

Pengembangan *Edible Sensor* Berbasis Antosianin Kubis Merah (*Brassica oleracea var capitata L.*) untuk Monitoring Kesegaran *Fillet* Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

Edible Sensor Development Based Red Cabbage Antosianin (Brassica oleracea var capitata L.) for Monitoring the Freshness of Tilapia's Fillet (Oreochromis niloticus)

Hadiyatun Nuroniyah, Bambang Kuswandi, Ayik Rosita Puspaningtyas
Fakultas Farmasi Universitas Jember Jln. Kalimantan 37, Jember 68121
e-mail korespondensi b_kuswandi.farmasi@unej.ac.id

Abstract

Tilapia is actually the most popular source of protein in the world market in the form of fillets, because it has several advantages, such as being able to be processed into various new processed products, easy to distribute and marketable in attractive forms. It is necessary to monitor the freshness quality of tilapia fish fillets. This study aims to develop an edible sensor for monitoring the freshness of tilapia (Oreochromis niloticus) fillets that are safe for consumption and also environmentally friendly with a pH indicator of the anthocyanin of red cabbage (Brassica Oleracea Var. Capitata L.). The edible sensor was applied to the tilapia fillet package. The characterization of edible sensors includes observation of surface morphology with SEM and functional group analysis with FTIR. Tests for freshness parameters of tilapia fish fillets included pH value test, total microbial count test, TVBN level test, and organoleptic test. The color change of the edible sensor was observed visually and using ImageJ software to determine the mean red value. The results show that the color of the edible sensor is dark purple when it indicates fresh tilapia fillet, the light purple color is still fresh, and the grayish purple color of rotten tilapia fillet is not safe for consumption. Red cabbage anthocyanin-based edible sensors can be applied as smart labels for monitoring the freshness of tilapia fillets.

Keywords: Anthocyanin, edible sensor, fish fillet, mean blue

Abstrak

Ikan nila sejatinya merupakan sumber protein paling terkenal di pasar dunia dalam bentuk *fillet*, karena memiliki beberapa kelebihan, seperti dapat diolah menjadi berbagai produk olahan baru, mudah didistribusikan serta dapat dipasarkan dalam bentuk yang menarik. Pengawasan terhadap kualitas mutu kesegaran *fillet* ikan nila perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan *edible sensor* untuk monitoring kesegaran *fillet* ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang aman dikonsumsi dan juga ramah lingkungan dengan indikator pH dari antosianin kubis merah (*Brassica Oleracea Var. Capitata L.*). *Edible sensor* diaplikasikan ke dalam kemasan *fillet* ikan nila. Karakterisasi *edible sensor* meliputi pengamatan morfologi permukaan dengan SEM dan analisa gugus fungsi dengan FTIR. Dilakukan uji parameter kesegaran *fillet* ikan nila meliputi uji nilai pH, uji jumlah total mikroba, uji kadar TVBN, dan uji organoleptis. Perubahan warna *edible sensor* diamati secara visual dan menggunakan *software ImageJ* untuk menentukan nilai *mean red*. Hasil menunjukkan bahwa warna *edible sensor* ungu tua saat menandakan *fillet* ikan nila segar, warna ungu muda masih segar, dan warna ungu keabu-abuan *fillet* ikan nila busuk tidak aman untuk konsumsi. *Edible sensor* berbasis antosianin kubis merah dapat diaplikasikan sebagai label pintar untuk monitoring kesegaran *fillet* ikan nila.

Kata Kunci: Antosianin, *edible sensor*, *fillet* ikan, *mean blue*

Pendahuluan

Salah satu ikan air tawar yang mudah untuk dibudidayakan dan salah satu konsumsi lokal adalah ikan nila atau tilapia (*Oreochromis niloticus*). Ikan nila sejatinya merupakan sumber protein paling terkenal dipasar dunia dalam bentuk *fillet*. Ikan nila yang telah diolah menjadi *fillet* memiliki kandungan protein sebesar 16-17% dan kandungan asam lemak sebesar 1-4% [1]. Sama seperti produk perikanan lainnya, produk *fillet* ikan nila memiliki sifat mudah busuk (*perishable food*) dan memiliki umur simpan yang pendek [2,3]. Dengan demikian, pengawasan terhadap kualitas mutu kesegaran *fillet* ikan nila perlu dilakukan.

Kesegaran *fillet* ikan nila merupakan indikasi paling mendasar dalam penentuan kualitas *fillet* ikan nila sebelum dikonsumsi. Penentuan kualitas *fillet* ikan nila dapat dilakukan dengan dua metode meliputi objektif dan subjektif. Penilaian kualitas secara subjektif dilakukan menggunakan cara-cara sensori, meliputi organoleptis, tekstur, bau dan warna [4]. Namun pengamatan secara subjektif memberikan hasil yang kurang akurat atau bervariasi antar individu. Dengan demikian, dibutuhkan metode yang objektif yang sederhana, praktis, dan mudah untuk monitoring kesegaran *fillet* ikan nila.

Bentuk upaya pemenuhan kebutuhan konsumen terhadap bahan makanan yang segar, bersih, aman serta berkualitas banyak dikembangkan guna memberi jaminan keamanan dan kemudahan kontrol kualitas, sehingga dikembangkan suatu sensor kimia dengan bentuk label indikator kolorimetri yang secara langsung terintegrasi dengan kemasan (*smart packaging*). Sistem pada kemasan ini menambahkan indikator untuk memantau interaksi antara produk yang dikemas dengan lingkungan sekitar [5]. Salah satu indikator kolorimetri yang paling banyak dikembangkan adalah indikator pH. Pada penelitian kali ini dipilih membran *edible film* dari campuran pati jagung dan kitosan yang menghasilkan sifat yang elastis, non toksik, fleksibel, dan *biodegradable*.

Rentang respon yang luas terhadap variasi pH membuat antosianin juga memiliki kemampuan untuk berubah warna akibat dari pengaruh pH. Pengaruh pH ini menjadikan antosianin dikembangkan sebagai indikator pH [6]. Salah satu antosianin yang dapat digunakan adalah antosianin kubis merah (*Brassica oleracea var capitata* L.). Antosianin kubis merah

disukai karena kelarutannya baik, dan mudah diekstraksi.

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dikembangkan sensor kesegaran *fillet* ikan nila yang aman apabila kontak langsung dengan produk dan ramah lingkungan. Sensor pH yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan indikator kolorimetri yang berasal dari antosianin kubis merah untuk memantau kesegaran *fillet* ikan dalam kemasan selama penyimpanan.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian kali ini antara lain plat tetes, cetakan kaca, vial, gelas ukur, pipet volume, pipet tetes, blender, oven, corong *buchner*, *rotary evaporator*, pH meter (EUTECH), spektrofotometri UV-Vis, press kaca, *imageJ*.

Bahan Bahan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah kubis merah, etanol, PVA, ikan nila, pati sagu, kitosan, Carboxymethylcellulose sodium, metil merah-metil biru, NaCl, HCl, NaOH, HCl, KCl, CH₃COONa, Plate Count Agar (PCA), etanol 96%, dan aquades.

Pembuatan Ekstrak Bunga Sepatu

Potongan kubis merah dikeringkan dengan oven 50°C selama 24 jam. Kemudian dihaluskan hingga menjadi serbuk. Serbuk kubis merah dimaserasi dengan pelarut etanol 96% selama 24 jam. Setelah 24 jam, disaring, lalu diuapkan dengan *rotary evaporator* suhu 40°C selama 2-3 jam. Ekstrak disimpan dalam botol kaca gelap dalam lemari pendingin. Penentuan kadar antosianin total menggunakan metode pH *differential*.

Pembuatan *Edible Film* Pati Jagung-Kitosan

Empat gram kitosan dilarutkan dengan 10 mL asam asetat 1% suhu 80°C sambil diaduk dengan menggunakan pengaduk magnetik hingga larutan terlihat agak kental. 8gram pati jagung dilarutkan dengan 100 ml aquades. Gel kitosan dan pati jagung dicampur hingga homogen, kemudian ditambahkan dengan 1 ml gliserol. Campuran *edible film* yang telah terbentuk dituangkan ke dalam plat kaca, kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 50°C selama 24 jam hingga mengering.

Karakterisasi *edible film*

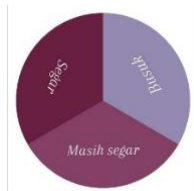
Karakterisasi dilakukan pada *edible film* sebelum dan sesudah diimmobilisasi meliputi pengamatan morfologi permukaan membran menggunakan SEM, analisis spektra *InfraRed* menggunakan FTIR.

Fabrikasi *edible sensor*

Fabrikasi *edible sensor* menggunakan *edible film* pati sagu dan kitosan dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 5 mm. Immobilisasi dilakukan menggunakan teknik adsorpsi pada ekstrak kubis merah yang telah diimmobilisasi dengan teknik entrapment pada PVA 1% dengan perbandingan PVA 1% dan ekstrak 1:3 selama 90 menit.

Label *Edible Sensor*

Desain *freshness sign* label seperti pada Gambar 1. Label diletakkan pada bagian dalam kemasan fillet ikan nila untuk mengetahui kondisi kesegaran ikan nila.



Gambar 1. Desain *freshness sign*

Analisis Perubahan Warna *Edible Sensor*

Pengamatan perubahan warna *edible sensor* secara visual dan menggunakan software *ImageJ* untuk mengetahui nilai *mean blue*. Dilakukan pengambilan gambar menggunakan *scanner*.

Uji Nilai pH

1 g *fillet* ikan nila dihancurkan dan dilarutkan dalam 10 mL aquadest dan dihomogenkan. Dilakukan pengukuran nilai pH 1-14.

Uji Jumlah Total Mikroba

Pengujian jumlah total mikroba menggunakan alat yang dalam kondisi steril berdasarkan SNI 2332.3: 2015. Sampel ikan nila sebanyak 1 g diuji dan diencerkan dengan 9 mL aquades, setelah itu dilakukan homogenisasi dengan menggunakan vortex sehingga diperoleh pengenceran sebanyak 10^{-2} . Kemudian dilakukan pengenceran secara bertingkat hingga diperoleh 10^{-4} . 1 mL dari masing-masing pengenceran diambil kemudian dituangkan pada cawan petri, ditambahkan 10 mL PCA steril yang telah mencair dan dingin. Cawan digoyangkan

hingga merata kemudian didiamkan hingga memadat. Setelah memadat, diinkubasi selama 24 jam pada suhu $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Uji Kadar TVBN

Sebanyak 10 gram sampel dihaluskan dan dimasukkan ke dalam beaker glass, kemudian ditambahkan dengan 100 mL aquades. Didiamkan sampel selama 30 menit, kemudian diaduk setiap 10 menit. Setelah 30 menit, disaring menggunakan kertas saring. Ditambahkan 5 mL MgO 10 g/L pada 5 mL filtrat untuk melakukan pembasaan. Absorpsi destilat dilakukan dengan menambahkan 10 mL asam borat 20g/L dan indikator metil merah biru (MMMB) sebanyak 5-6 tetes, kemudian dilakukan titrasi menggunakan HCL 0,01N hingga berubah warnanya menjadi biru keunguan (Huang,2014). Kadar TVBN ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\text{TVBN (mg/100g)} = \frac{(\text{ml sampel} - \text{ml blanko}) \times N \times \text{HCl} \times 14}{\text{g sampel} \times \frac{5}{100}} \times 100$$

Uji Organoleptis

Uji organoleptis dilakukan penilaian parameter warna, bau, dan tekstur. 10 orang panelis akan memberikan nilai pada sampel yang diamati. Semakin segar ikan nilainya akan semakin tinggi. Nilai yang diberikan adalah 9-1. Penilaian dilakukan berdasarkan scoresheet SNI 2346:2011.

Hasil Penelitian

Pembuatan Ekstrak Kubis Merah

Diiperoleh rata-rata dari kadar total antosianin dari ekstrak bunga sepatu yaitu $1.944,310 \pm 75,725$ mg/L.

Pembuatan *Edible Film* Pati Sagu-Kitosan

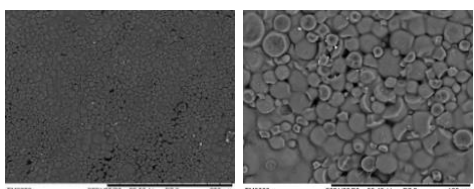
Pada penelitian kali ini diperoleh *edible film* yang tipis seperti kertas dan berwarna putih. *Edible film* diperoleh setelah dilepaskan dari cetakan plat kaca yang berukuran 5 x 15 cm dan memiliki ketebalan 0,20 mm (Gambar 2).



Gambar 2. *Edible film*

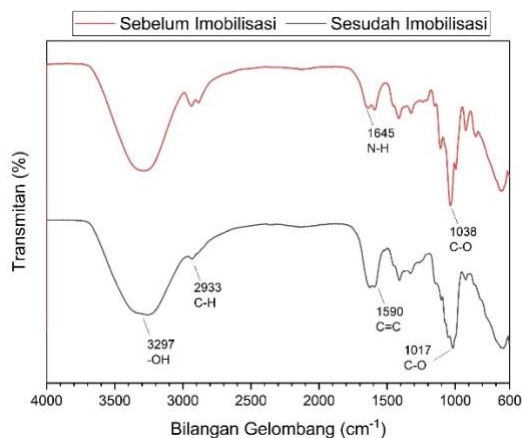
Karakterisasi Edible Film

Pengamatan morfologi permukaan membran sebelum dan sesudah imobilisasi menggunakan SEM. Hasil SEM menunjukkan bahwa morfologi permukaan *edible film* dari campuran pati sagu dan kitosan sebelum dan setelah diimobilisasi dengan antosianin tidak mengalami perubahan morfologi pada permukaannya dan Hasil yang belum ideal dan termasuk *open cell* karena struktur yang terbentuk tidak sama sehingga ada celah antar dinding sel. Selain itu, menunjukkan bahwa *edible film* masih kurang homogen dan sedikit kaku (Gambar 3).



Gambar 3. Hasil SEM *edible film* sebelum dan sesudah diimobilisasi

Hasil pengamatan gugus fungsi menggunakan FTIR, didapatkan perbedaan spektra yang tidak terlalu signifikan (Gambar 4). Identifikasi kitosan gambar 4 (a) terlihat dengan adanya serapan pada bilangan gelombang 3450 cm^{-1} pada gugus -OH, -OH digunakan sebagai standar internal pada kitosan [7]. Pada bilangan gelombang 1645 cm^{-1} merupakan geseran tekuk N-H yang menunjukkan keberadaan amina primer (NH_2) yang merupakan serapan khas kitosan. Adanya gugus fungsi C-O pada bilangan gelombang 1038 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan glikosidik antara pati jagung dengan kitosan.



Gambar 4. Spektra FTIR (a) sebelum diimobilisasi, (b) sesudah diimobilisasi

Hasil analisis FTIR pada membran setelah diimobilisasi pada Gambar 4 (b) dengan ekstrak kubis merah mengindikasikan bahwa membran mengandung atau menyerap antosianin yang ditunjukkan dengan adanya serapan pada bilangan gelombang 3297 cm^{-1} yang berasal dari gugus fungsi -OH, didukung dengan munculnya serapan pada bilangan gelombang 1017 cm^{-1} yang berasal dari gugus fungsi C-O alkohol. Adanya serapan pada bilangan gelombang 1590 cm^{-1} , ikatan dengan serapan tersebut mengindikasikan adanya gugus fungsi C=C aromatik, yang didukung pula dengan munculnya bilangan gelombang 670 cm^{-1} untuk ikatan -C-H tekuk [8]. Berdasarkan hasil spectrum membran *edible* setelah diimobilisasi mengandung atau menyerap senyawa antosianin.

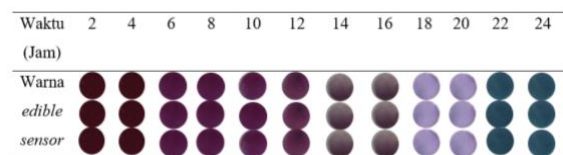
Fabrikasi Edible Sensor

Fabrikasi dilakukan dengan melakukan imobilisasi ekstrak bunga sepatu pada *edible film* pati sagu dan kitosan dengan hasil fabrikasi pada Gambar 5.



Gambar 5. *Edible film* yang telah diimobilisasi

Perubahan Warna Edible Sensor



Gambar 6. Perubahan warna *edible sensor* pada penyimpanan suhu ruang.

Edible sensor pada *fillet* ikan nila yang disimpan pada suhu ruang dapat diamati perubahannya secara visual. *Edible sensor* discan dan dianalisis menggunakan *software Image J*. Terdapat penurunan nilai *mean blue* seiring lamanya waktu penyimpanan (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai *mean blue* penyimpanan suhu ruang

Waktu (Jam)	Mean blue ± SD
2	97,935 ± 0,557
4	102,507 ± 0,559
6	105,305 ± 0,408
8	108,045 ± 0,421
10	112,931 ± 1,120
12	116,116 ± 0,896
14	118,772 ± 0,784
16	121,743 ± 0,618

18	125,117 ± 0,648
20	127,683 ± 0,840
22	129,210 ± 0,758
24	130,199 ± 0,292

Uji Nilai pH

Nilai pH *fillet* ikan nila ditentukan menggunakan pH meter. Hasil pengamatan nilai pH *fillet* ikan nila disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Nilai pH

Waktu (Jam)	Nilai pH ± SD
2	6,96 ± 0,040
4	6,95 ± 0,043
6	7,14 ± 0,065
8	7,69 ± 0,075
10	7,76 ± 0,036
12	7,88 ± 0,066
14	8,28 ± 0,128
16	8,57 ± 0,081
18	8,71 ± 0,015
20	8,78 ± 0,037
22	8,97 ± 0,040
24	9,20 ± 0,010

Uji Total Mikroba

Uji total mikroba dilakukan pada *fillet* ikan nila selama 24 jam pada suhu ruang. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Total Mikroba

Waktu (Jam)	cfu/g	log cfu/g
2	4,4 x 10 ³	3,643
4	6,8 x 10 ³	3,832
6	2,6 x 10 ⁴	4,414
8	4,7 x 10 ⁴	4,672
10	3,6 x 10 ⁵	5,556
12	4,6 x 10 ⁵	5,662
14	2,5 x 10 ⁶	6,397
16	5,3 x 10 ⁶	6,724
18	3,6 x 10 ⁷	7,556
20	4,1 x 10 ⁷	7,612
22	1,6 x 10 ⁸	8,204
24	2,0 x 10 ⁸	8,301

Uji Kadar TVBN

Uji kadar TVBN dilakukan pada *fillet* ikan nila selama 24 jam pada suhu ruang. Hasil Pengujian kadar TVBN disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Kadar TVBN

Waktu (Jam)	TVBN (mg/100g) ± SD
-------------	---------------------

2	6,347 ± 0,323
4	7,653 ± 0,322
6	16,800 ± 0,560
8	21,000 ± 0,741
10	23,893 ± 0,855
12	29,493 ± 0,322
14	34,720 ± 0,560
16	37,333 ± 0,855
18	41,253 ± 0,323
20	48,347 ± 0,323
22	56,000 ± 0,560
24	58,140 ± 0,419

Uji Organoleptis

Uji organoleptis pengamatan bau, warna, dan tekstur pada 10 orang panelis didasarkan pada SNI 2346:2011. Hasil uji organoleptik disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil Uji Organoleptis

Waktu (Jam)	Organoleptis bau ± SD	Organoleptis warna ± SD	Organoleptis tekstur ± SD
2	9,000 ± 0,000	9,000 ± 0,000	9,000 ± 0,000
4	9,000 ± 0,000	9,000 ± 0,000	9,000 ± 0,000
6	8,500 ± 0,100	8,500 ± 1,176	8,300 ± 0,000
8	7,667 ± 0,115	7,867 ± 0,252	7,767 ± 1,967
10	7,267 ± 0,153	7,267 ± 0,058	7,367 ± 1,567
12	6,967 ± 0,265	6,900 ± 0,153	6,900 ± 0,834
14	5,600 ± 0,200	5,600 ± 0,200	5,800 ± 0,448
16	4,467 ± 0,200	4,200 ± 0,115	4,533 ± 0,547
18	3,133 ± 0,115	2,867 ± 0,115	3,667 ± 0,149
20	2,567 ± 0,115	2,267 ± 0,058	2,333 ± 1,949
22	1,400 ± 0,000	1,400 ± 0,000	1,400 ± 0,000
24	1,200 ± 0,000	1,000 ± 0,000	1,000 ± 0,000

Pembahasan

Penyimpanan *Fillet* ikan nila pada suhu ruang semakin lama akan mengalami kemunduran mutu yang disebabkan oleh perubahan kimia, fisik, aktivitas mikroba dan enzim. Hasil pengamatan warna *edible sensor* ikan nila pada penyimpanan suhu ruang menunjukkan bahwa warna *edible sensor* mengalami perubahan seiring dengan kemunduran *fillet* ikan nila sebagaimana pada gambar 6. *Edible sensor* berwarna ungu tua saat segar, warna ungu muda saat masih segar, dan warna ungu keabu-abuan saat busuk.

Penentuan jumlah mikroba dan kadar TVBN menjadi hal yang sangat penting dalam menentukan kualitas kesegaran pangan. Batas maksimal jumlah total mikroba pada ikan yang layak untuk dikonsumsi menurut SNI 01-2729-1-2006 adalah 5 x 10⁵ cfu/g atau log TPC 5,70 cfu/g. Sementara batas maksimal nilai TVBN pada ikan yang bisa dikonsumsi yaitu 30mg/100g [9]. Kadar TVBN ditentukan karena TVBN merupakan senyawa-senyawa basa nitrogen yang mudah

menguap yang diproduksi oleh mikroorganismekarena ikan yang rusak. Konsentrasi TVBN yang meningkat mengakibatkan meningkatnya nilai pH pada ikan dan suasana di sekitar sensor menjadi basa, sehingga terjadi perubahan warna *edible sensor*.

Uji organoleptis parameter warna, bau, dan tekstur seiring dengan kemunduran mutu *fillet* ikan nila, semakin kecil pula nilai organoleptisnya. Ikan yang memiliki nilai 5 atau tidak layak dikonsumsi memiliki ciri-ciri: kornea mengkeruh, bola mata agak cekung, pupil berwarna keabuan, insang berlendir dan menampakkan penurunan warna merah muda, sayatan daging memudar, konsistensi agak lunak, daging dari tulang belakang mudah disobek dan mengalami pemerahan, berbau seperti susu asam [9].

Hasil penilaian organoleptis, nilai pH, mikrobiologi, dan kadar TVBN pada suhu ruang menunjukkan bahwa *fillet* ikan nila tidak layak dikonsumsi pada jam ke-14. Pada jam ke-14 *fillet* ikan nila tidak dapat dikonsumsi karena jumlah mikroba telah melebihi batas maksimum yaitu dengan nilai log 6,397 cfu/g. Nilai TVBN juga telah melebihi batas maksimum pada jam ke-14 yaitu $34,720 \pm 0,560$ mg/100g. Selain itu, nilai uji organoleptis bau, warna, dan tekstur pada jam ke-14 juga memiliki nilai di bawah 7 yang menunjukkan *fillet* ikan nila busuk tidak layak untuk dikonsumsi.

Berdasarkan hasil penilaian parameter, nilai pH, mikrobiologi, kadar TVBN, dan uji organoleptis menunjukkan terdapat hubungan antara parameter-parameter tersebut dengan perubahan warna dan nilai *mean blue* pada *edible sensor* yang telah diimobilisasi antosianin kubis merah. Terjadi kenaikan *mean blue* saat *fillet* ikan nila busuk dan juga ditandai dengan *edible sensor* yang berwarna ungu keabu-abua.

Simpulan dan Saran

Fabrikasi *edible sensor* berbahan dasar pati jagung dan kitosan sebagai membran, PVA 1% dan ekstrak kubis merah 10% dengan perbandingan 1:3 digunakan sebagai indikator pH dengan waktu imobilisasi 90 menit.

Karakteristik membran berdiameter 5 mm dengan morfologi permukaan sebelum dan setelah diimobilisasi *open cells* dengan waktu respon *steady state* 14 menit dan reproduibilitas (RSD) <5% serta memiliki waktu simpan 12 hari pada suhu ruang dan 15 hari pada suhu *chiller*.

Hubungan antara kenaikan nilai *mean blue* dengan penurunan mutu *fillet* ikan nila

adalah berbanding terbalik. Nilai *mean blue edible sensor* meningkat seiring penurunan mutu *fillet* ikan nila.

Edible sensor dapat diaplikasikan sebagai label pintar untuk monitoring kesegaran *fillet* ikan nila dengan meletakkan *edible sensor* pada bagian dalam kemasan *fillet* ikan nila, perubahan warna yang terjadi dibandingkan dengan warna label.

Daftar Pustaka

- [1] Rohani, A. C., O. Normah, T. Zahrah, C. M. C. Utama, dan I. Saadiah. 2009. Quality of fish fillet from pond-raised red tilapia and its utilisation in the development of value-added product. *J. Trop. Agric. and Fd. Sc.* 37(2):153–161.
- [2] Kerry, J. dan P. Butler. 2008. *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods. Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods.*
- [3] Zhang, X., G. Sun, X. Xiao, Y. Liu, dan X. Zheng. 2016. Application of microbial ttis as smart label for food quality: response mechanism, application and research trends. *Trends in Food Science and Technology.* 51:12–23.
- [4] Pacquit, A., K. T. Lau, H. McLaughlin, J. Frisby, B. Quilty, dan D. Diamond. 2006.
- [5] Fuenes, G., I. Soto, R. Carrasco, M. Vargas, J. Sabattin, dan C. Lagos. 2016. Intelligent packaging systems: sensors and nanosensors to monitor food quality and safety. *Journal of Sensors.*
- [6] Listyarini, A., W. Sholihah, dan C. Imawan. 2018. A paper-based colorimetric indicator label using natural dye for monitoring shrimp spoilage. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 367(1)
- [7] Rinaudo, M. 2006. Chitin and chitosan: properties and applications. *Progress in Polymer Science (Oxford).* 31(7):603–632.
- [8] Maulina, A., Hardeli, dan Bahrizal. 2014. Preparasi dye sensitized solar celi menggunakan ekstrak antosianin kulit buah manggis (*garcinia mangostana* L). *Jurnal Sainstek.* 6(2):158–167.
- [9] Bhadra S, Narvaez C, Thomson DJ, Bridges GE. 2015. *Non-destructive detection of fish spoilage using a wireless basic volatile sensor.* Talanta.