



The utilization of Konjac as Smart Biodegradable Film Packaging with Butterfly Pea Flower Extract and Eggshell Flour as Active Agent

Pemanfaatan Konjac sebagai *Smart Biodegradable Film Packaging* dengan Bahan Aktif Ekstrak Bunga Telang dan Tepung Cangkang Telur Ayam

Cherry Keiko Alendra Suryadi¹, Erni Setijawaty¹, Adrianus Rulianto Utomo¹, Ignasius Radix A.P. Jati*

¹Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

*Corresponding author: radix@ukwms.ac.id

Article info

Keywords: smart biodegradable film packaging, butterfly pea flower extract, eggshell flour

Kata kunci: *Smart biodegradable film packaging*, ekstrak bunga telang, tepung cangkang telur

Abstract

This research investigates the effect of adding active ingredients such as butterfly pea flower extract and eggshell powder on the physical and chemical properties of smart biodegradable film packaging. The butterfly pea flower extract was prepared by mixing dry butterfly pea flowers with water in ratios of 0 (without butterfly pea flowers, as a control), 1:250, and 1:125. The eggshell powder was added in concentrations of 0%, 0.15%, and 0.3% (w/v). The result shows that the addition of active agents affected the water vapor transmission rate (WVTR), tensile strength, and elongation of the film. The addition of eggshell powder did not have any significant effect on the total phenol content, anthocyanin content, and antioxidant activity. The smart biodegradable film packaging produced in this study showed total phenol values ranging from 237,8858-907,1768 mg GAE/100 g sample, total anthocyanin content 0.1045-2.3512 mg cy-3-glu eq/100 g sample, antioxidant activity 5,1198-54.8475%, WVTR 60,5826-91,3325 g/m²/24 hours, tensile strength 2,615-8,479 N/mm²/24 hours, and elongation 1,437-43,360%. The results of this study show that the smart biodegradable film packaging developed can be used as an indicator to monitor changes in the quality of steamed chicken meat during storage.

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan aktif ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur terhadap karakteristik fisikokimia *smart biodegradable film packaging*. Ekstrak bunga telang dibuat dengan perbandingan bunga telang kering dan air sebesar 0 (tanpa bunga telang) sebagai kontrol, 1:125, dan 1:250. Konsentrasi tepung cangkang telur yang digunakan adalah 0%, 0,15%, dan 0,3% (b/v). Penambahan ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur memerikan pengaruh interaksi terhadap nilai WVTR, kuat tarik, dan elongasi. Penambahan tepung cangkang telur tidak berpengaruh nyata terhadap kadar total fenol, antosianin, dan aktivitas antioksidan. *Smart biodegradable film packaging* menghasilkan nilai total fenol 237,8858-907,1768 mg GAE/100 g sampel, total antosianin 0,1045,2,3512 mg cy-3-glu eq/100 g bahan, aktivitas antioksidan 5,1198-54,8475%, WVTR 60,5826-91,3325 g/m²/24 jam, kuat tarik 2,615-8,479 N/mm², dan elongasi 1,437-43,360%. *Smart biodegradable film packaging* pada penelitian ini dapat berfungsi sebagai indikator terhadap perubahan kualitas daging ayam kukus selama penyimpanan yang ditunjukkan dengan perubahan warna.

PENDAHULUAN

Biodegradable film packaging merupakan jenis kemasan yang dapat terurai oleh mikroorganisme sehingga lebih ramah lingkungan. *Biodegradable film*

packaging dapat terbuat dari biopolimer natural yang salah satunya adalah polisakarida (Panou & Karabagias, 2023). Salah satu jenis polisakarida yang dapat digunakan dalam pembuatan *film*

packaging adalah konjac. Konjac dapat dijadikan sebagai *biodegradable film packaging* karena tidak bersifat toksik, memiliki kemampuan membentuk *film* yang baik yaitu berwarna transparan, permukaan yang halus, dan mudah terurai (Wang et al., 2017). Pada penelitian ini, *biodegradable film packaging* dibuat dengan bahan dasar konjac dengan konsentrasi 1,5%. Berdasarkan penelitian Fahrullah and Ervandi (2022), penggunaan konsentrasi konjac yang terlalu tinggi (>2,5%) dapat membuat kenampakan permukaan *biodegradable film packaging* menjadi agak kasar karena konjac sulit larut pada konsentrasi tinggi. Pada penelitian pendahuluan yang dilakukan, penggunaan konjac lebih dari 1,5% menghasilkan permukaan *biodegradable film packaging* yang kasar. Fahrullah and Ervandi (2022) menyatakan bahwa kelemahan *film packaging* berbasis konjac adalah sifat yang mudah patah, tidak elastis, dan rapuh sehingga perlu dilakukan penambahan *plasticizer*. Penambahan *plasticizer* berfungsi agar *biodegradable film packaging* yang dihasilkan lebih elastis, tidak mudah rapuh, dan fleksibel (Faizin et al., 2023). Salah satu jenis *plasticizer* yang dapat digunakan adalah sorbitol. Sorbitol dapat digunakan sebagai *plasticizer* karena memiliki berat molekul yang rendah dan dapat meningkatkan fleksibilitas suatu polimer (Pudjiastuti et al., 2023). Berdasarkan penelitian Hidayati et. al. (2015), penambahan sorbitol mampu menghasilkan *film packaging* dengan permeabilitas oksigen yang rendah. Penelitian yang dilakukan oleh Putra et. al. (2017) membuktikan bahwa penambahan sorbitol mampu meningkatkan laju transmisi uap air, elongasi, serta menurunkan nilai kuat tarik. Konsentrasi sorbitol yang ditambahkan adalah sebesar

1% karena konsentrasi sorbitol lebih dari 1% menghasilkan *film packaging* yang sangat lengket dan tidak dapat kering dengan sempurna.

Biodegradable film packaging dapat dikembangkan menjadi *smart biodegradable film packaging*. *Smart biodegradable film packaging* merupakan jenis kemasan yang secara aktif melindungi produk yang dikemas dan mampu mendeteksi kondisi dan kualitas produk yang dikemas (Yousefi et al., 2019). Pembuatan *smart biodegradable film packaging* dapat dilakukan dengan penambahan bahan aktif. Menurut Wu et. al. (2020), bahan aktif yang dapat digunakan dalam pembuatan *smart biodegradable film packaging* adalah antosianin yang sekaligus berfungsi sebagai indikator asam-basa untuk mendeteksi perubahan mutu pangan. Berdasarkan Wiyantoko and Astuti (2020), antosianin berwarna merah pada pH rendah atau kondisi asam, dan berwarna hijau pada pH tinggi atau kondisi basa. Antosianin juga dapat berperan sebagai antioksidan dan antimikroba (Wu et al., 2020).

Selain itu, bahan lain yang dapat ditambahkan adalah tepung cangkang telur ayam untuk meningkatkan kekuatan *film*. Selama ini belum terdapat penelitian yang menggunakan cangkang telur ayam yang dikombinasi dengan antosianin untuk membuat *smart edible packaging*. Cangkang telur mengandung 95% kalsium karbonat (CaCO_3) dan 5% kandungan organik, seperti kolagen, polisakarida sulfat, dan jenis protein lainnya (Jiang et al., 2018). Penambahan tepung cangkang telur pada pembuatan *film packaging* dapat berperan meningkatkan kompatibilitas dan sifat mekanis *smart biodegradable film packaging* (Nata et al., 2022). Tepung cangkang telur ayam juga dapat berfungsi

sebagai bahan aktif. Kandungan CaO pada tepung cangkang telur memiliki sifat yang aktif dalam menangkap CO₂ (Gong et al., 2022).

Meskipun penelitian mengenai edible film telah banyak dilaporkan, penggunaan konjak sebagai bahan baku *edible film* masih terbatas. Selain itu belum ada penelitian yang dilaporkan menggabungkan konjak, ekstrak bunga telang, dan cangkang telur ayam dalam pembuatan *smart edible film* sampai dengan pengujian kemampuan sebagai bahan pengemas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisikokimia *smart biodegradable edible packaging* berbasis konjac dan sorbitol dengan penambahan ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur ayam, serta kemampuannya sebagai pengemas produk pangan.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan untuk pembuatan *smart biodegradable film packaging* adalah bubuk konjac, sorbitol, dan air. Sorbitol yang digunakan merupakan sorbitol yang telah beredar secara komersial. Bubuk konjac didapatkan dari salah satu produsen tepung konjac di Jawa Timur, dengan kadar air 6,4%, viskositas 22000 mPa S, ukuran partikel 100 mesh, berwarna kuning kecoklatan. Bahan aktif yang digunakan adalah bunga telang kering dan tepung cangkang telur ayam. Bunga telang diperoleh dari kota Surabaya yang dibeli secara *online*. Tepung cangkang telur diperoleh dari kota Depok yang dibeli secara *online*. Bahan yang digunakan untuk analisa terdiri dari daging ayam kukus, akuades p.a, HCl pekat p.a, HCl, KCl p.a, larutan Na₂CO₃ 2%, asam

galat p.a, gel silika, Na-asetat (C₂H₃NaO₂) p.a, reagen Folin-Ciocalteu p.a, metanol p.a, larutan DPPH p.a, dan NaCl jenuh.

Alat

Alat yang digunakan untuk membuat *smart edible film packaging* dan analisis meliputi timbangan analitik “Ohaus”, timbangan digital, blender, alat gelas, termometer, dan *hygrometer*, vortex “Thermolyne”, spektrofotometer UV-Vis “Shimadzu UV-1800”, *shaking waterbath* “Daihan Labtech”, oven “Binder”, *colour reader* “Konica Minolta”, pH meter “Ohaus”, dan *universal testing machine* “Zwick & Roel”.

Rancangan Percobaan

Rancangan penelitian yang digunakan pada pengujian *smart edible film packaging* menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dua faktor yaitu penambahan ekstrak bunga telang dan penambahan tepung cangkang telur yang masing-masing terdiri dari 3 (tiga) level perlakuan. Setiap kombinasi perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 3 (tiga) kali, sehingga diperlukan 27 (dua puluh tujuh) unit eksperimen

Penyiapan ekstrak bunga telang

Mengacu metode Ekrami et. al. (2022), bunga telang kering dihancurkan menggunakan *chopper* selama 1 menit. Selanjutnya ditambahkan air panas bersuhu 60 °C dan diekstraksi dalam *water bath shaker* selama 30 menit. Ekstrak kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman no 42 dan filtrat dipergunakan dalam pembuatan *smart edible film*.

Pembuatan *edible film*

Mengacu metode Ekrami et. al. (2022), ekstrak bunga telang dipanaskan hingga suhu 85°C dan ditambahkan 1,5% konjac, cangkang telur ayam, dan 1% sorbitol. Dilakukan pengadukan dalam

water bath selama 15 menit. Selanjutnya dilakukan pencetakan 80 mL larutan dengan ukuran 10 x 15 cm pada cetakan aluminium. Cetakan dikeringanginkan dalam ruangan yang dirancang khusus dengan pengaturan suhu konstan $21 \pm 2^\circ\text{C}$ dan RH $44 \pm 5\%$ selama 72 jam. Setelah kering, edible film dilepas dari cetakan dan disimpan pada kemasan kedap berisi silika gel.

Ekstraksi sampel film yang dihasilkan

Metode ekstraksi dilakukan berdasarkan acuan dari Santoso et. al. (2022). Smart edible film packaging yang dihasilkan dipotong ukuran kecil dan ditimbang sebanyak 1 g dalam gelas beker. Kemudian 20 mL akuades dan 10 mL metanol dimasukkan ke dalam gelas beker. Campuran selanjutnya diaduk dan diletakkan dalam shaking waterbath selama 1 jam pada suhu 40°C dan kecepatan 125 rpm. Dilakukan penyaringan menggunakan Whatmann no. 42. Filtrat disimpan dalam botol kaca coklat pada suhu dingin sampai dipergunakan.

Kadar Fenol

Mengacu penelitian Jati et. al. (2022), sebanyak 1 mL ekstrak dicampur dengan 0,5 mL reagen Folin-Ciocalteu dalam tabung reaksi yang ditutup aluminium foil. Campuran didiamkan selama 8 menit dan ditambahkan 4,5 mL Na_2CO_3 2%. Campuran dihomogenkan dengan vortex dan disimpan dalam ruang gelap selama 1 jam. Absorbansi larutan 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) berdasarkan persamaan:

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

Analisis total antosianin

Analisis dilakukan mengacu penelitian sebelumnya (Jati et al., 2022).

Masing-masing 1 mL ekstrak dimasukkan ke dalam 2 tabung reaksi yang berbeda (tabung A dan B) dan ditambahkan 10 mL larutan buffer pH 1 ke dalam tabung A dan 10 mL larutan buffer pH 4,5 ke dalam tabung B. Campuran dihomogenkan menggunakan vortex dan absorbansi diukur pada panjang gelombang 530 dan 700 nm. Perhitungan absorbansi sampel menggunakan persamaan:

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

Sementara perhitungan total antosianin dengan persamaan

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

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)

Aktivitas antioksidan metode DPPH

Sebanyak 0,25 mL sampel dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan 0,5 mL larutan 0,1 mM DPPH dan 4 mL metanol. Campuran dihomogenkan dan disimpan dalam ruang gelap selama 30 menit. Absorbansi sampel diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 517 nm. Aktivitas antioksidan dinyatakan sebagai persen radical scavenging activity (RSA) (Jati et al., 2014) dan dihitung berdasarkan persamaan:

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

Analisis kuat tarik

Pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM D-882 yang merupakan metode pengujian standar untuk menentukan sifat kekuatan tarikan plastik. 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 dipotong menjadi

ukuran 145 x 10 mm. Sampel diuji dengan menggunakan mesin uji tarik dimana *smart edible film packaging* ditarik dari kedua ujungnya menggunakan grip dengan kecepatan dan jarak jepit tertentu hingga sampel putus. Nilai uji kuat tarik *film* dinyatakan dalam tekanan per unit area (N/mm^2) (Jeong et al., 2020).

Analisis persen pemanjangan

Preparasi sampel dilakukan dengan cara diukur dan dipotong menjadi ukuran 145 x 10 mm. Setiap sampel diuji dengan menggunakan mesin uji Tarik (Universal Testing Machine, UTM, E3000, E3000, Instron, Norwood, Massachusetts, USA) dimana *smart edible film packaging* ditarik dari kedua ujungnya menggunakan *grip* dengan kecepatan dan jarak jepit tertentu hingga sampel putus. Persen pemanjangan *smart edible film packaging* dapat dihitung dengan persamaan (Santoso & Atma 2020):

$$\% \text{ elongasi} = \frac{b - a}{a} \times 100\%$$

a = panjang *smart edible film packaging* awal

b = panjang *smart edible film packaging* saat sobek

Analisis water vapor transmission rate (WVTR)

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Al-Hassan & Norziah, 2012), sebanyak 10 g *silica gel* dimasukkan ke dalam gelas sloki dan segera ditutup dengan merekatkan sampel potongan *smart edible film packaging*. Kemudian gelas sloki diletakkan dalam desikator berisi larutan NaCl jenuh. (RH = 75%) pada suhu $27 \pm 3^\circ\text{C}$. Dilakukan penimbangan *silica gel* setiap hari selama 5 hari. Nilai WVTR dihitung dengan persamaan:

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

Pengujian kemampuan sebagai *smart packaging* pada model daging ayam kukus

Daging ayam bagian dada dipotong dengan ukuran 2x2x2 cm, kemudian dikukus selama 10 menit. Daging ayam kukus ditiriskan dan dimasukkan dalam

wadah plastik berdiameter 7,5 cm dan tinggi 5 cm. Wadah ditutup dengan *smart edible packaging* yang direkatkan. Wadah selanjutnya disimpan selama 72 jam. Dilakukan pengamatan warna *smart edible film packaging* menggunakan *color reader* setiap 24 jam. Sementara, warna daging dan aroma diamati secara sensoris menggunakan 10 panelis terlatih. Hasil dinyatakan dalam intensitas warna coklat dan aroma yang tidak dikehendaki.

Analisis data

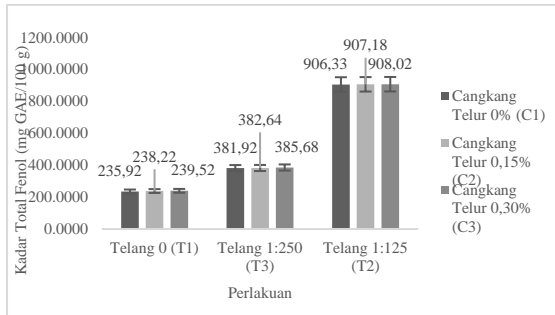
Data yang diperoleh dari 3 ulangan perlakuan dianalisis menggunakan ANOVA ($\alpha = 5\%$) dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT). Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SPSS versi 23.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Total Fenol

Nilai total fenol tertinggi diperoleh pada sampel *smart biodegradable film packaging* dengan penambahan ekstrak bunga telang dengan perbandingan 1:125 yaitu perlakuan T2 yang berbeda nyata dengan perlakuan tanpa penambahan ekstrak bunga telang (T2) dan penambahan ekstrak bunga telang dengan perbandingan 1:250 (T3) (Gambar 1). Berdasarkan data, nilai total fenol yang paling rendah adalah sampel tanpa penambahan ekstrak bunga telang yaitu T1. Nilai total fenol yang semakin tinggi disebabkan oleh semakin banyaknya gugus hidroksil pada senyawa fenolik yang bereaksi dengan reagen Folin-Ciocalteu sehingga senyawa fosfomolibdat-fosfotungstat yang tereduksi menjadi kompleks *molybdenum-tungsten* akan semakin banyak dan menghasilkan warna biru yang semakin pekat yang dapat terdeteksi oleh spektrofotometer. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Mangmee and Homthawornchoo (2016)

yaitu terjadi peningkatan nilai total fenol seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak daun teh hijau (0 g/100 mL- 5 g/100 mL) yang ditambahkan pada pembuatan *edible film* dari 0,20 mg GAE/100 mL hingga 2,37 mg GAE/100 g.



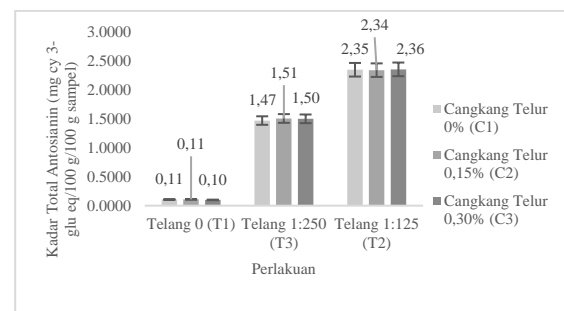
Gambar 1. Kadar total fenol *smart biodegradable film packaging*

Berdasarkan data hasil pengujian total fenol pada *smart biodegradable film packaging* berbasis konjac dan sorbitol, penambahan tepung cangkang telur ayam menunjukkan nilai total fenol yang tidak berbeda nyata pada taraf $\alpha = 5\%$. Hart and Onyeaka (2021) menyatakan bahwa cangkang telur mengandung 92-96% kalsium karbonat dan mineral seperti silika, fosfor, magnesium, natrium, kalium, seng, mangan, besi, dan tembaga.

Total Antosianin

Berdasarkan Gambar 2., nilai total antosianin tertinggi diperoleh pada sampel *smart biodegradable film packaging* penambahan ekstrak bunga telang dengan konsentrasi 1:125 yaitu perlakuan T2 berbeda nyata dengan perlakuan tanpa penambahan ekstrak bunga telang (T1) dan penambahan ekstrak bunga telang dengan perbandingan 1:250 (T3). Berdasarkan data, nilai total antosianin yang paling rendah adalah sampel tanpa penambahan ekstrak bunga telang yaitu perlakuan T1. Nilai total antosianin yang semakin tinggi disebabkan oleh perbandingan bunga telang

kering dan air yang tinggi pula. Semakin tinggi perbandingan bunga telang kering dan air, maka ekstrak yang dihasilkan akan semakin pekat dengan kandungan antosianin yang tinggi karena kandungan airnya lebih sedikit. Penelitian yang dilakukan oleh Rahmadhia et. al. (2022) juga menunjukkan bahwa penggunaan ekstrak ubi jalar ungu (0%-15%) dapat meningkatkan nilai total antosianin pada *smart packaging* (0,78 ± 0,09 mg/100 g hingga 69,97 ± 0,17 mg/100 g).



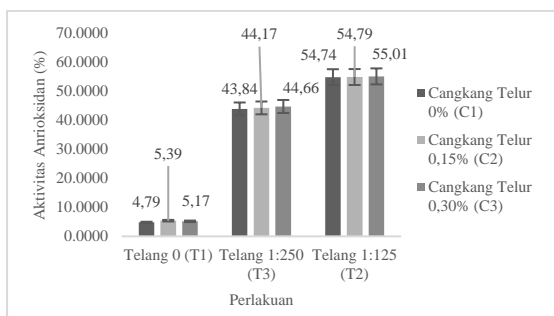
Gambar 2. Kadar total antosianin *smart biodegradable film packaging*

Berdasarkan data hasil pengujian total antosianin pada *smart biodegradable film packaging* berbasis konjac dan sorbitol, penambahan tepung cangkang telur ayam menunjukkan nilai total antosianin yang tidak berbeda nyata pada taraf $\alpha = 5\%$. Total antosianin yang tidak berbeda nyata menunjukkan bahwa tepung cangkang telur ayam tidak memiliki kandungan antosianin sehingga tidak memberikan pengaruh nyata terhadap nilai total antosianin pada setiap perlakuan.

Berdasarkan data, peningkatan nilai total antosianin pada *smart biodegradable film packaging* yang terjadi tidak disebabkan oleh penambahan tepung cangkang telur ayam, melainkan ekstrak bunga telang.

Aktivitas Antioksidan

Berdasarkan Gambar 3., nilai aktivitas antioksidan yang paling rendah adalah sampel tanpa penambahan ekstrak bunga telang yaitu perlakuan T1 yang berbeda nyata dengan perlakuan penambahan ekstrak bunga telang dengan perbandingan 1:250 (T3) dan 1:125 (T2). *Smart biodegradable film packaging* tanpa penambahan bunga telang (T1) menunjukkan adanya aktivitas antioksidan yang disebabkan oleh penggunaan konjac. Berdasarkan Wardhani et. al. (2017), konjac memiliki komponen antioksidan berupa *tannin*. Nilai aktivitas antioksidan tertinggi diperoleh pada sampel *smart biodegradable film packaging* penambahan ekstrak bunga telang dengan konsentrasi 1:125 yaitu perlakuan T2. Semakin tinggi perbandingan bunga telang dan air, maka aktivitas antioksidan yang dihasilkan akan semakin rendah karena menghasilkan ekstrak yang encer sehingga kandungan antioksidan juga semakin sedikit. Penelitian yang dilakukan oleh Moghadam et. al. (2020) menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi (0%, 2,5%, 12,5%, dan 25%) ekstrak kulit buah delima yang digunakan, maka aktivitas antioksidan (5%, 13,84%, 52,65%, dan 65,22%) yang dihasilkan pada *edible film* berbasis kacang hijau juga meningkat.

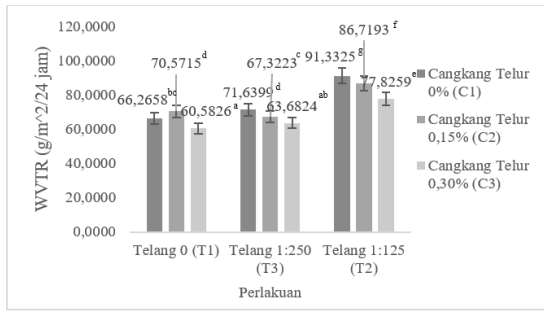


Gambar 3. Aktivitas antioksidan *smart biodegradable film packaging*

Berdasarkan data, peningkatan aktivitas antioksidan pada *smart biodegradable film packaging* yang terjadi tidak disebabkan oleh penambahan tepung cangkang telur ayam, melainkan ekstrak bunga telang.

Water Vapor Transmission Rate (WVTR)

Gambar 4. menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur, maka nilai WVTR akan semakin rendah. Penurunan nilai WVTR yang disebabkan oleh perlakuan penambahan ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur menunjukkan bahwa permeabilitas *smart biodegradable film* terhadap uap air juga semakin baik, namun belum dapat memenuhi standar JIS maksimum adalah 7 g/m²/hari. Semakin rendah perbandingan bunga telang dan air, maka nilai WVTR akan semakin meningkat. Adanya gugus hidroksil pada senyawa fenol menyebabkan timbulnya interaksi dengan molekul air melalui ikatan hidrogen. Semakin pekat konsentrasi ekstrak bunga telang, maka dapat menimbulkan terbentuknya agregat dan banyak ruang bebas pada jaringan *film* sehingga memudahkan uap air menembus *smart biodegradable film packaging* (Yun et al., 2019). Penelitian yang dilakukan oleh Nogueira et. al. (2019) menunjukkan bahwa penambahan *freeze-dried blackberry pulp* (20%, 30%, dan 40%) dapat meningkatkan nilai WVTR (1,67 ± 0,12 g/m²/hari, 2,38 ± 0,45 g/m²/hari, dan 3,47 ± 0,14 g/m²/hari).

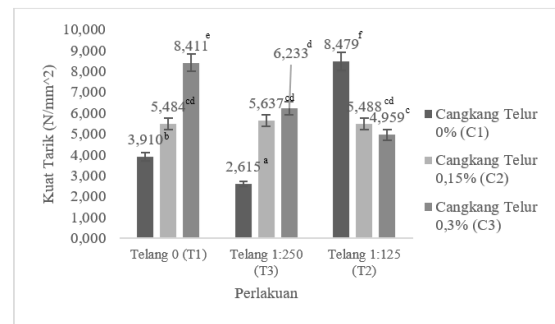


Gambar 4. Nilai WVTR smart biodegradable film packaging

Data menunjukkan bahwa penambahan tepung cangkang telur dapat menghasilkan nilai WVTR yang rendah yang dapat dibuktikan pada perlakuan T1C3, T2C3, dan T3C3. Tepung cangkang telur ayam dapat meningkatkan adhesi antara CaCO₃ dengan matriks film yang menyebabkan tepung cangkang telur terdispersi pada matriks film secara seragam dan meningkatkan densitas film. Hal ini menyebabkan kekuatan barrier pada film meningkat sehingga permeabilitas uap air akan meningkat. Vonnie et. al. (2020) juga menyatakan bahwa penambahan tepung cangkang telur dapat meningkatkan jumlah ikatan hidrogen sehingga dapat mengurangi situs aktif untuk adsorpsi air yang dapat mengurangi ruang bebas pada jaringan film dan memperkuat struktur kompak pada film. Struktur film yang kompak dan ruang bebas yang sedikit pada jaringan film akan menyebabkan sulitnya uap air yang masuk dan menembus smart biodegradable film packaging. Penelitian yang dilakukan oleh Jiang et. al. (2018) menunjukkan bahwa penambahan tepung cangkang telur ayam pada film komposit berbasis pati jagung 2%, 2,5%, dan 3% dapat menurunkan nilai WVTR dari 2,17 x 10⁻¹² g/cm.s.Pa menjadi 1,44 x 10⁻¹² g/cm.s.Pa.

Kuat Tarik

Berdasarkan Gambar 5, nilai kuat tarik terendah terdapat pada perlakuan T3C1 dan nilai tertinggi terdapat pada perlakuan T2C1. Banyaknya gugus hidroksil pada antosianin akan membentuk ikatan hidrogen yang menghasilkan adhesi antarmuka antara polimer film dan ekstrak bunga telang sehingga akan mempengaruhi kuat tarik (Yan et al., 2021). Antosianin juga dapat membentuk ikatan silang antara molekul dan jaringan struktur film sehingga dapat meningkatkan nilai kuat tarik. Penelitian yang dilakukan oleh Li et. al. (2023) menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ekstrak antosianin buah bluberi (0,25%-0,75%), maka nilai kuat tarik pada indicator film berbasis pektin, natrium alginate, dan xanthan gum juga mengalami peningkatan (26,26 Mpa-29,33 MPa).



Gambar 5. Nilai kuat tarik smart biodegradable film packaging

Tepung cangkang telur memiliki kandungan CaCO₃ yang mampu meningkatkan sifat mekanis film, termasuk nilai kuat tarik. Kandungan CaCO₃ pada tepung cangkang telur dapat meningkatkan interaksi antarmuka antara tepung cangkang telur dan matriks film sehingga dapat meningkatkan nilai kuat tarik pada edible film (Jiang et al., 2018). Nilai kuat tarik juga dapat dipengaruhi oleh distribusi penyebaran tepung cangkang telur pada permukaan film dan interaksi antara tepung

cangkang telur dan matriks *film* (Jiang et al., 2018). Penelitian yang dilakukan oleh Fitriana et. al. (2017) menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi CaCO_3 yang digunakan, maka nilai kuat tarik yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Konsentrasi CaCO_3 yang digunakan adalah 0 g, 0,2 g, dan 0,4 g yang menghasilkan nilai kuat tarik terendah yaitu 0,2371 MPa (CaCO_3 0 g dan sorbitol 3%) dan nilai tertinggi yaitu 6,5 MPa (CaCO_3 0,4 g dan sorbitol 1%). Semakin tinggi konsentrasi ekstrak bunga telang (T3), penambahan tepung cangkang telur dapat menurunkan nilai kuat tarik *smart biodegradable film packaging*. Penelitian yang dilakukan oleh Nata et. al. (2020) juga menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai kuat tarik pada penggunaan tepung cangkang telur dengan konsentrasi 0%, 5%, dan 10% (0,7 MPa, 1 MPa, dan 1,5 MPa) dan terjadi penurunan pada konsentrasi 15%, 20%, dan 30% (1,2 MPa, 1 MPa, dan 0,9 MPa). Penurunan yang terjadi disebabkan oleh adanya interkoneksi pada struktur matriks *film* akibat penggunaan tepung cangkang telur yang terlalu besar.

Persen Pemanjangan (Elongasi)

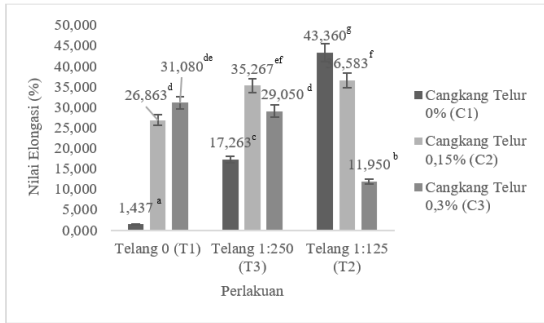
Berdasarkan Gambar 6., ekstrak bunga telang berpengaruh nyata terhadap nilai elongasi *smart biodegradable film packaging*. Pada perlakuan T1, penambahan tepung cangkang telur dapat meningkatkan nilai elongasi, sedangkan perlakuan T2 menunjukkan bahwa penambahan tepung cangkang telur 0,15% dapat meningkatkan nilai elongasi, tetapi peningkatan konsentrasi tepung cangkang telur hingga 0,30% akan menurunkan nilai elongasi.

Semakin tinggi konsentrasi ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur, maka nilai elongasi yang dihasilkan

semakin rendah (T2). Data menunjukkan bahwa semakin rendah perbandingan bunga telang dan air tanpa penambahan tepung cangkang telur, maka nilai elongasi semakin meningkat yang dapat terlihat pada perlakuan T3C1 dan T2C1. Kandungan fenol pada bunga telang yang ditambahkan pada matriks *film* dapat meningkatkan nilai elongasi (Moghadam et al., 2021).

Antosianin akan berinteraksi dengan biopolimer pada *film* sehingga meningkatkan ekstensibilitas *film* (Lee et al., 2021). Antosianin memiliki banyak gugus hidroksil yang dapat berperan sebagai *plasticizer* dan menyebabkan jaringan polimer menjadi kurang padat. Dampak dari jaringan polimer yang kurang padat adalah dapat menurunkan gaya antarmolekul yang meningkatkan ekstensibilitas dan fleksibilitas *film* sehingga nilai elongasi mengalami peningkatan.

Penelitian yang dilakukan oleh Netramai et. al. (2020) juga menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai elongasi pada *calorimetric film* dengan penambahan ekstrak bunga telang. Perbandingan ekstrak bunga telang dan air yang digunakan adalah 1:30. *Calorimetric film* tanpa penambahan ekstrak bunga telang menghasilkan nilai elongasi sebesar $91,14 \pm 5,35\%$ dan mengalami penurunan menjadi $87,23 \pm 3,66\%$. Lee et. al. (2021) menyatakan bahwa penurunan nilai elongasi dapat disebabkan oleh jumlah antosianin yang terlalu banyak dapat mengurangi adhesi antarmuka pada molekul *biopolymer* sehingga struktur biopolimer menjadi tidak beraturan dan nilai elongasi menurun.



Gambar 6. Persen pemanjangan *smart biodegradable film packaging*


















Jiang et. al. (2018) menyatakan bahwa komponen organik yang terkandung pada tepung cangkang telur dapat berperan sebagai agen penghubung antara matriks *film* dengan tepung cangkang telur sehingga tepung cangkang telur dapat terdispersi dengan baik pada matriks *film*. Tepung cangkang telur yang terdispersi dengan baik

pada matriks *film* dapat meningkatkan fleksibilitas dan elastisitas *edible film*. Penelitian yang dilakukan oleh Nata et. al. (2020) menunjukkan bahwa penggunaan tepung cangkang telur dengan konsentrasi tertentu dapat menurunkan nilai elongasi *edible film*. Terjadi peningkatan nilai elongasi dari 27% menjadi 28% dan 35% pada konsentrasi tepung cangkang telur 5% dan 10%, namun terjadi penurunan pada konsentrasi 15%, 20%, dan 30% dengan nilai elongasi sebesar 19%, 12%, dan 13%. Penurunan nilai elongasi yang terjadi disebabkan oleh terlalu banyak partikel tepung cangkang telur ayam yang mengisi matriks *film* sehingga fleksibilitas dan elastisitas menurun dan nilai elongasi juga menurun.

Perubahan Warna *Smart Biodegradable Film Packaging*

Tabel 1. Perubahan warna *smart biodegradable film packaging* sebagai pengemas sampel daging ayam kukus selama penyimpanan

Perlakuan	Hari ke-	Parameter Warna					Warna
		L	a*	b*	C*	H	
T1C1	0	80,0	0,2	1,3	1,3	84,9	
	1	81,3	-0,5	-0,8	0,9	238,9	
	2	83,8	-0,7	0,5	0,9	142,7	
	3	81,7	-1,0	3,7	3,8	104,6	
T1C2	0	72,1	1,1	6,7	6,8	80,5	
	1	75,0	1,1	7,1	7,2	81,4	
	2	82,8	-0,1	2,8	2,8	92,8	
	3	78,5	1,0	6,0	6,1	81,1	
T1C3	0	74,4	0,1	4,2	4,2	89,2	
	1	75,3	1,9	6,9	7,2	75,3	
	2	77,5	2,5	9,7	10,1	75,5	
	3	77,4	2,4	9,4	9,7	75,5	
T2C1	0	38,4	-0,1	-12,9	12,9	270,3	
	1	41,2	-4,2	-18,5	12,6	257,2	
	2	41,6	-12,5	-16,3	20,5	232,4	
	3	39,4	-11,1	-14,7	18,4	233,2	
T2C2	0	41,9	-5,1	-8,3	9,8	238,9	
	1	33,5	-8,6	-11,0	14,0	232,3	
	2	37,8	-5,9	-7,1	9,1	230,3	

	3	35,0	-7,5	-10,3	12,7	233,7	
T2C3	0	42,7	-4,7	-7,8	9,2	239,9	
	1	36,8	-2,8	-5,6	6,3	243,5	
	2	37,9	-10,8	-8,7	13,7	219,5	
	3	36,7	-5,4	-5,8	8,0	228,1	
T3C1	0	49,9	-9,5	-18,9	21,2	243,3	
	1	47,8	-12,3	-18,5	22,2	236,3	
	2	47,4	-10,4	-24,8	27,0	247,2	
	3	45,9	-11,6	-21,9	24,7	242,2	
T3C2	0	43,6	-9,1	-9,4	13,1	226,0	
	1	43,6	-9,6	-8,9	13,1	222,9	
	2	44,4	-17,0	-9,8	19,6	209,9	
	3	44,6	-15,2	-12,9	19,9	220,6	
T3C3	0	46,3	-12,4	-8,0	14,7	212,3	
	1	42,1	-11,3	-10,8	15,6	223,8	
	2	42,9	-12,4	-10,9	16,5	221,3	
	3	40,9	-13,2	-10,6	6,6	144,8	

Tabel 1. menunjukkan bahwa perlakuan tanpa penambahan ekstrak bunga telang pada perlakuan T1C1, T1C2, dan T1C3 tidak mengalami perubahan warna. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya pigmen atau indikator yang dapat mendeteksi terjadinya kerusakan pada produk yang dikemas. Tabel 1. menunjukkan bahwa adanya perubahan warna pada perlakuan penambahan bunga telang dengan perbandingan air dan bunga telang 1:125 (T2C1, T2C2, dan T2C3) dan 1:250 (T3C1, T3C2, dan T3C3). Intensitas *smart biodegradable film packaging* dengan ekstrak bunga telang 1:250 perlakuan (T3) lebih rendah dibandingkan perlakuan penambahan ekstrak bunga telang 1:125 (T2). Intensitas warna yang lebih pekat pada perlakuan T2 disebabkan oleh total antosianin yang terkandung lebih banyak. Antosianin merupakan senyawa flavonoid dan pigmen organik larut air. Antosianin pada *smart biodegradable film*

packaging dapat digunakan sebagai indikator untuk mendeteksi ada tidaknya kerusakan yang dialami oleh produk yang dikemas dengan adanya perubahan pH. Data menunjukkan bahwa pada hari ke-0, warna *smart biodegradable film packaging* dengan penambahan ekstrak bunga telang adalah biru dan berubah menjadi biru kehijauan nilai L* (*lightness*) yang lebih rendah dan gelap pada hari ke-3. Berdasarkan Seftiono (2021), perubahan warna terjadi karena adanya interaksi antar gugus fenol dengan senyawa basa volatil oleh daging ayam seperti amin, dietilamin, dan trietil amin berikatan dengan gugus hidroksil pada antosianin sehingga terjadi perubahan warna. Perubahan warna yang terjadi juga disebabkan oleh hilangnya proton (deprotonasi) pada antosianin akibat perubahan kondisi lingkungan dalam kemasan sehingga *film* berada pada kondisi basa.

Tabel 2. Perubahan warna, aroma, dan pH daging ayam selama penyimpanan 3 (tiga) hari

Perlakuan	Hari ke-	Warna*	Aroma**	pH
T1C1	0	Putih	-	6,05
	1	Coklat (+2)	++	6,51
	2	Coklat (+4)	+++	6,65
	3	Coklat (+5)	++++	6,96
T1C2	0	Putih	-	6,05
	1	Coklat (+2)	++	6,47
	2	Coklat (+3)	++	6,77
	3	Coklat (+5)	+++	7,01
T1C3	0	Putih	-	6,05
	1	Coklat (+1)	+	6,64
	2	Coklat (+2)	++	6,62
	3	Coklat (+4)	+++	7,12
T2C1	0	Putih	-	6,05
	1	Coklat (+1)	+	6,51
	2	Coklat (+2)	++	6,44
	3	Coklat (+3)	+++	7,71
T2C2	0	Putih	-	6,05
	1	Putih	-	6,74
	2	Coklat (+1)	++	6,71
	3	Coklat (+3)	+++	6,92
T2C3	0	Putih	-	6,05
	1	Putih	-	6,38
	2	Coklat (+1)	+	6,66
	3	Coklat (+2)	++	6,86
T3C1	0	Putih	-	6,05
	1	Putih	-	6,44
	2	Coklat (+2)	++	6,31
	3	Coklat (+4)	++++	6,65
T3C2	0	Putih	-	6,05
	1	Coklat (+1)	-	6,57
	2	Coklat (+2)	++	6,66
	3	Coklat (+4)	+++	6,73
T3C3	0	Putih	-	6,05
	1	Putih	-	6,61
	2	Coklat (+1)	++	6,71
	3	Coklat (+3)	+++	6,79

Keterangan: *) Semakin banyak tanda (+), maka intensitas warna semakin tinggi

***) Tanda (+) menunjukkan adanya aroma tidak sedap pada daging dan semakin banyak tanda (+), maka aroma tidak sedap pada daging semakin kuat.

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa daging ayam kukus pada hari ke-0 berwarna putih, beraroma daging ayam kukus segar, dan pH 6,05. Warna putih pada daging ayam kukus (hari ke-0) disebabkan oleh terjadinya denaturasi protein *myofibril* dan struktur protein lainnya (Rabeler & Feyissa, 2018).

Perubahan warna yang terjadi disebabkan oleh terjadinya oksidasi lipid. Oksidasi lipid dapat menyebabkan perubahan warna, tekstur, rasa, aroma, dan ketengikan sehingga dapat mempengaruhi tingkat penerimaan konsumen. Berdasarkan Tabel 2., penambahan ekstrak antosianin dengan konsentrasi tinggi (T2) dapat menghasilkan

intensitas warna coklat yang dengan intensitas yang lebih rendah daripada tanpa penambahan ekstrak bunga telang. Ekstrak bunga telang memiliki kandungan antioksidan yang jika diaplikasikan sebagai kemasan pangan dapat menghambat terjadinya reaksi degradasi yang melibatkan lipid atau protein. Selain itu, penambahan tepung cangkang telur ayam yang dapat berperan sebagai adsorben CO₂ sehingga mampu mencegah pertumbuhan mikroba.

Data menunjukkan bahwa intensitas aroma tidak sedap pada sampel daging ayam cenderung meningkat selama penyimpanan. Kandungan asam lemak tak jenuh pada daging ayam akan bereaksi dengan oksigen melalui mekanisme radikal bebas yang menghasilkan hidrogen peroksida dan hasil samping berupa aldehid seperti n-alkana, 4-hidroksi-2-alkena, 2-alkena, dan *malondialdehyde* (MDA) yang dapat menimbulkan aroma tidak sedap pada daging. Kandungan antosianin pada ekstrak bunga telang merupakan jenis antioksidan yang dapat berperan sebagai agen pereduksi yang dapat melindungi produk yang dikemas dari oksidasi (Erna et al., 2022). Selain itu, kandungan flavonoid dalam ekstrak bunga telang memiliki sifat antimikroba dengan menghambat rantai *transport electron* bakteri sehingga bakteri kekurangan energi saat proses metabolisme sehingga proses oksidasi dapat terhambat yang dapat terlihat pada data bahwa sampel daging ayam yang dikemas dengan *smart biodegradable film packaging* dengan penambahan ekstrak bunga telang memiliki intensitas aroma tidak sedap yang lebih rendah daripada tanpa penambahan ekstrak bunga telang.

Data menunjukkan bahwa pH sampel daging ayam meningkat selama penyimpanan. Selama penyimpanan, amina

akan terbentuk oleh proses dekarboksilasi asam amino yang menghasilkan amina volatil seperti amonia, hidrogen sulfat, dan dimetilamin yang dapat meningkatkan pH lingkungan sekitar produk dalam kemasan. Peningkatan pH juga terjadi pada penelitian Boonsiriwit et. al. (2022) bahwa pH daging ayam yang dikemas dengan *film* bio-komposit berbasis antosianin ekstrak bunga rosella mengalami peningkatan pH selama 15 hari dari $6,13 \pm 0,10$ menjadi $7,00 \pm 0,12$.

Berdasarkan hasil pengujian fisikokimia *smart biodegradable film packaging* dan kemampuannya sebagai pembungkus daging menunjukkan bahwa penambahan bahan aktif ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur 0,3% mampu mendeteksi kerusakan dan mempertahankan kualitas sampel daging ayam kukus yang dikemas. Penambahan ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur terbukti lebih mampu mempertahankan pH daging ayam dibandingkan perlakuan tanpa menggunakan ekstrak bunga telang maupun tepung cangkang telur. *Smart biodegradable film packaging* dengan penambahan ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur memiliki nilai total fenol, antosianin, dan aktivitas antioksidan yang lebih baik daripada perlakuan tanpa penambahan ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur. Hal ini menyebabkan kemampuannya sebagai pengemas dan mendeteksi kerusakan pada produk yang dikemas akan semakin baik. *Smart biodegradable film packaging* dengan penambahan ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur memiliki nilai WVTR yang baik sehingga permeabilitasnya rendah dan sulit ditembus oleh air yang dapat melindungi produk yang dikemas dari udara luar.

KESIMPULAN

Terdapat interaksi antara bahan aktif ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur terhadap nilai WVTR, kuat tarik, dan elongasi *smart biodegradable film packaging*. Penambahan bahan aktif ekstrak bunga telang berpengaruh nyata terhadap peningkatan kadar total fenol, antosianin, dan antioksidan, sedangkan penambahan tepung cangkang telur tidak berpengaruh nyata terhadap kadar komponen tersebut. *Smart biodegradable film packaging* dengan bahan aktif ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur ayam dapat mempertahankan kualitas daging ayam kukus selama penyimpanan yang dapat dilihat dari berkurangnya intensitas warna coklat dan aroma tidak sedap, serta menghambat penurunan pH sampel daging ayam kukus, sehingga *smart biodegradable film packaging* ini potensial untuk memperpanjang umur simpan produk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Kemendikbudristek atas pendanaan melalui skema Hibah Fundamental 2023 Nomor 183/E5/PG.02.00.PL/2023

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hassan, A. A., & Norziah, M. H. (2012). Starch–gelatin edible films: water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 108–117.
- Boonsiriwit, A., Itkor, P., Sirieawphikul, C., & Lee, Y. S. (2022). Characterization of natural anthocyanin indicator based on cellulose bio-composite film for monitoring the freshness of chicken tenderloin. *Molecules*, 27(9), 1–16.
- Ekrami, M., Roshani-Dehlaghi, N., Ekrami, A., Shakouri, M., & Emam-Djomeh, Z. (2022). pH-responsive color indicator of saffron (*Crocus sativus* L.) anthocyanin-activated salep mucilage edible film for real-time monitoring of fish fillet freshness. *Chemistry (Switzerland)*, 4(4), 1360–1381.
- Erna, K. H., Felicia, W. X. L., Vonnie, J. M., Rovina, K., Yin, K. W., & Nur'Aqilah, N. (2022). Synthesis and physicochemical characterization of polymer film-based anthocyanin and starch. *Biosensors*, 12(211), 1-15.
- Fahrullah & Ervandi, M. (2022). Karakteristik mikrostruktur film whey dengan penambahan konjac. *Agrointek*, 16(3), 396-404.
- Faizin, N. A., Moentamaria, D., & Irfin, Z. (2023). Pembuatan film packaging berbasis glukomanan. *Distilat*, 9(1), 29-41.
- Fitriana, R. A., Septiana, R., Darni, Y. (2017). Pengaruh filler terhadap karakteristik mekanik dan permeabilitas uap air dari edible film berbasis low methoxyl pectin. *JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika*, 5(2), 103-110.
- Gong, D., Zhang, Z., & Zhao, T. (2022). Decay on cyclic CO₂ Capture performance of calcium-based sorbents derived from wasted precursors in multicycles. *Energies*, 15(9), 3335.
- Hart, A., & Onyeaka, H. (2021). Eggshell and seashells biomaterials sorbent for carbon dioxide capture. *Carbon Capture*, September. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93870>.
- Hidayati, S., Zuidar, A. S., & Diani, A. (2015). Aplikasi sorbitol pada produksi biodegradable film dari nata de cassava. *Reaktor*, 15(3), 196-204.
- Jati, I. R. A. P., Darmoatmodjo, L. M. Y. D., Suseno, T. I. P., Ristiari, 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), 440.
- Jati, I. R. A. P., Nohr, D., & Biesalski, H. K. (2014). Nutrients and antioxidant properties of Indonesian underutilized colored rice. *Nutrition & Food Science*, 44(3), 193–203.
- Jeong, J., Hussain, F., Park, S., Kang, S. J., & Kim, J. (2020). High thermal stability, high tensile strength, and good water barrier property of terpolyester containing biobased monomer for next-generation smart film application: Synthesis and characterization. *Polymers*, 12(11), 2458.
- 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.
- Li, Y., Hu, Z., Huo, R., & Cui, Z. (2023). Preparation of an indicator film based on pectin, sodium alginate, and xanthan gum containing blueberry anthocyanin extract and its application in blueberry freshness monitoring. *Heliyon*, 9(3).
- Lee, F., Soloi, S., & How, S. E. (2021). Extraction of anthocyanins and its effect on mechanical properties of pH sensitive-based films: A Review. *Transactions on Science and Technology*, 8(4), 679-688.
- Mangmee, K. & Homthawornchoo. (2016). Antioxidant activity and physicochemical properties of rice starch-chitosan-based films containing green tea extract. *Food and Applied Bioscience Journal*, 4(3), 126-137.
- 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.
- Moghadam, M., Salami, M., Mohammadian, M., & Emam-Djomeh, Z. (2021). Development and characterization of pH-sensitive and antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with Echinium amoenum anthocyanins. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2984-2994.
- Nata, I. F., Irawan, C., Adawiyah, M., & Ariwibowo, S. (2022). Film packaging cassava starch/eggshell powder composite containing antioxidant: preparation and characterization. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 524(2020), 1-7.
- Netramai, S., Kijchavengkul, T., Khamngam, C., Sirinupong, P., Kwanmuang, S., Samsudin, H., & Lertsiri, S. (2020). Development of calorimetric film with butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) extract for application in intelligent packaging. *Future Food Innovation for Better Health and Wellness*.
- Panou, A. & Karabagias, I. K. (2023). Biodegradable packaging materials for food preservation: sources, advantages, limitations, and future perspectives. *Coatings*, 13(1176), 1-19.
- Pudjiastuti, P., Wafiroh, S., & Fauzi, M. A. (2023). *Inovasi produk cangkang kapsul berbasis rumput laut*. Airlangga University Press.
- Putra, A. D., Johan, V., S., & Efendi, R. (2017). Penambahan sorbitol sebagai plasticizer dalam pembuatan film packaging pati sukun. *JOM Fakultas Pertanian*, 4(2), 1-15.
- Rabeler, F. & Feyissa, A. H. (2018). Kinetic modelling of texture and color changes during thermal treatment of

- chicken breast. *Food Bioprocess Technology*, 11, 1495-1504.
- Rahmawati, S., Pathuddin, S. N., Sangkota, V. D. A., Afadil, Anggraini, & Syawaliah, N. (2022). Characteristics and antioxidants of edible film from durian seeds (*Durio Zibethinus*) with additions to rosella flower extract (*Hibiscus Sabdariffa L.*). *Materials Today: Proceedings*, 65(1), 3109–3115.
- Santoso, R. A., & Atma, Y. (2020). Physical properties of edible films from pangasius catfish bone gelatin-breadfruits starch with different formulations. *Indonesian Food Science & Technology Journal*, 3(2), 42–47.
- Santoso, D. A. W., Rosidah, U., & Hermanto, H. (2022). The effect of incorporation of gambier filtrate and rosella flower petals extract on mechanical properties and antioxidant activity of canna starch based active edible film. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 16(1), 388–397.
- Seftiono, H., Pramesti, D. A. & Sumiasih, I. H. (2021). Color indicator film from butterfly pea (*Clitoria ternatea L.*) as smart packaging in broiler chicken meat.
- Vonnie, J. M., Rovina, K., Azhar, R. A., Huda, N., Erna, K. H., Felicia, W. X. L., Nur'Aqilah, M. N., & Abdul Halid, N. F. (2022). Development and characterization of the biodegradable film derived from eggshell and cornstarch. *Journal of Functional Biomaterials*, 13(2), 67-82.
- Wang, K., Wu, K., Xiao, M., Kung, Y., Corke, H., Ni, X., & Jiang, F. (2017). Structural characterization and properties of konjac and zein blend films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 1096-1104.
- Wardhani, D. H., Atmadja, A. A., & Nugraha, C. R. (2017). Pencegahan pencoklatan enzimatik pada porang kuning (*Amorphophallus oncophyllus*). *Reaktor*, 17(2), 104-110.
- Wiyantoko, B. & Astuti, A. (2020). Butterfly pea (*Clitoria ternatea L.*) extract as indicator of acid-base titration. *Indonesian Journal of Chemical Analysis*, 3(1), 22-32.
- Wu, C., Li, Y., Sun, J., Lu, Y., Tong, C., Wang, L., Yan, Z., & Pang, J. (2020). Novel konjac glucomannan films with oxidized chitin nanocrystals immobilized red cabbage anthocyanins for intelligent food packaging. *Food Hydrocolloids*, 98, 105245.
- Yan, J., Cui, R., Qin, Y., Li, L., & Yuan, M. (2021). A pH indicator film based on chitosan and butterfly pudding extract for monitoring fish freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 177, 328-336.
- Yousefi, H., Su, H. M., Imani, S. M., Alkhaldi, K., Filipe, C. D. M., & Didar, T. F. (2019). Intelligent food packaging: a review of smart sensing technologies for monitoring food quality. *ACS Sens.*, 2019(4), 808-821.
- Yun, D., Cai, H., Liu, Y., Xiao, L., Song, J., & Liu, J. (2019). Development of active and intelligent films based on cassava starch and Chinese bayberry (*Myrica rubra Sieb. et Zucc.*) anthocyanins. *Royal Society of Chemistry*, 9, 30905-30916.