

## **Pembungkusan pintar: Penggunaan pewarna sensitif pH sebagai penunjuk kesegaran makanan berbungkus**

(Smart packaging: Application of pH sensitive colourant as an indicator of packaged food freshness)

Noor Azizah Ahmad dan Lee Yook Heng

### **Pengenalan**

Setiap produk makanan memerlukan pembungkusan sebagai perlindungan semasa pengangkutan, pengendalian, penyimpanan dan penggunaan. Pembungkusan digunakan untuk melindungi produk daripada kerosakan disebabkan faktor persekitaran luaran seperti udara, cahaya, suhu, kelembapan, serangga dan haiwan perosak lain. Ia juga berfungsi sebagai alat komunikasi semasa di pasaran, memberikan kemudahan atau maklumat kepada pengguna dan menjimatkan masa serta mewujudkan produk dalam pelbagai saiz dan bentuk. Gaya hidup masa kini telah memberi impak kesedaran pengguna terhadap kepentingan keselamatan makanan. Di samping itu, kekangan masa yang dihadapi para wanita berkerjaya pula telah mewujudkan permintaan baharu terhadap produk dan pembungkusan, terutamanya dari segi kemudahan pengguna. Dalam memenuhi permintaan pengguna ini, teknologi pembungkusan seperti pembungkusan aseptik, retort, pembungkusan atmosfera terubah suai dan terkawal, vakum, bio-urai serta filem dan salutan boleh dimakan telah diperkenalkan sepanjang dekad yang lalu. Dalam dua dekad ini, istilah pembungkusan pintar kerap muncul dalam persidangan, simposium, penerbitan jurnal dan majalah. Pembungkusan pintar berfungsi sebagai penyedia komunikasi dan maklumat tentang sesuatu produk makanan.

Sistem pembungkusan pintar bertujuan untuk memantau kualiti produk makanan atau persekitarannya dengan menganggarkan atau mengukur tempoh simpanan yang selamat berbanding dengan penggunaan tarikh luput sebelum ini. Pembungkusan pintar ditakrifkan sebagai sistem pembungkusan yang mampu menjalankan fungsi pintar (seperti mengesan, merekod, berkomunikasi dan menggunakan logik saintifik) untuk memudahkan keputusan dibuat dalam menentukan tempoh hayat penyimpanan, meningkatkan keselamatan dan kualiti, memberi maklumat serta berupaya memberi petunjuk tentang kemungkinan masalah yang dihadapi oleh makanan berbungkus. Ia dilampirkan sebagai label atau dimasukkan ke dalam bungkusan atau dicetak pada bahan pembungkus makanan bagi tujuan memantau kualiti produk, mengesan titik kritikal dan memberikan maklumat yang lebih terperinci sepanjang rantai bekalan makanan. Takrifan pembungkusan pintar yang paling biasa dijumpai adalah suatu sistem yang memantau keadaan makanan untuk

memberi maklumat tentang kualiti makanan yang dibungkus semasa pengangkutan dan penyimpanan. Keistimewaan bagi pembungkusan pintar adalah keupayaan berkomunikasi antara bungkusan dan produk kerana kedua-duanya sentiasa bergerak seiring sepanjang kitaran rantaian bekalan makanan. Bungkusan merupakan rakan produk terbaik untuk menyatakan keadaan kualiti sebenar produk.

### **Pembungkusan pintar di pasaran**

Kini teknologi pembungkusan pintar semakin mendapat perhatian dalam industri makanan untuk menjamin kualiti produk di pasaran. Menurut kajian Das dan Chansin (2013), pasaran global untuk pembungkusan pintar dijangka berganda antara tahun 2011 dan 2021, dengan peningkatan kadar tahunan sebanyak 8% hingga tahun 2016 (mencapai USD17,230 juta). Kemudian dijangkakan peningkatan kadar tahunan pada 7.7% dengan nilai capaian sebanyak USD24,650 juta untuk tahun 2021. Permintaan global bagi pembungkusan pintar elektronik dijangka meningkat kepada lebih USD1.45 bilion pada dekad yang akan datang. *Jadual 1* merumuskan penggunaan pembungkusan pintar yang didapati secara komersial di pasaran.

Jadual 1. Pembungkusan pintar yang telah dikomersialkan di pasaran

Aplikasi	Nama dagangan	Syarikat
Penunjuk masa dan suhu	Cook-Chex	Pymah Corp.
	Timestrip®	Timestrip Plc
	Colour-Therm	Colour-Therm
	MonitorMark™	3M™, Minnesota
	Onvu™	Ciba Specialty Chemical and FreshPoint
	Fresh-Check®	Temptime Corp.
Penunjuk integriti	Thermax	Thermographic Measurements Ltd.
	CheckPoint®	Vitsab
	Novas®	Insignia Technologies Ltd.
	Timestrip	Timestrip Ltd.
	Best-by™	FreshPoint Lab
Penunjuk kesegaran	O <sub>2</sub> Sense™	FreshPoint Lab
	Ageless Eye®	Mitsubishi Gas Chemical Inc.
	Fresh Tag	COX Technologies
Identifikasi frekuensi radio	SensorQ®	DSM NV and Food Quality Sensor
	RipeSense	ripeSense™ and ort Research
	Easy 2log®	CAEN RFID Srl
	Intelligent Box	Mondi Pic
	CS8304	Convergence Systems Ltd.
	Temtrip	Temptrip LLC

(Sumber: Guillermo et al., 2016)

### **Penunjuk kesegaran**

Penunjuk kesegaran berperanan menunjukkan kualiti produk makanan secara langsung dan biasanya terdapat dalam bentuk label pada bekas. Lazimnya, penunjuk ini memberi tumpuan kepada pengesanan terhadap perubahan pH dan komposisi gas. Penunjuk kesegaran beroperasi berdasarkan kepada pengesanan metabolit secara tidak langsung melalui penunjuk warna seperti perubahan pH atau berdasarkan pengesanan langsung ke atas metabolit oleh biosensor. RipeSense™ adalah contoh label sensor pintar pertama yang berubah warna untuk menunjukkan atau tindak balas terhadap kematangan buah.

Penunjuk kesegaran memberikan maklumat kualiti produk secara langsung yang disebabkan oleh pertumbuhan mikrob atau perubahan kimia dalam produk makanan. Kualiti mikrobiologi boleh ditentukan melalui tindak balas antara penunjuk yang dimasukkan ke dalam bungkusan dan metabolit yang dihasilkan oleh pertumbuhan mikrob. Lazimnya metabolit daripada mikrob yang dijangkakan dapat menilai kesegaran sesuatu produk seperti glukosa, asid organik (asid asetik atau laktik), etanol, sebatian meruap berasaskan nitrogen (trimetilamina dalam ikan dan makanan laut), sebatian meruap amina, karbon dioksida, produk yang dihasilkan daripada penguraian adenosin trifosfat (ATP) dan sebatian sulfur. Pengetahuan tentang metabolit yang menunjukkan penurunan kualiti adalah amat penting bagi membangunkan sesuatu penunjuk kesegaran. Penunjuk kesegaran harus mampu bertindak balas terhadap metabolit ini dengan kepekaan yang tinggi. Sistem penunjuk perlu mematuhi undang-undang peraturan makanan memandangkan ia berinteraksi secara langsung dengan produk makanan atau ruang udara bungkusan.

Penunjuk kesegaran memberikan jaminan tambahan bahawa makanan yang dibeli masih segar dan mendapat perlindungan yang mencukupi semasa berada di sepanjang rantaian pengedaran. Kajian terdahulu menunjukkan bahawa pengguna menghargai maklumat tambahan tentang kualiti makanan segar. Laporan daripada para penyelidik mendapati sebanyak 59% daripada pengguna daging lembu di Finland bersedia untuk membayar dengan harga yang lebih tinggi bagi mendapatkan maklumat tambahan mengenai status kesegaran daging lembu yang dibungkus.

Penunjuk kesegaran mungkin memberi manfaat keselamatan tentang makanan yang diambil terutama kepada sesetengah populasi. Ada golongan mungkin mendapat kesan buruk atau sakit apabila mereka mengambil makanan yang mengandungi mikroorganisma pada aras tertentu. Golongan kanak-kanak, wanita hamil dan orang tua sangat berisiko dalam kes-kes pembiakan mikroorganisma yang berpunca daripada bilangan mikrob dan toksin yang dihasilkan. Di samping itu, pengguna boleh mencari penunjuk yang berguna apabila menentukan kebolegunaan sesuatu produk makanan yang sedia ada di rumah. Para penyelidik berpendapat bahawa tarikh penggunaan tidak

semestinya ditafsirkan sebagai tarikh selamat, sebaliknya harus dilihat sebagai *good-faith promise* daripada keseluruhan kualiti dan kesegaran makanan tersebut. Oleh itu, tarikh penggunaan tidak dapat menyatakan maklumat sebenar sekiranya berlaku pelanggaran dalam rantaian pengedaran makanan.

**Penunjuk kesegaran sensitif pH berasaskan pewarna sintetik**

*Jadual 2* menunjukkan kajian pembangunan penunjuk kesegaran yang telah dijalankan oleh para penyelidik sebelum ini.

Kebanyakan penunjuk kesegaran yang dibangunkan adalah berasaskan reagen kimia sensitif pH sama ada sebagai pewarna tunggal atau pewarna campuran. Antara pewarna sintetik tersebut termasuklah bromokresol hijau, bromotimol biru, metil merah, bromofenol biru dan fenol merah. Metabolit yang dikesan adalah terdiri daripada jumlah sebatian meruap berasaskan nitrogen, gas seperti karbon dioksida dan oksigen serta asid organik. Penunjuk kesegaran ini telah diuji keberkesannya ke atas pelbagai jenis sampel makanan seperti daging, ayam dan kuih (pencuci mulut) serta buah jambu batu berdasarkan pembebasan metabolit yang menyebabkan kerosakan kualiti makanan.

Jadual 2. Pembangunan penunjuk kesegaran menggunakan pewarna sintetik

Jenis penunjuk/sensor	Metabolit yang dikesan	Sampel aplikasi	Julat pH yang dikaji	Sumber
Label kalorimetrik berasaskan pewarna campuran-bromotimol biru dan metil merah	Gas karbon dioksida	Pencuci mulut Thai ( <i>golden drop</i> )	4.5 – 7.64	Nopwinyuwong et al. 2010
Penunjuk kalorimetrik berasaskan pewarna metilena biru	Oksigen	Daging khinzir	-	Mills dan Lawrie 2011
Penunjuk kalorimetrik berasaskan pewarna bromofenol biru	Asid organik	Buah jambu batu	3.0 – 4.6	Kuswandi et al. 2013
Penunjuk kalorimetrik berasaskan pewarna campuran bromokresol hijau, bromotimol biru, fenol merah	Gas karbon dioksida	Ayam tanpa kulit	3.8 – 8.4	Rukchon et al. 2014
Penunjuk kalorimetrik berasaskan pewarna campuran-metil merah dan bromokresol ungu	TVB-N	Daging	4.5 – 6.8	Kuswandi dan Nurfawaidi 2017

### **Penunjuk kesegaran sensitif pH berasaskan sumber antosianin**

Hasil laporan daripada kajian lepas menunjukkan terdapat penggunaan sebatian antosianin sebagai pewarna semula jadi dalam membangunkan penunjuk kesegaran sensitif pH. Antosianin adalah sebatian flavonoid yang mempunyai sifat antioksidan yang kuat dan merupakan pigmen semula jadi larut air yang memberikan pelbagai warna seperti merah, biru, ungu, magenta dan jingga yang terdapat dalam tumbuh-tumbuhan. Antosianin boleh didapati di semua bahagian tumbuh-tumbuhan. Walaupun kebanyakannya terkumpul pada bahagian bunga dan buah-buahan, namun terdapat juga di dalam daun, batang dan bahagian penyimpanan lain. Warna antosianin bukan sahaja bergantung kepada struktur molekulnya yang berbeza, tetapi juga dipengaruhi oleh nilai keasidan sesuatu buah tersebut. Antosianin yang merupakan pewarna semula jadi telah digunakan secara meluas dalam industri makanan sebagai alternatif kepada pewarna sintetik. Justeru, secara tidak langsung penggunaannya dalam makanan dapat memberi manfaat kepada kesihatan melalui kandungan sebatian antioksidannya.

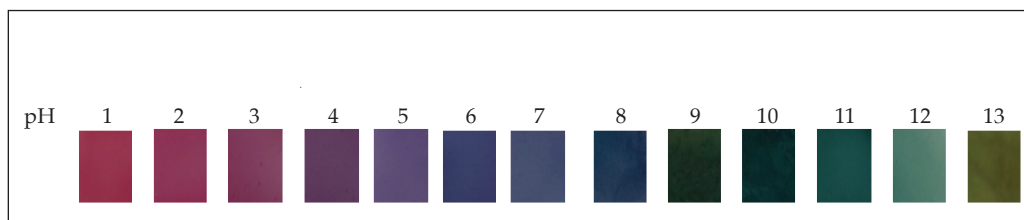
Kebanyakan hasil kajian seperti dalam *Jadual 3* (kajian terdahulu dan kajian di MARDI) menggunakan ekstrak tunggal daripada tumbuh-tumbuhan terpilih sebagai sumber antosianin seperti kulit anggur, bunga *Bauhinia blakeana* Dunn, kubis merah, mulberi hitam dan keledak ungu. Penunjuk kesegaran yang dibangunkan lebih tertumpu terhadap pengesanan metabolit kerosakan bersifat alkali terutama pada sampel ikan, daging khinzir dan ayam. Manakala kajian aplikasi bagi penunjuk kesegaran yang mengesan kerosakan pada keadaan asid pula menggunakan air liur dan susu sebagai sampel.

Namun begitu, MARDI telah menjalankan penyelidikan dengan menggunakan ekstrak campuran daripada kombinasi tumbuhan kubis merah dan bunga telang yang mengandungi sebatian antosianin sebagai pewarna sensitif pH. Hasil kajian menunjukkan ekstrak campuran ini berupaya menghasilkan perubahan warna yang jelas kelihatan secara mata kasar pada julat pH yang besar bagi setiap unit pH yang berbeza (*Rajah 1*). Penunjuk kesegaran berwarna merah apabila direndam ke dalam larutan pH 1 – 3. Warna bertukar kepada ungu sekitar pH 4 – 5 dan seterusnya warna biru kepada hijau dalam julat pH 6 – 11. Sementara itu, penunjuk kesegaran berwarna hijau kekuningan pada pH 12 dan berubah kepada kuning sepenuhnya apabila dicelup dalam larutan penimbal pH 13. Keupayaan penunjuk kesegaran menghasilkan perubahan warna yang jelas pada pH yang berbeza menunjukkan bahawa ekstrak campuran ini berpotensi mengesan metabolit kerosakan pada kedua-dua keadaan asid dan alkali. Oleh yang demikian, kajian aplikasi telah dijalankan untuk mengesan kemerosotan kualiti makanan berbungkus dengan menggunakan durian dan udang sebagai sampel. Metabolit kerosakan yang dihasilkan oleh durian terdiri daripada asid organik meruap dan sebatian amina meruap

bersifat alkali pula dibebaskan daripada udang semasa tempoh penyimpanan. Penunjuk kesegaran yang dibangunkan ini lebih ekonomik dan mudah digunakan kerana mampu membuat pengukuran pH pada julat yang lebih besar berbanding dengan yang diamalkan sekarang memerlukan penunjuk kesegaran yang berbeza untuk setiap pengukuran pH berbeza.

Jadual 3. Pembangunan penunjuk kesegaran sensitif pH berasaskan sumber antosianin

Matriks pemegun	Sumber antosianin	Sampel aplikasi	Julat pH dikaji	Sumber
Kitosan	Ekstrak bunga <i>Bauhinia blakeana</i> Dunn.	Daging khinzir dan ikan	2.2 – 9.0	Zhang et al. 2014
Selulosa nanofiber daripada pabrik	Ekstrak kubis merah	Memantau tahap kesihatan – kesan pengambilan minuman alkohol ke atas pH air liur	1 – 14	Devarayan dan Kim 2015
Campuran gam tara dan selulosa	Ekstrak kulit anggur	Susu	1 – 11 (sela 2 unit)	Ma dan Wang 2016
Kertas turas	Ekstrak mulberi hitam	Daging ayam	-	Talukder et al. 2017
Campuran agar dan kanji kentang	Ekstrak keledak ungu	Daging khinzir	2 – 10	Choi et al. 2017
$\alpha$ -karagenan	Campuran ekstrak kubis merah dan bunga telang	Udang dan durian	1 – 10	Noor Azizah et al. 2019 (kajian MARDI)



Rajah 1. Perubahan warna penunjuk kesegaran yang mengandungi ekstrak campuran kubis merah dan bunga telang selepas dicelup dalam larutan penimbal pH 1 – 13

## Kesimpulan

Kedua-dua pewarna sama ada daripada sintetik atau sumber semula jadi yang bersifat peka pH boleh digunakan dalam pembangunan penunjuk kesegaran untuk memantau kualiti produk makanan. Namun, penggunaan pewarna semula jadi sensitif pH dilihat mempunyai kelebihan dari segi toleransi terhadap kesihatan manusia memandangkan ia lebih selamat kerana diperoleh daripada ekstrak tumbuhan yang boleh dimakan. Penggunaan ekstrak campuran daripada sumber semula jadi didapati berpotensi sebagai pewarna sensitif pH kerana berupaya mengesan metabolit kerosakan pada julat pH yang besar dan sangat sesuai digunakan untuk menentukan kualiti kesegaran pelbagai produk makanan berbungkus. Kajian penyelidikan ke atasnya perlu diperluaskan supaya penunjuk kesegaran yang dibangunkan dapat dikomersialkan.

## Penghargaan

Penulis berterima kasih untuk sokongan kewangan dari Universiti Kebangsaan Malaysia melalui Dana Kumpulan Penyelidikan DPP-2017-064 (Sensor Kimia dan Biosensor UKM) dan Geran Penyelidikan UP-5179-2017.

## Bibliografi

- Choi, I., Lee, J.Y., Lacroix, M. dan Han, J. (2017). Intelligent pH indicator film composed of agar/potato starch and anthocyanin extracts from purple sweet potato. *Food Chemistry* 218: 122 – 128
- Clifford, M.N. (2000). Review: anthocyanins-nature, occurrence and dietary burden. *Journal of Science & Food Agricultural* 80: 1063 – 1072
- Das, R. dan Chansin, G. (2013). *Smart Packaging Comes to Market: Brand Enhancement with Electronics*. m.s. 2014 – 2024. Cambridge, UK: IDTechEx Ltd
- Devarayan, K. dan Kim, B.S. (2015). Reversible and universal pH sensing cellulose nanofibers for health monitor. *Sensors and Actuators B: Chemical* 209: 281 – 286
- Guillermo, F., Ismael, S., Raúl, C., Manuel, V., Jorge, S. dan Carolina, L. (2016). Intelligent packaging systems: Sensors and nanosensors to monitor food quality and safety. *Journal of Sensors* Volume 2016
- Kuswandi, B. dan Nurfawaidi, A. (2017). On-package dual sensors label based on pH indicators for real-time monitoring of beef freshness. *Food Control* 82: 91 – 100
- Kuswandi, B., Maryska, C., Jayus, Abdullah, A. dan Heng, L.Y. (2013). Real time on-package freshness indicator for guavas packaging. *Journal of Food Measurement and Characterization* 6: 1 – 4
- Ma, Q. dan Wang, L. (2016). Preparation of a visual pH-sensing film based on tara gum incorporating cellulose and extracts from grape skins. *Sensors and Actuators B* 235: 401 – 407

- Mills, A. dan Lawrie, K. (2011). Novel photocatalyst-based colourimetric indicator for oxygen: Use of a platinum catalyst for controlling response times. *Sensor and Actuators B: Chemical* 157: 600 – 605
- Noor Azizah, A., Heng, L.Y., Faridah, S., Hazani, M. Z. dan Sharina, A. H. (2019). A colorimetric pH sensor based on *Clitoria* sp and *Brassica* sp for monitoring of food spoilage using chromametry. *Sensors* 19(21): 4813
- Nopwinyuwong, A., Trevanich, S. dan Suppakul, P. (2010). Development of a novel colorimetric indicator label for monitoring freshness of intermediate-moisture dessert spoilage. *Talanta* 81(3): 1126 – 1132
- Rukchon, C., Nopwinyuwong, A., Trevanich, S., Jinkarn, T., dan Suppakul, P. (2014). Development of a food spoilage indicator for monitoring freshness of skinless chicken breast. *Talanta* 130: 547 – 554
- Talukder, S., Mendiratta, S.K., Kumar, R.R., Agarwal, R.K., Soni, A., Chand, S., Singh, T.P. dan Sharma, H. (2017). Development of plant extracts-based indicator for monitoring quality of fresh chicken meat during storage at room temperature ( $25 \pm 1$  °C). *Journal of Animal Research* 7(4): 751 – 755
- Zhang, X., Lu, S., dan Chen, X. (2014). A visual pH sensing film using natural dyes from *Bauhinia blakeana* Dunn. *Sensors and Actuators B: Chemical* 198: 268 – 273

### Ringkasan

Penggunaan penunjuk kesegaran dalam pembungkusan makanan merupakan bidang baharu yang dijangka berkembang pesat pada masa akan datang. Teknologi ini dapat meningkatkan keselamatan dan mengawal kualiti makanan berbungkus di seluruh rangkaian bekalan makanan. Penunjuk kesegaran dibangunkan berasaskan pewarna sensitif pH menggunakan reagen kimia dan ekstrak semula jadi daripada tumbuh-tumbuhan. Kandungan antosianin dalam pewarna semula jadi digunakan sebagai penunjuk pH kerana warnanya berubah dengan ketara pada nilai pH yang berbeza. Kegunaan penunjuk kesegaran dinilai ke atas potongan ayam, ikan, daging, susu, buah jambu, udang dan durian yang telah dibungkus. Metabolit kerosakan yang dikeluarkan mengikut jenis makanan seperti jumlah nitrogen meruap berbes (TVB-N), karbon dioksida, oksigen dan asid organik dikesan melalui perbezaan warna pada penunjuk kesegaran apabila pH berubah. Penggunaan ekstrak campuran daripada sumber semula jadi (kombinasi kubis merah dan bunga telang) sebagai pewarna sensitif pH sangat berpotensi dalam pembangunan penunjuk kesegaran kerana berupaya mengesan metabolit kerosakan untuk pelbagai jenis produk makanan berbungkus.



## **Summary**

The application of freshness indicators in food packaging is an emerging field that will grow rapidly in the future. This technology will enhance safety and control the quality of packaged food throughout the supply chain. Freshness indicators have been developed based on pH sensitive dye using chemical reagents and natural extracts from plants. The anthocyanin content in natural dyes is a pH indicator because its colour will significantly change at different pH values. The use of freshness indicators was evaluated by using packaged chicken pieces, fish, meat, milk, guava, shrimp and durian. Metabolites released by food types such as total volatile base nitrogen (TVB-N), carbon dioxide, oxygen and organic acids were detected through colour differences on the freshness indicator as the pH changes. The use of mixed extracts from natural sources (combination between red cabbage and blue pea flowers) as pH sensitive dyes has great potential in the development of freshness indicators as it is able to detect deterioration metabolites for various types of packaged food products.

## **Pengarang**

Noor Azizah Ahmad (Dr.)

Pusat Penyelidikan Sains dan Teknologi Makanan, Ibu Pejabat MARDI  
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor

Emel: naizah@mardi.gov.my

Prof. Dr. Lee Yok Heng

Institut Alam Sekitar dan Pembangunan (LESTARI)

Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), 43600 UKM Bangi, Selangor