

Pengembangan Label Film Smart Packaging Berbasis Sensor pH dari Bayam Merah untuk Mendeteksi Kesegaran Daging

Development of Smart Packaging Film Label based on pH Sensor from Red Spinach for Meat Freshness Detector

Supardianningsih^{1*}, Afifah Mutsila¹, Meisi Riana², Septia Ardiani¹, dan Bunda Amalia³

Received 5 Juny 2023
Accepted 18 September 2023
Published September 2023

¹Department of Packaging Engineering Technology, Politeknik Negeri Media Kreatif, Jakarta, Indonesia

²Department of Graphic Engineering, Politeknik Negeri Media Kreatif, Jakarta, Indonesia

³Balai Besar Standardisasi Pelayanan Jasa Industri Kimia, Farmasi dan Kemasan-Kemenperin, Jakarta

Abstrak. *Smart packaging* merupakan salah satu teknologi baru dalam bidang pengemasan yang dapat menginformasikan perubahan yang terjadi pada produk atau lingkungannya seperti suhu, pH, dan pertumbuhan mikroba. Pada penelitian ini akan dikembangkan label film *smart packaging* berbasis sensor pH dari sumber alami berupa ekstrak bayam merah. Dari hasil penelitian ditemukan bahwa ekstrak bayam merah dengan pH = 2 memiliki nilai serapan yang tinggi, paling asam, dan warna paling solid dibandingkan pH lainnya, dibuktikan dengan hasil UV-Vis dengan puncak tertinggi. Hasil pengujian FTIR menunjukkan ekstrak bayam merah masih terdeteksi di dalam sample label film kemasan. Label film dengan konsentrasi ekstrak bayam merah 6%, 8%, dan 10% memiliki hasil uji ketebalan, kuat tarik dan elongasi yang seragam dengan rata-rata nilai untuk uji ketebalan 0,015 mm, uji kuat tarik dengan nilai 5,67 kgf/cm², dan uji elongasi 0,19%. Label film dengan konsentrasi ekstrak bayam merah 6%, 8% dan 10% memiliki warna yang solid dan menghasilkan perubahan warna yang mudah diamati. Tidak hanya itu dalam pengujian fisik, mekanik kerekarakteristik UV-Vis, FTIR dan perubahan warna nya label film dengan konsentrasi 6%, 8%, 10% memiliki hasil uji yang baik dan dapat diaplikasikan pada kemasan daging.

Abstract. *Smart packaging* is a new technology in the field of packaging that can inform changes that occur in products or their environment, such as temperature, pH, and microbial growth. In this research a smart packaging film label based on a pH sensor will be developed from a natural source in the form of red spinach extract. From the research results it was found that red spinach extract with pH = 2 had the highest absorption value, the most acidic, and the most solid color compared to other pHs, as evidenced by the UV-Vis results with the highest peaks. The results of the FTIR test showed that red spinach extract was still detected in the sample packaging film labels. Film labels with red spinach extract concentrations of 6%, 8%, and 10% had uniform thickness, tensile strength and elongation test results with an average value for the thickness test of 0.015 mm, tensile strength test with a value of 5.67 kgf/cm², and 0.19% elongation test. Film labels with red spinach extract concentrations of 6%, 8% and 10% have solid colors and produce easily observable color changes. Not only that, in physical testing, mechanical characteristics UV-Vis, FTIR and changes in color, film labels with concentrations of 6%, 8%, 10% have good test results and can be applied to meat packaging.

Keywords: *Smart Packaging, pH Sensor, Natural Anthocyanin.*

Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, faktor yang memengaruhi keputusan konsumen dalam membeli suatu produk tidak hanya dilihat dari kemasannya yang menarik, tetapi juga kelayakan produk untuk dikonsumsi (Mustafa dan Andreescu, 2018). Tanggal kedaluarsa pasti akan dilihat oleh konsumen sebelum membeli. Meski demikian, pada kenyataannya, tidak semua produk layak dikonsumsi meski belum mencapai tanggal kedaluarsa. Hal ini dapat disebabkan oleh banyak hal, misalnya proses penyimpanan yang

tidak tepat, kemasan yang rusak/bocor, atau akibat transportasi sehingga produk terjadi kerusakan. *Smart packaging* merupakan solusi terbaik untuk mengatasi masalah tersebut. (Heising et al, 2014)

Smart packaging merupakan salah satu teknologi baru dalam bidang kemasan. Berbeda dengan kemasan konvensional, *smart packaging* dapat menginformasikan perubahan yang terjadi pada produk atau lingkungannya seperti suhu, pH, dan pertumbuhan mikroba. Tidak hanya itu, *smart packaging* juga dapat memberikan suatu informasi terkini dari produk melalui teknologi internet

(*internet of things*) misalnya informasi yang dapat diakses melalui label RFID (*Radio Frequency Identification*) yang ada pada kemasan (Alam et al, 2021).

Smart packaging sangat diperlukan dalam pengemasan pangan. Salah satu contoh aplikasi *smart packaging* yaitu kemasan yang dapat mendeteksi perubahan pada produk pangan berupa sensor, misalnya *Time-Temperature Indicator* (TTI), indikator gas, atau indikator kesegaran pangan. Aplikasi lain yaitu kemasan yang dapat secara aktif menambah umur simpan produk, misalnya kemasan yang dapat menyerap CO₂, air, gas etilen, atau senyawa lain yang dapat membuat produk pangan cepat rusak; atau kemasan yang secara aktif melepaskan gas atau zat tertentu sehingga menambah umur simpan; serta kemasan yang bersifat antimikroba (Singh et al, 2021).

Kesegaran atau layak tidaknya untuk dikonsumsi dari suatu bahan makanan berupa daging, makanan basah, atau buah-buahan sangat bergantung pada kondisi lingkungan. Lingkungan yang tidak ideal akan mempercepat pembusukan atau pematangan produk sehingga tidak layak konsumsi (Singh, Gaikwad, dan Lee, 2018). Aplikasi *smart packaging* untuk produk makanan tersebut sangat bermanfaat sehingga konsumen akan langsung tahu apakah produk yang akan dibeli masih layak konsumsi atau tidak. Akan tetapi setiap jenis produk daging, makanan olahan, atau buah-buahan memiliki kondisi yang berbeda-beda ketika rusak sehingga diperlukan *smart packaging* yang khusus untuk setiap jenis produk.

Salah satu contoh bahan alami yang ada pada tumbuh-tumbuhan yaitu antosianin (Trojak & Skowron, 2017). Antosianin pada tumbuhan merupakan zat pembawa warna seperti merah, orange, ungu atau warna biru pada bunga, buah, sayuran, dan daun (Liu et al, 2013). Antosianin sangat peka terhadap perubahan pH dan menunjukkan warna yang berbeda-beda pada kondisi asam, netral, atau basa (Du et al, 2015 dan Salgado et al, 2021).

Berdasarkan hasil penelitian antara peneliti Polimedia dan Balai Besar Standardisasi Pelayanan Jasa Industri Kimia, Farmasi dan Kemasan (BBSPJIKFK), peneliti telah menggunakan kubis ungu dan bayam merah sebagai sumber antosianin, dan diaplikasikan dalam bentuk label kemasan sederhana untuk mendeteksi kesegaran udang. Dari hasil penelitian diketahui adanya perubahan warna yang signifikan pada produk udang segar dan yang sudah rusak. Akan tetapi, produk label kemasan bersifat rapuh sehingga belum layak untuk difabrikasi sebagai label indikator komersial. Oleh karena itu, peneliti ingin membuat suatu *smart packaging* berbasis sensor pH dari sumber alami untuk mendeteksi kesegaran daging sehingga dapat memberikan kontribusi dalam dunia kemasan, terutama *smart packaging*. Hasil penelitian diharapkan dapat dimanfaatkan atau diproduksi secara komersial di Indonesia.

Metodologi

Ekstraksi Antosianin dari Sumber Alami: Bunga Telang, Bunga Rosella Merah, Kubis Merah, dan Ubi Ungu serta Karakterisasi UV-Vis

Sumber antosianin berupa bunga telang, bunga rosella merah, kubis merah, dan ubi ungu direbus secara terpisah dalam aquades pada suhu 80°C sampai 100°C. Kandungan antosianin pada bunga telang, bunga rosella merah, dan ubi ungu akan terlepas ke dalam air pada suhu tinggi selama 7-10 menit hingga seluruh permukaan berwarna putih. Rasio bunga telang, bunga rosella merah, dan ubi ungu terhadap aquades ditentukan dengan komposisi 1:3. Pada proses ini penulis menggunakan 600 ml aquades dengan 200 g sumber antosianin. Seluruh ekstrak disentrifugasi untuk memisahkan ekstrak dari endapan dan kemudian dikukus untuk konsentrasi lebih.

Larutan buffer ditambahkan pada ekstrak bunga telang, bunga rosella merah, dan ubi ungu secara terpisah untuk mengubah pH dari pH=2 menjadi pH=11 kemudian dikarakterisasi dengan spektrofotometri UV-Vis. Perubahan warna ekstrak dari kondisi asam hingga basa diamati sebagai dasar dalam pengamatan perubahan warna indikator. Pengujian UV-Vis dilakukan untuk mengetahui nilai serapan maksimum larutan sampel ekstrak antosianin bunga telang, bunga rosella merah, dan ubi ungu.

Pembuatan Label Film Smart Packaging Berbasis Sensor pH dan Karakterisasinya

Larutan matriks dibuat dengan mencampurkan larutan PVA (Polivinil Alkohol) dan Karagenan dengan perbandingan 3:2 (b/b) dengan hotplate magnetic stirrer. Pada penelitian ini, ditambahkan 2 g PVA (Polyvinyl Alcohol) ke dalam 50 ml air mendidih selama 30 menit untuk mendapatkan larutan yang homogen. Di gelas lain, 1,5 g karagenan ditambahkan ke dalam 50 ml air mendidih selama 30 menit juga. Langkah selanjutnya adalah mencampurkan larutan PVA (Polivinil Alkohol) dan Karagenan dalam satu gelas kimia dan menambahkan 3 ml gliserol ke dalam larutan dan memanaskannya selama 15 menit. (Coniwanti, Laila, dan Alfira, 2014), (Dami, Sitorus, dan Hanif, (2014).

Tim riset memvariasikan konsentrasi ekstrak bunga telang, bunga rosella merah, dan ubi ungu dalam larutan matriks yang sama. Dalam setiap 100 ml larutan matriks ditambahkan ekstrak bunga telang, bunga rosella merah, dan ubi ungu 0 ml, 2 ml, 4 ml, 6 ml, 8 ml, dan 10 ml untuk mendapatkan larutan film yang beragam. Larutan film dituang ke dalam flexi glass berukuran 20 cm x 10 cm dan didiamkan selama 3 jam kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam. Setelah 24 jam, film dikeluarkan dari oven, kemudian disimpan dalam desikator selama kurang lebih 3 jam, kemudian dikeluarkan seluruh film dari cetakan dengan cara dilepas menggunakan cutter.

Ketebalan, kekuatan tarik, dan elongasi film ditentukan untuk mendapatkan karakterisasi fisik. Ikatan kimia dalam film juga ditentukan dengan karakterisasi FTIR. Pada aplikasi awal, tim menerapkan label indikator untuk mendeteksi kesegaran daging. Perubahan warna label diamati pada daging segar dan daging busuk. Selain itu, perubahan pH juga diamati pada kondisi segar dan busuk.

Hasil Penelitian



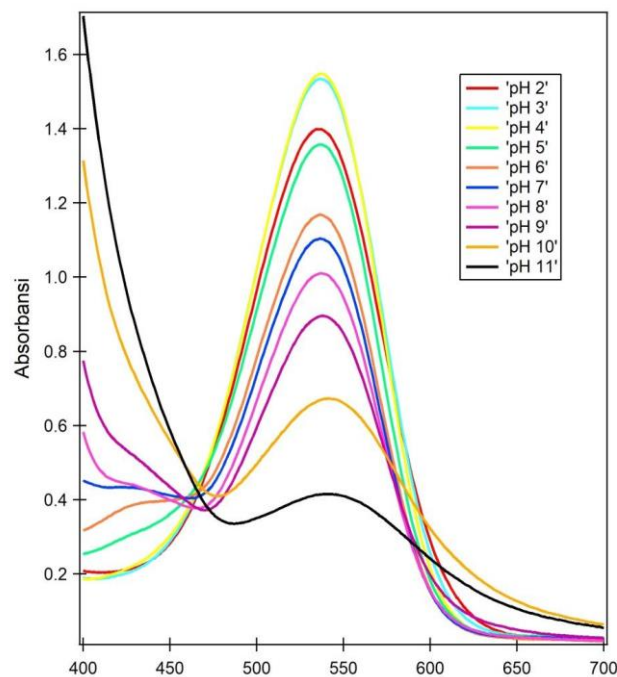
Gambar 1. Ekstrak Bayam Merah sebelum Pemberian Buffer



Gambar 2. Ekstrak Bayam Merah setelah Pemberian Buffer

Larutan ekstrak bayam merah memiliki warna merah tua. Ekstrak tersebut selanjutnya diberi larutan buffer sehingga terdapat 10 sampel ekstrak bayam merah dengan pH=2, pH=3, pH=4, pH=5, pH=6, pH=7, pH=8, pH=9, pH=10, dan pH=11. Terdapat perubahan warna pada sampel dibandingkan dengan warna ekstrak bayam merah murni. Dari hasil pengamatan diketahui warna sampel berubah secara bertahap dari merah keunguan (pH=2) hingga berwarna kuning (pH=11). Semakin tinggi pH sampel, maka warna merah semakin memudar. Dengan demikian kesimpulan awal adalah larutan ekstrak bayam merah dapat mendeteksi perubahan pH dibuktikan dengan adanya perubahan warna sampel. Selanjutnya seluruh sampel dikarakterisasi menggunakan

spektrofotometer UV-Vis untuk melihat interaksi sampel terhadap cahaya tampak dan sinar UV.



Gambar 3. Hasil Pengujian UV-Vis

Hasil pengujian UV-Vis menunjukkan bahwa serapan terbaik berada di pH=2, pH=3, pH=4, dan pH=5. Pada pH=6 sampai dengan pH=11, serapan semakin menurun ditandai dengan penurunan puncak serapan cahaya. Dengan demikian label kemasan akan bereaksi maksimum dalam kondisi asam (pH=2 s.d. pH=5) sedangkan pada pH 6, 7, 8, 9, 10, 11 semakin turun menunjukkan daya serap yang rendah. Jadi, pH 2, 3, 4, dan 5 menunjukkan daya serap yang optimum pada untuk pembuatan label film kemasan. Kesimpulan hasil pengujian ekstrak bayam merah akan memberikan serapan maksimum pada pH dibawah 5 atau pada kondisi asam (pH 2, 3, 4, 5), ketika kondisi basa absorbansinya akan menurun diatas pH 7 (pH 7, 8, 9, 10, 11). Penulis memutuskan menggunakan pH=2 dalam membuat label kemasan karena memiliki derajat keasaman paling tinggi serta memiliki nilai serapan yang bagus terhadap cahaya tampak dan sinar UV.

Hasil Pengujian Ketebalan Label Film Kemasan

Hasil pengujian ketebalan menunjukkan bahwa label film kemasan kitosan-pati memiliki nilai ketebalan terendah pada formula F1 yaitu 0,0110mm dan tertinggi pada formula F5 sebesar 0,0158 mm (tabel 1). Hasil pengukuran tersebut memperlihatkan bahwa adanya kecenderungan peningkatan rata-rata ketebalan label film kemasan dengan adanya penambahan ekstrak bayam merah.

Peningkatan ekstrak bayam merah yang digunakan akan meningkatkan total padatan yang terdapat dalam label film kemasan setelah dikeringkan, sehingga akan menghasilkan label film kemasan yang semakin tebal. Selain dipengaruhi oleh komponen penyusun label

film kemasan, ketebalan label film kemasan juga dipengaruhi oleh konsistensi kedataran tempat ketika meletakkan label film kemasan dalam proses pengeringan.

Tabel 1 Hasil Uji Fisik

No	Sample	Ketebalan (mm)	Kuat Tarik (kgf/ cm ²)	Elongasi (%)
F1	Kitosan + Pati + 0% dye 30 mL.	0,011	0,0045	0,027143
F2	Kitosan + Pati + 2% dye 30 mL	0,012	1,2962	0,228571
F3	Kitosan + Pati + 4% dye 30 mL	0,014	1,4319	0,312857
F4	Kitosan + Pati + 6% dye 30 mL	0,016	9,3684	0,207143
F5	Kitosan + Pati + 8% dye 30 mL	0,016	3,4509	0,151429
F6	Kitosan + Pati + 10% dye 30 mL	0,015	4,2056	0,211429

Peningkatan ketebalan label film kemasan disebabkan adanya perbedaan konsentrasi persen pemberian ekstrak bayam merah yang digunakan sedangkan volume larutan label film kemasan yang dituangkan dalam plexiglass sama, sehingga akan meningkatkan, total padatan dan polimer penyusun matriks label film kemasan. Perbedaan ketebalan film tersebut disebabkan komposisi konsentrasi persen pemberian ekstrak bayam merah label film kemasan yang berbeda. Semakin tinggi konsentrasi persen pemberian ekstrak bayam merah yang ditambahkan, maka viskositasnya juga akan meningkat sehingga label film kemasan yang terbentuk akan semakin tebal.

Hasil Pengujian Kuat Tarik Label Film Kemasan

Kekuatan tarik merupakan parameter penting yang berpengaruh terhadap sifat mekanik label film kemasan. Sifat mekanik dapat berupa kekuatan, kekerasan, kekuan, dan keliatan. Kuat tarik adalah tegangan regangan maksimum sampel sebelum putus.

Hasil pengujian kuat tarik menunjukkan bahwa semakin sedikit konsentrasi persen pemberian ekstrak bayam merah, maka kuat tarik label film kemasan cenderung menurun (gambar 2). Nilai kuat tarik terendah yang diperoleh yaitu 0,0045 kgf/cm² dan tertinggi 9,3684 kgf/cm².

Kekuatan tarik dari label film kemasan yang terbentuk cenderung meningkat pada konsentrasi 0%-6% (Gambar 2). Hal ini kemungkinan dikarenakan adanya konsentrasi persen pemberian ekstrak bayam merah yang

membantu pembentukan matriks label film kemasan. Bayam merah mengandung antosianin yaitu adalah senyawa fenolik yang masuk dalam kelompok flavonoid dan berfungsi sebagai antioksidan (Damanhuri, 2005:106). Perubahan warna antosianin karena pengaruh lingkungan seperti suhu dan pH inilah yang dapat dimanfaatkan sebagai indikator warna pada label atau film kemasan cerdas

Hasil Pengujian Persentase Pemanjangan (Elongasi)

Pengukuran kekuatan tarik label film kemasan biasanya diikuti dengan pengukuran persentase pemanjangan, yaitu perubahan panjang maksimum yang dialami label film kemasan ketika pengujian kekuatan tarik yang dilihat saat label film kemasan putus. Hasil pengujian persentase pemanjangan (elongasi) label film kemasan ditujukan pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3 terlihat hasil menunjukkan bahwa pada penambahan konsentrasi persen ekstrak bayam merah tidak berpengaruh terhadap nilai elongasi label film kemasan yang dihasilkan, maka hasilnya elongasi maksimum terjadi pada F3.

Hasil Pengujian FTIR Label Film Kemasan

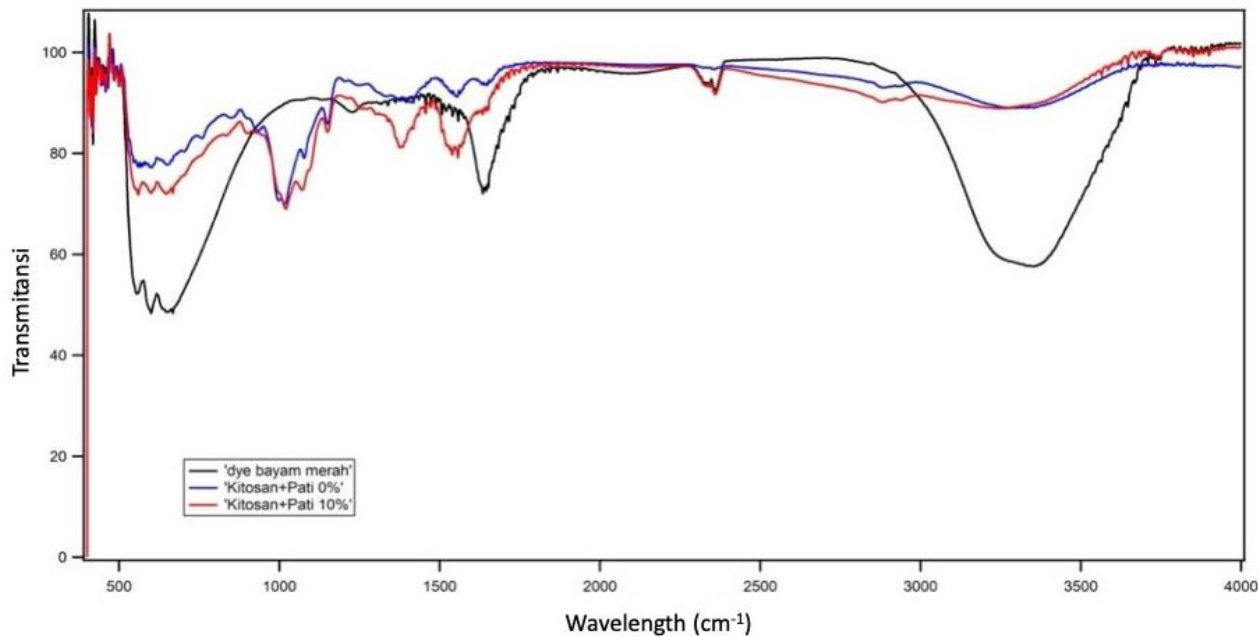
Tabel 1. Hasil Uji FTIR

Tipe senyawa dan Ikatan Kimia	Pewarna Antosianin Ekstrak Bayam Merah (cm ⁻¹)	Label Film Kitosan + Pati (cm ⁻¹)	Label Film Kitosan + Pati 10% pewarna (cm ⁻¹)
C-C	553,47	553,47	553,47
	602,16	602,16	602,16
	650,86	650,86	650,86
C-O	-	1031,25	1031,25
	-	1062,59	1062,59
	-	1125,26	1125,26
	-	1343,66	1343,66
C=C	1654,14	-	1654,14
C=O	-	2062,98	2062,98
O-H	2375,39	-	2375,39
	2406,25	-	2406,25
C-H N-H	3375,78	3375,78	3375,78

Grafik berwarna hitam menunjukkan spektrum FTIR pada ekstrak bayam merah murni sedangkan grafik berwarna biru menunjukkan spektrum FTIR pada label film yang hanya mengandung kitosan dan pati. Grafik berwarna merah menunjukkan spektrum FTIR label film kemasan dengan pencampuran pati, kitosan, dan ekstrak bayam merah 10%. Secara umum, grafik berwarna merah merupakan kombinasi dari grafik berwarna hitam dan biru. Dari sini dapat dikatakan bahwa efek penambahan ekstrak bayam merah pada label kemasan terdeteksi pada spektrum FTIR.

Di dalam bayam merah terdapat senyawa yang termasuk golongan flavonoid yaitu antosianin yang berperan dalam berbagai warna merah dan biru pada tanaman. Secara kimia, antosianin merupakan turunan suatu struktur aromatik tunggal yaitu sianidin. Ikatan kimia C-C muncul di spektrum FTIR dengan bilangan gelombang 553,47 cm⁻¹, 602,16cm⁻¹, dan 650,86cm⁻¹, yang menunjukkan ikatan gugus rantai (R). Ikatan struktur aromatic terdeteksi pada ikatan C=C pada bilangan gelombang 1654,14 cm⁻¹, dan ikatan C-H pada 3375,78 cm⁻¹. Adapun ikatan O-H terdeteksi pada bilangan gelombang 2375,39cm⁻¹ dan 2406,25 cm⁻¹.

Kitosan adalah produk deasetilasi kitin yang merupakan polimer rantai panjang glukosamin (β-1,4-2 amino-2-deoksi-D-Glukosa), memiliki rumus molekul [C₆H₁₁NO₄]_n. Dari rumus kimia tersebut terlihat ikatan kimia berupa ikatan C-C, C-O, C-H, dan gugus amin (-N-H). Gugus amina teramati pada bilangan gelombang 3375,78 cm⁻¹. Terdapat puncak serapan pada bilangan gelombang 2375,39cm⁻¹ dan 2406,25 cm⁻¹ yang hanya muncul di pewarna antosianin ekstrak bayam merah dan label film pati + kitosan + pewarna 10%. Hal ini menandakan bahwa di label film pati + kitosan + pewarna 10% mengandung ekstrak antosianin bayam merah.



Gambar 4. Hasil Pengujian FTIR Antosianin Ekstrak Bayam Merah, Label Film Kitosan+Pati, dan Label Film Kitosan+Pati +Ekstrak Bayam Merah10%

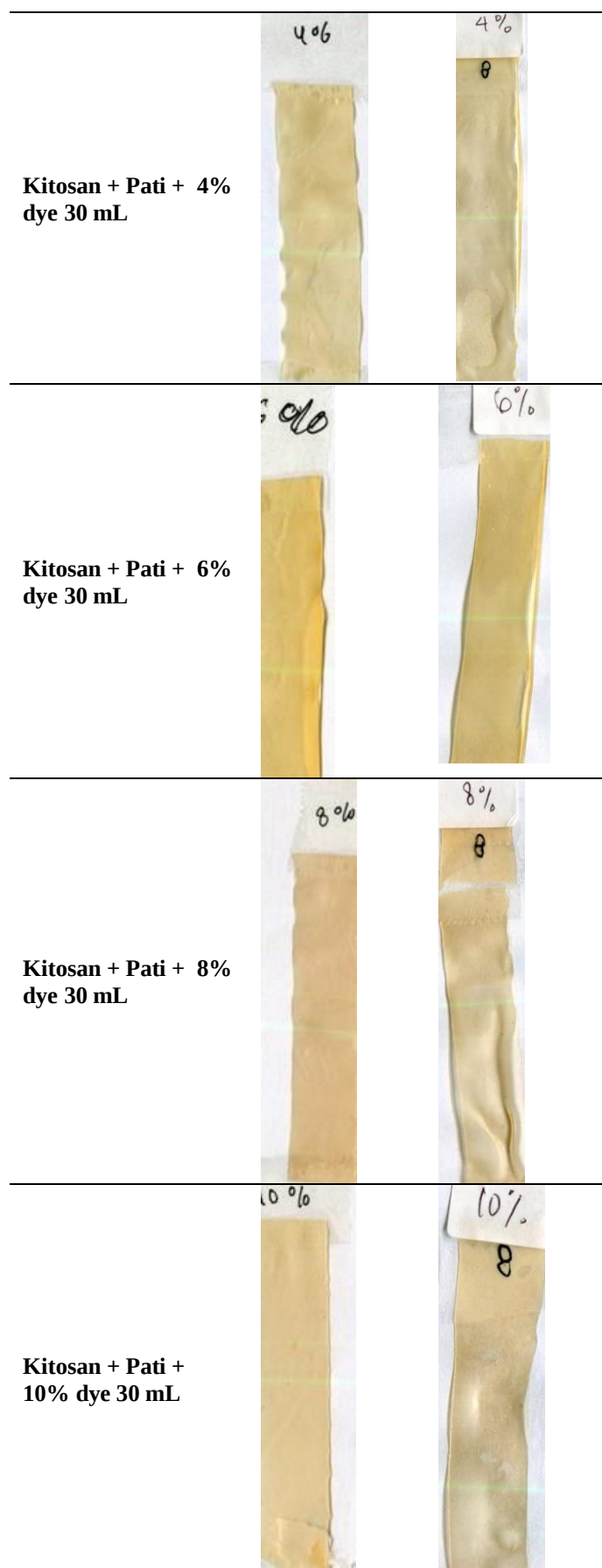
Hasil Pengamatan Perubahan Warna untuk Mengamati Kesegaran Ikan

Berikut hasil pengujian perubahan warna pada label film kemasan sebelum dan sesudah diaplikasikan pada sampel daging.

Tabel 2. Hasil Perubahan Warna

Sampel	Sebelum Diaplikasikan	Sesudah Diaplikasikan
--------	-----------------------	-----------------------





Dari hasil pengujian perubahan warna pada label film kemasan diatas yang sulit diamati pada konsentrasi warna 2%, 4%, 6% sedangkan lebih terlihat pada

konsentrasi warna 8% dan 10% hampir sama baik perubahan fisiknya maupun hasil perubahan warnanya ini menunjukan perubahan warna makin naik konsentration warna semakin solid.

Penggunaan film indikator pH untuk mendeteksi kesegaran daging telah diteliti secara luas dalam keamanan pangan karena kemampuannya mendeteksi kesegaran makanan secara real-time melalui perubahan warna. Seperti halnya film indikator kesegaran daging dibuat dengan menggabungkan polivinil alkohol (PVA)/pati singkong (CS) dengan warna merah netral (NR) sebagai indikator yang sensitif terhadap pH. Perubahan warna disebabkan oleh proses deprotonasi pewarna NR. Film NR/PVA/CS menunjukkan warna merah dalam kondisi asam kuat, dan kemudian berubah menjadi warna oranye seiring dengan peningkatan pH ke kondisi basa (Su et al, 2023).

Penggunaan anthosianin sebagai pewarna indikator kesegaran juga telah dibuktikan menggunakan buah Murbei. Film komposit antibakteri dan responsif terhadap pH untuk kemasan aktif dibuat berdasarkan polivinil alkohol (PVA), pati singkong, *etil lauroil arginat* (LAE), dan antosianin murbei. Perubahan warna film antosianin PVA/pati/LAE/mulberry tampak berwarna oranye terang pada pH 2 dan 3, kemudian warnanya menjadi semakin pekat dan gelap seiring dengan meningkatnya nilai pH (Li et al, 2022). Penambahan LAE meningkatkan sensitivitas sehingga lebih mudah diamati dibandingkan film anthocyanin tanpa menggunakan LAE. Dengan demikian bahan komposit dalam film indikator ini juga mempengaruhi sensitivitas anthocyanin.

Kesimpulan

Pembuatan label film kemasan cerdas menggunakan bahan aktif alami berupa antosianin bayam merah dan diaplikasikan sebagai indikator kesegaran ikan. Antosianin diambil dari ekstrak bayam merah dengan metode perebusan menggunakan aquades mendidih dengan suhu 80 °C sampai 100°C. Selanjutnya ekstrak bayam merah diberi larutan buffer sehingga memiliki pH 2 sampai dengan pH 11 untuk dikarakterisasi UV-Vis sehingga diketahui nilai serapan cahaya maksimal pada sampel. Ekstrak bayam merah dengan pH 2 digunakan untuk membuat label film kemasan karena memiliki nilai serapan yang tinggi, paling asam, dan warna paling solid dibandingkan pH lainnya. Label film kemasan cerdas dibuat dengan mencampurkan chitosan, pati, dan ekstrak bayam merah dengan variasi konsentrasi 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%. Hasil pengujian FTIR menunjukkan ekstrak bayam merah terdeteksi di dalam sampel label film kemasan. Label film dengan konsentrasi ekstrak bayam merah 6%, 8% dan 10% memiliki warna yang solid dan menghasilkan perubahan warna yang mudah diamati setelah diaplikasikan sebagai indikator kesegaran ikan. Tidak hanya itu, dalam pengujian fisik dan mekanik label film dengan konsentrasi 6%, 8%, dan 10% memiliki hasil uji

ketebalan, kuat tarik dan elongasi yang seragam dengan rata-rata nilai untuk uji ketebalan 0,015 mm, uji kuat tarik dengan nilai 5,67 kgf/cm², dan uji elongasi 0,19%. Sensitivitas anthocyanin juga dipengaruhi bahan komposit yang digunakan, perlu diteliti kembali indikator kesegaran dengan bahan komposit film yang berbeda.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penelitian ini, yaitu P3M Politeknik Negeri Media Kreatif serta Balai Besar Standardisasi Pelayanan Jasa Industri Kimia, Farmasi dan Kemasan (BBSPJIKFK).

Referensi

- Alam, A.U., Rathi, P., Beshai, H., Sarabha, G.K., dan Deen, M.J., (2021). Fruit Quality Monitoring with Smart Packaging: Review. *Sensors*, 21, 1509.
- Coniwanti, P., Laila, L., dan Alfira, M.R. (2014). Pembuatan film plastik biodegradabel dari pati jagung dengan penambahan kitosan dan pemlastis gliserol. *Jurnal Teknik Kimia* 20(4): 22-30.
- Damanhuri. (2005). Pewarisan antosianin dan tanggap klon tanaman ubi jalar (*Ipomea batatas* (L.) Lamb) terhadap lingkungan tumbuh. Disertasi, Universitas Brawijaya.
- Darni, Y., Sitorus, T.M., dan Hanif, M. (2014). Produksi bioplastik dari sorgum dan selulosa secara termoplastik. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* 10(2): 55-62.
- Du, H., Wu, J., Ji, K. X., Zeng, Q. Y., Bhuiya, M. W., Su, S., Shu, Q. Y., Ren, H. X., Liu, Z. A., & Wang, L. S. 2015. Methylation Mediated by An Anthocyanin, O-Methyltransferase, Is Involved in Purple Flower Coloration in *Paeonia*. *Journal of Experimental Botany* 66 (21): 6563 – 6577
- Halonen, N., Petra S. Pálvölgyi, P.S., Bassani, A., Fiorentini, C., Nair, R., Spigno, G., dan Kordas, K. (2020). Bio-Based Smart Materials for Food Packaging and Sensors – A Review. *Frontiers in Materials*, 7, 82.
- Heising, J.K., Dekker, M., Bartels, P.V., Van Boekel, M.A.J.S., (2014). Monitoring the quality of perishable foods: opportunities for intelligent packaging. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(5): 645-654.
- Li, N.; Zhou, Z.; Wu, F.; Lu, Y.; Jiang, D.; Zhong, L.; Xie, F. (2022) Development of pH-Indicative and Antimicrobial Films Based on Polyvinyl Alcohol/Starch Incorporated with Ethyl Lauroyl Arginate and Mulberry Anthocyanin for Active Packaging. *Coatings*, 12,1392. <https://doi.org/10.3390/coatings12101392>
- Liu, X., Mu, T., Sun, H., Zhang, M., & Chen, J. (2013). Optimisation of Aqueous Two-Phase Extraction of Anthocyanins from Purple Sweet Potatoes by Response Surface Methodology. *Food Chemistry* 141: 3034 – 3041.
- Mustafa, F. dan Andreescu, S., (2018). Chemical and Biological Sensors for Food-Quality Monitoring and Smart Packaging: Review. *Foods*, 7, 168.
- Salgado, P.R., Giorgio, L.D., Musso, Y.S., dan Mauri, A.N., (2021). Recent Developments in Smart Food Packaging Focused on Biobased and Biodegradable Polymers. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 630393
- Singh, A.K., Ramakanth, D., Kumar, A., Lee, Y.S., dan Gaikwad, K.K., (2021) Active packaging technologies for clean label food products: a review. *Journal of Food Measurement and Characterization* 15:4314–4324
- Singh, S., Gaikwad, K.K., dan Lee, Y.S., (2018). Anthocyanin–A Natural Dye for Smart Food Packaging Systems (Review). *Korean Journal Of Packaging Science & Technology*, Vol. 24, No. 3 167~180 (201)
- Su, Yuanyuan & Li, Cheng & Huo, Xiafei & Zhang, Dequan & Zhao, Xinxin & Li, Yanlei & Chen, Li & Zheng, Xiaochun. (2023). A pH-sensitive smart indicator film of neutral red/polyvinyl alcohol/cassava starch for sensing total volatile basic-nitrogen in meat storing. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 1-12. 10.1007/s11694-023-02059-4.
- Trojak, M., & Skowron, E. (2017). Role of Anthocyanins in High-Light Stress Response. *World Scientific News* 81 (2): 150 – 168.