

INTELLIGENT INDIKATOR pH BERBASIS ANTOSIANIN LIMBAH KULIT BAWANG MERAH UNTUK DETEKSI KESEGARAN UDANG

Apriani Amsikan*, Risna Erni Yati Adu dan Gebhardus D. Gelyaman
Program Studi Kimia, Fakultas Pertanian, Sains dan Kesehatan, Universitas Timor, Jln. KM
09 Sasi, Kota Kefamenanu, Indonesia-85611

*aprianiamsikan123@gmail.com

ABSTRAK: Tingkat kesegaran udang dalam kemasan sulit terdeteksi oleh konsumen tanpa membuka kemasan, sehingga dibutuhkan pengembangan indikator visual berbasis perubahan pH. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan indikator visual yang dapat mendeteksi perubahan pH akibat perubahan kesegaran udang. Indikator pH difabrikasi dari polimer selulosa dan ekstrak kulit bawang merah melalui metode *solution casting*. Karakteristik film ditentukan menggunakan FTIR dan SEM. Respon film diuji terhadap larutan buffer pH yang berbeda dan sampel udang selama masa penyimpanan. Hasil karakterisasi film menunjukkan adanya serapan gugus spesifik selulosa dan antosianin yaitu -OH, CH, C-O-C, C=C. Analisis SEM menunjukkan bahwa film dengan ekstrak antosianin memiliki permukaan yang homogen. Film menghasilkan perubahan warna dari orange kemerahan menjadi merah kecoklatan seiring dengan perubahan pH sampel dari 7,93 sampai 10,26. Film selulosa antosianin berpotensi digunakan sebagai indikator untuk mendeteksi kesegaran udang.

Kata kunci: Antosianin; Ekstrak kulit bawang merah; Gliserol; Selulosa; Udang.

ABSTRACT: It is a difficult thing for consumers to detect the freshness level of packaged shrimp without opening the package, so a visual indicator based on pH changes is needed to develop. This study aims to produce a visual indicator that can detect pH changes due to changes of shrimp freshness. The pH indicator was fabricated from cellulose polymer and shallot skin extract through solution casting method. Film characteristics were determined by using FTIR and SEM. Film response was tested against different pH buffer solutions and shrimp samples during storage. The results of FTIR characterization showed specific absorption for cellulose and anthocyanin groups, namely -OH, CH, C-O-C, C=C. SEM analysis showed that the films with anthocyanin extracts had a smooth and compact surface. The film gave a color change from reddish orange to brownish red along with pH changes of sample from 7.93 to 10.26. Anthocyanin cellulose film has the potential to be used as a real-time indicator to detect shrimp freshness.

Keywords: Anthocyanins; Cellulose, Glycerol; Onion skin extract; Shrimp.

1. PENDAHULUAN

Udang merupakan salah satu produk perikanan yang memiliki nilai gizi yang tinggi. Daging udang mengandung asam amino esensial yang penting bagi manusia, seperti lisin, histidin, arginin, tirosin, trifluran dan sistein [1]. Udang juga merupakan bahan makanan yang cepat mengalami kerusakan (*perishable food*).

Penentuan kesegaran udang dapat dilakukan dengan dua cara yaitu melalui pengujian organoleptik (hasilnya kurang objektif) dan analisis di laboratorium (mahal dan prosedur kompleks). Salah satu upaya untuk mendeteksi perubahan kesegaran secara in-situ tanpa membuka kemasan dan mencegah masalah

pembusukan yaitu menggunakan kemasan pintar (*smart packaging*).

Kemasan pintar merupakan suatu sistem kemasan yang mampu mendeteksi, memberikan informasi, memperpanjang masa penyimpanan, meningkatkan keamanan dan meningkatkan kualitas produk. Kemasan pintar dilengkapi indikator kesegaran, diletakkan secara internal maupun eksternal dalam kemasan untuk memberikan informasi tentang keadaan atau mutu produk dalam kemasan tersebut [2]. Adanya indikator kesegaran tersebut membuat konsumen maupun produsen bisa mendapatkan informasi mengenai perubahan yang terjadi pada produk atau lingkungan sekitar produk (seperti suhu dan pH) secara visual tanpa membuka kemasan [3]. Salah satu indikator kesegaran untuk mengamati penurunan kualitas produk melalui perubahan visual adalah indikator pH.

Indikator pH digunakan untuk memantau dan mengidentifikasi kesegaran makanan karena pada umumnya proses pembusukan disertai dengan perubahan pH. Warna indikator pH secara fundamental akan berubah karena terjadi perubahan pH lingkungan. Indikator sensitif pH yang telah banyak dikembangkan adalah indikator berbasis pewarna sintesis seperti bromitol biru, bromokresol hijau, bromokresol ungu, dan metil merah [2]. Penggunaan pewarna ini dapat menimbulkan efek toksik bagi kesehatan jika indikator mengalami kontaminasi dengan bahan pangan yang dikemas.

Saat ini pengembangan indikator pH dilakukan dengan memanfaatkan pewarna alami yang aman, ramah lingkungan dan memiliki sifat fungsional yang baik bagi kesehatan tubuh [4]. Salah satu bahan alami yang berpotensi digunakan sebagai sumber pewarna untuk indikator pH adalah kulit bawang merah. Kulit bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) merupakan limbah yang jarang dimanfaatkan. Kulit bawang merah mempunyai banyak khasiat obat [5], karena mengandung polifenol, flavonoid,

tanin dan pigmen antosianin bila dibandingkan dengan bawang lainnya [6].

Antosianin merupakan senyawa yang bersifat amfoter, yaitu memiliki kemampuan untuk bereaksi baik dengan asam maupun dengan basa. Menurut Mulinacci [7] antosianin aman untuk dikonsumsi, tidak beracun dan tidak menimbulkan mutasi genetik sehingga aman untuk digunakan sebagai pewarna alami pada indikator pH. Menurut Nugraheni [8] antosianin merupakan salah satu zat warna yang peka terhadap pH, antosianin pada pH asam berwarna merah muda dan berwarna hijau sampai kuning pada pH basa, sehingga berpotensi sebagai indikator pH.

Salah satu komponen pendukung dalam pembuatan indikator pH adalah padatan penyangga untuk zat warna. Polimer biodegradable sangat direkomendasikan sebagai padatan penyangga seperti selulosa [9]. Selulosa adalah biopolimer yang ramah lingkungan, tidak beracun dan memiliki kemampuan pembentukan film yang baik. Oleh karena itu selulosa sangat cocok untuk dijadikan penyangga zat warna dalam mendeteksi kesegaran pangan selama masa penyimpanan [10]

Sani [11] menggunakan antosianin barberry merah dalam matriks komposit kitin nanofiber dan metil selulosa sebagai indikator kolorimetri untuk deteksi kesegaran daging dan ikan karena sensitive terhadap perubahan pH. Indikator berubah dari warna merah pekat menjadi merah jambu kemudian warna kuning dengan meningkatnya pH akibat peningkatan konsentrasi uap ammonia. Amongdari [12] mengembangkan sensor kesegaran untuk *fillet* ikan tuna berbasis antosianin kulit buah juwet (*Syzygium cumini*) dengan membran selulosa bakterial. Terjadi perubahan warna sensor kesegaran dari ungu pekat saat *fillet* ikan tuna dalam keadaan segar menjadi abu-abu ketika *fillet* ikan tuna sudah tidak segar. Berdasarkan penelusuran literatur fabrikasi detektor kesegaran dari selulosa dan antosianin yang bersumber dari limbah kulit bawang merah

masih terbatas. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan pembuatan indikator pH berbasis selulosa dengan pewarna antosianin yang diekstrak dari kulit bawang merah untuk mendeteksi kesegaran udang selama masa penyimpanan.

2. PERCOBAAN

2.1 Bahan dan Peralatan

Kulit bawang merah diambil dari Pasar Baru Kefamenanu, udang, selulosa, gliserol, aquadest, kertas saring, tissue, sedangkan alat yang digunakan yaitu timbangan analitik, pipet volume, gelas beaker, gelas ukur, labu ukur, corong, pipet tetes, batang pengaduk, mikropipet socorex, magnetik stirrer, FT-IR, SEM, pH meter, indikator pH universal, aluminium foil, blender, oven, dan kamera.

a. Metode

Preparasi Sampel Kulit Bawang Merah

Sampel kulit bawang merah sebanyak 2 kg dicuci dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Selanjutnya kulit bawang merah dihaluskan dengan blender sehingga didapatkan serbuk.

Ekstraksi Kulit Bawang Merah

Sebanyak 100 gr serbuk kulit bawang merah dicampurkan dengan aquades sebanyak 1000 mL. Campuran tersebut didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar (30⁰C). Selanjutnya campuran disaring sehingga diperoleh ekstrak dari kulit bawang merah. Ekstrak kulit bawang merah disimpan untuk proses selanjutnya.

Pembuatan Film Indikator pH

Film Indikator pH disintesis dengan metode *solution casting* (pencampuran) menggunakan hidrogel yang dibuat dari larutan. Diukur ekstrak kulit bawang merah 100 mL, dan dimasukkan ke dalam gelas beaker. Kemudian ditimbang selulosa 4 g dan ditambahkan sedikit demi sedikit sambil diaduk sampai larutan menjadi hidrogel. Selanjutnya campuran dituang ke cawan petri dan dimasukkan ke dalam oven

pada suhu 70⁰C sampai hidrogelnya kering membentuk film selulosa antosianin (FSA). Selanjutnya diukur antosianin 100 mL dan dituangkan ke dalam gelas beaker lalu ditambahkan selulosa 4 g sambil diaduk sampai tidak ada gumpalan. Kemudian ditambahkan 5% gliserol sambil diaduk sampai larutannya menjadi hidrogel. Larutan dituang ke cawan petri dan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 70⁰C sampai hidrogelnya kering membentuk film selulosa antosianin gliserol (FSAG). Selanjutnya diukur aquades 100 mL dan ditambahkan selulosa 4 gram sedikit demi sedikit sambil diaduk sampai larutan menjadi hidrogel. Hidrogel dituang ke cawan petri dan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 70⁰C sampai kering membentuk film selulosa (FS).

Selanjutnya film yang sudah kering ditimbang untuk mengetahui massa setiap film. Masing- masing film digunting dengan ukuran 2,5 x 2,5 cm untuk dikarakterisasi dengan FTIR dan SEM.

Karakterisasi Film

Kadar air (*moisture content/MC*) ditentukan pada suhu 105⁰C dalam oven. MC dihitung menggunakan persamaan:

$$MC (\%) = \frac{100 \times (M_i - M_f)}{M_i}$$

Keterangan:

M_i: berat awal film (g)

M_f: berat akhir film yang dikeringkan pada suhu 105⁰C (g)

Kelarutan air (*water solubility/WS*) ditentukan dengan memotong film berbentuk persegi (2 x 2 cm). Film direndam dalam 10 mL aquades dan dilakukan pengadukan selama 2 menit, kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110⁰C sampai berat film tetap dan ditimbang berat kering film. Setiap perlakuan diulangi sebanyak 3 kali untuk mendapatkan rerata. WS (%) dihitung dengan persamaan :

$$WS (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

Keterangan:

WS: Kelarutan film dalam air

W_1 dan W_0 : Berat basah atau berat awal sampel yang ditimbang

W_2 : Berat kering film

Swelling indeks ditentukan dengan memotong film dengan ukuran (2 x 2 cm). Film dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 24 jam untuk menentukan berat kering awal (W_0). Kemudian sampel ditempatkan dalam 10 mL aquades pada suhu kamar selama 10 menit, sambil diamati. Selanjutnya sampel diambil dari wadah dan air permukaan dihilangkan dengan kertas sarin, berat basah sampel segera ditimbang (W_1), kemudian sampel film basah dikeringkan dalam oven dan diperoleh berat kering (W_2) setiap perlakuan diulangi sebanyak 3 kali untuk mendapatkan rerata. SI (%) dihitung dengan persamaan:

$$SI (\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_1} \times 100\%$$

Keterangan :

SI : Persentase film mengembang(%)

W_1 : Berat basah awal sampel yang ditimbang

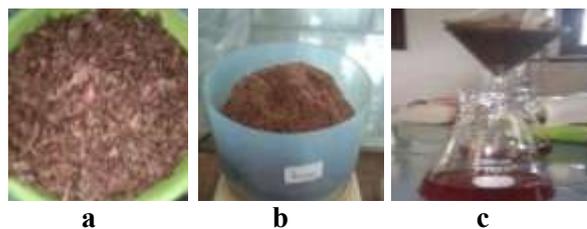
W_0 : Berat kering awal film

Analisis Respon Ekstrak Kulit Bawang Merah Terhadap Perubahan pH

Perubahan warna ekstrak kulit bawang merah indikator pH diukur dalam larutan buffer dengan nilai pH 1 sampai 12. Ekstrak ditambahkan ke dalam larutan buffer, lalu perubahan warna diamati dan didokumentasikan.

Analisis respon Film pada Sampel udang

Film dipotong berukuran 2 x 2 cm, kemudian ditempatkan pada 10 g sampel udang yang disimpan dalam cawan petri (diameter 90 mm) selama periode pengujian (4 hari). Selama pengujian pH meter digunakan untuk memantau pH sampel udang yang kontak dengan film. Ketika perubahan warna pada film terjadi, baik perubahan warna maupun nilai pH dicatat dan didokumentasikan.



Gambar 1. (a) Kulit (b) Serbuk dan (c) Ekstrak Kulit Bawang Merah.

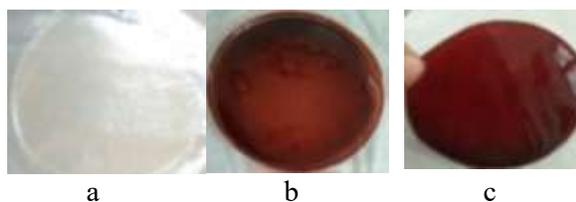
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Ekstraksi Zat Warna Indikator

Zat warna alami yang terdapat dalam kulit bawang merah diekstraksi dengan metode maserasi menggunakan pelarut aquades. Metode maserasi dapat dilakukan tanpa melalui proses pemanasan sehingga tidak dapat mengurangi komponen aromatik [13]. Penggunaan aquades sebagai pelarut ekstraksi didasarkan pada sifat kepolarannya, aquades merupakan pelarut polar untuk melarutkan antosianin berdasarkan prinsip “like dissolved like”. Diketahui bahwa antosianin merupakan molekul polar dengan gugus hidroksil yang terikat pada cincin aromatik [14]. Antosianin yang dihasilkan dari ekstrak limbah kulit bawang merah dapat diilustrasikan pada Gambar 1.

3.2 Film Indikator pH

Film indikator pH dibuat dari selulosa dan ekstrak kulit bawang merah melalui metode *solution casting*. Film yang dihasilkan dari selulosa, selulosa-antosianin dan selulosa-antosianin-gliserol menunjukkan kenampakan visual yang berbeda-beda dengan diameter 120 x 20 mm seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. a) Film Selulosa (FS), b) Film Selulosa-Antosianin (FSA) dan c) Film Selulosa-Antosianin-Gliserol (FSAG).

Tabel 1. Karakteristik Film

Film	Massa (g)	Kadar air (%)	Kelarutan air (%)	Swelling indeks (%)
FS	1,73	10,52	29,41	90,76
FSA	3,42	9,30	3,70	78,74
FSAG	7,45	7,48	7,22	55,61

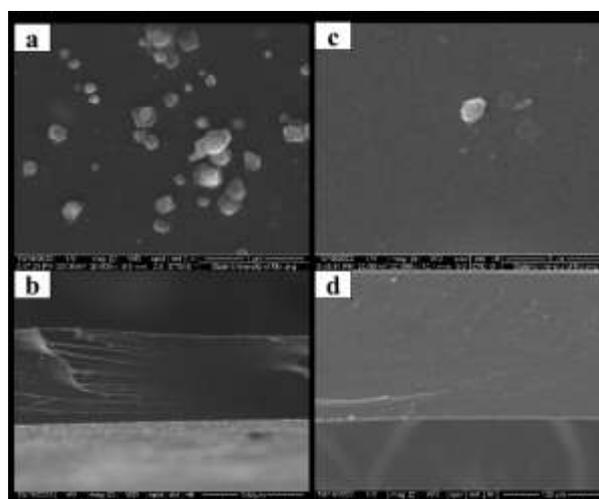
Indikator FSA dan FSAG memiliki warna merah keunguan yang pekat dan transparan karena adanya zat warna antosianin dari kulit bawang merah sebagai pigmen pemberi warna, sedangkan FS tidak berwarna dan transparan karena tidak adanya pewarna. FSA bertekstur kaku sedangkan FSAG lebih elastis karena penggunaan gliserol sebagai *plasticizer* yang dapat memperlemah kekakuan polimer dan meningkatkan fleksibilitas dan kehalusan film. Menurut Ban [16], gliserol secara efektif dapat digunakan sebagai *plasticizer* karena dapat meningkatkan fleksibilitas film dan menyebabkan permukaan film menjadi lebih halus.

3.3.Karakteristik Film

Beberapa karakteristik film yang ditentukan yaitu massa film, kadar air, kelarutan air, dan *swelling indeks* yang ditampilkan pada Tabel 1. Hasil menunjukkan bahwa film mengalami kenaikan massa seiring dengan penambahan komponen penyusun film. Kenaikan massa film disebabkan oleh penambahan bobot molekul dari antosianin dan gliserol yang terikat pada selulosa. Menurut Nogueira [17], penambahan zat warna ke dalam film pati meningkatkan massa padatan dari larutan pembentuk film per satuan luas wadah. Nilai kadar air dan swelling indeks film semakin menurun setelah penambahan antosianin dan gliserol, sedangkan kelarutan film mengalami fluktuasi. Penambahan antosianin dan gliserol menyebabkan terbentuknya ikatan hidrogen antar molekul

dalam film yang mengakibatkan terjadinya penurunan kadar air dan swelling indeks.

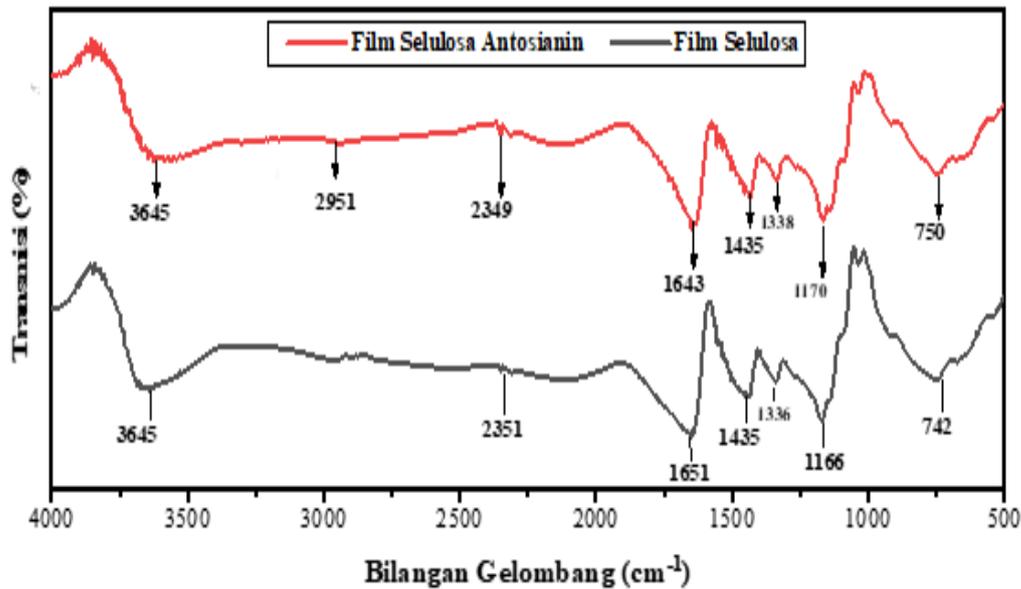
Morfologi permukaan dan penampang lintang film diamati dengan SEM dengan perbesaran 20.000x. Gambar morfologi film ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Morfologi Permukaan FS (a) dan FSA(c), dan Penampang Lintang FS (b) dan FSA (d).

Morfologi permukaan dan penampang lintang FS (gambar a dan b) menunjukkan masih banyak butiran-butiran kristal selulosa tidak terlarut karena rendahnya kelarutan selulosa dalam pelarut aquades. Gambar (c) dan (d) memperlihatkan permukaan film yang lebih halus yang menunjukkan bahwa antosianin mampu menyebarkan dan mengikat matriks selulosa dengan baik. Morfologi permukaan yang serupa juga telah dilaporkan dalam penelitian yang dilakukan oleh Pourjavaher [9].

Gugus fungsi dalam FS dan FSA diidentifikasi menggunakan FTIR pada bilangan gelombang 4000-500 cm^{-1} .



Gambar 4. Spektra FTIR FS dan FSA

Spektra FT-IR digambarkan pada Gambar 4. Gambar tersebut menunjukkan adanya serapan pada rentang bilangan gelombang 3645 cm^{-1} untuk vibrasi ulur dari gugus hidroksil (-OH). Terdapat serapan pada bilangan gelombang $2351 - 2951\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi regangan gugus $-\text{CH}_2$, sebagaimana yang dilaporkan dalam penelitian Moradi [18] bahwa gugus $-\text{CH}_2$ akan muncul pada bilangan gelombang 2964 cm^{-1} . Serapan pada rentang $1642-1651\text{ cm}^{-1}$ merupakan gugus $\text{C}=\text{C}$, sedangkan serapan pada bilangan gelombang $1166-1170\text{ cm}^{-1}$ merupakan serapan gugus $\text{C}-\text{O}$. Pita serapan lain yang terdeteksi pada bilangan gelombang $742-750\text{ cm}^{-1}$, merupakan serapan oleh CH aromatik. Selanjutnya pada puncak 1435 cm^{-1} adalah vibrasi lentur dari gugus $\text{C}-\text{OH}$. Serapan khas yang terkait dengan film yang mengandung antosianin adalah serapan oleh gugus hidroksil dan gugus aromatik. Ciri khas kelompok senyawa antosianin yaitu memiliki gugus fungsi $-\text{OH}$, CH , $\text{C}-\text{O}-\text{C}$, $\text{C}=\text{C}$ [9].

Spektra FTIR menunjukkan bahwa sebagian besar puncak FS dan FSA menampilkan pita serapan yang serupa akan tetapi terdapat sedikit perbedaan dalam intensitas puncak. Penambahan antosianin meningkatkan intensitas serapan IR oleh gugus fungsi. Hasil FTIR menunjukkan adanya beberapa pergeseran puncak ke bilangan gelombang yang lebih rendah setelah penambahan antosianin. Hal ini karena ada peningkatan pada massa molekul film selulosa-antosianin.

3.4. Respon Ekstrak Terhadap Perubahan pH

Uji respon warna merupakan suatu uji yang perlu dilakukan untuk mengetahui perubahan warna pigmen dalam berbagai pH, dimana pH merupakan salah satu faktor penentu dalam deteksi kerusakan pangan. Ekstrak zat warna ditambahkan dengan larutan buffer pH 2-12, kemudian diamati perubahan warna dalam waktu 10 menit. Hasilnya ditampilkan pada Gambar 5. Gambar ini memperlihatkan bahwa ekstrak kulit bawang merah pada $\text{pH} < 6$ berwarna orange, sedangkan pada $\text{pH} > 6$ warna berubah menjadi semakin pekat atau merah kecoklatan. Antosianin merupakan zat warna alami yang mampu berubah warna di pH yang berbeda. Menurut

Priyadasih [19], pada pH rendah antosianin ada sebagai kation flavilium, yang menunjukkan warna merah. Pada pH 4-5, hidrasi cepat kation flavylium menghasilkan spesies karbinol pseudobase dan calcone yang tidak berwarna, akibatnya intensitas warna merah menurun. Selanjutnya quinoidal anhydrobase terbentuk karena terjadi deprotonasi lebih lanjut dari kation flavylium, yang menunjukkan warna ungu pada pH 7, diikuti oleh anhydrobase terionisasi yang berwarna biru tua pada pH 8. Dengan peningkatan pH lebih lanjut, kelompok substituen antosianin akan terdegradasi menghasilkan pembentukan kalkon yang berwarna kuning muda melalui pembelahan cincin pusat anhydrobase.



Gambar 5. Respon warna ekstrak warna terhadap variasi pH

3.5. Respon Film Terhadap Perubahan Kesegaran Udang

Uji respon film terhadap perubahan kesegaran udang dilakukan untuk mengetahui perubahan warna film selama waktu penyimpanan udang. Sampel udang diamati perubahan kesegarannya selama 4 hari. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2. Dari tabel terlihat bahwa pH udang mengalami perubahan dari pH 7,93 menjadi 10,26 pada penyimpanan hari pertama hingga hari keempat. Demikian pula dengan warna film yang berubah dari merah menjadi merah kecoklatan pada hari ke-empat seiring dengan kenaikan pH udang. Semakin lama penyimpanan udang maka pH udang mengalami peningkatan menjadi basa dan semakin terlihat perubahan warna film antosianin. Hal ini terjadi karena senyawa basa volatil yang

dihasilkan selama pertumbuhan bakteri mampu meningkatkan pH udang dari pH 7,93 hingga pH 10,26. Perubahan warna FSA dalam penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan kualitas udang selama masa penyimpanan dapat dideteksi secara real-time melalui perubahan warna film yang responsif terhadap pH.

Tabel 2. Respon Film Terhadap Perubahan Kesegaran Udang.

Lama Penyimpanan	pH Udang	Warna Film
1 hari	7,93	
2 hari	8,26	
3 hari	9,71	
4 hari	10,26	

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diketahui bahwa film selulosa-antosianin memiliki gugus fungsi yang spesifik yaitu -OH, CH, C-O-C, C=C, dengan morfologi permukaan padat dan homogen. Film berubah warna dari orange kemerahan menjadi merah kecoklatan seiring dengan perubahan kesegaran dan pH sampel dari 7,93 sampai 10,26. Film selulosa antosianin berpotensi digunakan sebagai indikator untuk mendeteksi kesegaran udang.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] "S Purwaningsih 1995 Teknologi pembekuan udang - Google Cendekia."

- [2] A. M. & Y. W. H. Bambang Riyanto, 2010. "Kemasan cerdas pendeteksi kebusukan filet ikan nila," *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 13(2), 129–142.
- [3] "widiastuti dwi retno 2016 kajian kemasan aktif dan cerdas - Google Cendekia."
- [4] N. Fitriani, U. Atthamid, M. Yusuf, M. Latief, and A. Rifai, 2020. "Kopigmentasi Antosianin Dan Polifenol Dari Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea Batatas L.*) Menggunakan Na-Kaseinat [Copigmentation of Anthocyanins and Polyphenol on Purple Sweet Potato Using Na-Caseinate Copigment]," *J. Sains dan Teknol. Pangan*, 5(2), 2760–2771
- [5] O. E. Boakye, 2014 "No," *Implement. Sci.*, 39(1), 1–24, [Online].
- [6] S. I. T. I. R. Ahayu, N. U. K. Urniasih, and D. A. N. V. I. N. A. A. Malia, 2015. "Limbah Kulit Bawang Merah Sebagai Antioksidan Alami," *Al Kim.*, 2(1), 1–8.
- [7] N. Mulinacci and M. Innocenti, "Anthocyanins and betalains," *Food Anal. by HPLC, Third Ed.*, pp. 757–775, 2012, doi: 10.1201/b13024.
- [8] "Nugraheni 2014 sumber dan aplikasinya makanan dan kesehatan - Google Cendekia."
- [9] S. Pourjavaher, H. Almasi, S. Meshkini, S. Pirsar, and E. Parandi, 2017. "Development of a colorimetric pH indicator based on bacterial cellulose nanofibers and red cabbage (*Brassica oleraceae*) extract," *Carbohydr. Polym.*, 156, 193–201 doi: 10.1016/j.carbpol.2016.09.027.
- [10] Z. Aghaei and B. Emadzadeh, "Cellulose Acetate Nanofibres Containing Alizarin as a Halochromic Sensor for the Qualitative Assessment of Rainbow Trout Fish Spoilage," 2018.
- [11] M. A. Sani, M. Tavassoli, H. Hamishehkar, and D. J. McClements, 2021. "Carbohydrate-based films containing pH-sensitive red barberry anthocyanins: Application as biodegradable smart food packaging materials," *Carbohydr. Polym.*, 255, p. 117488. doi: 10.1016/j.carbpol.2020.117488.
- [12] L. Amongsari, B. Kuswandi, and N. Kristiningrum, 2020. "Pengembangan Sensor Kesegaran Edible untuk Fillet Ikan Tuna (*Thunnus albacares*) Berbasis Antosianin Kulit Buah Juwet (*Syzygium cumini*) dengan Membran Selulosa Bakterial," *Pustaka Kesehat.*, 8(2), 66. doi: 10.19184/pk.v8i2.11460.
- [13] P. Studi, P. Kimia, and S. Bima, 2019. "Penentuan Nilai Sun Protection Factor (Spf) Dari Ekstrak Kulit Bawang Merah *Agrippina wiraningtyas* , Ruslan , Sry Agustina dan Uswatun Hasanah," 2 (01), 34–43,
- [14] M. F. Xavier, T. J. Lopes, M. Gabriela, and N. Quadri, 2008. "Extraction of Red Cabbage Anthocyanins : Optimization of the Operation Conditions of the Column Process," *Biological and Applied Science*, 51, 143–152.
- [15] D. A. Virliantari, A. Maharani, and U. Lestari, "Pembuatan Indikator Alami Asam-Basa dari Ekstrak Kulit Bawang Merah (*Allium ascalonicum L.*)," Prosiding Seminar Nasional Sains dan teknologi, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Jakarta, pp. 1–6, 1846.
- [16] W. Ban, D. S. Argyropoulos, and L. A. Lucia, "Improving the Physical and Chemical Functionality of Starch-Derived Films with Biopolymers," 2005, doi: 10.1002/app.23698.
- [17] G. F. Nogueira, F. M. Fakhouri, and R. A. De Oliveira, "Assessment Of Antioxidant And Physical Properties Of Arrowroot Starch Edible Films

- Incorporated With Blackberry Powder,” EuroDrying’2017 – 6th European Drying Conference Liège, Belgium, 19-21 June 2017.
- [18] M. Moradi, H. Tajik, H. Almasi, M. Forough, and P. Ezati, 2019 “A novel pH-sensing indicator based on bacterial cellulose nanofibers and black carrot anthocyanins for monitoring fish freshness” *Carbohydr. Polym.*, 222 115030.
doi: 10.1016/j.carbpol.2019.115030.
- [19] R. Priyadarshi, P. Ezati, and J.-W. Rhim, 2021. “Recent Advances in Intelligent Food Packaging Applications Using Natural Food Colorants,” *ACS Food Sci. Technol.*, 1(2), 124–138.
doi: 10.1021/acsfoodscitech.0c00039.