
AGRITEKNO: Jurnal Teknologi Pertanian

Laman Jurnal: <https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/agritekno>

Karakteristik *Smart Biodegradable Film Packaging* Berbahan Alginat, Sorbitol, Bunga Telang, dan Tepung Cangkang Telur

Characteristics of Smart Biodegradable Film Packaging Based on Alginate, Sorbitol, Butterfly Pea Flower, and Eggshell Powder

Livia D. Salfira, Erni Setijawaty, Adrianus R. Utomo, Ignasius R. A. P. Jati*

Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Jl. Dinoyo 42-44, Surabaya 60265 Indonesia

*Penulis korespondensi: Ignasius R.A.P. Jati, e-mail: radix@ukwms.ac.id

ABSTRACT

*Smart biodegradable film packaging represents a technological advancement in environmentally friendly food preservation. This study examined the effects of the concentration of butterfly pea (*Clitoria ternatea*) flower extract concentration and chicken eggshell powder, as well as their interaction, on the functional properties of biodegradable film for food packaging. Butterfly pea flowers were dried and extracted in water at ratios of 1:250 and 1:125 (m/v), while chicken eggshell powder was incorporated at concentrations of 0.15% and 0.30% (w/v). A randomized block design with two factors was employed, i.e. butterfly pea flower extract and eggshell powder. Data were analyzed using analysis of variance ($\alpha = 0,05$) followed by Duncan's Multiple Range Test ($\alpha = 0,05$). The results showed that the butterfly pea flower extract significantly affected the film's bioactive properties, with total phenolic content ranging from 75.13-269.49 mg GAE/100 g, total anthocyanin content from 0.16-2.72 CGE/100 g, and antioxidant activity from 4.54-60.45%. A significant interaction between butterfly pea flower extract and chicken eggshell powder influenced the water vapor transmission rate, tensile strength, and percent elongation of the films. Furthermore, changes in color of both the packaging film and steamed chicken meat samples, as well as in the aroma and pH steamed chicken meat samples were observed during storage.*

Keywords: *Butterfly pea flowers extract; chicken eggshell powder; smart biodegradable film packaging*

ABSTRAK

Smart biodegradable film packaging merupakan bentuk kemajuan teknologi dibidang kemasan pangan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh konsentrasi ekstrak bunga telang, tepung cangkang telur ayam, dan interaksi antar keduanya pada karakteristik fisikokimia *smart biodegradable film packaging* serta kemampuannya sebagai pengemas produk pangan. Pembuatan ekstrak bunga telang didapat dari perbandingan bunga telang kering dan air sebesar 0 (tanpa bunga telang kering) sebagai kontrol, 1:250, dan 1:125 (b/v). Tepung cangkang telur ayam yang ditambahkan sebesar 0 (tanpa tepung cangkang telur) sebagai kontrol, 0,15 dan 0,3% (b/v). Rancangan penelitian yang digunakan adalah rancangan acak kelompok dua faktor yaitu penambahan ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur. Data yang didapatkan diuji dengan analisis ragam ($\alpha = 0,05$) dan dilanjutkan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* ($\alpha = 0,05$). Berdasarkan pengujian pada *smart biodegradable film packaging* menunjukkan bahwa terdapat pengaruh ekstrak bunga telang terhadap nilai total fenol 75,13- 269,49 mg GAE/100 g sampel, total antosianin 0,16-2,72 CGE/100 g sampel, dan aktivitas antioksidan 4,54-60,45% serta terdapat interaksi antara ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur ayam terhadap nilai *water vapor transmission rate*, kuat tarik, dan persen pemanjangan. Selain itu, terjadi perubahan warna pada *smart biodegradable film packaging* dan daging ayam kukus, serta aroma dan pH sampel daging ayam kukus.

Kata kunci: Ekstrak bunga telang; tepung cangkang telur; kemasan *biodegradable* cerdas

<https://doi.org/10.30598/jagritekno.2025.14.1.60>

Submisi: 2 Desember 2024; Review: 3 Februari 2025; Revisi: 26 Maret 2025; Diterima: 10 April 2025

Tersedia Online: 30 Juni 2025

Terakreditasi Kemendikbudristek SK. 177/E/KPT/2024

ISSN [2302-9218](#) (Print) ISSN [2620-9721](#) (Online) / © Penulis. Penerbit Universitas Pattimura. Akses Terbuka dengan lisensi CC-BY-SA.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi mendukung manusia untuk menghasilkan kemasan ramah lingkungan dan memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi penurunan mutu bahan pangan yang dikemas, salah satu contohnya adalah *smart biodegradable film packaging*. *Smart biodegradable film packaging* merupakan kemasan yang dirancang untuk memberikan informasi mengenai perubahan kualitas produk pangan yang dikemas tanpa harus membuka kemasan secara berkala, memiliki kemampuan untuk menjaga mutu bahan pangan selama penyimpanan, dan bersifat *biodegradable* (Zhao *et al.*, 2022).

Salah satu jenis *biodegradable film* adalah *edible film*. *Edible film* merupakan pengemas yang memiliki sifat *biodegradable*, dan aman sebagai pengemas bahan pangan (Ismaya *et al.*, 2021). *Edible film* merupakan lembaran tipis yang dapat digunakan untuk mengemas bahan pangan. *Edible film* dapat terbuat dari hidrokoloid, lipida, dan komposit (Saputro *et al.*, 2017). Hidrokoloid yang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan *edible film* adalah protein, selulosa, pektin, alginat, dan polisakarida lain, sedangkan jenis lemak yang dapat digunakan adalah *wax*, gliserida, dan asam lemak. Komposit merupakan campuran dari hidrokoloid dan lemak (Manab *et al.*, 2017).

Salah satu hidrokoloid yang dapat digunakan dalam pembuatan *edible film* adalah alginat. Alginat merupakan polisakarida yang diekstraksi dari alga coklat dan berperan sebagai komponen penyusun utama dinding sel (Estiasih *et al.*, 2017). Alginat umumnya ditemukan dalam bentuk garam natrium, kalsium, atau ammonium dari asam alginat (Febriani, 2011). Alginat sering dimanfaatkan sebagai *stabilizer*, *emulsifier*, pengental, dan membentuk lapisan *film* (Kasanah *et al.*, 2019; Wibowo *et al.*, 2019). Penelitian Khairunnisa *et al.* (2018) memaparkan *edible film* berbasis alginat umumnya bersifat kaku, akibatnya akan mudah untuk patah sehingga memerlukan bahan lain untuk meningkatkan sifat mekanik terutama kekuatan *film*. Menurut Cengristitama *et al.* (2023) dalam pembuatan *film* berbasis hidrokoloid dapat ditambahkan *plasticizer* untuk menghasilkan *film* yang tidak mudah rapuh dan dapat meningkatkan elastisitas *edible film*. *Plasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sorbitol. Penggunaan sorbitol sebagai *plasticizer film* berbasis alginat dinilai lebih baik dari gliserol dalam mempertahankan permeabilitas oksigen dan meningkatkan kuat tarik (Jost *et al.*, 2014; Hidayati *et al.*, 2015; Gao *et al.*, 2017). Sorbitol merupakan

gula alkohol dari hasil reduksi gugus aldehid pada glukosa menjadi gugus hidroksil (Estiasih *et al.*, 2022). Sorbitol sering dimanfaatkan dalam industri pangan sebagai pemanis, humektan, pemberi tekstur, pelembut, dan *plasticizer* (Marques *et al.*, 2016).

Ekstrak bunga telang memiliki pigmen antosianin yang dapat bereaksi dengan asam atau basa. Hasil penelitian Aprilliani *et al.* (2022), menunjukkan bahwa konsentrasi antosianin pada bunga telang sebesar 121,9 mg/L, jumlah ini lebih tinggi dibanding antosianin pada buah beet. Selain itu, pengujian Rawdkuen *et al.* (2020), menunjukkan bahwa antosianin dari ekstrak bunga telang kering memiliki sensitivitas perubahan warna yang lebih luas saat terjadi perubahan pH dibandingkan kulit buah naga, kol merah, bunga rosella kering, kulit manggis, dan ubi sehingga lebih mudah diamati. Bunga telang juga memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi (de Moraes *et al.*, 2020). Keberadaan antioksidan pada *smart biodegradable film packaging* dapat memperpanjang umur simpan dari produk pangan segar (Domínguez *et al.*, 2018). Bahan aktif selain ekstrak bunga telang yang dapat ditambahkan adalah cangkang telur (Hart & Onyeaka, 2020). Selama ini pemanfaatan bunga telang terbatas menjadi minuman bunga telang. Penggunaan ekstrak bunga telang pada *smart biodegradable film packaging* dapat berperan sebagai indikator kerusakan yang ditandai dengan perubahan warna, selain itu antioksidannya dapat melindungi produk yang dikemas. Kedua fungsi penting ini mengubah *biodegradable packaging* menjadi cerdas atau *smart* di mana secara aktif mampu melindungi produk dan berperan sebagai indikator kerusakan.

Penggunaan tepung cangkang telur sebagai bentuk pemanfaatan limbah yang terbarukan, mudah ditemui, dan murah. Tepung cangkang telur memiliki sifat aktif karena kalsium pada tepung cangkang telur dapat berikatan dengan CO₂ membentuk CaCO₃ (Hart & Onyeaka, 2020). Penggunaan tepung cangkang telur juga berfungsi sebagai *filler* yang dapat meningkatkan ketebalan dengan mengisi matriks *film* dan meningkatkan karakteristik mekanik pada *film* (Nata *et al.*, 2020). Menurut Vonnice *et al.* (2022) tepung cangkang telur dapat memperkecil pori-pori pada matriks *film* sehingga akan menghasilkan *Water Vapor Transmission Rate* (WVTR) yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penambahan ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur terhadap karakteristik fisikokimia *smart biodegradable film packaging* berbahan sodium alginat dan sorbitol.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan utama pembuatan *smart biodegradable film packaging* yaitu sodium alginat yang didapatkan dari toko komersial dan sorbitol yang diperoleh dari toko bahan kimia di Surabaya serta air yang digunakan diperoleh dari AMDK yang dijual secara komersial. Bahan aktif yang digunakan yaitu bunga telang kering dan tepung cangkang telur yang diperoleh dari *e-commerce*. Bahan kimia yang digunakan dalam analisis adalah *puree analyses*.

Prosedur Penelitian

Rancangan Percobaan

Rancangan penelitian *smart biodegradable film packaging* ini menggunakan rancangan acak kelompok dua faktor yaitu penambahan ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur masing-masing dengan tiga konsentrasi dan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali setiap perlakuan sehingga diperlukan 27 (dua puluh tujuh) unit eksperimen. Taraf perlakuan ekstrak bunga telang didapat dari perbandingan bunga telang kering dan air sebesar T1 (tanpa bunga telang kering), T2 (1:250), dan T3 (1:125) (b/v), sedangkan taraf perlakuan tepung cangkang telur sebesar C1 (tanpa tepung cangkang telur), C2 (0,15%), dan C3 (0,3%) (b/v).

Pembuatan *Smart Biodegradable Film Packaging*

Pembuatan *smart biodegradable film packaging* diawali dengan pembuatan ekstrak bunga telang. Bunga telang kering direndam selama 15 menit dalam air bersuhu 80°C kemudian disaring sehingga didapatkan ekstrak bunga telang.

Pembuatan larutan *film* diawali dengan pemanasan ekstrak bunga telang dan air hingga 80°C dan diukur sebanyak 80 mL. Kemudian dilakukan pencampuran dan pengadukan ekstrak bunga telang/air dengan sodium alginat sebanyak 1,5%. Kemudian ditambahkan tepung cangkang telur dan sorbitol sebanyak 1% secara bertahap. Pencampuran bahan dilakukan pada penangas air dengan suhu 80°C dan dilakukan pengadukan secara konstan sehingga didapatkan larutan *film*. Kemudian, larutan *film* dicetak pada cetakan ukuran 10 cm x 15 cm dan dikeringkan pada ruangan ber-AC (20±2°C, RH 42±5%, ±72 jam). Setelah proses pengeringan, didapatkan lembaran *smart biodegradable film packaging*. Selanjutnya, dilakukan pelepasan lembaran *film* dari cetakan dan

penyimpanan lembaran *film* pada plastik *ziplock* berisi *silica gel* pada suhu ruang hingga dilakukan pengujian.

Ekstraksi *Smart Biodegradable Film Packaging*

Tahapan ekstraksi *smart biodegradable film packaging* dilakukan dengan pemotongan *film* menjadi beberapa bagian kecil kemudian, ditimbang sebanyak 1 g. Selanjutnya, ditambahkan 30 mL metanol dan didiamkan dalam *shaking waterbath* selama 1 jam pada suhu 40°C dengan kecepatan 125 rpm. Setelah itu, dilakukan penyaringan dan didapatkan ekstrak *smart biodegradable film packaging*. Selanjutnya, dilakukan pengukuran volume ekstrak dan penyimpanan ekstrak pada botol coklat.

Analisis Total Fenol (Hamid *et al.*, 2020)

Total fenol dapat ditentukan dengan reagen *Folin-Ciocalteu* dengan prinsip pembentukan senyawa kompleks *molibdenum tungsten* berwarna biru yang disebabkan oleh reagen *Folin-Ciocalteu*. Interaksi ini dipicu oleh reagen *Folin-Ciocalteu* yang mengoksidasi gugus hidroksil fenol. Analisis total fenol diawali dengan pembuatan kurva standar asam galat 1000 ppm. Prosedur analisis total fenol dilakukan dengan pemipetan 1 mL ekstrak sampel dan 0,5 mL reagen *Folin-Ciocalteu* kedalam tabung reaksi yang dibungkus *aluminium foil*. Kemudian dilakukan penghomogenan dengan *vorteks* dan didiamkan selama 8 menit. Selanjutnya, ditambahkan 4,5 mL Na₂CO₃ 2% dan disimpan pada ruangan gelap selama 1 jam dengan suhu ruang. Pengukuran absorbansi dilakukan pada panjang gelombang 765 nm dengan spektrofotometer. Hasil total fenol dinyatakan dalam satuan mg *gallic acid equivalent* (GAE)/100 g.

Analisis Kadar Antosianin metode pH Diferensiasi (Teng *et al.*, 2020)

Metode pengujian pH diferensiasi dalam pengujian kadar antosianin didasari oleh sifat antosianin yang dapat mengalami perubahan warna karena pH secara *reversible*. Prosedur analisis kadar antosianin dilakukan dengan pemipetan 1 mL sampel kedalam 2 tabung reaksi yang berbeda (tabung A dan B). Selanjutnya dilakukan penambahan 10 mL larutan *buffer* pH 1 kedalam tabung A dan larutan *buffer* pH 4,5 kedalam tabung B. Kemudian dilakukan penghomogenan dengan *vorteks*. Pengukuran absorbansi dilakukan pada panjang gelombang 530 nm dan 700 nm dengan spektrofotometer. Kadar antosianin dinyatakan dalam mg *cyandin-3-glucoside equivalent* (CGE)/100 g.

Analisis Aktivitas Antioksidan Metode DPPH (Nur Hanani *et al.*, 2018)

Prinsip pengujian ini melibatkan perubahan radikal bebas (DPPH) menjadi senyawa non radikal. Prosedur analisis aktivitas antioksidan dilakukan dengan pemipetan 0,25 mL ekstrak sampel, 0,5 mL larutan DPPH, dan 4 mL metanol kedalam tabung reaksi yang telah dibungkus dengan *aluminium foil*. Kemudian dilakukan penghomogenan dengan *vorteks* dan didiamkan selama 30 menit. Pengukuran absorbansi dilakukan pada panjang gelombang 517 nm dengan spektrofotometer.

Analisis *Water Vapor Transmission Rate* (WVTR)

Pengujian WVTR merupakan pengujian untuk menyatakan jumlah uap air yang mampu melewati lapisan *film*. Jumlah uap air yang berdifusi melalui *edible film* akan terserap oleh *silica gel* sehingga terjadi penambahan berat pada *silica gel*. Analisis WVTR dilakukan dengan pengisian gelas sloki dengan *silica gel* sebanyak 10 g. Kemudian, dilakukan perekatan *smart biodegradable film packaging* pada mulut gelas sloki. Selanjutnya, sampel uji disimpan dalam desikator berisi larutan NaCl jenuh. Kemudian, dilakukan penimbangan setiap 24 jam selama 5 hari untuk menentukan penambahan berat *silica gel* dan nilai WVTR.

Analisis Kuat Tarik dan Persen Pemanjangan (ASTM D882-18)

Pengujian kuat tarik dilakukan untuk mengidentifikasi besarnya gaya tarik yang dibutuhkan dalam mencapai titik tarik maksimum pada *edible film*. Persen pemanjangan merupakan nilai pertambahan panjang maksimum hingga *film* putus dibanding dengan panjang awal. Preparasi sampel dilakukan dengan pengkondisian sampel pada suhu $23 \pm 5^\circ\text{C}$ dan RH $50 \pm 10\%$ minimal 40 jam. Lalu, dilakukan pemotongan sampel menjadi 145 mm x 10 mm. Sampel diuji menggunakan mesin uji tarik dimana *film* dapat ditarik melalui kedua ujungnya menggunakan grip dengan kecepatan dan jarak jepit tertentu. Nilai uji kuat tarik sampel dinyatakan dalam gaya (N/mm^2) yang diperlukan untuk menarik sampel hingga sebelum sampel putus dan nilai persen pemanjangan dinyatakan dalam (%).

Pengujian Warna *Smart Biodegradable Film Packaging* Dan Sampel Daging Ayam Kukus

Pengujian warna *smart biodegradable film packaging* dilakukan secara kuantitatif menggunakan *color reader* dan pengujian warna sampel daging ayam kukus (bagian dada) dilakukan

secara kualitatif. Pada penelitian ini *smart biodegradable film packaging* digunakan sebagai penutup cup plastik yang diisi dengan sampel daging ayam kukus untuk mengetahui efektifitas *smart biodegradable film packaging* sebagai indikator perubahan pH. Sampel daging ayam dipotong hingga berukuran $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$. Kemudian dikukus selama 10 menit dan didinginkan hingga mencapai suhu ruang. Selanjutnya, sampel daging ayam disimpan pada *cup* plastik dan ditutup menggunakan *smart biodegradable film packaging*. Penyimpanan dilakukan selama 72 jam dan dilakukan analisis warna *smart biodegradable film packaging* menggunakan *color reader* serta warna sampel daging ayam kukus setiap 24 jam.

Pengujian Aroma dan pH Sampel Daging Ayam Kukus

Pengujian aroma dilakukan secara kualitatif dan pengujian pH dilakukan dengan pH meter setiap 24 jam selama penyimpanan sampel daging ayam kukus. Prosedur pengujian pH dilakukan dengan penghalusan sampel daging ayam kukus menggunakan mortar dengan perbandingan sampel daging ayam kukus dan akuades sebesar 1:2 (b/v). Kemudian, dilakukan penyaringan dengan kain saring dan didapatkan ekstrak sampel daging ayam kukus. Selanjutnya, dilakukan pengujian pH dengan pH meter pada ekstrak sampel daging ayam.

Analisis Data

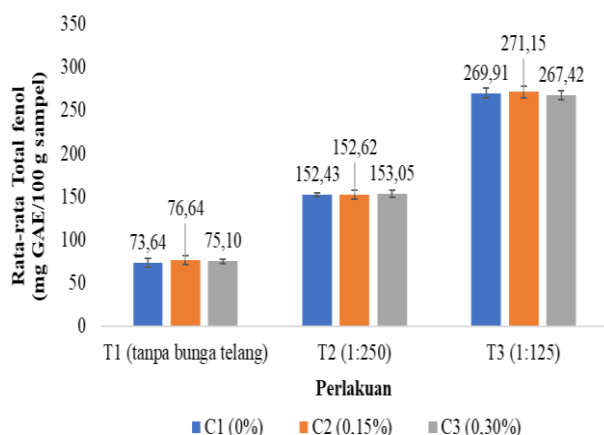
Hasil perhitungan pengujian total fenol, total antosianin, aktivitas antioksidan, *water vapor transmission rate*, kuat tarik, dan persen pemanjangan *smart biodegradable film packaging* dianalisis dengan analisis ragam (ANOVA). Apabila $F_{\text{hitung}} \geq F_{\text{tabel}}$ maka analisis data dilanjutkan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) untuk mengetahui taraf perlakuan yang memberikan perbedaan nyata. Level signifikan yang digunakan untuk pengujian ANOVA dan DMRT sebesar $\alpha = 0,05$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Total Fenol

Menurut Tuan Putra *et al.* (2021) bunga telang dapat berperan sebagai sumber fenol dengan aktivitas antioksidan yang tinggi sehingga pada penelitian ini menggunakan ekstrak bunga telang sebagai sumber bahan aktif. Menurut Marpaung (2020) beberapa senyawa fenol pada bunga telang adalah flavonoid (flavonol, antosianin, dan flavon),

asam fenolat (asam hidroksi sinamat dan asam hidroksi benzoat), tanin, dan *anthraquinones*. Kadar fenol ekstrak bunga telang dilaporkan 93,91 mg GAE/g. Meskipun lebih kecil dari kulit manggis (222,7 mg GAE/g), kadar fenol bunga telang masih lebih tinggi dibandingkan kulit anggur, buah *blueberry*, dan beberapa komoditas bunga yang lain. Berdasarkan pengujian ANOVA ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antar konsentrasi bahan aktif ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur ayam terhadap nilai total fenol *smart biodegradable film packaging*. Tidak terdapat pengaruh konsentrasi tepung cangkang telur terhadap nilai total fenol *smart biodegradable film packaging* namun, terdapat pengaruh konsentrasi bahan aktif ekstrak bunga telang terhadap nilai total fenol *smart biodegradable film packaging*. Pengujian lanjut dilakukan dengan metode DMRT ($\alpha = 0,05$). Hasil pengujian total fenol *smart biodegradable film packaging* dapat dilihat pada Gambar 1. dan hasil uji lanjut dapat dilihat pada Gambar 2.

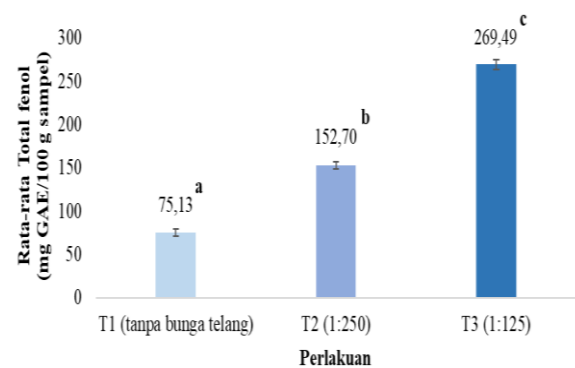


Gambar 1. Histogram hasil pengujian total fenol *smart biodegradable film packaging*

Tingginya nilai total fenol dapat terjadi karena penggunaan bunga telang yang semakin banyak dalam pembuatan ekstrak bunga telang, akibatnya senyawa fenol yang terlarut juga akan semakin banyak. Besarnya nilai total fenol pada perlakuan T1 kemungkinan disebabkan oleh keberadaan gugus -OH pada alginat sehingga ikut terbaca pada pengujian total fenol. Menurut Gao *et al.* (2017) sodium alginat merupakan polisakarida yang kaya akan gugus hidroksil.

Peningkatan nilai fenol ini didukung dengan hasil penelitian dari Moghadam *et al.* (2021) yang menunjukkan adanya peningkatan total fenol dari 3,89 hingga 11,47 mg GAE/g seiring penambahan konsentrasi ekstrak *Echium amoenum* yaitu 2,5-

10% pada *edible film* berbasis protein kacang hijau. Peningkatan ini terjadi karena adanya senyawa fenolik utama seperti asam *rosmarinic* dan antosianin (*delphinidin*, *chrysanthemin*, dan *cyanidin*) pada ekstrak *Echium amoenum* yang ditambahkan. Hasil penelitian Ekrami *et al.* (2022) juga menyatakan adanya peningkatan total fenol dari 45,89 hingga 158,99 mg GAE/100 g seiring penambahan konsentrasi ekstrak bunga *saffron* yaitu 2,5-10% v/v pada *edible film* berbasis *salep mucilage* dan gliserol. Hasil peningkatan total fenol juga sejalan dengan penelitian Aydogdu Emir *et al.* (2023) yang menyatakan adanya peningkatan total fenol dari 16,22 hingga 52,92 mg GAE/g seiring peningkatan konsentrasi ekstrak *Aronia melanocarpa* yaitu 5-15% pada *film* berbasis *guargum*.



Keterangan: Perbedaan notasi (a, b, dan c) menunjukkan perbedaan nyata ($\alpha = 0,05$)

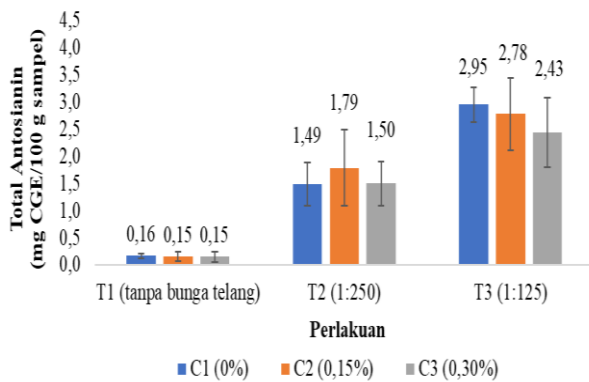
Gambar 2. Histogram hasil uji lanjut total fenol perlakuan ekstrak bunga telang

Hasil pengujian ANOVA total fenol juga menunjukkan tidak adanya pengaruh penambahan konsentrasi tepung cangkang telur terhadap total fenol pada *smart biodegradable film packaging*. Komponen utama pada cangkang telur adalah CaCO_3 sebesar 94%, serta $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ dan MgCO_3 masing-masing sebesar 1%. Penambahan tepung cangkang telur tidak memengaruhi total fenol keseluruhan pada *smart biodegradable film packaging* karena tidak memiliki senyawa fenol.

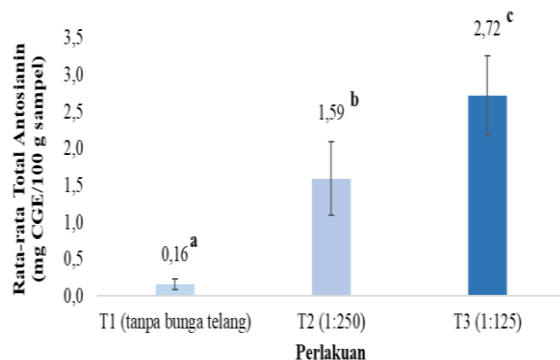
Total Antosianin

Antosianin umumnya dikenal sebagai ternatin yang terpoliasil berdasarkan struktur delfinin (Jeyaraj *et al.*, 2021). Berdasarkan pengujian ANOVA ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antar konsentrasi bahan aktif ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur terhadap nilai total antosianin *smart biodegradable film packaging*. Tidak terdapat pengaruh

konsentrasi tepung cangkang telur terhadap nilai total antosianin *smart biodegradable film packaging* namun, terdapat pengaruh konsentrasi bahan aktif ekstrak bunga telang terhadap nilai total antosianin *smart biodegradable film packaging*. Pengujian lanjut dilakukan dengan metode DMRT ($\alpha = 0,05$). Hasil pengujian total antosianin *smart biodegradable film packaging* dapat dilihat pada Gambar 3 dan hasil uji lanjut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Histogram hasil pengujian total antosianin *smart biodegradable film packaging*



Keterangan: Perbedaan notasi (a, b, dan c) menunjukkan perbedaan nyata ($\alpha = 0,05$)

Gambar 4. Histogram hasil uji lanjut total antosianin perlakuan ekstrak bunga telang

Total antosianin tertinggi ditunjukkan pada perlakuan T3. Peningkatan ini disebabkan oleh jumlah senyawa antosianin dari bunga telang yang terlarut pada air seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak bunga telang. Nilai antosianin pada perlakuan T1 kemungkinan dapat disebabkan oleh keberadaan pigmen pada alga coklat yang masih tersedia pada sodium alginat yang digunakan. Menurut Widyartini *et al.* (2021) alga coklat memiliki pigmen fukosantin yang memiliki kemampuan untuk menyerap cahaya hijau pada 500-550 μm , serta memiliki pigmen klorofil-a dan klorofil-c yang memiliki kemampuan untuk

menyerap cahaya merah pada 630-638 μm . Berdasarkan pengujian ANOVA tepung cangkang telur yang ditambahkan tidak berpengaruh terhadap total antosianin *smart biodegradable film packaging* karena tepung cangkang telur tidak memiliki senyawa antosianin.

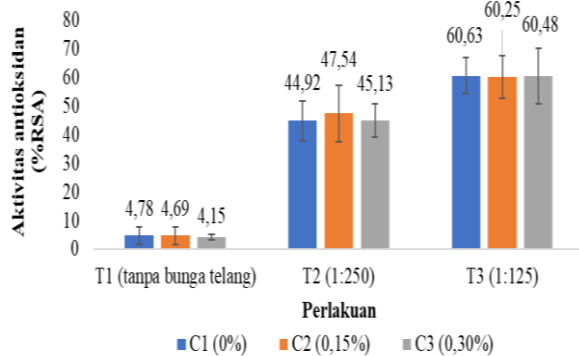
Hasil peningkatan total antosianin ini didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Nogueira *et al.* (2019), yang menyatakan bahwa total antosianin meningkat (43,15, 37,96, dan 57,52 mg/100 g padatan *blackberry*) seiring meningkatnya konsentrasi bubuk *blackberry* (20, 30, dan 40%) pada *edible film* berbasis pati garut. Hasil penelitian Ekrami *et al.* (2022) juga menyatakan adanya peningkatan total antosianin dari 3,09 hingga 8,02 mg CGE/100 g seiring penambahan konsentrasi ekstrak bunga *saffron* yaitu 2,5-10% v/v pada *edible film* berbasis *salep mucilage* dan gliserol. Hasil serupa juga ditunjukkan dari penelitian Santos *et al.* (2022) yang menyatakan adanya peningkatan total antosianin menjadi 20-37 mg CGE/100 g seiring penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang yaitu 10, 20, dan 40%.

Aktivitas Antioksidan

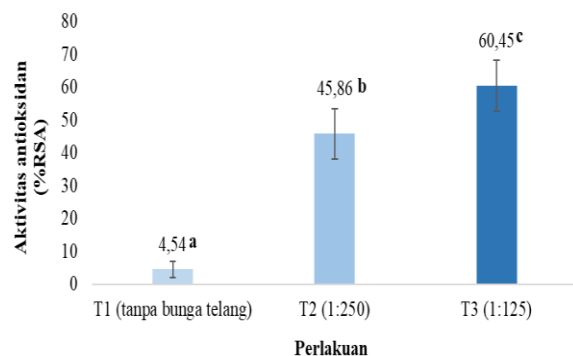
Antioksidan merupakan senyawa dengan kemampuan untuk menstabilkan radikal bebas dengan cara mendonorkan elektronnya pada radikal bebas. Berdasarkan pengujian ANOVA ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antar konsentrasi bahan aktif ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur terhadap aktivitas antioksidan *smart biodegradable film packaging*. Tidak terdapat pengaruh konsentrasi tepung cangkang telur terhadap aktivitas antioksidan *smart biodegradable film packaging* namun, terdapat pengaruh konsentrasi bahan aktif ekstrak bunga telang terhadap aktivitas antioksidan *smart biodegradable film packaging*. Pengujian lanjut dilakukan dengan metode DMRT ($\alpha = 0,05$). Hasil pengujian aktivitas antioksidan *smart biodegradable film packaging* dapat dilihat pada Gambar 5 dan hasil uji lanjut aktivitas antioksidan dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan adanya peningkatan %RSA tertinggi pada perlakuan T3. Peningkatan %RSA sejalan dengan hasil pengujian total fenol dan total antosianin sebelumnya. Hal ini terjadi karena peningkatan jumlah bunga telang yang digunakan dalam pembuatan ekstrak bunga telang, sehingga senyawa antioksidan yang terlarut juga semakin meningkat. Senyawa fenol pada bunga telang memiliki kemampuan untuk mentransferkan atom hidrogennya pada radikal bebas sehingga

radikal bebas lebih stabil. Menurut Kuswandari *et al.* (2022), senyawa fenol dan flavonoid mampu memberikan kontribusi pada aktivitas antioksidan.



Gambar 5. Histogram hasil pengujian aktivitas antioksidan *smart biodegradable film packaging*



Keterangan: Perbedaan notasi (a, b, dan c) menunjukkan perbedaan nyata ($\alpha = 0,05$)

Gambar 6. Histogram hasil uji lanjut aktivitas antioksidan perlakuan ekstrak bunga telang

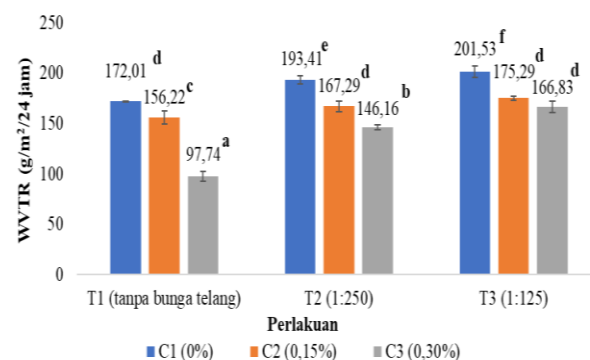
Hasil pengujian ini selaras dengan pengujian yang dilakukan oleh Sun *et al.* (2020) yang menyatakan adanya peningkatan aktivitas antioksidan (65,93-71,98%) seiring penambahan ekstrak *mulberry* (30, 60, 90 mg/g) pada *film* berbasis *konjac glukomanan* dan kitosan. Hasil penelitian Kumar *et al.* (2021) juga menunjukkan adanya peningkatan aktivitas antioksidan sebesar 23,13-76,54% seiring bertambahnya ekstrak kulit buah delima (0-1 g/mL) pada *edible film* berbasis kitosan. Hasil pengujian Moghadam *et al.* (2020) juga menyatakan adanya peningkatan aktivitas antioksidan (13,84-65,22%) seiring dengan peningkatan ekstrak kulit buah delima (2,5-25%) pada *edible film* berbasis protein kacang hijau.

Tepung cangkang telur yang ditambahkan tidak berpengaruh terhadap aktivitas antioksidan *smart biodegradable film packaging* karena tepung cangkang telur tidak memiliki senyawa antioksidan. Berdasarkan Tabel 6. pada perlakuan T1 menunjukkan adanya aktivitas senyawa antioksidan

yang dapat disebabkan oleh keberadaan gugus hidroksil pada alginat yang mampu berkontribusi dalam mentransfer elektron pada radikal bebas. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Kaczmarek (2020) yang menunjukkan bahwa alginat memiliki aktivitas antioksidan sebesar 5,87%. Aktivitas antioksidan pada alginat juga dipengaruhi oleh rasio berat molekul yang rendah dan banyaknya epimer *guluronic* dan *mannuronic* (Fawzy *et al.*, 2017).

Water Vapour Transmission Rate (WVTR)

WVTR didefinisikan sebagai tingkat kecepatan transfer uap air setiap satuan luas dari *edible film* (Lintang *et al.*, 2021). Semakin tinggi nilai WVTR mengindikasikan bahwa uap air semakin mudah untuk menembus *edible film* (permeabilitas kemasan tinggi). Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh *Japanese Industrial Standard (JIS)* (1975) nilai maksimal WVTR *edible film* sebesar 7 g/m²/24 jam. Oleh karena itu, nilai WVTR *smart biodegradable film packaging* belum memenuhi standar. Berdasarkan pengujian ANOVA ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa terdapat interaksi antar ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur, konsentrasi bahan aktif ekstrak bunga telang, dan konsentrasi tepung cangkang telur terhadap nilai WVTR *smart biodegradable film packaging*. Pengujian lanjut dilakukan dengan metode DMRT ($\alpha = 0,05$) untuk mengetahui taraf perlakuan yang memberikan perbedaan nyata. Hasil pengujian WVTR dan uji lanjut *smart biodegradable film packaging* dapat dilihat pada Gambar 7.



Keterangan: Perbedaan notasi (a-f) menunjukkan perbedaan nyata ($\alpha = 0,05$)

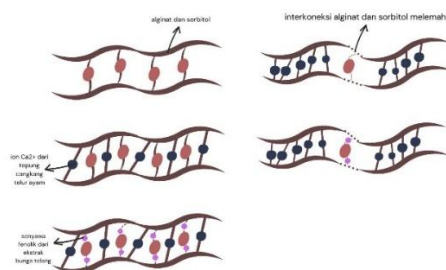
Gambar 7. Histogram hasil pengujian nilai WVTR dan uji lanjut *smart biodegradable film packaging*

Berdasarkan Gambar 7 terlihat bahwa perlakuan T3C1 memiliki nilai WVTR tertinggi. Tingginya nilai WVTR disebabkan oleh keberadaan senyawa fenol yang ada pada ekstrak bunga telang. Semakin banyak senyawa fenol, maka jumlah gugus

hidroksil (-OH) pada *smart biodegradable film packaging* juga semakin banyak sehingga mengakibatkan sifat hidrofilik *film* meningkat dan *film* lebih permeabel terhadap uap air (Yan *et al.*, 2021). Menurut Aydin & Zorlu (2022), keberadaan senyawa fenol dengan gugus -OH yang semakin banyak dapat melemahkan interaksi molekuler pada matriks *film*. Akibatnya akan terbentuk ruang bebas yang memudahkan uap air untuk berdifusi. Peningkatan ini terlihat pada perlakuan T2C1 yang berbeda nyata dengan T2C2 dan T3C3. Begitu pula dengan perlakuan T3C1 yang berbedanya dengan perlakuan T3C2 dan T3C3.

Hasil penelitian Yong *et al.* (2019) juga menyatakan adanya peningkatan WVTR pada *edible film* berbasis kitosan, dengan penambahan beras merah dan beras hitam sebesar 1, 3, dan 5%. Peningkatan WVTR pada penambahan beras merah sebesar $4,98-6,11 \times 10^{-11}/\text{g m.s.Pa}$ dan beras hitam sebesar $5,04-6,17 \times 10^{-11}/\text{g m.s.Pa}$. Peningkatan WVTR juga didukung oleh pengujian Aydin & Zorlu (2022) juga menunjukkan adanya peningkatan WVTR sebesar $4,70-9,65 \times 10^{-12} \text{ g/m.s.Pa}$ seiring penambahan konsentrasi *rosella* (1, 3, dan 5%) pada *edible film* berbasis alginat.

Secara umum seiring bertambahnya konsentrasi tepung cangkang telur yang ditambahkan pada *smart biodegradable film packaging* terjadi penurunan nilai WVTR. Penurunan tersebut terjadi karena adanya pembentukan ikatan silang antara ion Ca^{2+} dan alginat yang mampu memperkecil pori-pori pada matriks *film*. Akibatnya, uap air akan sulit berdifusi melalui *film* sehingga nilai WVTR yang dihasilkan semakin kecil (Gambar 8).



Gambar 8. Mekanisme interaksi molekuler alginat, sorbitol, dan komponen fenol pada *edible film*

Pembentukan ikatan silang antara ion Ca^{2+} dan alginat tidak hanya mengurangi ruang bebas pada matriks *film*, tetapi juga menyebabkan penurunan ikatan hidrogen pada matriks *film* sehingga *film* lebih bersifat hidrofobik (Jiang *et al.*, 2018; Vonnice *et al.*, 2022). Penurunan nilai WVTR pada perlakuan T3C2 dan T3C3 tidak saling berbeda nyata yang kemungkinan dipengaruhi oleh tingginya konsentrasi ekstrak bunga telang sehingga

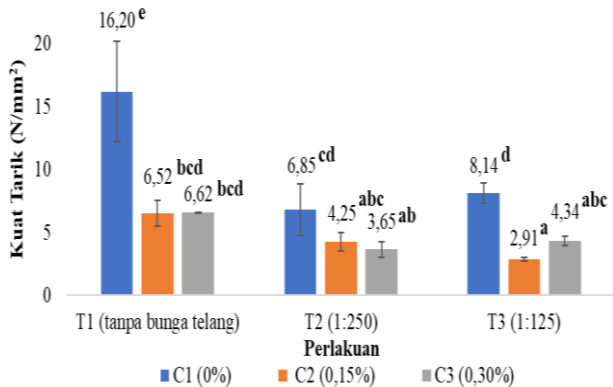
ruang bebas yang terbentuk terlalu banyak dan ikatan silang yang terbentuk belum mampu memperkecil ruang bebas. Pada perlakuan T1C3 menunjukkan nilai WVTR yang lebih rendah, kemungkinan terjadi karena saat semakin tinggi konsentrasi tepung cangkang telur maka mampu membentuk ikatan silang secara merata pada matriks *film* sehingga pori-pori pada matriks *film* lebih kecil. Selain itu, tidak adanya ekstrak bunga telang yang mampu menambah gugus hidrofilik pada matriks *film*, sehingga pembentukan ikatan silang akan lebih baik dan membuat nilai WVTR lebih rendah. Oleh karena itu perlu ditambahkan bahan lain guna memperkecil nilai WVTR. Bahan tersebut harus mampu meningkatkan ketahanan terhadap tembusan uap air. Beberapa bahan dengan sifat hidrofobik dapat ditambahkan seperti lilin lebah maupun *virgin coconut oil*.

Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Analisis kuat tarik merupakan pengujian yang menyatakan kemampuan *film* dalam menahan gaya tarik yang diberikan. Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh *Japanese Industrial Standard* (JIS) (1975) nilai minimum kuat tarik *edible film* adalah 0,3 MPa (0,3 N/mm²). Oleh karena itu, nilai kuat tarik *smart biodegradable film packaging* sudah memenuhi standar. Berdasarkan pengujian ANOVA ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa terdapat pengaruh interaksi antar ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur, konsentrasi bahan aktif ekstrak bunga telang, dan konsentrasi tepung cangkang telur terhadap nilai kuat tarik *smart biodegradable film packaging*. Pengujian lanjut dilakukan dengan metode DMRT ($\alpha = 0,05$). Hasil pengujian kuat tarik dan uji lanjut *smart biodegradable film packaging* dapat dilihat pada Gambar 9.

Perlakuan T1C1 memiliki nilai kuat tarik tertinggi, dan perlakuan T3C2 memiliki nilai kuat tarik terendah namun tidak berbeda nyata dengan T3C3, T2C2, dan T2C3. Secara umum terjadi penurunan nilai kuat tarik antar perlakuan seperti pada perlakuan T1 yang berbeda nyata dengan perlakuan T1C2 dan T1C3, demikian pula pada perlakuan T2 dan T3 yang tidak berbeda nyata antar perlakuan. Secara umum penambahan ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur mampu menurunkan nilai kuat tarik. Penambahan ekstrak bunga telang yang memiliki senyawa fenol mampu meningkatkan jumlah gugus OH pada matriks *film*. Semakin pekat ekstrak bunga telang yang ditambahkan maka semakin banyak gugus hidroksil yang berpotensi untuk menggantikan ikatan polimer pada *film*, sehingga mampu mengurangi interaksi

antar komponen dan mengakibatkan penurunan kekompakan pada matriks *film* (Rahmawati *et al.*, 2022).



Keterangan: Perbedaan notasi (a-e) menunjukkan perbedaan nyata ($\alpha = 0,05$)

Gambar 9. Histogram hasil pengujian nilai kuat tarik dan uji lanjut *smart biodegradable film packaging*

Hasil pengujian ini serupa dengan penelitian Ningsih *et al.* (2021) yang menyatakan adanya penurunan nilai kuat tarik ($4,11 \times 10^{-3}$ - $3,33 \times 10^{-3}$ N/mm²) pada *edible film* berbasis pati biji nangka dengan penambahan ekstrak bunga *rosella* (1,5-3%). Hasil pengujian Nogueira *et al.* (2019) juga menunjukkan adanya penurunan nilai kuat tarik seiring meningkatnya konsentrasi bubuk *blackberry* (0, 20, dan 30%) pada *edible film* berbasis pati garut.

Penambahan tepung cangkang telur juga dapat menurunkan nilai kuat tarik. Penambahan tepung cangkang telur akan membentuk ikatan silang (*cross linking*) antara ion Ca^{2+} pada CaCO_3 dengan gugus karboksil dari alginat. Keberadaan ikatan silang mengakibatkan pembentukan matriks yang lebih kompak atau padat, sehingga *film* memiliki kekuatan yang tinggi (Merakchi *et al.*, 2019). Namun, berdasarkan Gambar 9 menunjukkan adanya penurunan tren dan perbedaan nyata dari perlakuan tanpa adanya penambahan tepung cangkang telur dengan perlakuan yang ditambahkan tepung cangkang telur. Menurut Nata *et al.* (2020) tepung cangkang telur mampu menurunkan nilai kuat tarik pada *film* karena mampu memengaruhi kekompakan ikatan intermolekuler pada matriks *film* sehingga elastisitas *film* menurun seiring bertambahnya konsentrasi tepung cangkang telur yang digunakan (Gambar 8). Apabila ikatan silang pada matriks *film* terlalu banyak maka *film* yang dihasilkan memiliki sifat yang mudah rapuh (Lesti *et al.*, 2020; Villanueva *et al.*, 2023). Dengan demikian, tidak perlu adanya gaya yang besar untuk memutus ikatan *film* dan nilai kuat tarik akan

semakin rendah. Hasil pengujian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Jiang *et al.* (2018) yang menunjukkan adanya peningkatan nilai kuat tarik pada *edible film* berbasis tepung maizena dan gliserol dengan penambahan tepung cangkang telur konsentrasi (1, 1,5, 2, dan 2,5%), tetapi menurun pada konsentrasi 3%.

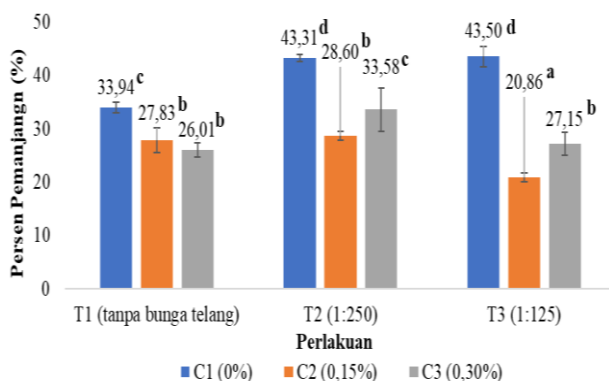
Persen Pemanjangan (*Elongation at Break*)

Analisis persen pemanjangan merupakan pengujian yang menyatakan kemampuan meregang dari *film* saat diberikan gaya tarik. Menurut (Santoso & Atma, 2020) tingginya nilai persen pemanjangan menunjukkan bahwa *film* memiliki sifat yang lebih fleksibel. Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh *Japanese Industrial Standard* (JIS) (1975) persen pemanjangan pada *film* memiliki tiga kategori yaitu kategori sangat buruk (< 10%), baik (10-50%), dan sangat baik (50%). Oleh karena itu, berdasarkan hasil pengujian pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai persen pemanjangan *smart biodegradable film packaging* masuk dalam kategori baik. Berdasarkan pengujian ANOVA ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa terdapat pengaruh interaksi antar ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur, konsentrasi bahan aktif ekstrak bunga telang, dan konsentrasi tepung cangkang telur terhadap nilai persen pemanjangan *smart biodegradable film packaging*. Pengujian lanjut dilakukan dengan metode DMRT ($\alpha = 0,05$) untuk mengetahui taraf perlakuan yang memberikan perbedaan nyata. Hasil pengujian persen pemanjangan dan uji lanjut *smart biodegradable film packaging* dapat dilihat pada Gambar 10.

Berdasarkan Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai persen pemanjangan pada perlakuan T2C1 dan T3C1 lebih tinggi serta memiliki notasi yang berbeda dibandingkan perlakuan T1C1. Ekstrak bunga telang mampu bertindak seperti *plasticizer* pada *film*. Ekstrak bunga telang mampu membentuk ikatan hidrogen dengan polimer *film*. Oleh karena itu, *film* memiliki kemampuan untuk meregang lebih panjang dengan gaya rendah (Ekrami *et al.*, 2022). Hasil pengujian ini didukung oleh penelitian Rawdkuen *et al.* (2020) dimana persen pemanjangan pada *film* berbasis gelatin dan gliserol meningkat yang semula 0,78% menjadi 2,1% saat ditambahkan ekstrak bunga telang sebesar 2%.

Penambahan tepung cangkang telur dapat menurunkan nilai persen pemanjangan pada *smart biodegradable film packaging*. Penambahan tepung cangkang telur dapat mengisi matriks *film* sehingga sifat mekanik film akan meningkat. Penurunan ini terjadi saat terbentuknya ikatan silang dari ion Ca^{2+} dengan gugus karboksil alginat. Pembentukan

ikatan silang ini membuat matriks *film* lebih rapat sehingga *film* akan lebih kaku dan rapuh. Akibatnya, nilai persen pemanjangan lebih rendah pada perlakuan yang ditambahkan tepung cangkang telur. Pada perlakuan T3C2 memiliki nilai persen pemanjangan yang lebih rendah dan berbedanya dengan perlakuan T2C2, begitu pula pada perlakuan T3C3 dan T2C3. Penurunan nilai persen pemanjangan pada perlakuan T3C2 dan T3C3 dapat disebabkan oleh tingginya konsentrasi ekstrak bunga telang yang digunakan sehingga gugus OH yang mampu berikatan dengan alginat lebih banyak, akibatnya pori-pori pada matriks *film* lebih lebar dan meningkatkan efek plastisasi pada *film* (Xue Mei *et al.*, 2020). Selain itu, mampu membatasi ikatan silang antar molekul air dan bahan lain (Li *et al.*, 2023). Sehingga memungkinkan bahwa konsentrasi tepung cangkang telur yang ditambahkan belum bisa membentuk ikatan silang yang dominan untuk merapatkan matriks *film*, sehingga saat ditarik mudah untuk putus. Akibatnya nilai persen pemanjangan akan lebih rendah.



Keterangan: Perbedaan notasi (a, b, c, dan d) menunjukkan perbedaan nyata ($\alpha = 0,05$)

Gambar 10. Histogram hasil pengujian nilai persen pemanjangan dan uji lanjut *smart biodegradable film packaging*

Berdasarkan Gambar 10, perlakuan T2C3 mengalami peningkatan yang berbeda nyata dengan T2C2. Hal serupa juga terjadi pada perlakuan T3C3 yang mengalami peningkatan persen pemanjangan dan berbeda nyata dengan T3C2. Peningkatan ini serupa dengan pengujian yang dilakukan Nata *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa tepung cangkang telur mampu meningkatkan nilai persen pemanjangan hingga pada konsentrasi tepung cangkang telur sebesar 10%. Hal serupa juga didapatkan dari penelitian Jiang *et al.* (2018) di mana persen pemanjangan meningkat seiring penambahan tepung cangkang telur hingga pada konsentrasi 2%. Peningkatan ini mungkin terjadi karena keberadaan senyawa organik dengan gugus

polar dalam tepung cangkang telur, meski dengan jumlah yang kecil. Senyawa tersebut mampu mendukung penyebaran tepung cangkang telur yang lebih merata pada matriks *film* dan meningkatkan pembentukan matriks *film* secara kontinu.

Perubahan Warna *Smart Biodegradable Film Packaging*

Hasil pengujian warna *smart biodegradable film packaging* disajikan pada Tabel 1 dengan beberapa parameter warna yaitu *L* (Lightness), *a** (redness), *b** (yellowness), *C* (chroma), dan *H* (Hue). Nilai *L* menyatakan tingkat kecerahan pada sampel, *a* (positif) warna merah, *a* (negatif) warna hijau, *b* (positif) warna kuning, dan *b* (negatif) warna biru (Hasriani, 2021), sedangkan nilai *C* (chroma) menunjukkan tingkat kemurnian warna dan *H* (Hue) menunjukkan representasi warna (Aprilliani *et al.*, 2022).

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan perbedaan intensitas warna pada *smart biodegradable film packaging* saat ditambahkan konsentrasi ekstrak bunga telang yang berbeda. Terlihat pada perlakuan T3C1 memiliki nilai *L* pada hari ke-0 yang lebih rendah dibandingkan perlakuan T2C1. Semakin rendah nilai *L* maka warna sampel semakin pekat atau tua. Perlakuan T3C1 juga menunjukkan nilai *a** yang lebih besar daripada perlakuan T2C1. Selain itu, pada perlakuan T3C1 juga menunjukkan nilai *b** yang lebih rendah. Artinya sampel T3C1 memiliki warna biru yang lebih pekat dibandingkan perlakuan T2C1. Pekatnya warna pada perlakuan T3C1 disebabkan oleh semakin banyaknya penggunaan bunga telang dalam pembuatan ekstrak bunga telang sehingga senyawa antosianin yang terlarut juga semakin banyak.

Perlakuan T1C1-T1C3 menunjukkan adanya perubahan warna dimana semakin tinggi konsentrasi tepung cangkang telur ayam menyebabkan *film* menjadi berwarna putih dan semakin keruh. Hal ini ditunjukkan dari intensitas nilai *L* yang semakin rendah seiring penambahan konsentrasi tepung cangkang telur. Hasil serupa juga didapatkan dari penelitian Nata *et al.* (2020) yang menyatakan penurunan nilai *L* seiring penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang (0-30%) pada *edible film* berbasis tapioka, ekstrak kelakai, dan gliserol. Penambahan tepung cangkang telur juga memengaruhi warna pada *smart biodegradable film packaging* perlakuan T2 dan T3. Perubahan warna pada perlakuan T2 ditunjukkan dengan menurunnya nilai *a** dan meningkatnya nilai warna *b** seiring penambahan konsentrasi tepung cangkang telur sehingga dapat menunjukkan bahwa sampel memiliki warna cenderung kehijauan.

Tabel 1.

Hasil pengujian warna *smart biodegradable film packaging* selama tiga hari penyimpanan sampel daging ayam kukus

Perlakuan	Parameter	Hari ke-			
		0	1	2	3
T1C1	<i>L</i>	82,57±1,16	80,57±0,49	80,27±0,29	80,13±1,86
	<i>a*</i>	-0,87±0,32	-0,50±0,10	-1,00±0,00	-1,67±0,31
	<i>b*</i>	-1,43±0,15	-1,33±0,29	-2,30±0,44	-2,93±0,12
	<i>C</i>	1,93±0,12	1,50±0,50	2,33±0,58	3,67±0,58
	<i>Hue</i>	235,77±7,32	250,30±6,02	246,80±5,30	242,67±5,86
	Warna				
T1C2	<i>L</i>	79,43±0,51	79,10±0,17	75,90±0,17	75,23±0,40
	<i>a*</i>	-0,67±0,15	-0,67±0,15	-1,20±0,44	-1,13±0,32
	<i>b*</i>	0,47±0,15	1,13±0,15	-0,77±0,40	-0,37±0,06
	<i>C</i>	1,00±0,00	1,40±0,53	1,67±0,58	1,00±0,00
	<i>Hue</i>	145,00±0,00	115,27±6,84	204,53±7,03	198,87±1,96
	Warna				
T1C3	<i>L</i>	76,74±0,09	75,96±0,04	75,98±0,28	76,23±0,64
	<i>a*</i>	-0,96±0,03	-1,10±0,03	-1,06±0,02	-1,04±0,03
	<i>b*</i>	0,00±0,01	-0,38±0,05	-0,25±0,06	-0,21±0,03
	<i>C</i>	1,36±0,07	1,34±0,12	1,23±0,05	1,31±0,05
	<i>Hue</i>	172,89±0,70	192,10±0,85	187,95±0,06	184,31±0,29
	Warna				
T2C1	<i>L</i>	44,87±0,23	44,97±0,06	45,60±0,66	45,00±0,00
	<i>a*</i>	-28,07±0,31	-21,07±1,01	-17,20±1,01	-13,67±1,15
	<i>b*</i>	-9,27±0,64	-5,53±0,50	-5,77±1,07	-3,47±0,47
	<i>C</i>	28,37±0,64	21,97±1,00	18,20±0,72	16,33±0,58
	<i>Hue</i>	198,87±1,21	194,60±2,51	198,43±4,18	193,00±2,00
	Warna				
T2C2	<i>L</i>	36,17±1,04	37,50±1,80	38,50±2,02	38,67±0,58
	<i>a*</i>	-17,00±1,00	-10,57±1,69	-10,90±1,15	-9,93±1,86
	<i>b*</i>	1,77±0,68	2,33±1,23	0,73±0,46	1,87±0,46
	<i>C</i>	17,40±1,22	10,60±1,64	10,90±1,15	9,67±2,08
	<i>Hue</i>	173,90±2,71	168,17±3,82	176,67±2,08	170,67±4,16
	Warna				
T2C3	<i>L</i>	40,97±1,05	40,97±0,96	40,20±1,71	41,23±1,75
	<i>a*</i>	-13,83±0,50	-10,97±1,03	-10,33±3,21	-10,37±1,40
	<i>b*</i>	2,83±0,38	0,77±0,50	-1,43±0,98	-2,80±0,60
	<i>C</i>	14,43±0,51	10,70±1,13	10,67±3,06	10,70±1,50
	<i>Hue</i>	168,17±0,76	176,73±1,62	187,03±4,53	194,90±1,18
	Warna				
T3C1	<i>L</i>	26,60±0,53	35,87±1,50	35,67±0,58	36,63±1,27
	<i>a*</i>	-14,70±1,08	-11,30±1,54	-11,20±0,20	-10,07±1,01
	<i>b*</i>	-14,60±0,66	-13,03±1,05	-12,33±0,58	-11,53±2,08
	<i>C</i>	20,10±1,15	17,30±1,13	16,67±0,58	15,43±1,69
	<i>Hue</i>	225,97±3,05	229,47±5,61	227,00±3,46	228,93±5,48
	Warna				

Tabel 1.

Hasil pengujian ... (Lanjutan)

T3C2	<i>L</i>	32,90±0,17	33,37±0,55	35,67±2,08	35,90±0,90
	<i>a*</i>	-9,40±0,53	-11,33±1,53	-7,13±0,90	-7,74±0,54
	<i>b*</i>	-2,67±0,42	-1,90±0,17	-1,47±0,50	-0,70±0,30
	<i>C</i>	9,83±0,29	11,67±2,08	7,10±0,85	10,00±1,00
	<i>Hue</i>	196,43±2,71	188,67±2,08	191,83±2,57	183,67±2,52
	Warna				
T3C3	<i>L</i>	32,17±3,13	33,37±0,35	36,33±1,53	35,57±0,90
	<i>a*</i>	-10,73±0,64	-9,93±1,01	-5,10±0,75	-5,83±0,96
	<i>b*</i>	-2,43±0,51	-2,40±0,10	-1,60±0,53	-1,03±0,06
	<i>C</i>	10,83±0,76	10,67±1,15	5,23±0,68	6,00±1,00
	<i>Hue</i>	192,47±2,20	193,00±1,73	197,73±5,22	191,07±2,72
	Warna				

Perubahan warna perlakuan T3 menunjukkan adanya peningkatan nilai *a** dan penurunan nilai *b** seiring penambahan konsentrasi tepung cangkang telur, menunjukkan bahwa sampel memiliki warna hijau cenderung lebih pekat. Perbedaan warna pada sampel T2 dan T3 kemungkinan dapat disebabkan semakin tingginya konsentrasi ekstrak bunga telang sehingga warna biru yang dihasilkan juga semakin pekat. Oleh karena itu, pada perlakuan T3 menghasilkan warna hijau pekat atau tua dibandingkan perlakuan T2. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, pH tepung cangkang telur berada pada pH basa yaitu $8,65 \pm 0,02$ sehingga, dengan penambahan tepung cangkang telur dapat merubah pH *film* menjadi lebih basa. Akibatnya, warna *smart biodegradable film packaging* mengalami perubahan warna menjadi hijau. Seiring lamanya penyimpanan sampel daging ayam kukus membuat warna *smart biodegradable film packaging* semakin memudar dan gelap. Perubahan warna yang semakin memudar terlihat pada nilai *L*, *a**, dan *b** yang semakin meningkat. Perubahan warna ini disebabkan deprotonasi. Lingkungan *film* menjadi semakin basa akibat proses dekomposisi dari sampel daging ayam (Seftiono et al., 2021). Proses dekomposisi terjadi karena adanya bakteri pembusuk yang mengubah protein menjadi asam amino hingga membentuk senyawa basa berupa gas volatil seperti amonia dan amina (Hematizad et al., 2021). Gugus -OH pada *smart biodegradable film packaging* berikatan dengan komponen volatil, menyebabkan perbedaan nilai pH *film* dan kemudian merubah warna *film* (Seftiono et al., 2021).

Perubahan Warna, Aroma, dan pH Daging Ayam Kukus

Pemilihan daging ayam sebagai sampel didasarkan pada sifatnya yang tergolong kedalam

kategori makanan mudah rusak (*perishable food*) karena kaya akan kadar air dan protein. Salah satu indikasi kerusakan daging ayam yang disimpan dapat dianalisis dari perubahan warna, aroma, dan pH. Hasil pengujian perubahan warna, aroma, dan pH sampel daging ayam selama 3 hari penyimpanan disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2. menunjukkan adanya perubahan warna dari daging ayam yang semula putih menjadi coklat dengan intensitas yang berbeda-beda dan munculnya jamur pada perlakuan T1C1- T1C2. Peningkatan warna daging menjadi coklat dapat disebabkan karena terjadinya oksidasi lemak dan oksidasi protein secara terus menerus selama penyimpanan berlangsung. Asam lemak tak jenuh pada daging ayam akan berikatan dengan oksigen dan membentuk senyawa radikal (peroksida) yang mudah untuk terurai menjadi senyawa radikal lain (Domínguez et al., 2018) sedangkan pada oksidasi protein terjadi karena adanya perubahan ikatan kovalen pada protein oleh senyawa oksigen aktif dan terbentuknya senyawa radikal. Adanya reaksi oksidasi ini diiringi oleh penurunan kualitas pada produk pangan seperti perubahan warna, aroma, dan rasa. Menurut Vidana Gamage et al. (2021) keberadaan antioksidan yang tinggi pada bunga telang mampu menghambat oksidasi pada bahan pangan. Hal ini terlihat dari intensitas warna coklat yang lebih rendah pada perlakuan dengan penambahan ekstrak bunga telang. Seiring tingginya konsentrasi ekstrak bunga telang yang digunakan maka, intensitas warna coklat pada sampel ayam semakin rendah. Senyawa fenolik yang ada dalam bunga telang akan mentransfer atom H agar dapat menstabilkan radikal bebas, sehingga reaksi oksidasi pada daging ayam dapat dicegah (Drago et al., 2020).

Tabel 2.

Hasil pengujian warna, aroma, dan pH sampel daging ayam kukus selama 3 hari penyimpanan

Perlakuan	Hari	Warna*	Aroma**	pH
T1C1	0	Putih	-	6,08±0,00
	1	coklat (+2)	(+1)	6,45±0,01
	2	coklat (+4)	(+4)	6,68±0,02
	3	coklat (+6) berjamur	(+5)	7,11±0,01
T1C2	0	Putih	-	6,08±0,00
	1	coklat (+1)	(+1)	6,32±0,03
	2	coklat (+3)	(+3)	6,59±0,02
	3	coklat (+6) berjamur	(+5)	7,09±0,03
T1C3	0	Putih	-	6,08±0,00
	1	coklat (+1)	(+1)	6,24±0,02
	2	coklat (+2)	(+2)	6,36±0,02
	3	coklat (+4)	(+4)	6,51±0,03
T2C1	0	Putih	-	6,08±0,00
	1	coklat (+2)	(+1)	6,32±0,02
	2	coklat (+3)	(+3)	6,42±0,02
	3	coklat (+4)	(+4)	6,56±0,03
T2C2	0	Putih	-	6,08±0,00
	1	coklat (+1)	(+1)	6,27±0,03
	2	coklat (+2)	(+2)	6,37±0,02
	3	coklat (+4)	(+4)	6,53±0,01
T2C3	0	Putih	-	6,08±0,00
	1	coklat (+1)	(+1)	6,28±0,04
	2	coklat (+2)	(+2)	6,37±0,03
	3	coklat (+3)	(+3)	6,47±0,03
T3C1	0	Putih	-	6,08±0,00
	1	coklat (+1)	(+1)	6,33±0,05
	2	coklat (+3)	(+2)	6,49±0,04
	3	coklat (+4)	(+4)	6,59±0,08
T3C2	0	Putih	-	6,08±0,00
	1	coklat (+1)	(+1)	6,30±0,04
	2	coklat (+2)	(+2)	6,44±0,01
	3	coklat (+3)	(+3)	6,49±0,02
T3C3	0	Putih	-	6,08±0,00
	1	coklat (+1)	(+1)	6,23±0,04
	2	coklat (+2)	(+2)	6,32±0,00
	3	coklat (+3)	(+3)	6,44±0,03

Keterangan: *) semakin banyak tanda (+), maka intensitas warna cokelat semakin tinggi; **) semakin banyak tanda (+), maka aroma tidak sedap dari daging ayam semakin kuat

Tabel 2 juga menunjukkan adanya peningkatan intensitas aroma tidak sedap pada sampel daging ayam kukus selama 3 hari penyimpanan. Peningkatan intensitas aroma tidak sedap dapat terjadi karena reaksi oksidasi lemak dan protein

pada daging ayam mampu menghasilkan senyawa bervolatil seperti aldehid yang berbau tengik. Selain itu, keberadaan bakteri pembusuk dan enzim mampu menguraikan protein pada daging ayam menjadi asam amino dan polipeptida dan

menghasilkan senyawa bervolatil bersifat basa seperti amonia (Al Isyrofie *et al.*, 2022). Senyawa lain yang mampu menyumbang aroma tidak sedap pada sampel daging ayam adalah dimetilamin, hidrogen sulfida, trimetilamin, aldehid, ester, keton, dan asam lemak. Menurut Sheir *et al.* (2020) jenis bakteri yang umumnya menyebabkan aroma tidak sedap pada ayam adalah *Pseudomonas* sp. Semakin tinggi konsentrasi ekstrak bunga telang yang digunakan maka intensitas aroma tidak sedap pada sampel daging ayam lebih rendah dari perlakuan T1C1 dan T1C2 serta cenderung dapat dipertahankan seperti pada perlakuan T3C2 dan T3C3. Penambahan ekstrak bunga telang pada *smart biodegradable film packaging* mampu bertindak sebagai antioksidan. Selain itu, menurut Jamil & Pa'ee (2018) ekstrak bunga telang juga berpotensi sebagai agen antimikroba. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Leong *et al.* (2021) yang menyatakan adanya nilai inhibitor yang tinggi dan semakin meningkat terhadap bakteri Gram positif (*S. aureus* dan *B. subtilis*) dan bakteri Gram negatif (*E. coli*, *Acinetobacter anitratus*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Yersinia* sp.) pada *film* berbasis gelatin dan bunga telang. Oleh karena itu, kebusukan pada perlakuan dengan penambahan ekstrak bunga telang dapat dihambat.

Berdasarkan Tabel 2 juga menunjukkan adanya peningkatan pH pada sampel daging ayam kukus seiring lamanya waktu penyimpanan. Saat terjadi proses pembusukan oleh mikroba maka protein akan diuraikan menjadi senyawa yang lebih sederhana dan menghasilkan senyawa bervolatil bersifat basa seperti amonia yang akan mengakibatkan peningkatan pH pada sampel daging ayam kukus. Semakin tinggi konsentrasi ekstrak bunga telang maka pH pada sampel daging ayam kukus akan lebih rendah. Penurunan pH ini dapat terjadi karena kemampuan ekstrak bunga telang sebagai antimikroba seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Penambahan tepung cangkang telur juga berdampak pada intensitas warna, aroma, dan pH pada sampel daging ayam. Semakin tinggi konsentrasi tepung cangkang telur yang ditambahkan pada *smart biodegradable film packaging* maka, intensitas warna, aroma, dan pH sampel daging ayam semakin rendah. Adanya ikatan silang yang terjadi antara ion Ca^{2+} dari tepung cangkang telur dengan alginat menyebabkan penyusutan pori-pori dalam matriks *film*. Akibatnya transfer uap air dan oksigen dapat dihambat. Dengan demikian, dapat menghambat pertumbuhan mikroba pembusuk.

Adanya sifat antimikroba pada ekstrak bunga telang dan kemampuan tepung cangkang telur dalam membentuk ikatan silang pada matriks *film* sesuai dengan hasil penelitian yang disajikan pada Tabel 2. yang menunjukkan bahwa *smart biodegradable film packaging* pada perlakuan T3 mampu menghasilkan aroma, warna, dan pH pada sampel daging ayam kukus dengan intensitas yang lebih rendah dibandingkan perlakuan T2 atau T1. Efektivitas ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur juga ditunjukkan dengan tidak tumbuhnya jamur pada sampel daging ayam kukus perlakuan T2 dan T3. Pada perlakuan T1C3 juga tidak menunjukkan adanya pertumbuhan jamur pada sampel. Tidak tumbuhnya jamur kemungkinan terjadi karena saat semakin tinggi konsentrasi tepung cangkang telur yang ditambahkan maka mampu menghasilkan pori-pori matriks yang lebih kecil sehingga pertumbuhan mikroba dapat dihambat dan perubahan intensitas warna, aroma, serta pH sampel daging ayam lebih rendah dari perlakuan T1C1 dan T1C2. Masa simpan sampel daging ayam kukus juga dipengaruhi oleh nilai WVTR pada *film*. Terlihat pada perlakuan T1C3 memiliki nilai WVTR yang lebih kecil daripada perlakuan lainnya. Semakin rendah nilai WVTR maka dapat menunjukkan kemampuan *film* dalam menahan transfer uap air sehingga pertumbuhan mikroba dan reaksi oksidasi pada sampel daging ayam dapat dihambat, dengan begitu perubahan intensitas warna, aroma, serta pH sampel daging ayam lebih rendah.

KESIMPULAN

Terdapat interaksi antar ekstrak bunga telang dan tepung cangkang telur ayam terhadap nilai WVTR, kuat tarik, dan persen pemanjangan *smart biodegradable film packaging*. Selain itu, Terdapat pengaruh konsentrasi bahan aktif ekstrak bunga telang terhadap nilai total fenol, total antosianin, dan aktivitas antioksidan *smart biodegradable film packaging*. Penambahan ekstrak bunga telang mampu meningkatkan nilai total fenol (75,13-269,49 mg GAE/100 g sampel), total antosianin (0,16-2,72 mg CGE/100 g sampel), aktivitas antioksidan (4,54-60,45%), WVTR, dan persen pemanjangan pada *smart biodegradable film packaging*. Penambahan tepung cangkang telur ayam mampu menurunkan nilai kuat tarik, persen pemanjangan, dan WVTR pada *smart biodegradable film packaging*. *Smart biodegradable film packaging* juga mampu menjadi indikator penurunan mutu dengan mengalami

perubahan warna seiring lamanya penyimpanan sampel daging ayam kukus.

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 Isyrofie, A.I.F., Kashif, M., Aji, A.K., Aidatuzzahro, N., Rahmatillah, A., Winarno, Susilo, Y., Syahrom, A., & Astuti, S.D. (2022). Odor clustering using a gas sensor array system of chicken meat based on temperature variations and storage time. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 37, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2022.100508>.
- Aprilliani, F., Putri Ayuningtyas, L., & Adila Lestari, H. (2022). Bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) sebagai indikator pH dalam sistem kemasan pintar. *Agroteknika*, 5, 87–97. <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v5i2.133>
- Aydin, G., & Zorlu, E.B. (2022). Characterisation and antibacterial properties of novel biodegradable films based on alginate and roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Waste and Biomass Valorization*, 13, 2991–3002.
- Aydogdu Emir, A., Yildiz, E., Oz, E., Amarowicz, R., Proestos, C., Khan, M. R., Elobeid, T., & Oz, F. (2023). Development of simultaneous antioxidant and visual pH-sensing films based on guar gum loaded with Aronia melanocarpa extract. *International Journal of Food Science and Technology*, 58, 4376–4385. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16542>.
- Cengristitama, C., Herdiansyah, H., & Sari, M.W. (2023). Pengaruh penambahan kitosan dan plasticizer sorbitol pada proses pembuatan plastik *biodegradable* berbahan dasar pati kulit pisang tanduk. *Jurnal TEDC*, 17, 134–140.
- de Moraes, J. S., Sant'Ana, A.S., Dantas, A.M., Silva, B.S., Lima, M.S., Borges, G.C., & Magnani, M. (2020). Antioxidant activity and bioaccessibility of phenolic compounds in white, red, blue, purple, yellow and orange edible flowers through a simulated intestinal barrier. *Food Research International*, 131, 1–15. 109046. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109046>.
- Domínguez, R., Barba, F.J., Gómez, B., Putnik, P., Bursac Kovačević, D., Pateiro, M., Santos, E. M., & Lorenzo, J.M. (2018). Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. *Food Research International*, 113, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.073>.
- Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M., & Perego, P. (2020). Innovations in smart packaging concepts for food: An extensive review. *Foods*, 9, 1–42. <https://doi.org/10.3390/foods9111628>
- 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, 1360–1381. <https://doi.org/10.3390/chemistry4040089>.
- Estiasih, T., Putri, W.D.R., & Waziirroh, E. (2017). *Umbi-umbian dan Pengolahannya*. Universitas Brawijaya Press. Indonesia. 187 p.
- Estiasih, T., Putri, W.D.R., & Widyastuti, E. (2022). *Komponen Minor dan Bahan Tambahan Pangan*. Bumi Aksara. Indonesia. 310 p.
- Fawzy, M.A., Gomaa, M., Hifney, A.F., & Abdel-Gawad, K.M. (2017). Optimization of alginate alkaline extraction technology from *Sargassum latifolium* and its potential antioxidant and emulsifying properties. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1903–1912. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.077>
- Febriani, M. (2011). Alginate impression vs alginate impression plus cassava starch: Analisis Gambaran Mikroskopis. *Stomatognatic*, 8, 67–73.
- Gao, C., Pollet, E., & Avérous, L. (2017). Innovative plasticized alginate obtained by thermo-mechanical mixing: Effect of different biobased polyols systems. *Carbohydrate Polymers*, 157, 669–676. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.037>.
- Hamid, Thakur, N.S., Thakur, A., & Kumar, P. (2020). Effect of different drying modes on phenolics and antioxidant potential of

- different parts of wild pomegranate fruits. *Scientia Horticulturae*, 274, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109656>.
- Hart, A., & Onyeaka, H. (2020). Eggshell and seashells biomaterials sorbent for carbon dioxide capture. In: Khan, S.A.R., & Yu, A (Eds) *Carbon Capture*, pp. 83-94. IntechOpen. London, United Kingdom. 108 p.
- Hasriani. (2021). *Pembentukan Simplisia Kayu Secang: Melalui Optimasi Proses Pengeringan*. Azka Pustaka. Indonesia. 89 p.
- Hematizad, I., Khanjari, A., Basti, A.A., Karabagias, I.K., Noori, N., Ghadami, F., Gholami, F., & Teimourifard, R. (2021). In vitro antibacterial activity of gelatin-nanochitosan films incorporated with *Zataria multiflora* Boiss essential oil and its influence on microbial, chemical, and sensorial properties of chicken breast meat during refrigerated storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 30, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100751>
- Hidayati, S., Zuidar, A.S., & Ardiani, A. (2015). Aplikasi sorbitol pada produksi biodegradable film dari nata de cassava. *Reaktor*, 15, 196-204. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.3.195-203>.
- Ismaya, F.C., Fithriyah, N.H., & Hendrawati, T.Y. (2021). Pembuatan dan karakterisasi edible film dari nata de coco dan gliserol. *Jurnal Teknologi*, 13, 81-88. <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.13.1.81-88>.
- Jamil, N., & Pa'Ee, F. 2018. Antimicrobial activity from leaf, flower, stem, and root of *Clitoria ternatea* - A review. *AIP Conference Proceedings*, 2002, 1-6. <https://doi.org/10.1063/1.5050140>.
- Japanese Industrial Standard. (1975). *Japanese Standards Association* 2 1707. J-PAL, 6(1).
- Jeyaraj, E.J., Lim, Y.Y., & Choo, W.S. (2021). Extraction methods of butterfly pea (*Clitoria ternatea*) flower and biological activities of its phytochemicals. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 2054-2067. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04745-3>.
- 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, 1045-1054. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1527783>
- Jost, V., Kobsik, K., Schmid, M., & Noller, K. (2014). Influence of plasticiser on the barrier, mechanical and grease resistance properties of alginate cast films. *Carbohydrate Polymers*, 110, 309-319. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.096>.
- Kaczmarek, B. (2020). Improving sodium alginate films properties by phenolic acid addition. *Materials*, 13, 1-11. <https://doi.org/10.3390/ma13132895>.
- Kasanah, N., Setyadi, Triyanto, & Tyas, I.T. (2019). *Rumput Laut Indonesia Keanekaragaman Rumput Laut di Gunung Kidul Yogyakarta*. UGM Press. Indonesia. 108 p.
- Khairunnisa, S., Junianto, Zahidah, & Rostini, I. (2018). The effect of glycerol concentration as a plasticizer on edible films made from alginate towards its physical characteristic. *World Scientific News*, 112, 130-141.
- Kumar, N., Pratibha, Petkoska, A.T., Khojah, E., Sami, R., & Al-Mushhin, A.A.M. (2021). Chitosan edible films enhanced with pomegranate peel extract: Study on physical, biological, thermal, and barrier properties. *Materials*, 14, 1-18. <https://doi.org/10.3390/ma14123305>
- Kuswandari, F., Sinaga, E., Nurbaiti, & Husni, A. (2022). Analysis of total phenols, total flavonoids and anthocyanin levels in blue pea flowers (*Clitoria ternatea* L). *Journal of Tropical Biodiversity*, 2, 152-159.
- Leong, C.R., Daud, N.S., Tong, W.Y., Cheng, S.Y., Tan, W.N., Hamin, N.S., & Pa'ee, K.F. (2021). Gelatine film incorporated with clitoria ternatea-derived anthocyanin microcapsules, a food packaging material effective against foodborne pathogens. *Food Technology and Biotechnology*, 59, 422-431.
- Lesti, A., Cristy, G., Agustina, S., & Nata, I.F. (2020). Synthesis and characterization of starch-based functional edible film. *Konversi*, 9, 92-97. <https://dx.doi.org/10.20527/k.v9i2.9320>
- 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, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14421>

- Lintang, M., Tandi, O., Layuk, P., Karouw, S., & Dirpan, A. (2021). Characterization edible films of sago with glycerol as a plasticizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 807, 022070. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/2/022070>
- Manab, A., Sawitri, M.E., Awwaly, K.U.A. (2017). *Edible Film Protein Whey: Penambahan Lizozim Telur dan Aplikasi di Keju*. Universitas Brawijaya Press. Indonesia. 150 p.
- Marpaung, A.M. (2020). Tinjauan manfaat bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) bagi kesehatan manusia. *Journal of Functional Food and Nutraceutical*, 1, 63–85. <https://doi.org/10.33555/jffn.v1i2.30>.
- Marques, C., Tarek, R., Sara, M., & Brar, S.K. (2016). Sorbitol production from biomass and its global market. In: *Platform Chemical Biorefinery*. Elsevier. 217-227 p.
- Merakchi, A., Bettayeb, S., Drouiche, N., Adour, L., & Lounici, H. (2019). Cross-linking and modification of sodium alginate biopolymer for dye removal in aqueous solution. *Polymer Bulletin*, 76, 3535-3554.
- 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 Echium amoenum anthocyanins. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2984–2994. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00872-3>.
- 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.2020.105735>.
- 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, 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/524/1/012008>.
- Ningsih, P., Rahmawati, S., Santi, N.M.N., Suherman, & Diah, A.W.M. (2021). Making edible film from jackfruit seed starch (*Artocarpus heterophyllus*) with the addition of rosella flower extract (*Hibiscus sabdariffa* L.) as antioxidant. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 16, 691-699. <https://doi.org/10.18280/ijdne.160611>
- Nogueira, G.F., Fakhouri, F.M., Velasco, J.I., & de Oliveira, R.A. (2019). Active edible films based on arrowroot starch with microparticles of blackberry pulp obtained by freeze-drying for food packaging. *Polymers*, 11, 1382-1399. <https://doi.org/10.3390/polym11091382>
- Nur Hanani, Z.A., Aelma Husna, A.B., Nurul Syahida, S., Nor Khaizura, M.A.B., & Jamilah, B. (2018). Effect of different fruit peels on the functional properties of gelatin/polyethylene bilayer films for active packaging. *Food Packaging and Shelf Life* 18: 201–211. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.11.004>.
- Rahmawati, S., Nuryanti, S., Sangkota, V.D.A., & 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, 3109-3115.
- Rawdkuen, S., Faseha, A., Benjakul, S., & Kaewprachu, P. (2020). Application of anthocyanin as a color indicator in gelatin films. *Food Bioscience*, 36, 100603. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100603>
- Santos, L.G., Alves-Silva, G.F., & Martins, V.G. (2022). Active-intelligent and biodegradable sodium alginate films loaded with *Clitoria ternatea* anthocyanin-rich extract to preserve and monitor food freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 220, 866–877. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.120>.
- Santoso, R.A., & Atma, Y. (2020). Physical properties of edible films from pangasius catfish bone gelatin-breadfruits strach with different formulations. *Indonesian Food Science and Technology Journal*, 3, 42–47. <https://doi.org/10.22437/ifstj.v3i2.9498>.
- Saputro, B.W., Dewi, E.N., & Susanto, E. (2017). Karakteristik edible film dari campuran tepung semirefined karaginan dengan penambahan tepung tapioka dan gliserol. *Jurnal Pengetahuan dan Biotek Hasil Perikanan*, 6, 1–6.
- 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. *International Journal of Applied Biology*, 5, 13–25. [http://dx.doi.org/10.20956/ijab.v5i\(1\).13431](http://dx.doi.org/10.20956/ijab.v5i(1).13431).
- Sheir, S., Ibrahim, H., Hassan, M., & Shawky, N. (2020). Incidence of psychotropic bacteria in frozen chicken meat products with special reference to *Pseudomonas* species. *Benha Veterinary Medical Journal*, 39, 165–168. <https://doi.org/10.21608/bvmj.2020.37744.1238>.
- Sun, J., Jiang, H., Wu, H., Tong, C., Pang, J., & Wu, C. (2020). Multifunctional bionanocomposite films based on konjac glucomannan/chitosan with nano-ZnO and mulberry anthocyanin extract for active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 107, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105942>.
- Teng, Z., Jiang, X., He, F., & Bai, W. (2020). Qualitative and quantitative methods to evaluate anthocyanins. *EFood*, 1, 339–346. <https://doi.org/10.2991/efood.k.200909.001>.
- Tuan Putra, T.N.M., Zainol, M.K., Mohdisa, N.S., & Mohdmaidin, N. (2021). Chemical characterization of ethanolic extract of butterfly pea flower (*Clitoria ternatea*). *Food Research*, 5, 127–134. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(4\).744](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(4).744).
- Vidana Gamage, G.C., Lim, Y.Y., & Choo, W.S. (2021). Anthocyanins from *Clitoria ternatea* flower: Biosynthesis, extraction, stability, antioxidant activity, and applications. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.792303>.
- Villanueva, V., Valdés, F., Zúñiga, R.N., Villamizar-Sarmiento, M.G., Soto-Bustamante, E., Romero-Hasler, P., Riveros, A.L., Tapia, J., Lisoni, J., Oyarzun-Ampuero, F., & Valenzuela, C. (2023). Development of biodegradable and vermicompostable films based on alginate and waste eggshells. *Food Hydrocolloids*, 142, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108813>.
- 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, 1–15. <https://doi.org/10.3390/jfb13020067>.
- Wibowo, D.P., Mariani, R., & Aulifa, D.L. (2019). *Metabolit Biota Laut*. Yayasan Ahmar Cendekia Indonesia. Indonesia.
- Widyartini, D., Insan, A.I., Widodo, P., Susanto, A.B., & Yuniaty, A. (2021). *Ekspresi Gen dalam Biosintesis Alginat Sargassum polycystum*. UNSOED Press. Indonesia. 1–65 p.
- Xue Mei, L., Mohammadi Nafchi, A., Ghasemipour, F., Mat Easa, A., Jafarzadeh, S., & Al-Hassan, A.A. (2020). Characterization of pH sensitive sago starch films enriched with anthocyanin-rich torch ginger extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 4603–4612. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.082>.
- Yan, W., Yin, L., Zhang, M., Zhang, M. & Jia, X. (2021). Gelatinization, retrogradation, and gel properties of wheat starch-wheat bran arabinoxylan complexes. *Gels*, 7, 1–12.
- Yong, H., Liu, J., Qin, Y., Bai, R., Zhang, X., & Liu, J. (2019). Antioxidant and pH-sensitive films developed by incorporating purple and black rice extracts into chitosan matrix. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137, 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.009>.
- Zhao, L., Liu, Y., Zhao, L., & Wang, Y. 2022. Anthocyanin-based pH-sensitive smart packaging films for monitoring food freshness. *Journal of Agriculture and Food Research*, 9, 100340. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100340>.

Copyright © The Author(s)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)