan berinteraksi dengan pektin sehingga memperlebar jarak struktur dan mempengaruhi pemanjangan, sedangkan kalsium dari cangkang telur akan mempererat struktur matrik menjadi lebih kokoh (Jati *et al.*, 2024). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *smart edible film packaging* dengan bahan komposit pektin, ekstrak bunga rosela, dan cangkang telur, serta menginvestigasi sifat fisikokimia akibat perbedaan konsentrasi ekstrak dan cangkang

telur, serta menguji kemampuannya berperan merespon perubahan produk pangan yang dikemas.

METODE

Bahan

Sorbitol diperoleh dari supplier komersial di Surabaya. Bubuk pektin didapatkan dari Kota Surabaya secara online. Bahan aktif yang digunakan adalah ekstrak bunga rosela dan tepung cangkang telur ayam. Bunga rosela kering diperoleh dari Kota Surabaya yang dijual secara komersial. Tepung cangkang telur diperoleh dari Kota Depok yang dibeli secara online. Bahan yang digunakan untuk analisa terdiri atas akuades, KCl "Supelco", HCl "Honeywell", HCl pekat "Honeywell", asam galat "Honeywell", silica gel, larutan Na₂CO₃ "Merck", reagen Folin-Ciocalteu "Supelco", metanol "Supelco", larutan DPPH "Sigma Aldrich", NaCl jenuh "Merck", Na-asetat (CH₃COONa) "Merck", dan daging ayam kukus bagian dada.

Alat

Timbangan analitik "Ohaus", blender, gelas ukur 100 mL, mika plastik ukuran 6x25 cm dan 10x15 cm, stopwatch, termometer, corong, pengaduk, panci, sendok, piring, kompor, saringan, pipet ukur 1 mL, water jug 1L, botol coklat, refrigerator, bulb, dan kontainer gelap.

Rancangan Penelitian

Penelitian dirancang dengan Rancangan Acak Kelompok dua faktor dengan faktor berupa perbedaan konsentrasi ekstrak bunga rosela dan konsentrasi tepung cangkang telur. Setiap faktor terdiri dari tiga perlakuan yang diulang 3 (tiga). Total unit eksperimen sebanyak 27 (dua puluh tujuh) (Tabel 1).

Penyiapan Ekstrak Bunga Rosela

Bunga rosela kering dihancurkan menggunakan blender selama 1 menit. Selanjutnya dilakukan penambahan air panas dengan suhu 60°C dan diekstraksi menggunakan *shaking waterbath* selama 30 menit. Setelah itu dilakukan penyaringan dengan kertas saring (Whatman no 42).

Kemudian, filtrat yang dihasilkan dikumpulkan dan digunakan untuk pembuatan *smart edible film*.

Pembuatan Edible film

Ekstrak bunga rosela dipanaskan pada suhu 85°C dengan ditambahkan 1,5% bubuk pektin, tepung cangkang telur ayam, dan 1% sorbitol. Selanjutnya dilakukan pengadukan selama 15 menit. Pengadukan dilakukan di *waterbath* untuk

menjaga stabilitas suhu. Pencetakan dilakukan pada alat cetak berbahan mika berukuran 10 × 15 cm dengan cara penuangan larutan sebanyak 80 mL untuk setiap *film* yang diproduksi. Pengeringan dilakukan pada suhu 21±2°C dan RH 44±5% selama 72 jam. Selanjutnya dilakukan pelepasan *edible film* dan dilakukan penyimpanan pada kemasan yang kedap udara dan diberi silika gel. Formulasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Rancangan Penelitian

Konsentrasi Ekstrak Bunga Rosela	Konsentrasi Tepung Cangkang Telur Ayam % (b/v)		
	C ₁ (0/kontrol)	C ₂ (0,15)	C ₃ (0,30)
R ₁ (0/kontrol)	(R ₁ C ₁) ₁	(R ₁ C ₂) ₁	(R ₁ C ₃) ₁
	(R ₁ C ₁) ₂	(R ₁ C ₂) ₂	(R ₁ C ₃) ₂
	(R ₁ C ₁) ₃	(R ₁ C ₂) ₃	(R ₁ C ₃) ₃
R ₂ (1:30 b/v)	(R ₂ C ₁) ₁	(R ₂ C ₂) ₁	(R ₂ C ₃) ₁
	(R ₂ C ₁) ₂	(R ₂ C ₂) ₂	(R ₂ C ₃) ₂
	(R ₂ C ₁) ₃	(R ₂ C ₂) ₃	(R ₂ C ₃) ₃
R ₃ (1:15 b/v)	(R ₃ C ₁) ₁	(R ₃ C ₂) ₁	(R ₃ C ₃) ₁
	(R ₃ C ₁) ₂	(R ₃ C ₂) ₂	(R ₃ C ₃) ₂
	(R ₃ C ₁) ₃	(R ₃ C ₂) ₃	(R ₃ C ₃) ₃

Tabel 2. Formulasi pembuatan *edible film*

Bahan	Perlakuan								
	R ₁ C ₁	R ₁ C ₂	R ₁ C ₃	R ₂ C ₁	R ₂ C ₂	R ₂ C ₃	R ₃ C ₁	R ₃ C ₂	R ₃ C ₃
Pektin 1,5% (b/v) (g)*	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Sorbitol 1% (v/v) (mL)*	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Air (mL)	800	800	800	-	-	-	-	-	-
Ekstrak bunga rosela (mL)	-	-	-	800	800	800	800	800	800
Tepung cangkang telur (g)	-	1,2	2,4	-	1,2	2,4	-	1,2	2,4

Ekstraksi Sampel

Ekstraksi sampel dilakukan dengan penimbangan 1 g sampel yang telah dipotong menjadi potongan kecil, kemudian dilakukan penambahan 30 mL etanol ke dalam gelas beker. Selanjutnya dilakukan pendiaman dalam shaking *waterbath* selama 1 jam pada suhu 40°C dengan kecepatan 125 rpm, kemudian dilakukan penyaringan (*whatmann* no. 42). Filtrat yang diperoleh kemudian disimpan menggunakan botol coklat.

Analisa Total Fenol

Analisis total fenol mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Jati *et al.*

(2022). Tabung reaksi digunakan untuk mencampur 1 mL ekstrak dan 0,5 mL reagen Folin-Ciocalteu kemudian ditutup aluminium foil. Kemudian dilakukan pendiaman selama 8 menit dalam ruang gelap. Selanjutnya, 4,5 mL Na₂CO₃ 2% dimasukkan dalam tabung reaksi dan dihomogenkan menggunakan vortex selama 1 menit. Tabung reaksi disimpan selama 1 jam dalam kondisi gelap. Absorbansi larutan kemudian diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 765 nm. Hasil absorbansi diplot pada kurva standar dan *Total Phenolic Content* (TPC) sampel dinyatakan dalam mg ekuivalen asam galat ekuivalen/g

sampel (mg GAE/g sampel *smart edible film packaging*) dengan perhitungan menggunakan Persamaan (1).

$$TPC \left(\frac{\text{mg GAE}}{\text{g sampel}} \right) = \frac{\text{total fenol (ppm)}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{\text{sampel (mL)}}{\text{sampel (g)}} \times FP \dots\dots\dots (1)$$

Analisa Total Antosianin

Analisis total antosianin mengacu pada Jati *et al.* (2022). Dua tabung reaksi dipersiapkan dan masing-masing 1 mL ekstrak dimasukkan ke dalam tabung reaksi tersebut (tabung A dan B). Kemudian, 10 mL larutan buffer pH 1 dimasukkan ke dalam tabung A dan 10 mL larutan buffer pH 4,5 ke dalam tabung B. Campuran lalu dihomogenkan menggunakan vortex dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer. Panjang gelombang yang digunakan adalah 530 nm dan 700 nm. Perhitungan absorbansi sampel menggunakan Persamaan (2).

$$A = (A_{530 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 1,0} - (A_{530 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 4,5} \dots\dots\dots (2)$$

Selanjutnya, perhitungan total antosianin dengan menggunakan Persamaan (3).

$$\text{Total Antosianin} = \frac{A \times MW \times DF}{\epsilon \times l} \times \frac{\text{sampel (mL)}}{\text{sampel (g)}} \times 100 \text{ g} \dots\dots\dots (3)$$

- A = Absorbansi sampel
- MW = Berat molekul sianidin-3-glukosida (449,2 g / mol)
- DF = Faktor pengenceran
- ε = Absorptivitas molar sianidin-3-glukosida (26.900 L/mol.cm)
- l = Lebar kuvet (1 cm)

Analisa Aktivitas Antioksidan Metode DPPH

Dalam tabung reaksi ditambahkan 0,25 mL sampel, 0,5 mL 0,1 mM DPPH, dan 4 mL metanol. Selanjutnya, campuran dihomogenkan menggunakan vortex dan didiamkan dalam ruang gelap selama 30 menit. Spektrofotometer digunakan untuk mengukur absorbansi sampel pada panjang gelombang 517 nm. Persen *radical scavenging activity* (RSA) digunakan untuk menyatakan aktivitas antioksidan sampel dengan menggunakan Persamaan (4).

$$RSA (\%) = \frac{(\text{Abs. DPPH (kontrol)} - \text{Abs. sampel})}{\text{Abs. DPPH (kontrol)}} \times 100 \% \dots\dots\dots (4)$$

Analisa Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik menggunakan metode ASTM D882-18. Sampel yang diuji berbentuk strip panjang dengan lebar dan ketebalan sesuai standar, memiliki tepi-tepi yang sejajar, dan disimpan dalam kondisi yang sesuai sebelum pengujian (suhu dan kelembaban yang sesuai). Sampel *edible film* dipotong 145 × 10 mm. Selanjutnya, uji tarik dilakukan dengan menarik kedua ujung *smart edible film packaging* menggunakan grip dengan kecepatan dan jarak jepit tertentu hingga putus. Nilai uji kuat tarik film dinyatakan dalam tekanan per unit area (N/mm²).

Analisa Persen Pemanjangan

Pengujian persen pemanjangan (*elongation at break*) dilakukan dengan metode ASTM D-882. Preparasi sampel dilakukan dengan cara mengondisikan sampel dengan suhu 23±5°C dan RH 50±10% selama minimal 40 jam. Selanjutnya sampel dipotong (145 × 10 mm). Alat penjepit menarik sampel dengan kecepatan dan jarak sesuai yang dipersyaratkan. Hasil persen pemanjangan dihitung dengan cara membagi selisih antara panjang sampel saat putus (l1) dan panjang sampel awal diukur hingga batas pegangan (l0) dengan panjang sampel awal (l0).

Analisa Water Vapor Transmission Rate (WVTR)

Pengujian WVTR dilakukan dengan mengemas 10 g silica gel ke dalam gelas sloki, kemudian ditutup dengan rapat menggunakan sampel *smart edible film packaging*. Kemudian gelas sloki diletakkan ke dalam desikator berisi larutan NaCl jenuh. (RH = 75%) pada suhu 27±3°C. Dilakukan penimbangan silica gel setiap hari selama 5 hari. Nilai WVTR dihitung menggunakan Persamaan (5).

$$WVTR = \frac{\text{Slope kenaikan berat silica gel } \left(\frac{\text{g}}{\text{hari}} \right)}{\text{Luas permukaan mulut gelas sloki (m}^2\text{)}} \dots\dots\dots (5)$$

Pengujian Kemampuan sebagai *Smart Packaging* pada Model Daging Ayam Kukus

Pengujian kemampuan *edible film* sebagai *smart packaging* dilakukan dengan mengemas daging ayam bagian dada berukuran 2×2×2 cm yang telah dikukus selama 10 menit. Daging ayam kukus ditiriskan dan dimasukkan dalam wadah plastik berdiameter 7,5 cm dan tinggi 5 cm. selanjutnya wadah disimpan dalam tempat gelap selama 72 jam dan dilakukan pengamatan warna *smart edible film packaging* menggunakan *color reader* setiap 24 jam.

Analisa Data

Analisis statistik dilakukan menggunakan ANOVA ($\alpha = 5\%$). Apabila terdapat perbedaan signifikan, maka dilakukan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT). Analisis dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel versi 365.

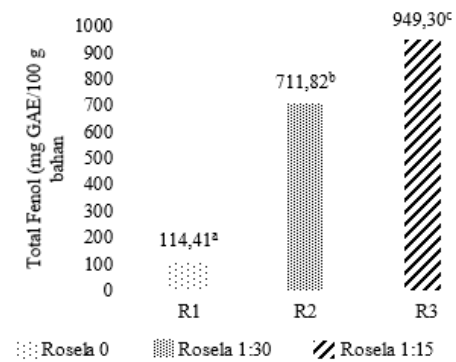
HASIL DAN PEMBAHASAN

Total Fenol *Smart Edible Film Packaging*

Pengujian total fenol bertujuan menginvestigasi kandungan fenol yang memiliki kemampuan untuk berperan sebagai antioksidan dan antimikroba. Total fenol rata-rata setiap perlakuan ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil analisis berkisar 111,60-950,71 mg GAE/100 g sampel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh penambahan ekstrak bunga rosela dengan konsentrasi yang berbeda terhadap total fenol *smart edible film packaging* berbasis pektin. Sementara, keberadaan tepung cangkang telur tidak memberikan kontribusi terhadap kadar fenol *smart edible film packaging* berbasis pektin.

Perlakuan kontrol tanpa penambahan ekstrak (R1) memiliki kandungan total fenol sebesar 111,60-116,49 mg GAE/100 g sampel *smart edible film packaging*. Hal ini diduga karena pektin sebagai bahan dasar pembuatan *smart edible film packaging* juga mengandung senyawa fenol. Berdasarkan hasil penelitian Kalse dan Swami (2022), kandungan senyawa fenol dalam pektin jeruk sebesar 30,7 mg GAE/g. Kandungan

fenol pada perlakuan dengan penambahan ekstrak bunga rosela (R2 dan R3) berkisar antara 708,49-950,71 mg GAE/100 g sampel *smart edible film packaging*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin rendah konsentrasi ekstrak bunga rosela yang ditambahkan, maka akan semakin rendah pula senyawa fenolik yang terdeteksi pada *smart edible film packaging*. Jumlah senyawa fenolik yang semakin rendah menyebabkan semakin sedikitnya keberadaan ion fenolat. Komponen ini berfungsi untuk mereduksi isi reagen Folin-Ciocalteu, yaitu *fosfomolibdat-fosfotungstat* sehingga berubah warna menjadi biru bernama kompleks *molybdenum-tungsten* sehingga intensitas warna biru yang dihasilkan akan semakin rendah (Tacias-Pascacio *et al.*, 2022).



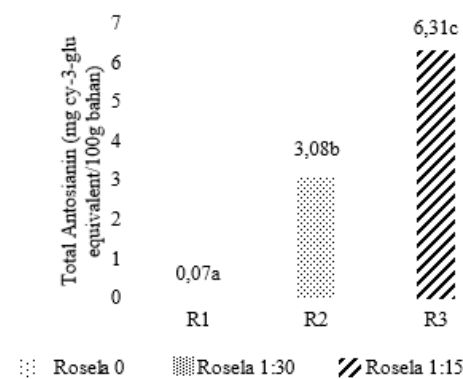
Gambar 1. Total fenol *smart edible film packaging*

Hasil ini didukung oleh penelitian Dordevic *et al.* (2021) yang melaporkan bahwa penambahan ekstrak anggur merah konsentrasi 5, 10, dan 20% pada *edible film* berbasis kitosan menghasilkan nilai total fenol berturut-turut sebesar 43; 72; dan 96 mg GAE/100 g. Penelitian lain oleh Sganzerla *et al.* (2021) melaporkan bahwa penambahan ekstrak buah blackberry dari 10% menjadi 50% pada pembuatan *edible film* berbasis dasar karboksimetil selulosa dapat meningkatkan total fenol dari 400,00 menjadi 1200,70 mg GAE/100 g *film*. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa keberadaan cangkang telur ayam tidak memberikan pengaruh pada total fenol, karena tepung cangkang telur ayam tidak mengandung senyawa fenol yang dapat berpengaruh terhadap total fenol *smart edible film packaging*.

Total Antosianin *Smart Edible Film Packaging*

Sifat *active* dan *intelligent* dari *smart edible film packaging* dipengaruhi oleh antosianin karena dapat memberikan perubahan warna akibat perubahan pH dari produk pangan yang dikemas. Hal ini disebabkan oleh antosianin peka terhadap perubahan pH. Pada pH rendah, antosianin pada bunga rosela akan berwarna merah muda, sedangkan pada pH tinggi antosianin akan berwarna hijau (Khoo *et al.*, 2022).

Gambar 2 menunjukkan grafik rata-rata total antosianin pada masing-masing perlakuan. Hasil pengujian menunjukkan kandungan antosianin berkisar 0,04-6,39 mg cy-3 glu/100g sampel. Hasil ANOVA ($\alpha=5\%$) menunjukkan bahwa keberadaan ekstrak bunga rosela secara nyata mempengaruhi total antosianin *smart edible film packaging* berbasis pektin. Sedangkan cangkang telur ayam dan interaksi kedua parameter tidak menunjukkan pengaruh nyata pada total antosianin *smart edible film packaging* berbasis pektin.



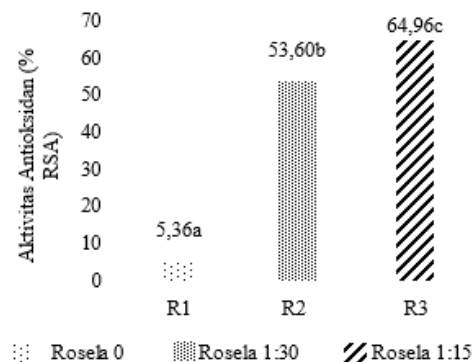
Gambar 2. Total antosianin *smart edible film packaging*

Hasil total antosianin yang diperoleh sebesar 3,05(R2) hingga 6,39(R3) mg cy-3 glu/100g sampel. Data penelitian pada Gambar 2 menunjukkan konsentrasi ekstrak bunga rosela yang semakin tinggi berkontribusi pada peningkatan total antosianin yang terkandung di dalam *smart edible film packaging*. Sampel R3 merupakan sampel dengan formulasi bunga rosela kering:air sebesar 1:15, yang menunjukkan konsentrasi yang semakin tinggi, sehingga semakin tinggi pula senyawa antosianin yang ada dalam sampel *smart edible film*

packaging. Hasil yang diperoleh sejalan dengan investigasi yang telah dilaporkan Rahmadhia *et al.* (2022) yang menguji total antosianin sampel *intelligent packaging* dengan bahan baku tepung tapioka dengan penambahan ekstrak ubi ungu sebesar 5%, 10%, dan 15%, di mana hasil peningkatan total antosianin sebesar 21,82; 43,42, dan 69,97 mg/100 g sampel. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa keberadaan tepung cangkang telur tidak berpengaruh secara signifikan pada parameter total antosianin. Namun, terdapat korelasi positif antara kadar total antosianin dengan total fenol karena antosianin merupakan senyawa turunan dari senyawa fenol, yaitu flavonoid.

Aktivitas Antioksidan *Smart Edible Film Packaging*

Pengujian aktivitas antioksidan dilakukan untuk mengetahui kemampuan komponen bioaktif yang terkandung dalam *smart edible film packaging* untuk berperan sebagai antioksidan. Aktivitas antioksidan akan berpengaruh terhadap kemampuan kemasan dalam mempertahankan kualitas dari produk yang dikemas. Gambar 3 menunjukkan grafik rata-rata total antioksidan setiap perlakuan.



Gambar 3. Aktivitas antioksidan *smart edible film packaging*

Hasil pengujian aktivitas antioksidan yakni sebesar 5,13 hingga 65,31 %RSA. Hasil pengujian ANOVA ($\alpha = 5\%$) menunjukkan keberadaan ekstrak bunga rosela berpengaruh nyata terhadap aktivitas antioksidan *smart edible film packaging* berbasis pektin. Sementara itu, keberadaan tepung cangkang telur ayam dan interaksi antar dua parameter tidak memberikan

pengaruh nyata pada aktivitas antioksidan *smart edible film packaging* berbasis pektin.

Berdasarkan Gambar 3, *smart edible film packaging* tanpa penambahan ekstrak bunga rosela didapatkan hasil aktivitas antioksidan sebesar 5,13-5,75% RSA. Adanya aktivitas antioksidan pada perlakuan tanpa penambahan ekstrak bunga rosela disebabkan oleh kandungan senyawa fenol pada pektin jeruk, di mana fenol dapat berperan sebagai antioksidan. Sampel R2 dan R3 menunjukkan aktivitas antioksidan sebesar 53,432-65,30% RSA. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi ekstrak bunga rosela kering yang ditambahkan pada formulasi, maka akan meningkatkan aktivitas antioksidan *smart edible film packaging*. Hasil ini didukung oleh penelitian Bhatia *et al.* (2023) yang menguji aktivitas antioksidan *edible film* berbahan kitosan dan alginat dengan penambahan ekstrak buah Ara. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan konsentrasi ekstrak buah ara dapat memperkuat aktivitas antioksidan.

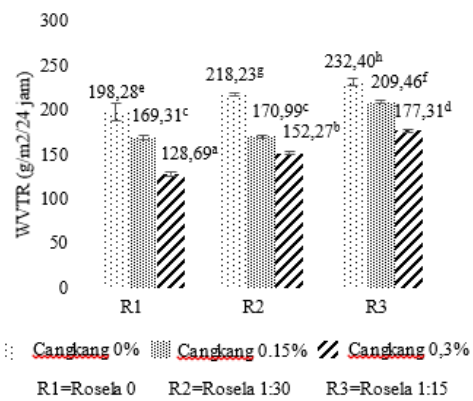
Terdapat korelasi positif antara aktivitas antioksidan sampel dengan total fenol dan total antosianin. Konsentrasi ekstrak bunga rosela yang tinggi akan menyumbangkan komponen bioaktif berupa fenol dan antosianin yang tinggi pada sampel, sehingga meningkatkan kemampuannya sebagai antioksidan. Kemampuan antioksidatif senyawa fenol diakibatkan oleh keberadaan gugus hidroksil. Gugus ini dapat mendonorkan hidrogen dan menstabilkan radikal bebas (Allegro *et al.*, 2021). Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa cangkang telur tidak memberikan pengaruh nyata pada aktivitas antioksidan sampel, karena tidak terdapat senyawa antioksidan di dalam tepung cangkang telur.

Water Vapor Transmission Rate (WVTR)

Water vapor transmission rate (WVTR) didefinisikan sebagai kemampuan suatu bahan atau lapisan dalam menahan uap air yang melewatinya. WVTR dihitung sebagai jumlah air yang mampu menembus suatu lapisan dibagi luas area per satuan waktu (Kiese *et al.*, 2019). Semakin rendah nilai WVTR menunjukkan bahwa kemasan

memiliki kualitas yang baik sehingga dapat menghambat kerusakan bahan pangan yang dikemas akibat transmisi uap air dan udara ke dalam kemasan.

Hasil pengujian sampel *smart edible film packaging* menunjukkan bahwa nilai WVTR berada pada range 128,6873-232,3983g/m²/24 jam. Hasil pengujian ANOVA ($\alpha = 5\%$) menunjukkan keberadaan ekstrak bunga rosela memberikan pengaruh nyata terhadap WVTR *smart edible film packaging* berbasis pektin, dan ada pengaruh penambahan tepung cangkang telur ayam dengan konsentrasi yang berbeda terhadap WVTR sampel. Gambar 4 menunjukkan rata-rata nilai WVTR masing-masing sampel perlakuan.



Gambar 4. WVTR *smart edible film packaging*

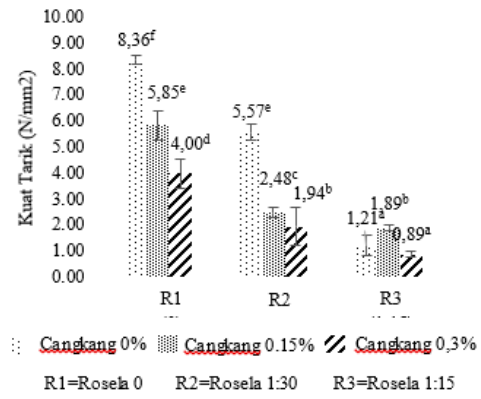
Konsentrasi ekstrak bunga rosela yang semakin meningkat berperan dalam meningkatkan nilai WVTR sampel. Hal ini berbanding terbalik dengan peningkatan konsentrasi tepung cangkang telur ayam yang akan menurunkan WVTR sampel. Perlakuan tanpa penambahan ekstrak bunga rosela (R1) memberikan nilai WVTR terkecil bila dibandingkan dengan R2 dan R3. Hal ini disebabkan kandungan senyawa fenol yang rendah. Penambahan ekstrak bunga rosela dengan perbandingan rosela:air sebesar 1:15 menghasilkan nilai WVTR tertinggi bila dibandingkan dengan R1 dan R3. Hasil ini juga didukung oleh penelitian Aydin dan Zorlu (2022), di mana peningkatan konsentrasi ekstrak bunga rosela pada formulasi pembuatan *edible film* berbasis alginat dan ekstrak bunga rosela akan meningkatkan nilai *Water Vapor Permeability* (WVP).

Perbedaan konsentrasi ekstrak bunga rosela berpengaruh terhadap nilai WVTR *smart edible film packaging*. Hal ini disebabkan oleh perbedaan total fenol yang terkandung didalam sampel. Senyawa fenol pada ekstrak bunga rosela memiliki gugus hidroksil yang mampu membentuk ikatan hidrogen didalam matriks *edible film*. Ikatan hidrogen yang terbentuk akan menghalangi terbentuknya ikatan hidrogen antarmolekul dalam pektin. Hal tersebut akan menyebabkan matriks film memiliki interaksi antarmolekul yang lemah (Kim *et al.*, 2018).

Keberadaan tepung cangkang telur akan membentuk ikatan silang antara gugus hidroksil (OH-) dari pektin dengan gugus Ca²⁺ dari tepung cangkang telur sehingga akan mengurangi sisi aktif untuk adsorpsi air serta menurunkan luasan ruang bebas diantara jaringan sehingga akan menghambat masuknya molekul air pada *smart edible film packaging* (Hamada *et al.*, 2020). Gambar 4 menunjukkan adanya interaksi antara kedua parameter terhadap nilai WVTR sampel. Hasil pengujian didapatkan nilai WVTR akan meningkat dengan meningkatnya ekstrak rosela dan semakin sedikitnya tepung cangkang telur pada formulasi *edible film*.

Kuat Tarik (Tensile Strength)

Kuat tarik didefinisikan sebagai kemampuan suatu material atau film untuk mempertahankan strukturnya dari tarikan maksimal sampai film mengalami deformasi (Scartazzini *et al.*, 2019). Hasil pengujian kuat tarik *smart edible film packaging* berkisar antara 0,89 hingga 8,36 N/mm². Berdasarkan Japanese Industrial Standard (JIS) (1975), nilai minimum kuat tarik *edible film* sebesar 0,39 MPa. Hal itu menunjukkan bahwa *edible film* pada penelitian ini memenuhi syarat karena nilainya lebih tinggi dari standar minimum JIS. Hasil pengujian ANOVA ($\alpha=5\%$) menunjukkan bahwa kuat tarik sampel dipengaruhi oleh keberadaan ekstrak rosela dan cangkang telur pada konsentrasi yang berbeda, serta ditemukan interaksi antara kedua parameter terhadap nilai kuat tarik. Gambar 5 menunjukkan rata-rata nilai kuat tarik masing-masing sampel.



Gambar 5. Kuat Tarik *smart edible film packaging*

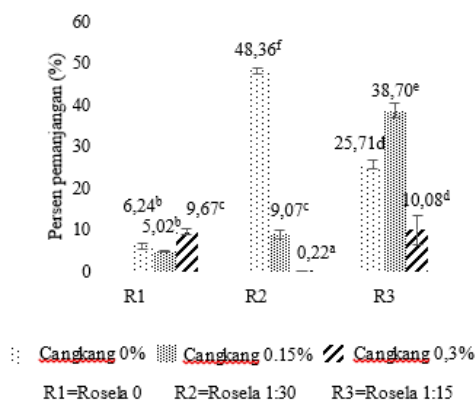
Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tarik akan menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak bunga rosela. Hal ini terjadi karena kandungan senyawa fenolik didalam ekstrak bunga rosela dapat membentuk ikatan hidrogen di dalam matriks *edible film*, sehingga dapat memperpanjang ikatan molekul di dalam pektin. Terganggunya susunan rantai matriks film dan melemahnya interaksi antarmolekul dalam film akibat penambahan bahan aktif menyebabkan menurunnya nilai kuat tarik *smart edible film*. Hasil ini didukung oleh penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Aydin dan Zorlu (2022) yang meneliti *edible film* berbahan dasar kitosan dengan penambahan ekstrak bunga rosela. Hasilnya menunjukkan penurunan kuat tarik dengan bertambahnya ekstrak rosela.

Gambar 5 juga menunjukkan bahwa keberadaan cangkang telur dengan konsentrasi yang semakin tinggi akan menurunkan nilai kuat tarik dari *edible film*. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nata *et al.* (2020), penambahan tepung cangkang telur bertujuan untuk matriks *filler* yang dapat membangun struktur *edible film*, sehingga dapat meningkatkan kekuatan dari *edible film*. Tetapi, penambahan tepung cangkang telur pada konsentrasi tertentu akan menyebabkan penurunan kuat tarik karena bahan pengisi yang terlalu banyak pada matriks mengakibatkan penurunan kelenturan dan elastisitas *edible film*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan ekstrak bunga rosela dan cangkang telur dengan

konsentrasi yang semakin tinggi akan menyebabkan menurunnya nilai kuat tarik.

Persen Pemanjangan (*Elongation*)

Persen pemanjangan didefinisikan sebagai kemampuan film untuk memanjang secara maksimum apabila dikenai tarikan hingga putus, selisih panjang ini kemudian dibandingkan dengan panjang awalnya (Bousi *et al.*, 2022). Nilai persen pemanjangan yang tinggi mencerminkan fleksibilitas sampel semakin tinggi. Hasil pengujian menunjukkan nilai *elongation at break* sebesar 0,22 hingga 48,36%. Hasil pengujian ANOVA ($\alpha=5\%$) menunjukkan bahwa ekstrak bunga rosela serta cangkang telur ayam yang ditambahkan dalam formulasi mempengaruhi persen pemanjangan *smart edible film packaging* berbasis pektin. Pengujian dilanjutkan dengan menggunakan uji DMRT ($\alpha=5\%$). Gambar 6 menunjukkan hasil rata-rata nilai persen pemanjangan untuk masing-masing sampel.



Gambar 6. Persen pemanjangan *smart edible film packaging*

Hasil pengujian persen pemanjangan pada *smart edible film packaging* menunjukkan bahwa pada perlakuan R1C1 didapatkan hasil persen pemanjangan sebesar 6,24%. Hasil pengujian R1C2 ini tidak berbeda nyata dengan R1C1. Persen pemanjangan pada R1C3 meningkat karena *edible film* yang dihasilkan lebih kuat dan tidak cepat putus akibat adanya jaringan struktur dengan keberadaan cangkang telur.

Perlakuan R2C1 memiliki hasil persen pemanjangan yang lebih tinggi bila dibandingkan R1C1 karena terdapat

penambahan ekstrak bunga rosela yang akan berpengaruh terhadap nilai persen pemanjangannya. Pada perlakuan R2C2 dan R2C3 didapatkan penurunan persen pemanjangan karena penambahan tepung cangkang telur akan menyebabkan *smart edible film packaging* menjadi lebih kaku dan mudah patah. Tren persen pemanjangan ini sesuai dengan penelitian terdahulu oleh Jiang *et al.* (2018) yang menunjukkan adanya penurunan persen pemanjangan *edible film* berbasis maizena yang diberi bubuk cangkang telur.

Pada perlakuan R3C1 didapatkan penurunan persen pemanjangan bila dibandingkan dengan R2C1. Hal ini karena penambahan ekstrak bunga rosela yang terlalu pekat akan menjadikan *smart edible film packaging* bersifat mudah robek. Ekstrak bunga rosela mengandung antosianin yang mampu berperan sebagai *plasticizer* yang dapat membentuk ikatan hidrogen antar polimer *smart edible film packaging* sehingga jarak ruang antar molekul meningkatkan mobilitas rantai biopolimer dan menurunkan kekakuan (Liang dan Wang, 2018).

Penambahan tepung cangkang telur ayam dengan konsentrasi 0,15% (R3C2) akan meningkatkan kekuatan dan kekakuan *smart edible film packaging*, sehingga akan meningkatkan nilai persen pemanjangannya. Namun, penambahan tepung cangkang telur yang terlalu banyak (R3C3) akan menyebabkan *smart edible film packaging* bersifat kaku dan mudah pecah saat ditarik, sehingga akan menurunkan nilai persen pemanjangannya. Tepung cangkang telur berperan menjadi *filler* yang selain berperan mengisi struktur juga keberadaan ion Ca^{2+} dapat membentuk jaringan yang mempengaruhi sifat mekanik dari *edible film* (Nata *et al.*, 2017).

Pengamatan Warna *Smart Edible Packaging*

Sifat *intelligent* yang dimiliki oleh *smart edible film packaging* adalah dengan menginformasikan kerusakan bahan yang dikemas melalui perubahan warnanya. Produk pangan yang mengalami kerusakan akan mengalami perubahan pH seiring lamanya waktu penyimpanan. Data hasil pengamatan warna *smart edible film packaging* masing-masing perlakuan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengamatan warna *smart edible film packaging*

Perlakuan	Hari	Parameter Warna					Warna
		L	a*	b*	C*	h	
R1C1	0	77,9±0,6	-0,7±0,2	-0,6±0,1	1,0±0,1	39,5±3,4	
	1	77,0±0,9	-0,1±0,4	0,0±0,3	0,8±0,6	37,9±16,2	
	2	78,5±1,3	0,1±0,4	0,1±0,2	0,5±0,5	36,8±15,7	
	3	78,4±0,3	0,2±0,1	0,4±0,3	0,5±0,3	60,2±13,8	
R1C2	0	78,8±1,4	0,6±0,1	1,1±0,2	0,5±1,3	59,5±8,0	
	1	74,4±1,4	0,4±0,2	1,4±0,1	0,6±1,4	74,3±5,5	
	2	75,6±0,5	0,2±0,1	2,3±0,3	0,4±3,2	83,9±2,9	
	3	76,1±1,1	0,2±0,0	3,4±0,6	1,0±3,9	86,4±0,6	
R1C3	0	76,8±1,2	0,6±0,2	1,2±0,4	-0,2±2,6	62,2±14,9	
	1	77,1±1,6	0,2±0,1	1,1±0,3	-0,4±2,4	76,4±11,6	
	2	77,0±0,7	0,4±0,2	2,6±0,2	0,5±3,3	82,3±4,0	
	3	77,4±0,8	0,3±0	2,4±0,5	0,3±3,2	83,8±1,4	
Perlakuan	Hari	Parameter Warna					Warna
		L	a*	b*	C*	h	
R2C1	0	40,6±1,0	38,8±0,4	7,8±0,2	39,5±0,3	11,4±0,3	
	1	39,9±1,4	33,3±0,4	4,1±0,2	34,1±1,0	7,1±0,4	
	2	44,1±1,4	28,1±0,1	1,8±0,5	31,8±6,4	3,7±1,0	
	3	44,2±1,1	27,9±0,1	0,3±0,2	30,9±5,2	0,5±0,3	
R2C2	0	42,4±0,2	25,6±0,3	4,7±0,2	25,7±0,2	10,4±0,3	
	1	38,9±0,4	24,0±0,3	2,3±0,1	25,0±1,7	5,5±0,3	
	2	39,6±1,1	20,2±0,3	0,6±0,3	22,4±3,9	1,6±0,8	
	3	43,3±1,3	21,9±0,9	1,8±0,8	23,0±1,1	4,7±1,9	
R2C3	0	45,8±0,6	26,5±1,1	3,4±0,1	23,7±4,0	7,2±0,3	
	1	42,0±1,7	23,0±0,6	3,1±0,1	20,4±4,8	7,6±0,1	
	2	39,1±2,6	21,9±0,3	2,8±0,3	20,4±2,7	7,4±0,7	
	3	40,6±0,8	21,4±0,3	1,8±0,7	21,0±1,0	4,8±1,9	
Perlakuan	Hari	Parameter Warna					Warna
		L	a*	b*	C*	h	
R3C1	0	38,4±1,4	50,0±0,1	8,8±0,1	48,8±3,6	10,0±0,1	
	1	40,6±0,8	46,5±0,6	8,1±0,4	44,8±4,0	9,9±0,4	
	2	39,5±0,7	41,0±0,4	6,1±0,3	40,9±1,1	8,5±0,4	
	3	39,2±1,2	31,4±0,9	2,6±0,3	35,1±5,9	4,7±0,5	
R3C2	0	38,0±0,8	42,6±0,8	8,7±0,1	42,0±2,3	11,6±0,1	
	1	38,9±1,4	42,9±0,5	5,3±0,2	41,3±3,8	7,0±0,4	
	2	34,5±1,0	34,3±0,4	3,9±0,2	33,3±1,8	6,5±0,3	
	3	35,7±1,9	30,1±2,0	1,4±0,3	26,9±4,2	2,7±0,4	
R3C3	0	34,9±1,1	36,5±0,2	8,8±0,5	36,8±1,1	13,6±0,7	
	1	34,5±1,3	29,3±0,2	4,8±0,3	29,8±0,4	9,3±0,4	
	2	34,5±1,0	34,3±0,4	3,9±0,2	33,3±1,8	6,5±0,3	
	3	35,7±1,9	30,1±2,0	1,4±0,3	26,9±4,2	2,7±0,4	

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai L*, a*, b* yang meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi bunga rosela. Hasil ini didukung oleh pengujian total fenol dan antosianin yang menunjukkan bahwa konsentrasi ekstrak bunga rosela yang semakin meningkat akan meningkatkan total fenol dan antosianinnya. Perlakuan R3C1 menghasilkan intensitas warna merah yang lebih kuat. Hal ini dibuktikan dengan nilai a* yang memiliki hasil paling tinggi bila

dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Nilai a* yang semakin besar menunjukkan intensitas warna yang semakin merah.

Antosianin merupakan senyawa yang sensitif terhadap perubahan pH, sehingga warnanya akan berubah tergantung pada pH medianya. Ketika berada pada kisaran pH 1-3, antosianin berwarna merah dan berbentuk kation flavium, sedangkan pada kisaran pH 4-6 antosianin tidak berwarna dalam bentuk

hemiketal/*pseudobase* (Barnes *et al.*, 2009). Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas warna merah yang semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu penyimpanan. Penurunan intensitas warna merah ditandai dengan menurunnya nilai L^* , a^* dan b^* .

Penurunan intensitas warna selama penyimpanan disebabkan oleh aktivitas mikroba pembusuk yang mendekomposisi protein menjadi komponen yang lebih sederhana yaitu polipeptida, serta proses deaminasi asam amino yang menghasilkan amonia yang bersifat basa, sehingga akan menyebabkan perubahan pH pada daging ayam kukus selama penyimpanan (Lee dan Shin, 2019).

Perbedaan warna antar perlakuan penambahan tepung cangkang telur juga dipengaruhi oleh pH dari tepung cangkang telur ayam yaitu 8,65. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi tepung cangkang telur pada *edible film*, intensitas warna merah pada sampel akan semakin menurun. Hal ini ditandai dengan menurunnya nilai L^* dan a^* pada pengujian dengan menggunakan *color reader*.

SIMPULAN

Penambahan ekstrak bunga rosela berpengaruh nyata terhadap sifat fisikokimia *edible film* seperti total antosianin dan kandungan fenol, kemampuan sebagai antioksidan, kuat tarik, persen pemanjangan, dan WVTR. Sementara itu, keberadaan tepung cangkang telur ayam mempengaruhi WVTR, kuat tarik, maupun persen pemanjangan, namun tidak menunjukkan pengaruh nyata pada kandungan fenol dan antosianin, serta kemampuan sampel sebagai antioksidan. *Smart edible film packaging* mengalami perubahan warna selama penyimpanan sehingga potensial sebagai indikator kerusakan bahan pangan yang dikemas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Fakultas Teknologi Pertanian dan Lembaga

Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya atas dukungan dana penelitian lewat skema Hibah Penelitian Dana Fakultas tahun 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Allegro, -G., Pastore, -C., Valentini, -G., Filippetti, -I., 2021. The evolution of phenolic compounds in *Vitis vinifera* L. red berries during ripening: analysis and role on wine sensory – A review. *Agronomy*. 11, 1-14. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050999>
- Amin, -U., Khan, M, K, -I., Maan, A, -A., Nazir, -A., Riaz, -S., Khan, M, -U., Sultan, -M., Munekata, P, E, -S., Lorenzo, J, -M., 2022. Biodegradable active, intelligent, and smart packaging materials for food applications. *Food Packaging and Shelf Life*. 33, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100903>
- Aydin, -G., Zorlu, E, -B., 2022. Characterisation and antibacterial properties of novel biodegradable films based on alginate and roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Waste Biomass Valor*. 13, 2991-3002. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01710-3>
- Azlim, N, -A., Nafchi, A, -M., Oladzabbasabadi, -N., Ariffin, -F., Ghalambor, -P., Jafarzadeh, -S., Al-Hassan, A, -A., 2022. Fabrication and characterization of a pH-sensitive intelligent film incorporating dragon fruit skin extract. *Food Science & Nutrition*. 10, 597-608. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2680>
- Barbosa, C, -H., Andrade, M, -A., Vilarinho, -F., Fernando, A, -L., Silva, A, -S., 2021. Active edible packaging. *Encyclopedia*. 1(2), 360-370. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1020030>
- Barnes, D, K, -A., Galgani, -F., Thompson, R, -C., Barlaz, -M., 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 364, 1-8. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Bhatia, -S., Al-Harrasi, -A., Shah, Y, -A., Jawad, -M., Al-Azri, M, -S., Ullah, -S., Anwer, M, -K., Aldawsari, M, -F., Koca, -E., Aydemir, L, -Y., 2023. Physicochemical characterization and antioxidant properties of chitosan and sodium alginate based films incorporated

- with ficus extract. *Polymers*. 15(5), 1-14.
<https://doi.org/10.3390/polym15051215>
- Bousi, -C., Sismanidou, O, -X., Marinopoulou, -A., Raphaelides, -S., 2022. Effect of sugar addition on the elongational and shearing deformation behavior of sesame paste systems. *LWT*. 153, 1-13.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112479>
- Chhikara, -S., Kumar, -D., 2022. Edible coating and edible film as food packaging material: A Review. *Journal of Packaging Technology and Research*. 6, 1-10.
<https://doi.org/10.1007/s41783-021-00129-w>
- Coelho, -M., Silva, -S., Costa, -E., Pereira, R, -N., Rodrigues, A, -S., Teixeira, J, -A., Pintado, -M., 2021. Anthocyanin recovery from grape by-products by combining ohmic heating with food-grade solvents: Phenolic composition, antioxidant, and antimicrobial properties. *Molecules*. 26(13), 1-17.
<https://doi.org/10.3390/molecules26133888>
- Dordevic, -S., Dordevic, -D., Sedlacek, -P., Kalina, -M., Tesikova, -K., Antonic, -B., Tremlova, -B., Tremel, -J., Nejezchlebova, -M., Vapenka, -L., Rajchl, -A., Bulakova, -M., 2021. Incorporation of natural blueberry, red grapes and parsley extract by-products into the production of chitosan edible films. *Polymers*. 13(9), 1-21.
<https://doi.org/10.3390/polym13193388>
- Estrada-Girón, -Y., Cabrera-Díaz, -E., Esparza-Merino, R, -M., del-Campo, A, -M., Valencia-Botín, A, -J., 2020. Innovative edible films and coatings based on red color pectin obtained from the byproducts of *Hibiscus sabdariffa* L. for strawberry preservation. *Food Measure*. 14, 3371-3380.
<https://doi.org/10.1007/s11694-020-00577-z>
- Gaspar, M, -C., Braga, M, E, -M., 2023. Edible films and coatings based on agrifood residues: A new trend in the food packaging research. *Current Opinion in Food Science*. 50, 1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101006>
- Go, E, -J., Song, K, -B., 2020. Development and characterization of *Citrus Junos* pomace pectin films incorporated with rambutan (*Nephelium Lappaceum*) peel extract. *Coatings*. 10(8), 1-15.
<https://doi.org/10.3390/coatings10080714>
- Hamada, H, -M., Tayeh, B, -A., Al-Attar, -A., Yahaya, F, -M., Muthusamy, -K., Humada, A, -M., 2020. The present state of the use of eggshell powder in concrete: A review. *Journal of Building Engineering*. 32, 1-13.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101583>
- Jati, I, R, A, -P., Darmaatmodjo, L, M, Y, -D., Suseno, T, I, -P., Ristiarini, -S., Wibowo, -C., 2022. Effect of processing on bioactive compounds, antioxidant activity, physicochemical, and sensory properties of orange sweet potato, red rice, and their application for flake products. *Plants*. 11(3), 1-16.
<https://doi.org/10.3390/plants11030440>
- Jati, I, R, A, -P., Elaine, -J., Setijawaty, -E., Utomo, A, -R., 2024. Development of bio-based smart edible food packaging using roselle flower extract and eggshell powder as active agents. *BIO Web of Conferences*. 98, 1-12.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/20249805001>
- Jiang, -B., Li, -S., Wu, -Y., Song, -J., Chen, -S., Li, -X., Sun, -H., 2018. Preparation and characterization of natural corn starch-based composite films reinforced by eggshell powder. *CyTA - Journal of Food*. 16(1), 1045-1054.
<https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1527783>
- Kalse, S, -B., Swami, S, -B., 2022. Recent application of jackfruit waste in food and material engineering: A review. *Food Bioscience*. 48, 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101740>
- Karlan, L, -S., Rahmadhia, S, -N., 2022. Physicochemical characteristics of baby java orange peel pectin (*Citrus sinensis*) and corn starch-based edible film with glycerol plasticizer. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 23, 119-128.
<https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2022.023.023>
- Khoo, H, -E., He, -X., Tang, -Y., Li, -Z., Li, -C., Zeng, -Y., Tang, -J., Sun, -J., 2022. Betacyanins and anthocyanins in pulp and peel of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus* cv. Jindu), inhibition of oxidative stress, lipid reducing, and cytotoxic effects. *Frontiers in Nutrition*. 9, 1-11.
<https://doi.org/10.3389/fnut.2022.894438>
- Kiese, -S., Kücükpınar, -E., Miesbauer, -O., Langowski, H, -C., 2019. Time-dependent water vapor permeation through multilayer barrier films: Empirical versus theoretical results. *Thin Solid Films*. 672, 199-205.
<https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.01.001>
- Kim, -S., Baek, S, -K., Song, K, -B., 2018. Physical and antioxidant properties of alginate films

- prepared from *Sargassum fulvellum* with black chokeberry extract. *Food Packaging and Shelf Life*. 18, 157-163. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.11.008>
- Lee, E., -J., Shin, H., -S., 2019. Development of a freshness indicator for monitoring the quality of beef during storage. *Food Science and Biotechnology*. 28, 1899-1906. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00633-5>
- Liang, -T., Wang, -L., 2018. Preparation and characterization of a novel edible film based on *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum: Effects of type and concentration of plasticizers. *Food Hydrocolloids*. 77, 502-508. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.028>
- Maciel, L, -G., do Carmo, M, A, -V., Azevedo, -L., Daguer, -H., Molognoni, -L., de Almeida, M, -M., Granato, -D., Rosso, N, -D., 2018. *Hibiscus sabdariffa* anthocyanins-rich extract: Chemical stability, in vitro antioxidant and antiproliferative activities. *Food and Chemical Toxicology*. 113, 187-197. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.01.053>
- Moghadam, -M., Salami, -M., Mohammadian, -M., Khodadadi, -M., Emam-Djomeh, -Z., 2020. Development of antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with pomegranate peel. *Food Hydrocolloids*. 104, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.10.5735>
- Nata, I, -F., Irawan, -C., Adawiyah, -M., Ariwibowo, -S., 2020. Edible film cassava starch/eggshell powder composite containing antioxidant: preparation and characterization. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 524, 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/524/1/012008>
- Rahmadhia, S, -N., Saputra, Y, -A., Juwitaningtyas, -T., Rahayu, W, -M., 2022. Intelligent packaging as a pH-indicator based on cassava starch with addition of purple sweet potato extract (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of Functional Food and Nutraceutical*. 4(1), 37-47. <https://doi.org/10.33555/jffn.v4i1.90>
- Scartazzini, -L., Tosati, J, -V., Cortez, D, H, -C., Rossi, M, -J., Flôres, S, -H., Hubinger, M, -D., Di Luccio, -M., Monteiro, A, -R., 2019. Gelatin edible coatings with mint essential oil (*Mentha arvensis*): Film characterization and antifungal properties. *Journal of Food Science and Technology*. 56, 4045-4056. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03873-9>
- Sganzerla, W, -G., Ribeiro, C, P, -P., Uliana, N, -R., Rodrigues, M, B, -C., Da Rosa, C, -G., Ferrareze, J, -P., Veeck, A, P, D, -L., Nunes, M, -R., 2021. Bioactive and pH-sensitive films based on carboxymethyl cellulose and blackberry (*Morus nigra* L.) anthocyanin-rich extract: A perspective coating material to improve the shelf life of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 33, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101989>
- Tacias-Pascacio, V, -G., Castañeda-Valbuena, -D., Fernandez-Lafuente, -R., Berenguer-Murcia, -Á., Meza-Gordillo, -R., Gutiérrez, L, -F., Pacheco, -N., Cuevas-Bernardino, J, -C., Ayora-Talavera, -T., 2022. Phenolic compounds in mango fruit: a review. *Food Measure*. 16, 619-636. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01192-2>
- Vonnie, J, -M., Rovina, -K., Azhar, R, -A., Huda, -N., Erna, K, -H., Felicia, W, X, -L., Nur'Aqilah, M, -N., Halid, N, F, -A., 2022. Development and characterization of the biodegradable film derived from eggshell and cornstarch. *Journal of Functional Biomaterials*. 13(2), 1-15. <https://doi.org/10.3390/jfb13020067>
- Yolanda, D, -S., Dirpan, -A., Rahman, A, N, -F., Djalal, -M., Hidayat, S, -H., 2020. The potential combination of smart and active packaging in one packaging system in improving and maintaining the quality of fish. *Canrea Journal: Food Technology, Nutrition, and Culinary Journal*. 3, 74-86. <https://doi.org/10.20956/canrea.v3i2.357>
- Zhang, -M., Cai, -J., 2023. Preparation of branched RG-I-rich pectin from red dragon fruit peel and the characterization of its probiotic properties. *Carbohydrate Polymers*. 299, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120144>