

SMART PACKAGING DARI LIMBAH CAIR TAHU (WHEY) DENGAN PENAMBAHAN EKSTRAK BUNGA TELANG (*Clitoria ternatea L.*) SEBAGAI INDIKATOR

Smart Packaging from Tofu Whey with the Addition of Butterfly Pea Extract (Clitoria ternatea L.) as Indicator

Desi Rahmadani Putri¹, Deivy Andhika Permata^{2*}, Neswati²

¹Mahasiswa Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas

²Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas

Email: deivyandhikapermata@ae.unand.ac.id

ABSTRAK

Kemasan pangan berfungsi untuk menjaga kualitas makanan dan memperpanjang umur simpan dari produk yang ada didalamnya. Fitur Kemasan pangan yang ada saat ini pada umumnya tidak dapat memberikan informasi yang akurat kepada konsumen mengenai kerusakan pangan. Kekurangan ini dapat diatasi dengan mengembangkan teknologi kemasan pintar (*smart packaging*). *Smart packaging* dapat dibuat dari polimer alami yang terbuat dari limbah cair tahu dengan penambahan antosianin alami yaitu ekstrak bunga telang sebagai indikator. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penggunaan ekstrak bunga telang sebagai indikator dalam produksi *smart packaging*. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan variasi ekstrak bunga telang sebagai indikator kemasan. *Smart packaging* yang terbentuk dilakukan pengamatan fisik, kimia, mekanik dan aplikasinya sebagai pengemasan tahu. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan ekstrak bunga telang memberikan pengaruh nyata terhadap sifat fisik dan mekanik label indikator. Perlakuan terbaik yaitu pada penambahan ekstrak bunga telang dengan konsentrasi 7% dengan rata-rata nilai ketebalan 0,14 mm, daya serap air 23,20%, kekuatan tarik 0,13 MPa dan nilai elongasi 15,85%. *Smart packaging* dalam bentuk *film* indikator yang dirancang mampu mendeteksi kerusakan pada tahu yang dikemas.

Kata Kunci: Indikator; Kemasan; Label; Tahu; Telang

ABSTRACT

Food packaging serves to maintain food quality and extend the shelf life of the product inside. Current food packaging features generally cannot provide accurate information to consumers about food damage. This shortcoming can be overcome by developing smart packaging technology. Smart packaging uses natural polymers, such as tofu whey, with the addition of natural anthocyanins, namely butterfly pea extract, as an indicator. This study aims to examine the effect of using butterfly pea extract as an indicator in the production of smart packaging. The study used a completely randomized design with variations of butterfly pea extract as a packaging indicator. The resulting smart packaging was observed for its physical, chemical, and mechanical properties and application as tofu packaging. The results showed that adding butterfly pea extract had a significant effect on the physical and mechanical properties of the indicator label. The best treatment is the addition of butterfly pea extract with a concentration of 7% with an average thickness value of 0.14 mm, water absorption of 23.20%, tensile strength of 0.13 MPa, and elongation value of 15.85%. Smart packaging in designed indicator films can detect damage to the packaged tofu.

Keywords: Butterfly pea, Indicator; Label; Packaging; Tofu

PENDAHULUAN

Kemasan makanan merupakan pelindung makanan yang berfungsi untuk menjaga kualitas makanan dan memperpanjang umur simpan dari produk yang ada didalamnya. Fitur Kemasan pangan yang ada saat ini pada umumnya tidak dapat memberikan informasi yang lengkap kepada konsumen mengenai kerusakan pangan yang dikemas. Kekurangan ini dapat diatasi dengan mengembangkan teknologi kemasan pintar (*smart packaging*). *Smart packaging* merujuk pada kemasan yang tidak hanya bersifat protektif, tetapi juga mampu memberikan informasi terkait kualitas produk yang dikemas (Sakinah & Firmansyah, 2021).

Label pintar merupakan salah satu bentuk aplikasi *smart packaging*. Label pintar berupa *film* indikator warna dapat diterapkan pada bahan pengemas guna memantau perubahan kualitas produk selama penyimpanan. Kerusakan produk biasanya dapat dikarenakan oleh tumbuhnya bakteri pembusuk, pada akhirnya mengakibatkan terjadi perubahan warna, bau, munculnya lendir dan perubahan pH. Kerusakan ini menyebabkan terjadinya perubahan rasa menjadi asam.

Indikator warna biasanya dibuat menggunakan bahan pewarna sintetis. Pewarna sintetis memiliki kelebihan yaitu tingkat stabilitasnya yang sangat tinggi. Namun pada kenyataannya ditemukan bahwa penggunaan pewarna tersebut seringkali menimbulkan kekhawatiran akan kemungkinan efek samping yang ditimbulkan jika terjadi kontaminasi antara produk pangan dengan pewarna sintetis yang digunakan. Solusi yang diusulkan dari penelitian ini adalah penggunaan pewarna alami antosianin dari bunga telang. Antosianin dapat mengidentifikasi perubahan asam-basa, khususnya dalam konteks aplikasi sebagai indikator pH pada *film* indikator. Beberapa penelitian telah mengkaji sensitivitas antosianin dari berbagai sumber sebagai indikator pH yaitu antosianin yang berasal dari berbagai sumber seperti ubi ungu, kacang hitam, beras merah, dan kubis merah (Amalia *et al.*, 2021; Sitanggang *et al.*, 2020).

Film indikator dapat terbuat dari biomaterial yang mempunyai sifat terbarukan, seperti pati, selulosa, kolagen, kasein protein, lipid dan lainnya. Limbah cair tahu merupakan salah satu bahan yang mengandung protein dan berpotensi dijadikan bahan baku dalam pembuatan bioplastik (Permata *et al.*, 2024). Limbah cair tahu memiliki beberapa kandungan senyawa dan polimer yang dibutuhkan dalam pembuatan *film* indikator seperti protein (40%-60%), karbohidrat (25%-50%), lemak (8%-12%), dan sisanya berupa kalsium, besi, fosfor serta vitamin (Haerun *et al.*, 2018). Adanya berbagai polimer dan senyawa kompleks ini, menjadikan limbah cair tahu berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan *film* indikator, sehingga penelitian ini tidak hanya menciptakan kemasan pintar namun juga memanfaatkan limbah industri pangan.

Berdasarkan studi kepustakaan yang dilakukan belum ditemukan adanya penelitian yang mengkaji pemanfaatan ekstrak bunga telang sebagai *film* indikator kerusakan pangan berbahan baku limbah cair tahu, sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik *smart packaging* (*film* indikator) dari limbah cair tahu dengan variasi konsentrasi ekstrak bunga telang sebagai indikator.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan lima perlakuan dan tiga kali pengulangan. Data dianalisis menggunakan uji F dan jika berbeda nyata dilanjutkan dengan *Duncan* pada taraf nyata 5%. Perlakuan yang diberikan yaitu variasi konsentrasi ekstrak bunga telang dalam pembuatan *film* indikator (0%, 1%, 3%, 5%, dan 7%). Penelitian dimulai dengan preparasi sampel, proses ekstraksi bunga telang, pembuatan *film* indikator, dan aplikasi *film* indikator pada tahu.

A. Preparasi Sampel

Limbah cair tahu (*whey*) yang digunakan diperoleh dari pabrik tahu alami di Jl. Adinegoro, Lubuk Buaya, Kecamatan Koto Tangah, Kota Padang. *Whey* yang diperoleh masih dalam keadaan segar, memiliki warna kuning kehijauan, tekstur kental, hal ini karena pabrik tahu tersebut mengolah tahu setiap hari sehingga *whey* yang dihasilkan masih baik.

B. Proses Ekstraksi Bunga Telang (Permata & Asben, 2017)

Ekstraksi dilakukan dengan cara, merebus sebanyak 200 gram bunga telang dengan 1 L akuades. Proses perebusan dihentikan apabila volume larutan menjadi 100 mL. Larutan kemudian disaring dan ampasnya dibilas menggunakan akuades beberapa kali (menggunakan 400 mL akuades). Semua filtrat disatukan dan selanjutnya dipekatkan menggunakan *rotary vacum evaporator*, sampai volumenya menjadi 100 mL. Lalu pekatan yang dihasilkan dikeringkan menggunakan *freeze dryer*. Dilakukan pengamatan kadar antosianin, total padatan terlarut dan pH terhadap ekstrak pekat yang dihasilkan.

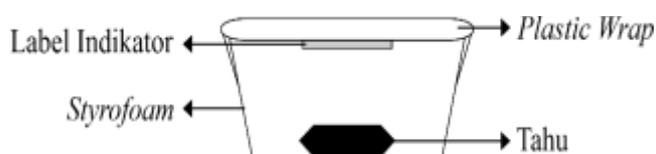
C. Pembuatan *Film* Indikator

Tahap proses pembuatan *film* indikator diawali dengan menyaring limbah cair tahu (*whey*) untuk menghilangkan padatan dan partikel yang tidak diinginkan. Setelah disaring dimasukkan ke dalam wadah. Selanjutnya dilakukan proses pembuatan larutan *film* indikator dengan mencampurkan 20 mL

limbah cair tahu (*whey*) dengan akuades sampai volumenya menjadi 100 mL. Larutan pembentuk film tersebut kemudian dipanaskan dengan menggunakan *hot plate* pada suhu 85°C selama 45 menit sambil diaduk. Pada menit ke 30 ditambahkan hidrokoloid berupa *Carboxy Methyl Cellulosa* (CMC) sebanyak 1 g dan gliserol 3 mL dengan pengadukan cepat sampai hidrokoloid larut. Kemudian ditambahkan ekstrak bunga telang (*Clitoria ternarea* L.) sesuai perlakuan. Larutan pembentuk *film* indikator didiamkan selama 10 menit tanpa pemanasan dan diaduk terus menerus. Selanjutnya dilakukan pencetakan dengan menuangkan sebanyak 25 mL larutan ke cawan petri. Cawan petri yang berisi larutan *film* indikator dikeringkan dengan *food dehydrator* pada suhu 55°C selama 12 jam. *Film* indikator yang telah kering didinginkan dalam ruang terbuka sampai suhu mencapai suhu ruangan, lalu dilepas dari cawan petri. *Film* indikator disimpan dalam wadah tertutup. Karakteristik *film* indikator yang dihasilkan dilakukan pengamatan ketebalan, daya serap air, kuat tarik dan elongasi.

D. Aplikasi *Film* Indikator pada Tahu

Film indikator siap pakai dipotong dengan ukuran 3x3 cm untuk diaplikasikan pada kemasan tahu. Tahu yang telah bersih diletakkan pada kemasan *stryrofoam*. *Film* indikator ditempelkan pada plastik wrap kemudian diaplikasikan pada kemasan untuk dilakukan pengamatan warna dan pH. Interval pengamatan selama setiap hari selama 5 hari dengan 3 kali pengulangan. Ilustrasi aplikasi label pada kemasan tahu dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Aplikasi *Film* Indikator pada Tahu

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Bahan Baku

Pada penelitian ini dilakukan analisis bahan baku terhadap ekstrak bunga telang meliputi uji kadar antosianin, pH antosianin dan uji total padatan terlarut yang terkandung pada ekstrak bunga telang. Analisa kadar antosianin dilakukan untuk melihat gambaran seberapa besar kandungan komponen pemberi warna (antosianin) pada ekstrak bunga telang yang akan digunakan sebagai indikator pada *film*. Rata-rata hasil analisa bahan baku dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisa Bahan Baku

Parameter	Hasil Analisis
Kadar Antosianin (ppm)	0,6882 ± 0,0146
Derajat Keasaman atau pH	4,70 ± 0,0144
Total Padatan Terlarut (°Brix)	9,4663 ± 0,7461

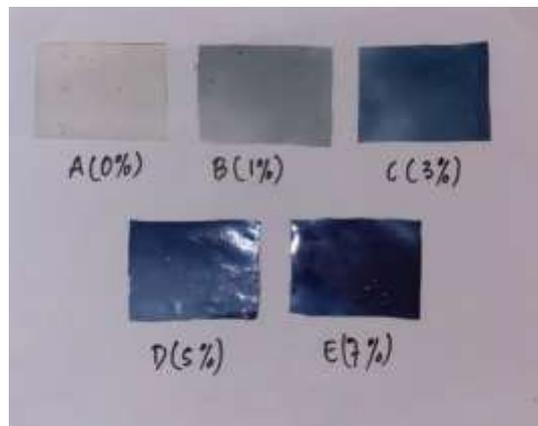
Ekstrak bunga telang dikenal kaya akan antosianin yang memberikan warna biru pada bunga tersebut. Pada penelitian ini, kadar antosianin yang diperoleh adalah sebesar 0,6882 ppm. Penelitian mengemukakan kandungan antosianin sebesar 0,1388 ppm (Purwaniati *et al.*, 2020), dan hasil penelitian ini kandungan antosianinnya lebih tinggi.

Pada penelitian ini diperoleh nilai pH ekstrak bunga telang yaitu berada pada rentang pH 4,70. Ekstrak bunga telang yang dihasilkan berwarna ungu pekat. Ekstrak bunga telang dengan kisaran pH 4-5 memiliki warna ungu dan stabilitasnya sangat baik. Ekstrak bunga telang dengan pH kisaran 4-5 mampu bertahan pada penyimpanan selama 2 bulan pada suhu ruang (Marpaung, 2018).

Total padatan terlarut merupakan indikator penting dalam menentukan konsentrasi senyawa terlarut dalam ekstrak bunga telang. Pada penelitian ini, nilai total padatan terlarut yang diperoleh adalah 9,4663 °Brix. Nilai ini dapat dikaitkan dengan keberadaan berbagai senyawa bioaktif, termasuk antosianin, alkaloid, flavonoid, saponin, tanin dan terpenoid.

B. Warna *film* Indikator

Film indikator ini terbuat dari hasil samping proses produksi tahu yaitu limbah cair tahu (*whey*) dengan penambahan ekstrak bunga telang sebagai indikator, *film* indikator yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2. Perbedaan penambahan konsentrasi ekstrak bunga telang berpengaruh terhadap penampakan *film* indikator yang dihasilkan. Pada perlakuan tanpa penambahan ekstrak bunga telang, *film* indikator yang dihasilkan berwarna bening kekuningan sedangkan pada perlakuan *film* indikator dengan penambahan ekstrak bunga telang 1% label indikator berwarna biru pudar semakin banyak penambahan ekstrak bunga telang (3%, 5% dan 7%) semakin biru tua warna *film* indikator yang dihasilkan.



Gambar 2. *Film* Indikator dengan Variasi Penambahan Ekstrak Bunga Telang

C. Ketebalan *Film* Indikator

Ketebalan merupakan parameter yang mempengaruhi berbagai aspek fungsional dan mekanik dari *film* indikator. Ketebalan yang optimal menjamin bahwa *film* memiliki kekuatan dan stabilitas yang memadai, mencegahnya menjadi terlalu rapuh atau sebaliknya terlalu kaku. Pengujian ketebalan penting supaya *film* dapat berfungsi secara efektif dalam lingkungan yang berbeda dan selama penyimpanan bahan. Uji ketebalan membantu dalam memastikan bahwa *film* indikator berfungsi dengan baik dalam merespon perubahan yang diindikasikan, sehingga ketebalan yang tepat diperlukan untuk hasil yang akurat. Berdasarkan analisis sidik ragam diperoleh bahwa penambahan variasi ekstrak bunga telang berpengaruh nyata terhadap nilai ketebalan *film* indikator. Rata-rata hasil pengujian dari masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Nilai Ketebalan *Film* Indikator

Perlakuan	Ketebalan (mm)
A (Ekstrak Bunga Telang 0%)	0,06 ±0,100 ^a
B (Ekstrak Bunga Telang 1%)	0,08 ±0,006 ^b
C (Ekstrak Bunga Telang 3%)	0,10 ±0,006 ^c
D (Ekstrak Bunga Telang 5%)	0,12 ±0,012 ^d
E (Ekstrak Bunga Telang 7%)	0,14 ±0,006 ^e

Berdasarkan hasil penelitian yang disajikan dalam Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam nilai ketebalan *film* indikator yang dihasilkan dari berbagai perlakuan. Semakin banyak penambahan ekstrak bunga telang maka semakin tebal *film* indikator yang dihasilkan. *Film* indikator tanpa penambahan ekstrak bunga telang memiliki nilai ketebalan terendah, yaitu 0,06 mm, sementara *film* indikator dengan penambahan ekstrak bunga telang 7% menunjukkan nilai ketebalan tertinggi, yaitu 0,14 mm.

Peningkatan ketebalan ini dapat dijelaskan melalui mekanisme interaksi antara komponen-komponen yang ada dalam ekstrak bunga telang dan bahan penyusun *film* indikator itu sendiri. Variasi penambahan ekstrak indikator warna pada *film* indikator berpengaruh pada total padatan yang terdapat dalam *film* setelah proses pengeringan (Supardianningsih *et al.*, 2023). Disamping itu semakin banyak pula senyawa aktif yang terlibat dalam pembentukan struktur *film*, sehingga menghasilkan *film* yang

lebih tebal. Kandungan zat-zat dalam ekstrak bunga telang seperti antosianin tidak hanya memberikan warna tetapi juga berkontribusi pada viskositas dan kekentalan larutan *film* indikator. Ketika larutan ini dikeringkan, zat-zat tersebut membentuk jaringan yang lebih padat, yang berujung pada peningkatan ketebalan *film*.

Merujuk pada penelitian sebelumnya dengan bahan baku indikator warna yang berbeda nilai ketebalan *film* indikator pada hasil penelitian ini cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian (Supardianningsih *et al.*, 2023) indikator berbahan PVA dan kereagenan dengan penambahan ekstrak bayam merah sebagai indikator menghasilkan ketebalan sekitar 0,011 mm – 0,015 mm.

D. Daya Serap Air *Film* Indikator

Pengujian daya serap air dilakukan sebagai salah satu parameter penting yang menggambarkan kemampuan *film* indikator menyerap air yang ada dalam kemasan. *Film* indikator dengan daya serap air yang tinggi dapat menunjukkan kemampuan *film* indikator berfungsi dengan optimal (Wahida, 2023). Air yang diserap berasal dari proses metabolisme mikroorganisme pembusuk selama proses penyimpanan produk pangan. Ketika pangan mulai membusuk atau mengalami perubahan kualitas, pH lingkungan sekitarnya biasanya akan berubah. Proses pembusukan sering disertai dengan pelepasan asam organik yang dapat menurunkan pH. Hasilnya, tingkat kelembapan disekitar pangan juga dapat meningkat karena proses fermentasi atau aktivitas mikroba yang menghasilkan produk sampingan berair.

Analisis daya serap air *film* indikator dapat ditentukan dengan menggunakan uji *swelling*. Uji *swelling* adalah salah satu pengujian daya serap air dengan menghitung persentase pengembangan *film* indikator dengan adanya air yang diserap. Berdasarkan analisis sidik ragam diperoleh bahwa penambahan ekstrak bunga telang berpengaruh nyata terhadap nilai daya serap air *film* indikator. Rata-rata hasil uji daya serap air *film* indikator pada penelitian ini berkisar 15,95 – 23,20%. Rata-rata hasil nilai daya serap air *film* indikator disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Nilai Daya Serap Air *Film* Indikator

Perlakuan	Daya Serap Air (%)
A (Ekstrak Bunga Telang 0%)	15,95 ±0,622 ^a
B (Ekstrak Bunga Telang 1%)	17,48 ±0,420 ^b
C (Ekstrak Bunga Telang 3%)	19,38 ±0,606 ^c
D (Ekstrak Bunga Telang 5%)	21,65 ±0,415 ^d
E (Ekstrak Bunga Telang 7%)	23,20 ±0,202 ^e

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 3 menunjukkan bahwa *film* indikator memiliki nilai daya serap air terendah pada *film* indikator tanpa penambahan ekstrak bunga telang sebesar 15,95% dan *film* indikator yang memiliki nilai daya serap air tertinggi adalah *film* indikator dengan penambahan ekstrak bunga telang 7% sebesar 23,20%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan ekstrak bunga telang secara signifikan mempengaruhi kemampuan *film* indikator untuk menyerap air, semakin banyak penambahan ekstrak bunga telang, maka nilai daya serap air semakin tinggi. Peningkatan ini berhubungan erat dengan struktur fisik *film* indikator. Ketika lebih banyak ekstrak bunga telang yang ditambahkan, struktur makromolekuler dari *film* indikator menjadi lebih renggang, hal ini terjadi karena komponen dalam ekstrak yaitu antozianin yang bersifat hidrofilik berinteraksi dengan bahan penyusun *film* indikator lainnya, dan menciptakan lebih banyak ruang-ruang kosong diantara molekul-molekulnya. Ruang-ruang ini memfasilitasi proses difusi air ke dalam *film*, sehingga memudahkan penetrasi molekul air, molekul air dapat dengan mudah memasuki ruang antar partikel, meningkatkan kemampuan *film* indikator untuk menyerap air (Wahida, 2023). Penelitian yang menggunakan kitosan, pati dan ekstrak kol merah (*Brassica oleracea*) dalam pembuatan *film* indikator, menunjukkan adanya peningkatan nilai daya serap air pada *film* tersebut seiring dengan peningkatan penambahan ekstrak kol merah (Silva-Pereira *et al.*, 2015).

E. Nilai Kuat Tarik *Film* Indikator

Kuat tarik merupakan salah satu sifat mekanik dari material *film* indikator. Kuat tarik mengukur seberapa banyak gaya yang dapat diterapkan pada sampel sebelum mengalami kerusakan atau putus. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan ekstrak bunga telang menunjukan pengaruh

berbeda nyata terhadap kekuatan tarik *film* indikator. Hasil analisis nilai kuat tarik *film* indikator dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Nilai Kuat Tarik *Film* Indikator

Perlakuan	Kuat Tarik (MPa)
A (Ekstrak Bunga Telang 0%)	0,49± 0,071 ^d
B (Ekstrak Bunga Telang 1%)	0,38± 0,080 ^d
C (Ekstrak Bunga Telang 3%)	0,29± 0,007 ^c
D (Ekstrak Bunga Telang 5%)	0,20± 0,015 ^b
E (Ekstrak Bunga Telang 7%)	0,13± 0,023 ^a

Bedasarkan hasil penelitian pada Tabel 4 rata-rata kekuatan tarik (*tensile strength*) *film* indikator berkisar antara 0,13 – 0,49 MPa. Nilai kuat tarik terendah terdapat pada *film* indikator dengan penambahan ekstrak bunga telang 7% sebesar 0,13 MPa dan nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada *film* indikator tanpa penambahan ekstrak bunga telang sebesar 0,49 MPa. Semakin banyak penambahan ekstrak bunga telang maka kekuatan tarik *film* indikator semakin menurun. Konsentrasi ekstrak bunga telang yang ditambahkan berpengaruh terhadap jumlah konsentrasi total padatan terlarut pada ekstrak bunga telang dan akan berimplikasi pada jumlah antosianin yang terdispersi pada *film* indikator. Peningkatan konsentrasi antosianin dapat mengurangi kohesi dalam jaringan biopolimer. Hal ini disebabkan oleh kecenderungan fase lipid dalam ekstrak menghambat pembentukan ikatan antarmolekuler antar protein, yang berdampak pada penurunan daya tarik dan daya regang film (Rocca-Smith *et al.*, 2016).

Penelitian lain juga mengemukakan, bahwa antosianin yang ditambahkan pada larutan *film* berkontribusi terhadap penurunan kepadatan *film* akibat perbedaan dari pembukaan rantai molekuler atau ikatan silang antar jaringan protein. Penambahan ekstrak antosianin dari bunga telang secara nyata dapat menurunkan nilai kuat tarik *film* indikator jika dibandingkan dengan *film* tanpa penambahan indikator warna. Adanya kelompok gugus hidroksil dalam antosianin yang mendukung interaksi dengan molekul air melalui ikatan hidrogen sehingga mempengaruhi sifat mekanik *film* indikator (Denavi *et al.*, 2009).

F. Elongasi Label Indikator

Elongation disebut juga dengan kemuluran atau pemanjangan, adalah perubahan panjang maksimum yang terjadi pada *film* indikator sebelum putus atau pecah. Ketika sampel ditarik secara paksa oleh sebuah gaya, jarak antar molekul bertambah, sehingga membuat sampel menjadi lebih panjang. Apabila gaya tarik yang diberikan pada bahan melebihi gaya tarik antar molekulnya, maka akan menyebabkan perpanjangan permanen pada sampel. Berdasarkan analisis sidik ragam diperoleh nilai F Hitung > F Tabel 5%, maka H₀ ditolak dan H₁ diterima. Hasil analisis nilai elongasi pada *film* indikator dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Nilai Elongasi *Film* Indikator

Perlakuan	Elongasi (%)
A (Ekstrak Bunga Telang 0%)	37,75± 0,272 ^e
B (Ekstrak Bunga Telang 1%)	29,71± 0,868 ^d
C (Ekstrak Bunga Telang 3%)	25,59± 0,815 ^c
D (Ekstrak Bunga Telang 5%)	23,10± 0,769 ^b
E (Ekstrak Bunga Telang 7%)	15,85± 0,286 ^a

Tabel 5 menunjukkan bahwa perbedaan penambahan konsesntrasi ekstrak bunga telang memberikan perbedaan yang nyata terhadap nilai elongasi *film* indikator. Nilai elongasi berturut-turut dari perlakuan A sampai E adalah 37,75%, 29,71%, 25,59%, 23,10%, dan 15,85%. Semakin banyak ekstrak bunga telang yang ditambahkan maka nilai elongasi semkain menurun, hal ini sejalan dengan hasil nilai kuat tarik. Penelitian lain mengemukakan penambahan ekstrak ubi ungu ke dalam matriks *film* menunjukkan bahwa semakin tinggi penambahan konsenstrasi ekstrak ubi ungu menyebabkan matriks lebih mudah putus sehingga persen elongasi menjadi menurun (Amalia *et al.*, 2021).

Penambahan ekstrak bunga telang menyebabkan penurunan kekuatan tarik dan deformasi saat putus, yang selanjutnya juga dapat menyebabkan *film* indikator kurang elastis dan rentan pecah. Penggabungan senyawa yang tidak dapat bercampur mengakibatkan diskontinuitas struktural dalam pengurangan gaya kohesi keseluruhan matriks (Sánchez-González *et al.*, 2011). Adanya penambahan zat warna menyebabkan peningkatan mobilitas matriks *film* dan melemahkan interaksi antarmolekul, dengan demikian mempengaruhi sifat mekanik *film* (Ciannamea *et al.*, 2016).

Kuat tarik dan elongasi adalah dua aspek yang saling terkait dalam karakteristik mekanik dari *film* indikator (Selpiana *et al.*, 2016). Kandungan senyawa dalam ekstrak bunga telang dapat mengganggu ikatan antar molekul, yang mengurangi kekuatan tarik. Selain itu, struktur mikroskopis bahan mungkin mengalami perubahan, yang juga berdampak pada kemampuan bahan untuk meregang. Ketika konsentrasi ekstrak meningkat, kekuatan dan elastisitas bahan cenderung menurun, sehingga baik kuat tarik maupun elongasi mengalami penurunan. Jadi, semakin banyak ekstrak yang ditambahkan, semakin rendah nilai kuat tarik dan elongasi yang dihasilkan.

G. Penentuan Pengambilan Keputusan *Film* Indikator Terbaik

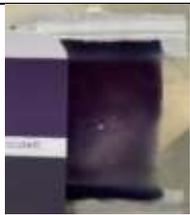
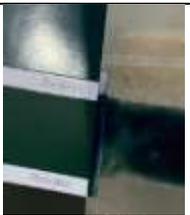
Hasil uji pada pembuatan *film* indikator dari *whey* tahu dengan penambahan ekstrak bunga telang pada penelitian ini telah memenuhi semua parameter penting. Namun penentuan produk terbaik perlu dilakukan untuk aplikasi *film* indikator pada produk pangan, dan tentunya harus disesuaikan dengan fungsi *film* indikator itu sendiri.

Pengambilan keputusan ini didukung oleh fungsi utama *film* indikator, dimana *film* indikator pada penelitian ini hanya ditempelkan pada tutup kemasan yang dirancang untuk memberikan informasi visual terhadap perubahan warna yang terjadi selama penyimpanan, bukan untuk memberikan kekuatan struktural atau fleksibilitas. Ini bermakna fungsi utama *film* indikator ini adalah hanya sebagai indikator bukan sebagai pengemas atau pelindung fisik, sehingga daya serap air merupakan parameter utama dalam penentuan produk terbaik. Hasil daya serap air tertinggi adalah sebesar 23,20% pada perlakuan penambahan ekstrak bunga telang sebanyak 7%, sehingga diambil perlakuan E sebagai perlakuan terbaik.

H. Kemampuan *Film* Indikator dalam Mendeteksi Kerusakan Tahu (Uji Warna *Film* Indikator dan pH Tahu)

Pengujian perubahan warna *film* indikator dilakukan dengan menggunakan kartu warna RAL K7 classic terhadap tahu yang disimpan pada suhu ruang selama 5 hari. Tahu diletakkan pada kotak *thinwall* dan pada penutup kotak tersebut ditempelkan *film* indikator. Hasil perubahan warna pada *film* indikator selama masa pengamatan disajikan pada Tabel 6.

Gambar 6. Perubahan Warna *Film* Indikator Selama Masa Penyimpanan

Pengamatan Hari Ke	1	2	3	4	5
Hasil Pengamatan					
Nama warna	RAL 5013 (Cobalt Blue)	RAL 4011 (Pearl Violet)	RAL 6005 (Moss Green)	RAL 6005 (Moss Green)	RAL 4002 (Red Violet)

Selama masa penyimpanan pada suhu ruang dalam kurun waktu 5 hari juga dilakukan pengamatan pH pada tahu yang dikemas. Hasil pengamatan menunjukkan semakin lama penyimpanan maka semakin rendah pH tahu. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 1. PH Tahu Selama Masa Penyimpanan

Lama Penyimpanan (Hari)	pH
pH awal tahu	4,9 ± 0,212
Ke-1	4,7± 0,283
Ke-2	4,0± 0,283
Ke-3	3,3± 0,071
Ke-4	2,8± 0,141
Ke-5	1,6± 0,141

Tahu merupakan makanan sumber protein nabati yang sangat mudah mengalami proses kerusakan. Saat mikroba mulai tumbuh mikroba akan mengeluarkan enzim yang memecah protein dan lemak dalam tahu. Seiring berjalannya waktu, aktivitas mikroba ini menyebabkan penurunan pH dan meningkatkan jumlah uap air yang dilepaskan. Saat uap air dilepaskan akibat adanya proses pembusukan maka *film* indikator mulai berinteraksi dengan uap air yang memiliki pH rendah tersebut. Uap air yang terserap oleh *film* indikator akan mempercepat perubahan warna dari *film* indikator itu sendiri. Ketika pH turun dan tahu mengalami pembusukan, *film* indikator yang mengandung antosianin yang awalnya berwarna biru mengalami perubahan warna.

Hasil pengujian warna pada *film* indikator pada hari pertama menunjukkan *film* indikator berwarna biru dan pH tahu berada pada rata-rata pH 5,7. Pada hari ke 2 warna *film* indikator berubah menjadi ungu dan pH tahu menurun menjadi 4,0. Perubahan ini menunjukkan bahwa keasaman tahu meningkat. Kemudian pada hari ketiga *film* indikator mengalami perubahan warna menjadi hijau dengan rata-rata pH tahu sebesar 3,3. Pada hari ke 4 meskipun tidak ada perubahan warna pada *film* indikator, namun terjadi penurunan pada pH tahu menjadi 2,8 meskipun warna *film* indikator tetap, pH yang lebih rendah mengindikasikan peningkatan keasaman lebih lanjut. Kemudian pada hari terakhir terjadi perubahan warna pada *film* indikator yaitu menjadi merah dan pH tahu rata-rata 1,6. Hal ini menandakan bahwa tahu telah menjadi sangat asam.

Perubahan warna pada *film* indikator mengindikasikan bahwa label indikator juga mengalami penurunan pH karena amonia yang dihasilkan oleh tahu selama masa pembusukan. Hal ini ditandai dengan perubahan warna *film* indikator pada hari pertama berwarna biru menandakan pH *film* indikator cenderung basa, kemudian pada hari kedua *film* indikator berwarna ungu. Hal ini mengindikasikan terjadinya penurunan pH pada *film* indikator menjadi sedikit lebih asam pada hari sebelumnya. Namun masih dalam rentang pH basa. Pada hari ke-3 dan ke-4 *film* indikator berubah warna menjadi hijau menandakan bahwa pH *film* indikator semakin menurun dan sudah masuk pada taraf netral cenderung asam. Selanjutnya pada hari terakhir atau hari ke-5 *film* indikator mengalami perubahan warna menjadi merah pekat menandakan bahwa *film* indikator mengalami penurunan pH menjadi semakin asam.

Tingkat keasaman biasanya berkaitan dengan perubahan warna, keempukan, cita rasa, daya ikat air serta umur simpan pangan (Cahyani *et al.*, 2020). PH tahu segar atau layak konsumsi berada pada rentang pH 3,8 – 5,00 (Musthofa, 2018). Tabel 7 menunjukkan bahwa pada pengamatan hari ke-1 sampai hari ke-2 sampel tahu masih dapat dikategorikan segar atau layak dikonsumsi karena masih berada pada *range* 4,0 – 4,7. Namun untuk pengamatan hari ke 3-5 pH tahu sudah diluar rentang pH yangizinkan untuk layak konsumsi. Disamping itu pengamatan terhadap warna tahu pada hari pertama memperlihatkan warna putih kekuning-kuningan dan setelah 5 hari penyimpanan berubah menjadi coklat kehitam-hitaman, terasa lembek, mengeluarkan lendir serta mengeluarkan bau busuk. Hal serupa terjadi juga pada ikan segar yang dikemas dengan *film* indikator ekstrak bunga telang dengan membran nata de coco, yang menunjukkan terjadi pembusukan seiring masa penyimpanan, perubahan warna daging dari yang masih segar berwarna putih menjadi kuning kemerahan, terasa lembek, serta mengeluarkan bau amis dan tengik (Wahida, 2023).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan bahwa *film* indikator dari limbah cair tahu dengan penambahan ekstrak bunga telang mampu memberikan informasi perubahan (kerusakan) yang terjadi pada pangan meliputi perubahan pH selama masa penyimpanan. Sebagai petunjuk indikator dapat digunakan kartu petunjuk *smart packaging* yang dirancang seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Kartu Petunjuk *Smart Packaging* Pada Produk Tahu

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi penambahan ekstrak bunga telang berpengaruh nyata terhadap sifat fisik dan mekanik *film* indikator. Perlakuan terbaik yaitu pada penambahan ekstrak bunga telang dengan konsentrasi 7% dengan rata-rata nilai ketebalan 0,14 mm, daya serap air 23,20%, kekuatan tarik 0,13 MPa dan Nilai elongasi 15,85%. *Smart packaging* dalam bentuk *film* indikator yang dirancang mampu mendeteksi kerusakan pada tahu yang dikemas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Universitas Andalas yang telah membiayai penelitian ini melalui Kontrak Penelitian Penelitian Skripsi Sarjana (PSS) Batch I nomor 125/UN16.19/PT.01.03/PSS/2024 Tahun Anggaran 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, B., Mailisa, T., Karima, R., & Herman, S. (2021). Karakterisasi Label Kolorimetrik dari Karagenan/Nanofiber Selulosa dan Ekstrak Ubi Ungu untuk Indikator Kerusakan Pangan. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 43(2), 66–74. <https://doi.org/10.24817/jkk.v43i2.7133>
- Cahyani, N. E., Widiastuti, R., & Ismiyati. (2020). Formulasi Dan Uji Stabilitas Fisik Emulgel Tabir Surya Ekstrak Etanol Kulit Buah Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*) Menggunakan Variasi Nilai HLB Emulgator. *Jurnal Ilmu Kesehatan Bhakti Setya Medika*, 5(1), 42–54.
- Ciannamea, E. M., Stefani, P. M., & Ruseckaite, R. A. (2016). Properties and antioxidant activity of soy protein concentrate films incorporated with red grape extract processed by casting and compression molding. *LWT - Food Science and Technology*, 74, 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.073>
- Denavi, G. A., Pérez-Mateos, M., Añón, M. C., Montero, P., Mauri, A. N., & Gómez-Guillén, M. C. (2009). Structural and functional properties of soy protein isolate and cod gelatin blend films. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2094–2101. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.03.007>
- Haerun, R., Mallongi, A., & Fajaruddin Natsir, M. (2018). Efficiency Toward Liquid Waste of Tofu Industry using biofilter upflow system with Additional Effective Microorganism 4. *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan (JNIK) LP2M Unhas*, 1(2), 1–11.
- Marpaung, T. A. B. (2018). *Efektivitas Konsentrasi Asam Sitrat Pada Ekstraksi Pigmen Antosianin dari Bunga Telang (Clitoria ternatea) dan Aplikasinya Terhadap Permen Jelly Sirsak*. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Musthofa, W. R. (2018). *Pengaruh Konsentrasi Perasan Jeruk Nipis terhadap Kualitas Tahu dan Total Mikroba*. Universitas Muhammadiyah.
- Permata, D. A., & Asben, A. (2017). Karakteristik dan senyawa bioaktif ekstrak kering daun kluwih dari posisi daun yang berbeda. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 21(2), 79–85.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.25077/jtpa.21.2.79-85.2017>
- Permata, D. A., Mellia Putri, Y., & Didi Ismanto, S. (2024). Variation of Glycerol Addition in the Manufacture of Bioplastics from Tofu Liquid Waste. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 28(1), 46–53.
- Purwaniati, P., Arif, A. R., & Yuliantini, A. (2020). Analysis of Total Anthocyanin Content in Telang Flowers Preparations (*Clitoria ternatea*) with PH Differential Method Using Visible Spectrophotometry. *Jurnal Farmagazine*, VII(1), 18. <https://doi.org/10.47653/farm.v7i1.157>
- Rocca-Smith, J. R., Marcuzzo, E., Karbowiak, T., Centa, J., Giacometti, M., Scapin, F., Venir, E., Sensidoni, A., & Debeaufort, F. (2016). Effect of lipid incorporation on functional properties of wheat gluten based edible films. *Journal of Cereal Science*, 69, 275–282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.04.001>
- Sakinah, N., & Firmansyah, F. (2021). Effect of Product Quality and Price on Purchase Decisions with Purchase Intention as an Intervening Variable. *Jurnal Ilmiah Manajemen Dan Bisnis*, 22(2), 192–202. <https://doi.org/10.30596/jimb.v22i2.7100>
- Sánchez-González, L., Chiralt, A., González-Martínez, C., & Cháfer, M. (2011). Effect of essential oils on properties of film forming emulsions and films based on hydroxypropylmethylcellulose and chitosan. *Journal of Food Engineering*, 105(2), 246–253. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.028>
- Selpiana, Patricia, & Anggraeni, C. P. (2016). Pengaruh Penambahan Kitosan dan Gliserol pada Pembuatan Bioplastik dari Ampas Tebu dan Ampas Tahu. *Jurnal Teknik Kimia*, 22(1), 18–24.
- Silva-Pereira, M. C., Teixeira, J. A., Pereira-Júnior, V. A., & Stefani, R. (2015). Chitosan/corn starch blend films with extract from Brassica oleraceae (red cabbage) as a visual indicator of fish deterioration. *LWT - Food Science and Technology*, 61(1), 258–262. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.041>
- Sitanggang, A. B., Irsali, M. F., & Rawdkeun, S. (2020). Incorporation of Oleic Acid and Anthocyanin in Gelatin Films as pH Indicators for Intelligent Packaging. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 31(1), 66–75. <https://doi.org/10.6066/jtip.2020.31.1.66>
- Supardianningsih, Mutsila, A., Riana, M., Ardiani, S., & Amalia, B. (2023). Development of Smart Packaging Film Label based on pH Sensor from Natural Source: Red Spinach for Freshness Detector of Meat. *Journal of Aceh Physics Society*, 12(3), 8–14. <https://doi.org/10.24815/jacps.v12i3.32303>
- Wahida, B. Q. (2023). *Development of Food Freshness Sensors Based on Immobilization of Butterfly Pea Extract (Clitoria ternatea L.) on Nata De Coco Membranes*. Universitas Mataram.