



## Film Cerdas Ramah Lingkungan dari Eceng Gondok dan Bunga Tapak Dara Sebagai Indikator Kesegaran Udang

M. Mahfudz Fauzi Syamsuri<sup>1\*</sup>, Sefina Agathis<sup>1</sup>, Tasya Agustin<sup>1</sup>, Mega Retha Sefriany<sup>1</sup>, Dafinah Dzahabiyah<sup>1</sup>, Isma Rohatis Sholehah<sup>1</sup>, Desy Fatmasari<sup>1</sup>, Ria Nurwidiyani<sup>2</sup>, Deni Agus Triawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang, Palembang, Indonesia

<sup>2</sup> Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

\*Corresponding Author: [mahfudz.fauzi@radenfatah.ac.id](mailto:mahfudz.fauzi@radenfatah.ac.id)

### Article Information

#### DOI

10.33830/fsj.v5i1.9804.2025

#### Kata Kunci:

Bioplastik, Bunga Tapak Dara, Eceng Gondok, Film Cerdas

### Abstrak

Salah satu upaya untuk mengatasi sampah makanan yang menjadi isu global adalah dengan pelabelan produk pangan. Pelabelan kedaluwarsa pada produk pangan kurang efektif karena tidak memberikan informasi kepada konsumen tentang kualitas produk. Tujuan penelitian ini adalah membuat inovasi film bioplastik sebagai label cerdas untuk solusi masalah tersebut. Konsumen cukup dengan melihat perubahan warna label sebagai indikator kesegaran pangan. Film cerdas dibuat menggunakan metode *melt intercalation* dengan mencampurkan serat eceng gondok, pati jagung, dan gliserin ke dalam air serta penambahan serbuk bunga tapak dara ke dalam campuran tersebut. Film cerdas memiliki sensitivitas terhadap derajat keasaman produk pangan yang diindikasikan dari perubahan warna yang signifikan dari merah (dalam suasana asam) menjadi kuning (dalam suasana basa). Hasil uji coba film cerdas pada kesegaran udang menunjukkan perubahan warna dari putih menjadi kuning kehijauan. Pengujian sifat mekanik menunjukkan bahwa film cerdas memiliki kekuatan tarik 19,62 MPa dan elongasi 8% serta memenuhi kriteria plastik mudah terurai berdasarkan SNI 7818:2014. Oleh karena itu, film cerdas yang ramah lingkungan dapat digunakan untuk mengindikasikan kesegaran udang.

**Keywords:**

Bioplastic, Periwinkle Flowers,  
Smart Film Indicator, Water  
Hyacinth

**Abstract**

An effort to address food waste, a global issue, is the labeling of food products. Current expiry labeling on food products is often ineffective as it provides insufficient information to consumers regarding product quality. This research aims to innovate bioplastic film into a smart label to solve this problem. Consumers can simply observe the label's color change as an indicator of food freshness. This smart film was fabricated by using melt intercalation method, involving the mixing of water hyacinth fiber, corn starch, and glycerin into water, followed by addition of periwinkle flower powder. The smart film exhibits acidity sensitivity, indicated by a significant color change from red (in acidic conditions) to yellow (in alkaline conditions). Test on shrimp freshness by using the smart film showed a color shift from white to greenish-yellow. Mechanical property testing revealed that the smart film has a tensile strength of 19.62 MPa and elongation of 8%, fulfilling the biodegradable plastic criteria based on SNI 7818:2014. Therefore, this eco-friendly smart film could be utilized as an indicator shrimp freshness.

This journal is licensed under a Creative Commons  
Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



## PENDAHULUAN

Sampah makanan adalah masalah global yang sangat penting. Food and Agriculture Organization atau FAO (2013) merilis laporan yang menyatakan bahwa setiap tahunnya, sepertiga dari makanan untuk konsumsi di seluruh dunia terbuang atau hilang di sepanjang rantai pasok makanan. Lebih lanjut United Nations Environmental Programme (UNEP) melaporkan bahwa sampah makanan memiliki dampak yang sangat buruk bagi planet dan manusia karena meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca yang memicu terjadinya pemanasan global (Forbes *et al.*, 2024). Di sisi lain, secara paradoks ketahanan pangan juga menjadi masalah serius yang mengancam 828 juta orang di seluruh dunia yang tidak memiliki akses yang cukup terhadap pangan (Mokrane *et al.*, 2023; World Food Programme (WFP), 2022).

Sampah makanan dapat terjadi pada berbagai tahapan rantai pasok makanan, mulai dari produksi primer atau panen pada pertanian, perikanan, dan peternakan, hingga tahap pascapanen seperti penyimpanan dan penanganan (Mokrane *et al.*, 2023; Van Eck & Puchta, 2019). Selain itu, pada ritel dan supermarket, komoditas pangan yang dibuang atau kedaluwarsa karena preferensi dan ekspektasi estetika, ketidakteraturan permintaan konsumen, dan pengemasan atau penyimpanan yang tidak sesuai juga menyumbang sampah makanan (Chauhan *et al.*, 2021).

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurai permasalahan sampah makanan ini salah satunya adalah pelabelan pada produk pangan. Selama ini, kualitas pangan biasa ditunjukkan dengan pemberian label kedaluwarsa yang ditetapkan dengan rentang waktu tertentu. Namun, hal ini tidak efektif karena konsumen terkadang dibuat ragu dengan kondisi fisik produk pangan meskipun masih berada pada rentang tanggal layak konsumsi (Biji *et al.*, 2015; Drago *et al.*, 2020; Yusnaidar *et al.*, 2023).

Para peneliti telah membuat inovasi label yang dapat menginformasikan kondisi produk pangan secara nyata. Label tersebut dapat memberikan informasi tentang perubahan kualitas makanan yang disebabkan oleh perubahan fisiologis atau pertumbuhan mikroba tanpa merusak kemasan makanan. Hal ini dapat dilakukan hanya dengan melihat perubahan warna pada label. Label tersebut cocok untuk pengujian kesegaran makanan yang mudah rusak seperti produk daging,

makanan laut, produk susu, buah-buahan, dan sayuran (Ghaani *et al.*, 2016). Dalam pembuatan label tersebut biasanya ditambahkan suatu indikator sensor.

Indikator sensor yang umumnya digunakan berupa pigmen sintetis seperti metil-merah, metil-biru, biru-bromokresol, dan hijau-bromokresol (Shao *et al.*, 2021; J. Zhang *et al.*, 2023; W. Zhang *et al.*, 2023). Pigmen tersebut memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan pH. Namun, pigmen tersebut dianggap sebagai senyawa teratogenik, karsinogenik, atau mutagenik yang dapat menimbulkan risiko potensial bagi manusia dan organisme lain, yang membahayakan lingkungan (Feketea & Tsabouri, 2017). Sehingga perlu diteliti penggunaan pigmen alami sebagai pewarna sensitif pH untuk indikator kesegaran.

Beberapa pigmen alami yang digunakan oleh para peneliti berupa senyawa metabolit sekunder seperti kurkumin (Cvek *et al.*, 2022), alizarin (Ezati & Rhim, 2020), serta betalain (Qin *et al.*, 2020). Senyawa metabolit sekunder lain yang menunjukkan perubahan warna pada berbagai rentang pH adalah antosianin.

Pigmen antosianin dapat diperoleh dari mahkota bunga berwarna cerah, kulit buah, serta umbi. Dibandingkan dengan pigmen alami lainnya, antosianin memiliki rentang perubahan warna yang lebar sesuai dengan pH (Chen *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2022). Selain itu, stabilitas dan sensitivitas perubahan warna dari antosianin sangat bervariasi, berdasarkan berbagai faktor yaitu pigmen warna dari bahan alam, pH, paparan cahaya, dan suhu (Chen *et al.*, 2023; Cvek *et al.*, 2022).

Pada proses pembuatan label kesegaran pangan, pigmen antosianin diinkorporasi ke dalam matriks selulosa. Seperti yang dilakukan Li *et al.* (2023) dengan memanfaatkan antosianin dari ubi ungu yang diinkorporasikan dalam nanoselulosa menjadi film cerdas untuk mengidentifikasi kesegaran udang. Demikian pula dengan Yusnaidar *et al.* (2023) yang memanfaatkan selulosa dari tandan kosong kelapa sawit sebagai matriks antosianin dari kol ungu dalam pembuatan film indikator alami kesegaran daging ayam.

Dalam artikel ini akan dibahas tentang film cerdas yang dibuat dengan memanfaatkan antosianin bunga tapak dara yang diinkorporasikan ke dalam matriks film bioplastik ramah lingkungan berbahan selulosa eceng gondok dengan metode *melt intercalation* (Syamsuri *et al.*, 2023). Eceng gondok dipilih karena kandungannya cukup tinggi mencapai 61%. Selain itu, keberadaan eceng gondok melimpah dan dianggap sebagai gulma. Bunga tapak dara dipilih karena mengandung antosianin yang dapat terlihat dari pigmen warna yang dihasilkan. Selain itu bunga tapak dara banyak ditemukan di daerah tropis, seperti Indonesia. Film cerdas yang dihasilkan diuji performanya dalam menunjukkan perubahan warna pada proses pembusukan produk pangan.

## METODE

### Peralatan dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas dan porselin standar laboratorium (Iwaki Pyrex), pisau, pelumat (Miyako BL-101 PL), ayakan, pompa vakum (Value VE115N), plat kaca, neraca analitik (Mettler Toledo ME204), dan oven (Memmert UN75).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) dari Sungai Kedukan, Palembang, Indonesia; bunga tapak (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don) dari Jakabaring, Palembang, Indonesia; tepung jagung (Maizenaku, PT Ega

Food); natrium hidroksida (NaOH, Merck Millipore); asam asetat (CH<sub>3</sub>COOH, Merck Millipore); hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, *food grade*, PT Harmoni Indah); gliserin (*food grade*, Pharmacopeia); dan akuades dari Laboratorium Terpadu Universitas Islam Negeri (UIN) Raden Fatah Palembang.

## Prosedur

Preparasi serat batang eceng gondok dilakukan dengan mengadopsi penelitian Syamsuri *et al.* (2023). Tanaman eceng gondok dicuci dengan air mengalir sampai bersih dan diambil batangnya. Batang eceng gondok dikeringkan pada suhu 80°C, dihaluskan, dan diayak dengan ayakan berukuran 50 mesh. Serat batang eceng gondok didelignifikasi dengan direndam dalam larutan NaOH 7,5% selama 4 jam pada suhu 60°C kemudian dicuci dengan aquades sampai netral. Serat batang eceng gondok diputihkan dengan direndam dalam larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 7,2% dan ditetesi larutan NaOH 7,5% sampai pH ≥ 11, dipanaskan disertai pengadukan dengan suhu 55°C selama 2 jam selanjutnya dicuci dengan aquades sampai netral, dan disaring.

Preparasi serbuk bunga tapak dara dilakukan dengan cara bunga tapak dara dicuci dengan air mengalir sampai bersih dan diambil kelopak bunganya. Kelopak bunga tapak dara dikeringkan pada suhu 40°C, dihaluskan, dan diayak dengan ayakan berukuran 50 mesh. Selanjutnya serbuk bunga tapak dara diuji sensitivitasnya dengan ditetesi larutan uji (asam, basa, dan netral).

Fabrikasi film cerdas indikator kesegaran pangan dilakukan menggunakan metode *melt intercalation* dengan memodifikasi prosedur Syamsuri *et al.* (2023). Sebanyak 2 gram serat batang eceng gondok dan 8 gram tepung jagung dicampur dalam 60 mL aquades dan 2 mL gliserol sambil dipanaskan pada suhu 80°C selama 30 menit. Ke dalam campuran ditambahkan 0,5 gram serbuk bunga tapak dara dan diaduk hingga homogen dan dipanaskan sampai terbentuk gel. Gel campuran dicetak dengan ketebalan 0,4 mm di atas plat kaca yang dilapisi plastik mika, dan dikeringkan di bawah sinar matahari.

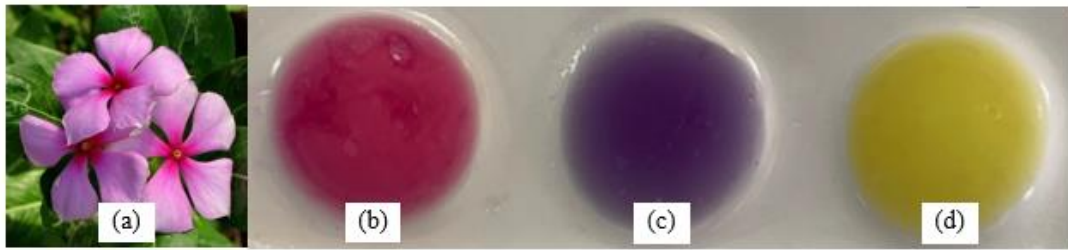
Karakterisasi film cerdas indikator kesegaran pangan pada lembaran film dilakukan dengan FT-IR (Bruker, Alpha II Series). Pengujian sifat mekanik lembaran film dilakukan menggunakan instrumen Hung Ta (HT-8172).

Pengujian performa film cerdas indikator kesegaran pangan pada lembaran film berukuran 1 cm x 1 cm ditempatkan dalam wadah berisi larutan asam dan larutan basa. Pengaplikasian film cerdas dalam mendeteksi kesegaran pangan dilakukan dengan menempatkan film dalam wadah tertutup yang berisi udang segar pada suhu ruang. Kemudian didiamkan selama 4 jam dan diamati perubahan warna lembaran film cerdas dengan membandingkannya terhadap kontrol (lembaran film cerdas tanpa diberi perlakuan).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

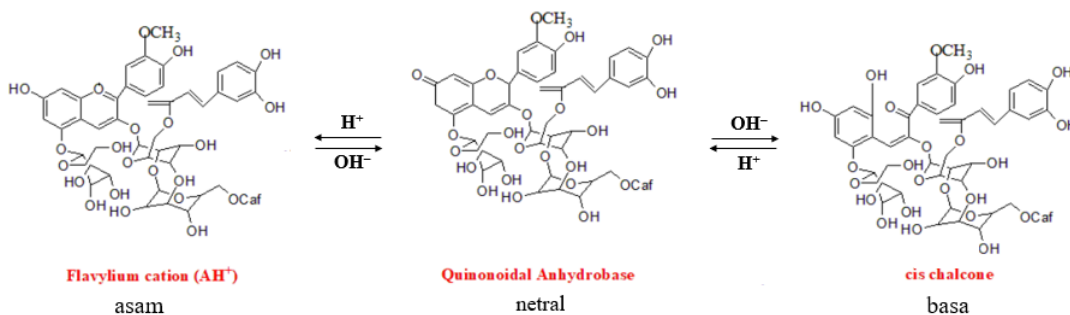
### Uji Sensitivitas Antosianin Bunga Tapak Dara

Hasil uji perubahan warna pada serbuk bunga tapak dara pada kondisi asam dan basa disajikan pada Gambar 1. Antosianin merupakan pigmen warna yang memiliki stabilitas dan sensitivitas perubahan warna yang sangat bervariasi, salah satu faktor penyebab perubahan dari pigmen warna ialah derajat keasaman (pH) (Khoo *et al.*, 2017; Saputri *et al.*, 2023).



Gambar 1. Bunga tapak dara (a); serbuk bunga tapak dara dalam suasana asam (b); netral (c); dan basa (d)

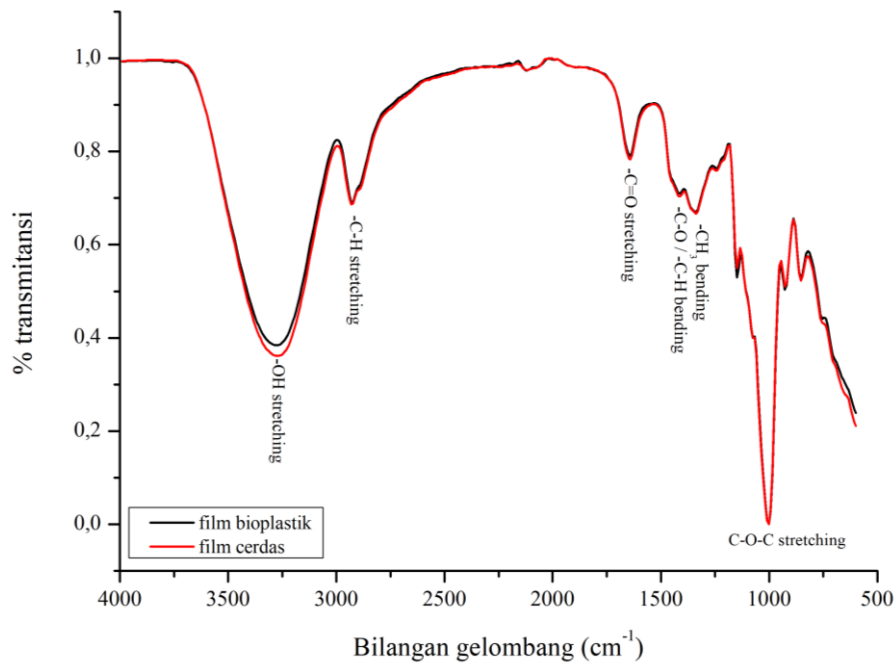
Pada Gambar 1 terlihat perubahan warna yang cukup signifikan dari pigmen alaminya. Serbuk bunga tapak dara yang berwarna ungu mengalami perubahan warna menjadi merah pada larutan asam dan menjadi kuning pada larutan basa. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Yusnaidar *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa antosianin dapat memberikan ragam warna pada tiap rentang pH seperti merah pada pH asam dan hijau kekuningan pada pH basa. Perubahan warna ini disebabkan struktur quinonoidal dari antosianin dalam suasana asam berubah menjadi kation flavilium dan dalam suasana basa berubah menjadi kalkon (Gambar 2). Dari perubahan warna tersebut, antosianin bunga tapak dara dapat digunakan sebagai indikator sensor dalam film cerdas untuk menganalisis kesegaran pangan. Indikator sensor dalam analisis kesegaran pangan biasa diperoleh dari pigmen aktif, baik pigmen sintetis ataupun alami (Chen *et al.*, 2023; Ghaani *et al.*, 2016).



(Saputri *et al.*, 2023)

Gambar 2. Perubahan struktur antosianin ekstrak bunga tapak dara dalam suasana asam, netral, dan basa

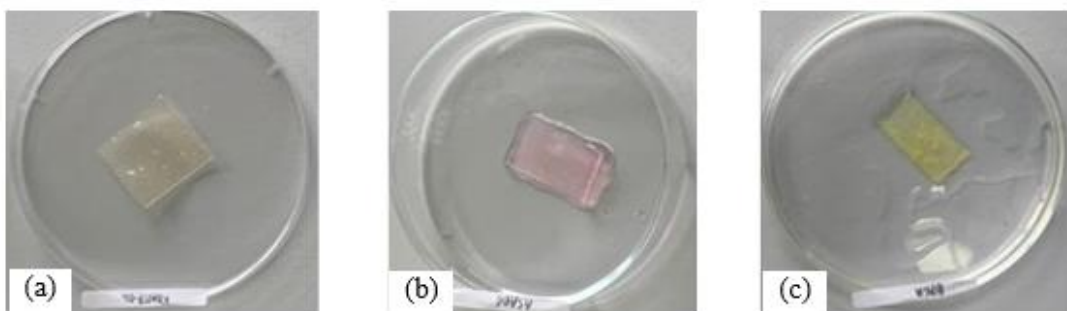
Hasil karakterisasi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) film cerdas hasil fabrikasi disajikan pada Gambar 3, baik pada film bioplastik maupun film cerdas (dengan penambahan serbuk bunga tapak dara) terdapat serapan khas polisakarida pati dan selulosa, yakni vibrasi ulur -OH di sekitar 3100-3500 cm<sup>-1</sup>, vibrasi ulur -C-H di 2926 cm<sup>-1</sup>, vibrasi ulur -C=O di 1637 cm<sup>-1</sup>, vibrasi tekuk -C-O/-C-H di 1418 cm<sup>-1</sup>, vibrasi tekuk -CH<sub>3</sub> di 1339 cm<sup>-1</sup>, dan vibrasi ulur C-O-C di 1001 cm<sup>-1</sup>, praktis tidak terdapat perbedaan antara film bioplastik maupun film cerdas. Hanya saja, terdapat perbedaan intensitas pada vibrasi ulur -OH film cerdas akibat penambahan serbuk bunga tapak dara.



Gambar 3. Perbandingan spektra FTIR film bioplastik dan film cerdas

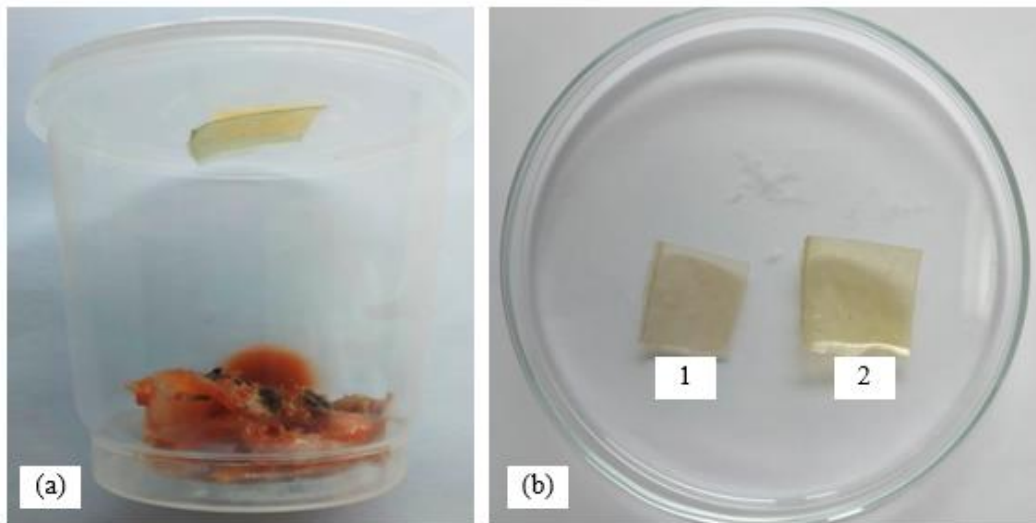
### Hasil Uji Film Cerdas dengan Antosianin dari Serbuk Bunga Tapak Dara pada Udang

Hasil pengujian film cerdas dalam larutan asam maupun basa menunjukkan perubahan warna mirip uji sensitivitas antosianin bunga tapak dara. Dalam Gambar 4, nampak bahwa film cerdas yang semula berwarna putih sebagai kontrol berubah menjadi merah muda dalam larutan asam dan menjadi berwarna kuning dalam larutan basa. Hal ini mengindikasikan bahwa indikator sensor yang ditambahkan ke dalam film bioplastik bekerja dengan baik.



Gambar 4. Film cerdas: (a) kontrol; (b) dalam larutan asam; dan (c) dalam larutan basa

Sensitivitas film cerdas yang ditandai dengan adanya perubahan warna terhadap derajat keasaman (pH), dapat digunakan sebagai pendeteksi kesegaran pangan (Chen *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2023; Yao *et al.*, 2021). Saat pangan mengalami kerusakan akan terjadi perubahan pH sehingga dapat diidentifikasi dengan film cerdas. Pengujian film cerdas untuk mendeteksi kesegaran pangan diaplikasikan pada udang. Hasil pengujiannya disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. (a) Pengaplikasian film cerdas terhadap kesegaran udang dan (b) perubahan warna film cerdas (1: kontrol dan 2: setelah 4 jam dalam wadah)

Dalam Gambar 5(b) nampak adanya perubahan warna film cerdas yang diletakkan ke dalam wadah yang berisi udang selama 4 jam. Film cerdas (Gambar 5(b).1, kontrol) berubah menjadi kekuningan (Gambar 5(b).2). Film cerdas merespon adanya basa volatil yang dibebaskan dari proses pembusukan udang. Bakteri proteolisis memecah asam amino bebas menjadi gas  $\text{NH}_3$  yang berubah menjadi ion  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{OH}^-$  (Cvek *et al.*, 2022). Ion hidroksida inilah yang selanjutnya mengubah bentuk quinonoidal dari antosianin menjadi cis-kalkon yang berwarna kuning.

Hasil pengujian sifat mekanik film cerdas disajikan dalam Tabel 1, nampak bahwa penambahan ekstrak bunga tapak dara meningkatkan nilai kuat tarik, tetapi menurunkan nilai % elongasi.

Tabel 1. Sifat mekanik film cerdas

Material	Kuat-Tarik (MPa)	% Elongasi
Film bioplastik	3,44	8,75
Film cerdas	19,62	8,00

Dalam film bioplastik, pati jagung berperan sebagai matriks atau pengikat dan selulosa batang eceng gondok berperan sebagai penguat. Pada film bioplastik, ikatan terjadi melalui ikatan hidrogen antara gugus hidroksil selulosa batang eceng gondok dengan gugus hidroksil pati jagung (Syamsuri *et al.*, 2023). Ekstrak bunga tapak dara berperan sebagai filler pada film cerdas. Banyaknya gugus hidroksil pada ekstrak bunga tapak dara memungkinkan terjadinya interaksi berupa ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil yang dimiliki polisakarida pati jagung dan juga selulosa. Hal ini mengakibatkan meningkatnya nilai kuat-tarik pada film cerdas. Nilai kuat-tarik film cerdas memenuhi kriteria SNI 7818:2014 terkait plastik mudah terurai dengan nilai standar minimal yang ditetapkan sebesar 13,7 MPa. Di sisi lain penambahan filler justru akan menurunkan jarak ikatan antarmolekul sehingga film yang dihasilkan semakin kaku dan kurang elastis dan berdampak pada menurunnya nilai % elongasi film cerdas.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, film cerdas memiliki sensitivitas terhadap derajat keasaman (pH) yang ditandai dengan adanya perubahan warna yang signifikan. Film cerdas dapat merespon adanya basa volatil yang dibebaskan dari proses pembusukan udang yang diindikasikan dengan perubahan warna. Hasil pengujian sifat mekanik terhadap film cerdas memenuhi kriteria plastik mudah terurai berdasarkan SNI 7818:2014. Dengan demikian film cerdas dapat diaplikasikan sebagai label yang menjadi indikator kesegaran pangan yang ramah lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Biji, K. B., Ravishankar, C. N., Mohan, C. O., & Srinivasa Gopal, T. K. (2015). Smart packaging systems for food applications: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6125–6135. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1766-7>
- Chauhan, C., Dhir, A., Akram, M. U., & Salo, J. (2021). Food loss and waste in food supply chains. A systematic literature review and framework development approach. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126438. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126438>
- Chen, L., Wang, W., Wang, W., & Zhang, J. (2023). Effect of Anthocyanins on Colorimetric Indicator Film Properties. *Coatings*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/coatings13101682>
- Cvek, M., Paul, U. C., Zia, J., Mancini, G., Sedlarik, V., & Athanassiou, A. (2022). Biodegradable Films of PLA/PPC and Curcumin as Packaging Materials and Smart Indicators of Food Spoilage. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 14(12), 14654–14667. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c02181>
- Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M., & Perego, P. (2020). Innovations in smart packaging concepts for food: An extensive review. *Foods*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/foods9111628>
- Ezati, P., & Rhim, J.-W. (2020). pH-responsive chitosan-based film incorporated with alizarin for intelligent packaging applications. *Food Hydrocolloids*, 102, 105629. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105629>
- FAO. (2013). Food wastage footprint. Impacts on natural resources. In *FAO*.
- Feketea, G., & Tsabouri, S. (2017). Common food colorants and allergic reactions in children: Myth or reality? *Food Chemistry*, 230, 578–588. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.043>
- Forbes, H., Peacock, E., Abbot, N., & Jones, M. (2024). Think, Eat, Save. Tracking Progress to Halve Global Food Waste. In *UNEP*.
- Ghaani, M., Cozzolino, C. A., Castelli, G., & Farris, S. (2016). An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science & Technology*, 51, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.02.008>
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food and Nutrition Research*, 61(1). <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>
- Li, L., Wang, W., Zheng, M., Sun, J., Chen, Z., Wang, J., & Ma, Q. (2023). Nanocellulose-enhanced smart film for the accurate monitoring of shrimp freshness via anthocyanin-induced color changes. *Carbohydrate Polymers*, 301(PB), 120352. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120352>
- Liu, D., Zhang, C., Pu, Y., Chen, S., Liu, L., Cui, Z., & Zhong, Y. (2022). *Recent Advances in pH-Responsive Freshness Indicators Using Natural Food Colorants to Monitor Food Freshness*.

- Mokrane, S., Buonocore, E., Capone, R., & Franzese, P. P. (2023). Exploring the Global Scientific Literature on Food Waste and Loss. *Sustainability (Switzerland)*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/su15064757>
- Qin, Y., Liu, Y., Zhang, X., & Liu, J. (2020). Food Hydrocolloids Development of active and intelligent packaging by incorporating betalains from red pitaya ( *Hylocereus polyrhizus* ) peel into starch / polyvinyl alcohol films. *Food Hydrocolloids*, 100(August 2019), 105410. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105410>
- Saputri, D., Luthfia Listyadevi, Y., Triyogo Adiwibowo, M., Damayanti, D., Atro Auriyani, W., Fahni, Y., Sanjaya, A., Yusupandi, F., Yuniarti, R., Abdiman Zega, F., & Rahmatul Ikhlas, F. (2023). The Effect of Acidity Condition (pH) on The Color Change of Anthocyanin Compound from Butterfly Pea Flower Extract (*Clitoria ternatea*). *Cfst*, 2(2), 54–60. <https://doi.org/10.35472/cfst.v2i2.1570>
- Shao, P., Liu, L., Yu, J., Lin, Y., Gao, H., Chen, H., & Sun, P. (2021). An overview of intelligent freshness indicator packaging for food quality and safety monitoring. *Trends in Food Science and Technology*, 118(PA), 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.012>
- Syamsuri, M. M. F., Marzuki, H., Setiawan, D. W. A., Rusmaniar, R., & Astika, T. (2023). Synthesis of Water Hyacinth/Cassava Starch Composite as An Environmentally Friendly Plastic Solution. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 7(2), 137. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v7i2.76508>
- Van Eck, J., & Puchta, H. (2019). Food & Agriculture. In *Chemistry and Industry (London)* (Vol. 83, Issue 2). [https://doi.org/10.1002/cind.832\\_8.x](https://doi.org/10.1002/cind.832_8.x)
- World Food Programme (WFP). (2022). *HungerMap LIVE: Global Insights and Key Trends*. <https://hungermap.wfp.org/>
- Yao, X., Qin, Y., Zhang, M., Zhang, J., Qian, C., & Liu, J. (2021). Development of active and smart packaging films based on starch, polyvinyl alcohol and betacyanins from different plant sources. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 358–368. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.152>
- Yusnaidar, Y., Syahri, W., & Mahendra, I. P. (2023). Selulosa Nanoserat Tandan Sawit Sebagai Matriks Film Indikator Alami Kesegaran Pangan. *Journal of Science and Applicative Technology*, 7(1), 35. <https://doi.org/10.35472/jsat.v7i1.1095>
- Zhang, J., Liu, S., Xie, C., Wang, C., Zhong, Y., & Fan, K. (2023). Recent advances in pH-sensitive indicator films based on natural colorants for smart monitoring of food freshness: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2257327>
- Zhang, W., An, H., Sun, X., Du, H., Li, Y., Yang, M., Zhu, Z., & Wen, Y. (2023). Dual-functional smart indicator for direct monitoring fruit freshness. *Food Packaging and Shelf Life*, 40(July), 101192. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101192>