



Received 03rd October 2022

Accepted 15th February 2023

Published 08th June 2023

Open Access

DOI: 10.35472/jsat.v7i1.1095

SELULOSA NANOSERAT TANDAN SAWIT SEBAGAI MATRIKS FILM INDIKATOR ALAMI KESEGRAN PANGAN

Yusnaidar ^a, Wilda Syahri ^b, I Putu Mahendra ^{c*}^a Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi^b Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jambi^c Program Studi Kimia, Jurusan Sains, Institut Teknologi Sumatera

* Corresponding E-mail: i.mahendra@ki.itera.ac.id

Abstract: The food freshness is one trending topic that currently studied to reduce the number of food waste. The development of food freshness film indicator is one technique that can be utilized to resolve the high number of food waste. The objective of this study was to evaluate the ability of cellulose nanofiber film that had been integrated with anthocyanine as the food freshness film indicator. Cellulose nanofiber was obtained from empty fruit bunch of palm oil that had been dried, cut, and milled into fine powder. The initial step of this preparation was bleaching process using NaOCl/NH₃ and H₂O₂/NH₃. After bleaching process, cellulose fiber was oxidized using TEMPO/NaOCl/NaBr at pH 10 for 6 h. The TEMPO-oxidized cellulose fiber was then transferred into high pressure-homogenizer for 6-cycles at 800 bar of pressure. The cellulose nanofiber was obtained as hydrated fiber (gel-like) and then combined with anthocyanine obtaining from red cabbage extract, the film was casted on the acrylic plate. The film indicator of cellulose nanofiber was analyzed to determine the characteristic of film, i.e., color stability depending on pH, morphology, mechanical properties, and color response of film on the food freshness. The film of cellulose nanofiber that integrated with anthocyanin extract has the good sensitiveness to test the food freshness at 4°C. The color change produced by this indicator film is quite significant and has a different color at each pH value.

Keywords: Cellulose nanofiber, anthocyanin, food freshness indicator

Abstrak: Kesegaran pangan merupakan topik yang saat ini banyak dikaji guna mengurangi jumlah limbah pangan. Pengembangan film kesegaran pangan merupakan salah satu cara untuk mengatasi jumlah limbah pangan yang tinggi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan nanoserat selulosa/antosianin sebagai film indikator kesegaran pangan. Nanoserat selulosa diperoleh dari tandan kosong kelapa sawit yang sebelumnya telah digiling hingga diperoleh sediaan serbuk. Tahap awal pembuatan nanoserat selulosa adalah proses pemutihan serat menggunakan NaOCl/NH₃ dan H₂O₂/NH₃. Pasca proses pemutihan, serat selulosa selanjutnya dioksidasi menggunakan TEMPO/NaOCl/NaBr pada pH 10 selama 6 jam. Selulosa teroksidasi TEMPO dilewatkan ke dalam *high pressure-homogenizer* (HPH) sebanyak 6 siklus dengan tekanan dijaga pada 800 bar. Nanoserat selulosa diperoleh dalam sediaan terhidrasi (*gel-like*) dan dipadukan dengan ekstrak antosianin kubis ungu, dan dicetak pada permukaan akrilik. Film indikator nanoserat selulosa dianalisis untuk mengetahui karakteristik film, diantaranya uji stabilitas zat warna terhadap pH, morfologi, sifat mekanik dan respon warna film indikator terhadap kesegaran pangan. Film indikator berbasis nanoserat selulosa yang dikombinasikan dengan antosianin menunjukkan sensitivitas yang cukup baik untuk menunjukkan kesegaran produk pangan pada penyimpanan 4°C. Perubahan warna yang dihasilkan oleh film indikator ini cukup signifikan dan memiliki warna yang berbeda pada tiap nilai pH.

Kata Kunci : Nanoserat selulosa, antosianin, indikator kesegaran pangan



Pendahuluan

Food and Agriculture Organization (FAO) melaporkan pada tahun 2011 bahwa sebanyak 1,3 juta ton/tahun produk pangan terbuang menjadi limbah karena beragam faktor, diantaranya tidak dikonsumsi, busuk, basi, dan lainnya. Limbah pangan ini pada akhirnya akan memicu pembentukan gas rumah kaca yang berkontribusi pada pemanasan global [1]. Sistem ekonomi global memiliki fokus kegiatan terkait upaya meminimalisasi pembentukan limbah dan memaksimalkan efisiensi sumber daya alam [2]. Pada kegiatan ini, aliran limbah pangan sebisa mungkin didaur ulang ataupun dimanfaatkan kembali dalam suatu proses baru [3].

Suatu sistem dan teknologi diperlukan untuk mengurai permasalahan limbah pangan ini. Satu upaya yang dapat dilakukan adalah memberi pelabelan pada produk pangan. Pelabelan secara konvensional dilakukan dengan memberikan keterangan tanggal produksi dan kadaluarsa, tetapi hal ini tidak efektif. Konsumen terkadang tidak yakin dengan kondisi produk pangan yang keadaan fisik tidak tampak segar/ layak konsumsi walaupun masih berada pada rentang tanggal layak konsumsi [4, 5].

Upaya lain yang dapat dilakukan untuk mengurai permasalahan ini adalah dengan membuat sistem pelabelan yang dapat menginformasikan kondisi produk pangan secara nyata. Apabila dibandingkan dengan sistem pelabelan konvensional, kondisi produk pangan tidak hanya ditentukan oleh kondisi penyimpanan, melainkan terdapat banyak proses yang dapat mempercepat proses pembusukan, diantaranya proses pemindahan produk dari satu lokasi ke lainnya [6].

Pengembangan pelabelan produk pangan khususnya produk daging akan menjadi fokus pada penelitian ini dengan memanfaatkan bahan alam sebagai matriks dan indikator alami. Penggunaan material alam didasarkan pada pemanfaatan limbah agar dapat berkontribusi pada pengurangan limbah di lingkungan. Nanoserat selulosa menjadi pilihan tepat untuk dijadikan matriks. Hal ini dikarenakan nanoserat selulosa memiliki keunggulan dalam sifat mekanik dan ketahanan air yang baik [7-9]

Antosianin dipilih pada penelitian ini oleh karena dapat diperoleh dari berbagai tanaman yang memiliki warna merah keunguan, seperti, kubis merah, wortel ungu, ubi ungu, dan lainnya. Antosianin merupakan zat warna yang umum ditemukan pada tanaman dan dapat larut dalam air. Selain itu, antosianin dapat memberikan

ragam warna pada tiap rentang pH seperti merah pada pH asam dan hijau kekuningan pada pH basa.

Pada penelitian ini, telah dilakukan pengembangan pelabelan produk pangan dengan memanfaatkan nanoserat selulosa dan antosianin. Produk yang diperoleh pada penelitian selanjutnya dikenal dengan nama film indikator kesegaran pangan. Film indikator ini memiliki kemampuan yang cukup untuk membedakan nilai pH larutan dan konsentrasi larutan amoniun hidroksida sebagai model amonia yang terbentuk pada proses pembusukan produk pangan, utamanya olahan daging.

Adapun sejumlah tahapan yang dilakukan pada penelitian ini, diantaranya adalah ekstraksi antosianin dari kubis ungu, imobilisasi antosianin pada matriks nanoserat selulosa, pengujian respon warna pada berbagai pH dan produk pangan.

Metode

Bahan

Antosianin diperoleh dari kubis ungu yang didapatkan dari pasar tradisional di Bandar Lampung. Tandan kosong kelapa sawit diperoleh dari perkebunan kelapa sawit di Provinsi Riau. Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Merck.

Prosedur Kerja

Penyiapan ekstrak antosianin

Massa kubis ungu yang digunakan adalah 5, 50, dan 100 g dalam 150 mL air deionisasi. Proses pengambilan antosianin dilakukan dengan cara memasukan potongan dadu kubis ungu (1 cm x 1 cm) ke dalam air mendidih. Setelah 3 menit, filtrat dipisahkan dari ampas kubis ungu. Filtrat yang diperoleh didinginkan dan disimpan di dalam wadah gelap pada suhu 4°C.

Penyiapan ekstrak nanoserat selulosa

Serat tandan kosong kelapa sawit dipotong dengan ukuran 1 cm x 1 cm dan dikeringkan hingga massa konstan. Selanjutnya digiling hingga diperoleh ukuran yang lebih kecil menyerupai serbuk. Serat tandan kosong kelapa sawit kemudian diberi perlakuan dengan NaOCl 1,75% dengan rasio 1:100 (serat : NaOCl), pH larutan diatur pada pH 10 dengan penambahan NH₃ pada 30°C selama 3 jam. Setelah dilakukan pencucian hingga netral, serat selanjutnya diberi perlakuan dengan H₂O₂ 10% dengan rasio 1:100 (serat : NaOCl). Proses pemutihan dilakukan pada pH 10,0 dengan penambahan NH₃ dan suhu 80°C selama 3 jam. Serat kemudian dicuci

hingga pH netral, dan dilanjutkan dengan proses oksidasi menggunakan TEMPO/NaOCl/NaBr. Reaksi oksidasi dilakukan pada pH 10. Setelah 6 jam reaksi berjalan, serat yang telah dioksidasi dicuci hingga pH netral. Lignoselulosa yang diperoleh selanjutnya dilewatkan ke dalam *high-pressure homogenizer* sebanyak 6 siklus pada tekanan 800 bar guna memecah serat menjadi serat tunggal dengan ukuran nano. Sediaan lignoselulosa dalam bentuk gel selanjutnya disimpan pada suhu 4°C [9].

Penyiapan film indikator

Film indikator dibuat dengan mencampurkan nanoserat selulosa dan antosianin dengan rasio 10 g : 50 mL. Campuran nanoserat selulosa selanjutnya diberi perlakuan dengan homogenizer agar nanoserat selulosa dalam sediaan gel dapat bercampur dengan antosianin. Campuran nanoserat selulosa/ antosianin kemudian dituang ke permukaan akrilik dan dikeringkan dengan oven pada suhu 45°C. Film indikator yang diperoleh selanjutnya disimpan dalam plastik klip.

Karakterisasi

Sifat mekanik film

Uji sifat mekanik film indikator diuji dengan menggunakan Universal Testing Machine Instron. Film indikator dipotong menyerupai *dog bone* atau *dumbbell* ASTM D638-08. Pengukuran sifat mekanik dilakukan untuk memperoleh data *tensile strength*, *elongation at break*, dan *Young's modulus*, serta dilakukan sebanyak 3 ulangan.

Morfologi film

Morfologi permukaan film indikator diamati dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) ZEISS EVO MA 10. Sampel film indikator dipotong dengan ukuran 1 cm x 1 cm (maksimal) dan dilapisi emas menggunakan *sputter coater* ditujukan untuk meningkatkan konduktivitas permukaan sampel.

Morfologi nanoserat selulosa diamati menggunakan TEM JEOL JEM 1400 dengan menggunakan tegangan 80 kV. Analisis XRD dilakukan dengan menggunakan XRD Shimadzu 6100. Pengujian dilakukan pada kondisi berikut: sumber sinar menggunakan CuK α dengan panjang gelombang 1.54 Å dan nilai sudut 2 θ 7-80°.

Stabilitas warna

Stabilitas zat warna diuji dengan meneteskan 100 μ L ekstrak kubis ungu ke dalam 5 mL larutan pH 1-14 yang

dibedakan menjadi dua jenis larutan, yaitu (i) paduan larutan H₂SO₄ dan NaOH, dan (ii) larutan penyangga spesifik. Perubahan warna yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-800 nm. Film indikator yang dibuat dengan penambahan 100 g antosianin dan 150 mL air deionisasi selanjutnya diuji dengan melakukan penetesan larutan pH 1-14. Perubahan warna yang dihasilkan selanjutnya didokumentasikan dan ditentukan nilai LAB dengan menggunakan perangkat lunak ImageJ versi Fiji. Selain itu, film indikator juga diujikan pada daging ayam yang disimpan pada suhu 4°C.

Hasil dan Pembahasan

Nanoserat selulosa yang diperoleh pasca perlakuan *high-pressure homogenizer* menyebabkan wujud nanoserat selulosa yang diperoleh berbentuk seperti gel berwarna putih hingga transparan. Wujud gel diperoleh oleh adanya perlakuan dengan tekanan tinggi yang dapat memisahkan serat menjadi serat tunggal dan memaksa air untuk masuk ke dalam serat tunggal tersebut. Secara teoritis, serat tunggal hasil *high-pressure homogenizer* dapat mengikat air hingga 100x masa serat kering.

Morfologi serat sebelum dan sesudah perlakuan *high pressure homogenizer* dapat dilihat pada Gambar 1(a). Serat sebelum mendapat perlakuan *high-pressure homogenizer* terlihat memiliki bentuk berpilin dengan serat tunggal lainnya sehingga masih memiliki ukuran mikro/makromter. Setelah perlakuan *high-pressure homogenizer* serat tunggal diperoleh dengan ukuran diameter serat < 5,0 nm.

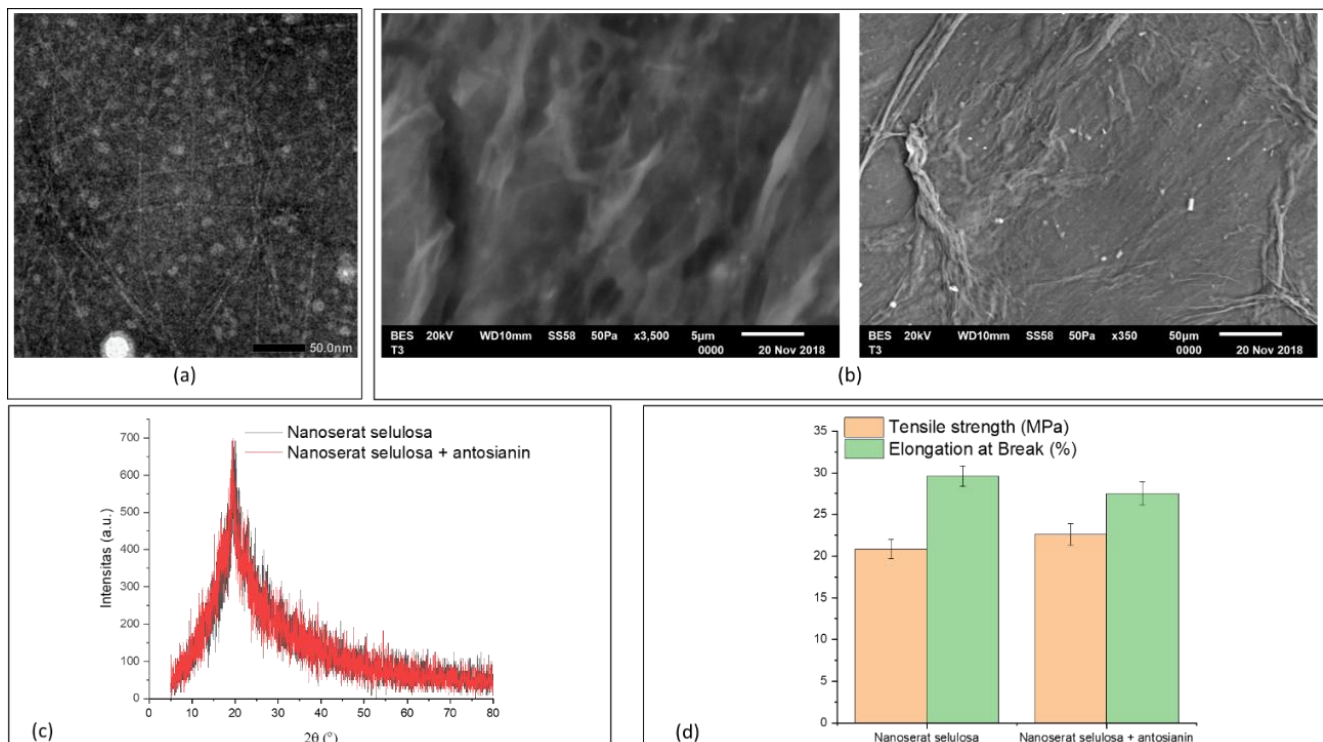
Film indikator yang diperoleh dari pencampuran nanoserat selulosa dan antosianin ekstrak memiliki tekstur halus pada permukaan. Morfologi film indikator ditunjukkan pada Gambar 1(b). Analisis menggunakan SEM menunjukkan bahwa permukaan film nanoserat selulosa sebelum dan sesudah penambahan antosianin memiliki kontur permukaan kasar dan tampak membentuk pola serat, serta tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

Selain analisis permukaan, nanoserat selulosa sebelum dan sesudah penambahan antosianin dilakukan juga pengukuran untuk mengamati kristalinitas dengan mengamati difraktogram tiap sampel. Gambar 1(c) menunjukkan bahwa nanoserat selulosa memiliki derajat kristalinitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan nanoserat selulosa pasca penambahan

antosianin. Nanoserat selulosa memiliki derajat kristalinitas sebesar 69,33% sedangkan pasca penambahan antosianin derajat kristalinitas berubah menjadi 69,38%. Hal ini disebabkan oleh keberadaan antosianin pada permukaan nanoserat selulosa. Pernyataan ini didukung oleh penelitian sebelumnya yang berargumentasi bahwa modifikasi permukaan selulosa dapat mengubah derajat kristalinitas selulosa.

Sifat mekanik nanoserat selulosa sebelum dan sesudah penambahan antosianin diamati dari nilai tensile strength, Young's modulus, dan elongation at break. Gambar 1(d) menunjukkan bahwa penambahan antosianin meningkatkan kekuatan mekanik nanoserat selulosa. Hal ini dapat dilihat dari bertambahnya nilai tensile strength dan elongation at break. Peningkatan sifat mekanik material ini senada dengan meningkatnya derajat kristalinitas nanoserat selulosa. Peningkatan derajat kristalinitas sangatlah berkaitan pada beberapa sifat material, diantaranya adalah sifat mekanik dan stabilitas termal material. Hal ini terbukti pada beberapa penelitian sebelumnya yang mengkaji hubungan antara derajat kristalinitas dan sifat mekanik serta stabilitas termal material [9, 10].

Variasi warna antosianin yang diperoleh dari kubis ungu pasca ditambahkan ke dalam larutan pH 1,0-14,0 diuji dengan spektrofotometer UV-Vis guna memperoleh karakteristik spektrum antosianin pada ragam pH. Spektrum UV-Vis antosianin ekstrak kubis ungu memberikan pola yang berbeda untuk tiap nilai pH, hal ini dapat dilihat secara kasat mata berdasarkan variasi warna yang dihasilkan. Antosianin ekstrak kubis ungu ketika diteteskan pada larutan pH 1,0 yang dibuat dengan larutan NaOH memiliki warna merah, dan pada rentang pH 2,0-3,0 warna antosianin yang semula merah memudar menjadi warna merah muda. Warna biru hingga biru keunguan muncul pada rentang 4,0-11,0. Perubahan warna yang cukup berbeda diperoleh pada pH 12,0-14,0, yakni hijau hingga jingga kekuningan. Selain menggunakan larutan pH yang dibuat dari NaOH dan H₂SO₄, pada penelitian ini juga diamati perubahan warna antosianin ekstrak kubis ungu pada sistem larutan pH yang dibuat menggunakan larutan penyangga spesifik. Warna merah hingga merah keunguan diperoleh pada larutan penyangga pH 1,0-3,0. Warna ungu diperoleh pada pH 4,0, dan warna ini memudar seiring bertambahnya pH, hal ini diamati pada pH 5,0 dan 6,0.



Gambar 1 (a) morfologi nanoserat, (b) morfologi film indikator, (c) difraktogram film nanoserat selulosa, (d) sifat mekanik film

Original Article

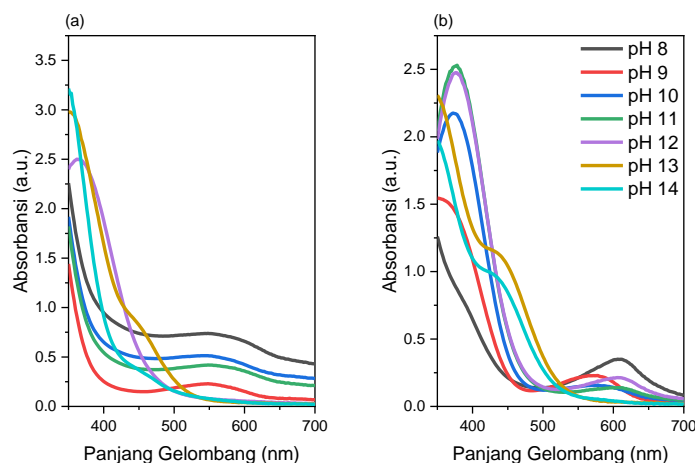
e-ISSN: 2581-0545 - <https://journal.itera.ac.id/index.php/jsat/>



Perubahan warna kembali diamati pada pH 7,0 dan 8,0 menjadi biru dan biru kehijauan. Intensitas warna semakin meningkat pada pH 9,0, namun warna ini perlahan berubah menjadi hijau pada pH 10,0. Warna hijau diperoleh pada pH 11,0 dan 12,0. Perubahan warna pada pH 13,0 dan 14,0 menyerupai warna larutan pada perlakuan sebelumnya. Perbedaan warna antosianin antara larutan pH yang disiapkan dari larutan NaOH/H₂SO₄ dan larutan penyangga spesifik disebabkan oleh adanya interaksi antosianin dengan ion penyusun larutan buffer spesifik, seperti kalium, natrium, borat, karbonat, fosfat, dan ftalat. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa keberadaan kation dan anion yang beragam tersebut dapat bertindak sebagai agen ko-pigmentasi yang dapat memperkuat warna antosianin jika dibandingkan tanpa adanya kation dan anion tersebut [11, 12]. Berdasarkan Gambar 2 dapat dibuat korelasi bahwa terjadi pergeseran kimia ke arah panjang gelombang yang lebih tinggi seiring dengan meningkatnya nilai pH larutan. Fenomena ini disebut sebagai pergeseran batokromik, dan umumnya terjadi pada senyawa golongan flavonoid, antosianin salah satunya.

Perubahan warna antosianin dipengaruhi oleh stabilitas antosianin terhadap beberapa faktor, diantaranya

adalah pH, suhu, ion, agen ko-pigmentasi, dan lainnya. Terbentuknya warna merah pada larutan antosianin pH 1,0-3,0 merupakan dampak dari adanya kation flavilium. Hal ini sesuai dengan penelitian terkait, selain itu pada pH 3,0-6,0 beberapa literatur menyatakan keberadaan karbinol basa semu yang memberikan pemudaran warna. Namun, berdasarkan hasil yang diamati terdapat juga kemungkinan terdapat campuran komposisi antara kation flavilium yang berwarna merah dan quinonoidal yang berwarna biru. Keberadaan dua senyawa ini menyebabkan terbentuknya larutan berwarna ungu. Warna biru yang terbentuk pada pH 7,0 merupakan dampak dari adanya dominasi struktur quinonoidal pada larutan antosianin. Interaksi struktur quinonoidal dengan anion hidroksi menyebabkan perubahan warna larutan antosianin menjadi hijau. Perubahan warna ini diamati pada pH 8,0-12,0. Warna kuning dari larutan antosianin pada pH 13,0-14,0 diduga sebagai terbentuknya struktur kalkon yang diperoleh dari transformasi anion quinonoidal [6, 13-15]. Perubahan warna larutan antosianin pada ragam nilai pH menunjukkan adanya peluang untuk mengembangkan film indikator dengan antosianin sebagai sumber warna. Respon warna film indikator pada penelitian ini diuji terhadap tetesan larutan pH 1,0-14,0 dan kesegaran daging ayam yang disimpan pada suhu 4°C.



Gambar 2 Karakteristik elektronik ekstrak antosianin pada ragam pH



Gambar 3 Perubahan warna film indikator nanoserat selulosa/antosianin pada ragam pH

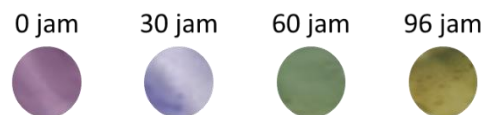
Tabel 1 Nilai Lab film indikator nanoserat selulosa pada ragam pH

pH	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>E</i>
7	42,60 ± 1,53	10,22 ± 1,32	-11,20 ± 0,85	45,22
8	41,29 ± 0,57	14,29 ± 0,93	-12,93 ± 0,32	45,57
9	32,06 ± 0,05	4,12 ± 0,04	-19,04 ± 0,05	37,51
10	30,19 ± 0,07	4,76 ± 0,38	-17,39 ± 0,48	35,16
11	28,69 ± 0,14	-5,79 ± 0,13	-12,55 ± 0,32	31,85
12	45,01 ± 0,11	-13,68 ± 0,24	45,23 ± 0,05	65,26
13	48,89 ± 0,09	7,65 ± 0,25	48,32 ± 0,04	69,16
14	56,21 ± 0,23	-1,67 ± 0,32	55,29 ± 0,18	78,86

Pemilihan nanoserat selulosa sebagai matriks antosianin dan dikembangkan sebagai film indikator untuk kesegaran pangan disebabkan oleh kestabilan film nanoserat selulosa pada air. Respon warna terhadap tetesan larutan pH 8,0-10,0 menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan warna pada kondisi pH asam (Gambar 3). Warna yang diperoleh pada film indikator memiliki perbedaan terhadap uji warna larutan pH, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah penjebakan molekul antosianin pada matriks nanoserat selulosa. Hal tersebut dapat mempengaruhi sensitivitas indikator, dalam hal ini antosianin. Matriks nanoserat selulosa juga memiliki kemampuan untuk mengikat molekul air di lingkungan sehingga tidak diperoleh data yang menyimpang. Kemampuan tersebut dapat meningkatkan sensitivitas terutama dalam hal transfer proton dalam matriks nanoserat selulosa [16] (Ahmed, 2015).

Hasil analisis warna menggunakan perangkat lunak ImageJ versi Fiji berupa nilai *L*, *a*, dan *b* dapat dilihat pada Tabel 1. Sistem nilai LAB dipilih pada penelitian ini dikarenakan warna yang terlihat memiliki korelasi dengan intensitas cahaya. Hal ini menjadi satu kelebihan

dibandingkan metode lain yang hanya mengukur warna menggunakan nilai RGB. Bila dirinci, *L* merupakan nilai yang menyatakan intensitas cahaya dengan rentang nilai 0-100 dari gelap ke terang. *a* merupakan ukuran nilai warna untuk hijau dan merah. Jika nilai *a* bernilai (+) maka condong ke warna merah, sedangkan (-) condong ke warna hijau. *b* merupakan ukuran nilai warna untuk kuning dan biru. Jika *b* bernilai (+) maka condong ke warna kuning, dan (-) condong ke warna biru. Berdasarkan pemaparan di atas dapat ditarik hubungan antara nilai LAB dan nilai pH, semakin negatif nilai *a* dan semakin positif nilai *b* maka film indikator menunjukkan bahwa produk pangan telah mengalami pembusukan. Gambar 4 menunjukkan perubahan warna film indikator pada penentuan kesegaran daging ayam yang disimpan pada suhu 4°C. Tujuan dilakukan pengujian pada suhu simpan 4°C didasari pada ketersediaan air yang lebih tinggi pada kondisi tersebut. Stabilitas film indikator dapat dilihat terhadap respon warna kesegaran daging ayam. Perubahan warna film indikator mulai teramati pada 30 jam pasca penyimpanan, yakni dari warna ungu ke biru-ungu. Warna film indikator berubah menjadi hijau pada 60 jam pasca penyimpanan, dan kuning pada 96 jam pasca penyimpanan.



Gambar 4 Perubahan warna film nanoserat selulosa/antosianin terhadap kesegaran produk pangan pada suhu 4°C

Perubahan warna yang cukup lambat disebabkan oleh pengaruh suhu simpan, pada 4°C pembusukan daging ayam membutuhkan waktu yang lebih lama bila dibandingkan pada suhu simpan 25°C. Aktivitas mikroba merupakan salah satu aktivitas pemicu pembentuk amonia pada proses pembusukan. Kemampuan film indikator untuk berubah warna pada suhu simpan 4°C menunjukkan bahwa film indikator memiliki stabilitas yang baik.

Kesimpulan

Film indikator berbasis nanoserat selulosa yang dikombinasikan dengan antosianin menghasilkan sensitivitas yang cukup baik untuk menunjukkan kesegaran produk pangan pada penyimpanan 4°C. Perubahan warna yang dihasilkan oleh film indikator ini cukup signifikan dan memiliki warna yang berbeda pada tiap nilai pH.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Jambi atas hibah penelitian dengan skema Terapan Unggulan (SP DIPA-023.17.2.677565/2020).

Daftar Pustaka

- [1] D. Tonini, P. F. Albizzati, and T. F. Astrup, "Environmental impacts of food waste: Learnings and challenges from a case study on UK," *Waste Management*, vol. 76, pp. 744-766, 2018.
- [2] P. Ghisellini, C. Cialani, and S. Ulgiati, "A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems," *Journal of Cleaner Production*, vol. 114, pp. 11-32, 2016.
- [3] A. Jurgilevich et al., "Transition towards Circular Economy in the Food System," *Sustainability*, vol. 8, no. 1, p. 69, 2016.
- [4] M. Moazami Goodarzi, M. Moradi, H. Tajik, M. Forough, P. Ezati, and B. Kuswandi, "Development of an easy-to-use colorimetric pH label with starch and carrot anthocyanins for milk shelf life assessment," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 153, pp. 240-247, Jun 15 2020.
- [5] B. Kuswandi and A. Nurfawaidi, "On-package dual sensors label based on pH indicators for real-time monitoring of beef freshness," *Food Control*, vol. 82, pp. 91-100, 2017.
- [6] Y. Ge, Y. Li, Y. Bai, C. Yuan, C. Wu, and Y. Hu, "Intelligent gelatin/oxidized chitin nanocrystals nanocomposite films containing black rice bran anthocyanins for fish freshness monitorings," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 155, pp. 1296-1306, Jul 15 2020.
- [7] A. Chakrabarty and Y. Teramoto, "Recent Advances in Nanocellulose Composites with Polymers: A Guide for Choosing Partners and How to Incorporate Them," *Polymers*, vol. 10, no. 5, May 10 2018.
- [8] F. Martoia, P. J. J. Dumont, L. Orgéas, M. N. Belgacem, and J. L. Putaux, "On the origins of the elasticity of cellulose nanofiber nanocomposites and nanopapers: a micromechanical approach," *RSC Advances*, vol. 6, no. 53, pp. 47258-47271, 2016.
- [9] I. P. Mahendra, B. Wirjosentono, Tamrin, H. Ismail, and J. A. Mendez, "Thermal and Morphology Properties of Cellulose Nanofiber from TEMPO-oxidized Lower part of Empty Fruit Bunches (LEFB)," *Open Chemistry*, vol. 17, no. 1, pp. 526-536, 2019.
- [10] H. S. Yang, A. Kiziltas, and D. J. Gardner, "Thermal analysis and crystallinity study of cellulose nanofibril-filled polypropylene composites," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 113, no. 2, pp. 673-682, 2013.
- [11] Z. Czibulya, I. Horváth, L. Kollár, and S. Kunsági-Máté, "Unexpected effect of potassium ions on the copigmentation in red wines," *Food Research International*, vol. 45, pp. 272-276, 2012.
- [12] P. Sari, C. H. Wijaya, D. Sajuthi, and U. Supratman, "Colour properties, stability, and free radical scavenging activity of jambolan (*Syzygium cumini*) fruit anthocyanins in a beverage model system: Natural and copigmented anthocyanins," *Food Chemistry*, vol. 132, pp. 1908-1914, 2012.
- [13] Y. Li, K. Wu, B. Wang, and X. Li, "Colorimetric indicator based on purple tomato anthocyanins and chitosan for application in intelligent packaging," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 174, pp. 370-376, Mar 31 2021.
- [14] M. Alizadeh-Sani et al., "pH-responsive color indicator films based on methylcellulose/chitosan nanofiber and barberry anthocyanins for real-time monitoring of meat freshness," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 166, pp. 741-750, Jan 1 2021.

Original Article

Journal of Science and Applicative Technology

[15] J. Liu *et al.*, "Improving the color stability and antioxidation activity of blueberry anthocyanins by enzymatic acylation with p-coumaric acid and caffeic acid," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 130, 2020.

[16] E. M. Ahmed, "Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review," *Journal of advanced research*, vol. 6, no. 2, pp. 105-21, 2015.