

# INOVASI *SMART PACKAGING* UNTUK MENJAGA KUALITAS PRODUK PANGAN DARI KERUSAKAN OKSIDATIF

## *SMART PACKAGING INNOVATION TO MAINTAIN THE QUALITY OF FOOD PRODUCTS FROM OXIDATIVE DAMAGE*

Catherine

Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian,  
Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya  
[foodtech.catherine.c.20@ukwms.ac.id](mailto:foodtech.catherine.c.20@ukwms.ac.id)

### Abstrak

Makanan rentan mengalami penurunan kualitas dari segi keamanan pangan, nilai gizi dan juga dari segi penilaian sensoris. Salah satu penyebab penurunan kualitas pada produk pangan adalah terjadinya reaksi oksidasi. Oksidasi pada pangan terjadi akibat keberadaan oksigen yang reaktif. Dalam pengemasan, oksigen salah satu gas yang keberadaannya sangat diperhatikan. Keberadaan oksigen dalam kemasan pangan dapat menyebabkan penurunan kualitas produk pangan melalui terbentuknya komponen rasa yang menyimpang, ketengikan, penurunan kadar vitamin dan perubahan warna pada produk pangan. Smart packaging dapat menjadi solusi untuk hal tersebut. Penggunaan smart packaging seperti oxygen scavenger, indikator oksigen dan sensor oksigen dapat menjaga kualitas produk pangan yang dikemas dari kerusakan oksidatif.

*Kata kunci: Oksigen, Oksidasi, Smart packaging, Active packaging, Intelligent packaging*

### Abstract

Food is susceptible to quality degradation in terms of food safety, nutritional value and also in terms of sensory assessment. One of the causes of quality degradation in food products is the occurrence of oxidation reactions. Oxidation in food occurs due to the presence of reactive oxygen. In packaging, oxygen is one of the gases whose presence is given a lot of attention. The presence of oxygen in food packaging can cause a decrease in food products quality through the formation of off-flavour components, rancidity, vitamin loss and changes of color in food products. Smart packaging can be a solution for these concerns. The use of smart packaging such as oxygen scavengers, oxygen indicators and oxygen sensors can maintain the packaged food products' quality from oxidative damage.

*Keywords: Oxygen, Oxidation, Smart packaging, Active packaging, Intelligent packaging*

## PENDAHULUAN

Makanan rentan mengalami penurunan kualitas dari segi keamanan pangan, nilai gizi dan juga dari segi penilaian sensoris. Salah satu penyebab penurunan kualitas pada produk pangan adalah terjadinya reaksi oksidasi. Oksidasi dapat didefinisikan sebagai hilangnya elektron dari suatu molekul selama reaksi berlangsung. Oksidasi yang terjadi pada produk pangan mayoritas disebabkan oleh keberadaan oksigen yang reaktif. Paparan oksigen yang berlebihan mengakibatkan kerusakan oksidatif pada produk pangan. Contoh perubahan yang terjadi pada produk

pangan akibat kerusakan oksidatif yaitu terbentuknya komponen rasa yang menyimpang, ketengikan, penurunan kadar vitamin, dan perubahan warna pada produk pangan (Raharjo, 2018; Decker et al., 2010; Ioannou, 2013). Oleh karena itu, paparan oksigen pada produk pangan perlu dikontrol. Pengemasan merupakan salah satu usaha untuk meminimalisasi kontak antara produk pangan dengan oksigen.

Mayoritas produk pangan yang dijual di pasaran diletakkan di dalam kemasan yang dapat memberi efek penghalang yang

melindungi produk dari kontaminasi mikroba dan bahaya dari lingkungan, seperti oksigen, uap air, dan cahaya (Lai & Wong, 2022). Sebuah kemasan pangan dapat tersusun atas satu maupun banyak lapisan dari berbagai jenis bahan pengemas. Menurut Piergiovanni & Limbo (2016), kemasan makanan dapat disusun atas beberapa jenis bahan, yaitu plastik, selulosa, keramik, dan logam. Setiap bahan pengemas makanan sebaiknya memiliki kemampuan untuk membatasi kontak antara produk pangan yang dikemas dengan oksigen dari atmosfer. Kemasan hermetis seperti kemasan kaca dan kaleng sangat sesuai untuk menjaga produk pangan yang dikemas dari paparan oksigen. Hal tersebut dikarenakan kemasan hermetis secara sempurna tidak dapat dilalui oleh mikroba, gas, dan uap air (Sucipta et al., 2017). Meskipun kemasan hermetis dapat secara efektif melindungi produk yang dikemas, kemasan hermetis dinilai kurang efisien karena lebih berbobot, sulit untuk dibawa secara praktis, dan dalam membuka kemasannya seringkali diperlukan alat khusus.

Seiring dengan meningkatnya permintaan akan makanan kemasan *single serving*, kebutuhan akan kemasan yang ringan dan minimalis kian meningkat (Cooper, 2013). Beralih dari kemasan kaca dan kaleng, kemunculan kemasan berbahan polimer yang lebih ringan menjadi pilihan bahan pengemas alternatif. Terlepas dari keunggulannya, kemasan berbahan polimer memiliki permeabilitas yang tinggi terhadap gas-gas dan senyawa dengan berat molekul rendah lainnya, sehingga mengurangi efektivitasnya dalam menghalangi pengaruh lingkungan yang merugikan terhadap produk yang dikemas (Lai & Wong, 2022). Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, muncul inovasi baru dalam hal pengemasan, salah satunya yaitu *smart packaging* yang sekaligus mampu mengatasi keterbatasan yang ada pada kemasan konvensional.

*Smart packaging* merupakan kemasan yang dapat berfungsi memberikan perlakuan aktif sebagai responnya terhadap perubahan kondisi eksternal dan internal atau dapat juga berfungsi sebagai jembatan komunikasi terhadap konsumen mengenai kondisi produk (Dirpan et al., 2018). Menurut Vanderroost et al. (2014), *smart packaging* menawarkan solusi terhadap pengemasan, baik dengan cara memonitor perubahan pada produk atau lingkungan penyimpanan (*intelligent*), atau dengan cara melaksanakan suatu tindakan akibat adanya perubahan tersebut (*active*). Artikel *mini review* ini mengkaji inovasi *smart packaging* untuk menjaga kualitas produk pangan dari kerusakan oksidatif.

## **KEMASAN**

### **Kemasan Konvensional**

Sebelum banyaknya perkembangan teknologi, pengemasan pangan dilakukan dengan memanfaatkan bahan-bahan alami dan turunannya, seperti kulit binatang, tembikar, jaringan tumbuhan, kaca dan kertas (Brown, 1992). Seiring dengan kemajuan ilmu dan teknologi, kemasan konvensional pun telah mengalami peningkatan fungsionalitas terutama dari segi bahan yang digunakan. Beberapa contoh bahan, kelebihan, serta aplikasi dari kemasan konvensional yang umumnya digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Secara tradisional, kemasan pangan memiliki empat fungsi dasar, yaitu menampung, melindungi, mengkomunikasikan informasi penting mengenai produk yang dikemas, serta memberikan kenyamanan bagi konsumen (Lee et al., 2008). Peningkatan fungsionalitas kemasan dapat dilakukan melalui penyempurnaan atau melalui inovasi kemasan pangan, sehingga dapat meningkatkan terpenuhinya keempat fungsi dasar tersebut. Pengoptimalan keempat fungsi tersebut merupakan titik fokus dari seluruh

perkembangan yang terjadi di bidang pengemasan pangan. Saat ini, kemasan tidak lagi berfungsi sebagai wadah saja, melainkan juga dapat turut serta berperan aktif dalam menjaga kualitas produk pangan yang dikemas (Risch, 2009).

Tabel 1. Contoh bahan kemasan konvensional

Bahan	Kelebihan	Kelemahan	Aplikasi	Sumber
Kaca	Tidak berbau, inert, hermetis, tahan panas, transparan, reusable, recyclable	Berat, rapuh, mudah pecah, mahal	Botol & jar	Marsh & Bugusu, 2007; Garcia-Oliveira et al., 2022
Logam	Tidak pecah, hermetis, tahan panas, dapat didekorasi, ringan	Cenderung mahal (aluminium) dan dapat berkarat	Kaleng & kemasan laminasi <i>metallized</i>	Marsh & Bugusu, 2007; Garcia-Oliveira et al., 2022
Plastik	<i>Recyclable</i> , murah, ringan, mudah disegel, dapat didekorasi, mudah dibentuk, tidak pecah	Non-hermetis, tidak semua <i>reusable</i> dan tahan panas, potensi migrasi	Botol jar & kemasan laminasi	Marsh & Bugusu, 2007
Selulosa	<i>Recyclable</i> , ringan, murah	Tidak tahan lembap, mudah sobek, sangat permeabel, potensi sulit didaur ulang	Kemasan kertas & kemasan karton tetra pak	Garcia-Oliveira et al., 2022

### **Smart Packaging**

*Smart packaging* ialah kemasan yang dapat berfungsi memberikan perlakuan aktif sebagai responnya terhadap perubahan kondisi eksternal dan internal atau dapat juga berfungsi sebagai jembatan komunikasi terhadap konsumen mengenai kondisi produk (Dirpan et al., 2018). *Smart packaging* merupakan salah satu inovasi yang dilakukan dalam rangka meningkatkan fungsionalitas

kemasan pangan. Berdasarkan cara kerjanya, *smart packaging* dibedakan menjadi dua tipe, yaitu *active packaging* dan *intelligent packaging* (Day, 2008; Shafiq, 2019; Yan et al., 2022). Penggunaan *smart packaging* akan memberikan peningkatan pada fungsi dasar kemasan, seperti peningkatan fungsi proteksi oleh *active packaging* dan peningkatan fungsi komunikasi oleh *intelligent packaging*.

#### *1. Active Packaging*

*Active packaging* mengacu pada kemasan yang diberi penambahan senyawa kimia pada lapisan kemasan atau dalam kemasannya (Kumar et al., 2018). Istilah *active packaging* muncul akibat adanya perbedaan dengan kemasan konvensional yang dianggap sebagai kemasan pasif karena hanya berfungsi untuk melindungi produk dari bahaya dari lingkungan tetapi bersifat inert (Lee et al., 2008). Mekanisme kerja *active packaging* menekankan pada peningkatan fungsi perlindungan, dimana senyawa yang ditambahkan pada *active packaging* mampu memberikan perlindungan aktif, baik dengan cara melepaskan senyawa yang dapat memberikan proteksi ke dalam kemasan, atau dengan cara menangkap senyawa yang dapat menurunkan kualitas produk dari dalam kemasan atau dari lingkungan (Limbo & Khaneghah, 2015). Beberapa contoh aplikasi *active packaging* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Contoh aplikasi *active packaging*

Jenis	Fungsi	Komponen aktif	Produk	Sumber
<i>Moisture absorbent</i>	Mengontrol kelembaban atmosfer delama kemasan & menyerap eksudat	CaCl <sub>2</sub> , CaO, <i>absorbent pad</i> , <i>activated clay</i> & gel silika	Daging merah, daging unggas, ikan dan produk pangan kering	Selvamut-hukumaran, 2021; Pettersen et al., 2021.
<i>Ethylene scavenger</i>	Menunda kematangan & mencegah terjadinya perubahan warna	KMnO <sub>4</sub> , NaMnO <sub>4</sub> , TiO <sub>2</sub> , & karbon aktif	Sayur & buah	Awalgaonkar, 2020; Gaikwad et al., 2019
<i>Carbon dioxide scavenger</i>	Mencegah meledaknya kemasan akibat gas CO <sub>2</sub> berlebih	CaO, Ca(OH) <sub>2</sub> , NaOH, KOH, gel silika & arang aktif	Kopi dan fermentasi	Day, 2008; Selvamut-hukumaran, 2021
<i>Oxygen scavenger</i>	Mencegah kerusakan oksidatif pada makanan dan menghambat pertumbuhan mikroba aerobik	Campuran bubuk berbasis besi, asam askorbat, garam askorbat, katekol, glukosa oksidase & etanol oksidase	Daging merah, daging unggas, ikan, kue, roti, biskuit, kopi, teh dan susu bubuk	van Dongen & de Kruijff, 2007; Day, 2008; Handa et al., 2021
<i>Ethanol emitter</i>	Menghambat pertumbuhan mikroba	Etanol terenkapsulasi	Roti, kue dan ikan	Day, 2008; Selvamut-hukumaran, 2021

## 2. Intelligent Packaging

*Intelligent packaging* mengacu pada kemasan yang memonitor serta memberikan informasi mengenai kondisi produk atau mengenai kondisi lingkungan tempat penyimpanan produk (Rijk, 2008). *Intelligent packaging* merupakan kemasan yang mampu untuk mendeteksi kondisi produk yang dikemas, komposisi atmosfer dalam kemasan, atau kondisi lingkungan selama transportasi (Sohail et al., 2018). Mekanisme kerja *intelligent packaging* menekankan pada peningkatan fungsi komunikasi. Hal tersebut dikarenakan *intelligent packaging* dapat memberikan informasi pada produsen, pedagang maupun konsumen apabila terjadi penurunan kualitas dari produk yang disimpan atau apabila penyimpanan produk dilakukan tidak pada kondisi yang sesuai (Lee et al., 2008). Beberapa contoh aplikasi *intelligent packaging* dapat dilihat pada Tabel 3.

## KERUSAKAN OKSIDATIF PADA SENYAWA PANGAN

### Spesies Oksigen

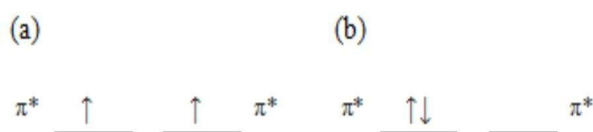
Atmosfer bumi tersusun atas lebih dari 78,08% nitrogen, 20,95% oksigen, 0,9% argon, 0,03% karbon dioksida, serta sekitar sembilan jenis gas lainnya dalam konsentrasi yang sangat rendah (Hadisumarto, 2001; Lozano, 2006 dalam Pardede, 2020). Menurut Duursma & Boisson (1994), ketersediaan oksigen pada atmosfer bumi selalu terjaga pada konsentrasi  $20,0946 \pm 0,006\%$ . Kestabilan konsentrasi oksigen tersebut dapat tercapai melalui keberlangsungan siklus pembentukan dan penggunaan oksigen (Raharjo, 2018).

### 1. Oksigen Triplet

Pada atmosfer, terdapat setidaknya dua spesies oksigen, yaitu oksigen singlet dan oksigen triplet (Raharjo, 2018). Menurut Min dan Boff (2002), oksigen triplet memiliki keberadaan yang melimpah di atmosfer dan bersifat stabil. Oksigen triplet tersusun atas dua elektron tidak berpasangan dengan spin paralel (Barik et al., 2006). Konfigurasi elektron tersebut menyebabkan oksigen triplet bersifat diradikal. Perbandingan diagram orbital antara oksigen triplet dan oksigen singlet dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 3. Contoh aplikasi *intelligent packaging*

Jenis	Fungsi	Mekanisme	Sumber
RFID	Mengidentifikasi & menyalurkan informasi mengenai produk pada waktu riil	Tag RFID akan merespon sinyal yang dikirim dari antena pembaca dengan membawa data produk. RFID yang dilengkapi sensor dapat menyampaikan informasi hasil deteksi sensor pada pembaca.	Hogan & Kerry, 2008; Djamal 2014; Eom et al., 2014
Indikator oksigen	Mendeteksi adanya oksigen pada kemasan	Keberadaan gas oksigen pada kemasan diperiksa secara kualitatif melalui pengamatan perubahan warna indikator yang terjadi pada label indikator oksigen.	S. Won & K. Won, 2021
Sensor oksigen	Mendeteksi kadar oksigen pada kemasan	Kadar oksigen di dalam kemasan diukur dengan konsep eksitasi dan deeksitasi pewarna luminens, kemudian perubahan parameter luminensinya dihitung berdasarkan hasil kalibrasi awal.	Hogan & Kerry, 2008; Harris & Thweatt, 2012
TTI	Merekam riwayat waktu dan temperatur mulai dari pengemasan hingga produk dijual	Riwayat waktu dan temperatur penanganan produk pascaproduksi akan terekam pada label indikator yang akan mengalami perubahan warna sesuai dengan waktu dan temperatur	Pacquit et al., 2008
Sensor kesegaran	Memonitor kualitas dari bahan pangan segar	Kualitas bahan pangan segar dapat ditentukan melalui hasil deteksi metabolit dari proses degradasi oleh mikroba	Brody, 2007; Smolander, 2008

Gambar 1. Diagram orbital oksigen (a) triplet (b) singlet  
Sumber: Min & Boff (2002); Barik et al. (2006)

Menurut Morello et al. (2002), suatu komponen disebut radikal apabila memiliki setidaknya satu elektron yang tidak berpasangan. Menurut Lee (2008), komponen radikal dapat dengan mudah bereaksi dengan komponen radikal, sedangkan komponen non-radikal dapat dengan mudah bereaksi dengan komponen non-radikal. Hal tersebut menyebabkan oksigen triplet tidak begitu mudah untuk bereaksi dengan pangan karena mayoritas dari senyawa-senyawa penyusun pangan bersifat non-radikal (Min & Boff, 2002; Suryanto, 2008).

## 2. Oksigen Singlet

Menurut Suryanto (2008), oksigen singlet merupakan salah satu *reactive oxygen species* (ROS) yang bersifat sangat reaktif, elektrofilik dan berupa molekul non-radikal. Oksigen singlet dapat terbentuk dari oksigen triplet melalui reaksi fotosensitisasi dengan sensitiser cahaya (Min & Boff, 2002). Fotosensitisasi oksigen triplet dilakukan melalui eksitasi molekul oksigen triplet dengan pemberian energi dari cahaya (Raharjo, 2018). Akan tetapi, oksigen tidak menyerap cahaya tampak, sehingga diperlukan adanya sensitiser yang dapat menyerap cahaya tampak, yang kemudian menyalurkan energi dari cahaya kepada oksigen melalui benturan (Fridovich, 2013).

Oksigen singlet lebih mudah bereaksi dengan produk pangan dibandingkan oksigen triplet. Hal tersebut dikarenakan mayoritas dari senyawa-senyawa penyusun pangan bersifat non-radikal (Min & Boff, 2002; Suryanto, 2008). Oksigen singlet memiliki sifat non-radikal, sehingga akan lebih mudah untuk bereaksi dengan senyawa pangan yang juga bersifat non-radikal (Raharjo, 2018). Oksigen singlet dapat dihasilkan melalui beberapa proses selain fotosensitisasi (Barik, 2006). Akan tetapi, salah satu hal yang perlu diperhatikan pada penanganan pangan, yaitu

bahwa pada makanan dan minuman terdapat beberapa senyawa yang dapat bertindak sebagai sensitiser seperti klorofil, myoglobin, riboflavin, porfirin, dan pewarna sintesis (Lee, 2002).

### **Kerusakan Oksidatif pada Komponen Pangan**

Meski bersifat vital bagi makhluk hidup dan berbagai macam aktivitas biologis, oksigen dapat menyebabkan penurunan kualitas makanan, salah satunya melalui kerusakan oksidatif (Won & Won, 2021). Beberapa contoh perubahan yang terjadi pada produk pangan akibat kerusakan oksidatif yaitu terbentuknya komponen rasa yang menyimpang, ketengikan, penurunan kadar vitamin, dan perubahan warna pada produk pangan (Raharjo, 2018; Decker et al., 2010; Ioannou, 2013). Reaksi oksidasi pada makanan dapat disebabkan oleh oksigen triplet diradikal maupun oksigen singlet nonradikal (Min & Boff, 2002). Pada pengemasan, oksigen menjadi salah satu gas yang keberadaannya sangat diperhatikan. Bahan kemasan nonhermetis seperti plastik dan kertas memiliki bersifat permeabel terhadap gas, salah satunya oksigen (Marsh & Bugusu, 2007; Garcia-Oliveira et al., 2022), sedangkan pada pengemasan menggunakan bahan pengemas hermetis, residu gas oksigen pada *headspace* dapat mengoksidasi senyawa gizi dari makanan yang dikemas.

## **INOVASI KEMASAN UNTUK PENCEGAHAN KERUSAKAN OKSIDATIF PADA KOMPONEN PANGAN**

### **Oxygen Scavenger**

*Oxygen scavenger* merupakan salah satu inovasi dalam bidang pengemasan yang tergolong sebagai *active packaging*. *Oxygen scavenger* dapat dibuat menggunakan bahan reduktor seperti campuran bubuk berbasis besi,

asam askorbat, garam askorbat, katekol; atau menggunakan enzim seperti glukosa oksidase & etanol oksidase (van Dongen & de Kruijf, 2007; Day, 2008; Handa et al., 2021). Menurut Guimarães (2022), *oxygen scavenger* dapat bekerja melalui beberapa mekanisme, yaitu melalui oksidasi reduktor, sehingga oksigen akan terpakai untuk mengoksidasi reduktor tersebut sebelum oksigen dapat mengoksidasi komponen pangan; atau melalui enzim yang akan bereaksi dengan substrat dengan menggunakan oksigen. Dengan penggunaan *oxygen scavenger*, jumlah oksigen dalam kemasan dapat berkurang, sehingga dapat menjaga produk pangan dari oksidasi. Salah satu *oxygen scavenger* yang banyak digunakan adalah bubuk besi yang dikemas dalam bentuk saset. Menurut van Dongen dan de Kruijf (2007), penggunaan bubuk besi sebagai *oxygen scavenger* dapat menurunkan konsentrasi oksigen dalam kemasan hingga kurang dari 0,01% dalam waktu yang singkat.

### **Indikator Oksigen**

Indikator oksigen umumnya diterapkan pada produk yang dikemas dengan *modified atmosphere packaging* atau yang dikemas bersamaan dengan *oxygen scavenger*. Pada pengemasan dengan metode *modified atmosphere packaging*, oksigen dapat diikutsertakan dalam jumlah yang sangat sedikit atau tidak diikutsertakan sama sekali (Soltani, 2015), sedangkan pada pengemasan dengan *oxygen scavenger*, konsentrasi oksigen dalam kemasan dapat diturunkan hingga 0,01% (van Dongen & de Kruijf, 2007). Menurut Xie et al. (2014), oksigen dapat kembali masuk ke dalam kemasan akibat permeabilitas dari bahan kemasan yang digunakan terhadap oksigen atau dapat juga terjadi akibat adanya kebocoran kemasan (Xie, 2014; Won, 2016). Pemasangan indikator oksigen bertujuan untuk mendeteksi adanya oksigen yang telah kembali masuk ke dalam kemasan. Indikator oksigen

banyak dibuat menggunakan pewarna yang dapat mengalami perubahan warna akibat reaksi oksidasi, seperti metilen biru yang menunjukkan perubahan warna dari putih keabuan menjadi biru keunguan (Muslimah, 2018).

### **Sensor Oksigen**

Sensor oksigen merupakan inovasi *intelligent packaging* yang dapat mengukur jumlah oksigen di dalam kemasan pangan secara kuantitatif (Hogan & Kerry, 2008). Mayoritas dari sensor oksigen menggunakan prinsip *quenching* dari cahaya yang timbul akibat benturan antara molekul oksigen dengan pewarna luminens yang tereksitasi, menyebabkan berkurangnya intensitas cahaya dan *decay time* dari pewarna luminens tersebut (Won & Won, 2021). Beberapa senyawa yang umumnya dijadikan sensor oksigen yaitu kompleks rutenium, platinum, dan paladium (Borisov, 2018). Penelitian yang dilakukan oleh Kozak dan Samotyja (2013) merupakan salah satu contoh penerapan sensor oksigen. Pada penelitian tersebut, LED digunakan untuk memberi pencahayaan warna biru selama 1  $\mu$ s, dan cahaya biru tersebut akan diserap oleh kompleks rutenium klorida, menyebabkan kompleks tersebut tereksitasi, kemudian terdeksitasi mengeluarkan cahaya berwarna merah. Apabila terdapat oksigen, maka molekul oksigen akan berbenturan dengan kompleks tersebut, menyebabkan perpindahan energi dari kompleks tersebut sehingga cahaya merah tersebut tidak dapat muncul (Harris & Thweatt, 2012).

### **KESIMPULAN**

Oksidasi merupakan salah satu penyebab kerusakan pada produk pangan. Oksidasi pada pangan dapat menyebabkan terbentuknya komponen rasa yang menyimpang, ketengikan, penurunan kadar vitamin dan perubahan warna pada produk

pangan. Salah satu solusi untuk mencegah terjadinya hal tersebut ialah *smart packaging*. Penggunaan *smart packaging* seperti *oxygen scavenger*, indikator oksigen dan sensor oksigen dapat menjaga kualitas produk pangan yang dikemas dari kerusakan oksidatif.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Agarry, O. O., M. T. Olayeye, & C. O. B. Michael. 2005. Comparative antimicrobial activities of *aloe vera* gel and leaf, *African Journal of Biotechnology* 4(12): 14-34.
- Awalgaonkar, G., Beaudry, R., Almenar, E. (2020). Ethylene-removing packaging: basis for development and latest advances. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3980-4007.
- Barik, A., Priyadarsini, K. I., Mohan, H., Bajaj, P. N., Sapre, A. V., Mittal, J. P., & Mukherjee, T. (2006). Singlet oxygen: photosensitized generation, detection and reaction with organic molecules. *Report*, Bhabha Atomic Research Centre, Government of India, Mumbai.
- Brody, A. L. (2007). A chronicle of intelligent packaging. In *Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables* (pp. 1-10). CRC Press
- Brown, W. E. (1992). *Plastic in Food Packaging: Properties, Design and Fabrication*. CRC Press.
- Cooper, T. A. (2013). Development in plastic materials and recycling systems for packaging food beverages and other fast-moving consumer goods. In *Trends in Packaging of Food, Beverages and Other Fast-moving Consumer Goods (FMCG)* (pp. 58-107). Woodhead Publishing.
- Day, B. P. F. (2008). Active packaging of food. In *Smart Packaging Technologies for*

- Fast Moving Consumer Goods* (pp. 1-18). John Wiley & Sons, Ltd.
- Decker, E. A., Elias, R. J., & McClements, D. J. (2010). *Oxidation in Food and Beverages and Antioxidant Applications*. Decker, E. A., Elias, R. J., & McClements, D. J. (Eds.). Woodhead Publishing.
- Dirpan, A., Latief, R., Syarifuddin, A., Rahman, A. N. F., Putra, R. P., & Hidayat, S. H. (2018, October). The use of colour indicator as a smart packaging system for evaluating mangoes Arummanis (*Mangifera indica* L. var. Arummanisa) Freshness. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 157, No. 1, p. 012031). IOP Publishing.
- Djamal, Hidajanto. (2014). Radio frequency identification (RFID) dan aplikasinya. *TESLA*, 16(1), 45-55.
- Duursma, E. K., & Boisson, M. P. R. M. Global oceanic and atmospheric oxygen stability considered in relation to the carbon cycle and to different time scales. *Oceanologica Acta*, 17(2), 117-141.
- Eom, K., Hyun, K., Lin, S. Kim, J. (2014). The meat freshness monitoring system using the smart RFID tag. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(7), 1-9.
- Fridovich, Irwin. (2013). Oxygen: How do we stand it?. *Medical Principles and Practices*, 22, 131-137.
- Gaikwad, K. K., Singh, S., & Negi, Y.S. (2019). Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 269-284.
- Garcia-Oliveira, P., Pereira, A. G., Carpena, M., Carreira-Casais, Fraga-Corral, M., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. Application of releasing packaging in beverages. In *Releasing Systems in Active Food Packaging*. Springer.
- Guimarães, A. L. (2022). Emitters of flavours, colorants and other food ingredients. In *Releasing Systems in Active Food Packaging: Preparation and Application*. Springer.
- Hadisumarto, Triyanto. (2001). Modifikasi atmosfer dalam pengemasan untuk daging segar. *Bulletin Penelitian*, 23(1), 38-45.
- Handa, M., Maharana, S. K., & Shukla, R. (2021). Safety and regulatory aspect of active packaged food products. In *Active Packaging for Various Food Applications* (pp. 179-199). CRC Press.
- Harris, P., & Thweatt, M. (2012, April). Process applications of a phase fluorometric oxygen analyzer. In *ISA Analysis Division Symposium* (Vol. 489, No. 1, p. 124). International Society of Automation.
- Hogan, S. A., & Kerry, J. P. (2008). Smart packaging of meat and poultry product. In *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods* (pp. 33-59). John Wiley & Sons, Ltd.
- Ioannou, Irina. (2013). Prevention of enzymatic browning in fruit and vegetables. *European Scientific Journal*, 9(30), 310-341.
- Kumar, K. V. P., Jessie, S. W., Kumari, B. A. (2018). Active packaging system in food packaging for enhanced shelf life. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6), 2044-2046.
- Lai, W., & Wong, W. (2022). Design and practical considerations for active polymeric films in food packaging. *International Journal of Molecular Science*, 23, 6259.
- Lee, D. S., Yam, K. L., & Piergiovanni, L. (2008). *Food Packaging Science and Technology*. CRC Press.



- Lee, JaeHwan. (2002). Photooxidation and photosensitized oxidation of linoleic acid, milk, and lard. *PhD Dissertation*, Ohio State University, United States of America.
- Limbo, S., & Khaneghah, A. M. (2015). Active packaging of foods and its combination with electron beam processing. In *Electron Beam Pasteurization and Complementary Food Processing Technologies* (pp. 195-217). Woodhead Publishing.
- Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food packaging-roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science*, 72(3), R39-R55.
- Min, D. B., & Boff, J. M. Chemistry and reaction of singlet oxygen in foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1(2), 58-72.
- Morello, M. J., Shahidi, F., & Ho, C. (2002). *Free Radicals in Foods: Chemistry, Nutrition, and Health Effects*. American Chemical Society.
- Muslimah, F., Wariski, E., & Kartika, I. A. (2018). Rekayasa produksi indikator oksigen sebagai pendeteksi kebocoran kemasan. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 28(3), 309-317.
- Pacquit, A., Crowley, K., & Diamond, D. (2008). Smart packaging technologies for fish and seafood products. In *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods* (pp. 75-98). John Wiley & Sons, Ltd.
- Pardede, Erika. (2020). Pengemasan buah dan sayur dengan atmosfer termodifikasi. *Jurnal Visi Eksakta*, 1(1), 11-20.
- Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Hansen, A. Å., Carlehög, M., & Liland, K. H. (2021). Effect of liquid absorbent pads and packaging parameters on drip loss and quality of chicken breast fillets. *Foods*, 10(1340), 1-18.
- Piergiovanni, L., & Limbo, S. (2016). *Food Packaging Materials*. Springer.
- Raharjo, Sri. (2018). *Kerusakan Oksidatif pada Makanan*. Gadjah Mada University Press.
- Rijk, Rinus. (2008). Legislative issues relating to smart packaging. In *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods* (pp. 305-323). John Wiley & Sons, Ltd.
- Selvamuthukumar, M. (2021). Introduction, basic concept, and design of active packaging of food. In *Active Packaging for Various Food Applications* (pp. 1-8). CRC Press.
- Shafiq, Fouzia. (2019). Impact of smart packaging and evaluating its understanding effect upon consumer motivation. *Journal of Marketing and Logistics* [Special issue], 1, 26-30.
- Smolander, Maria. (2008). Freshness indicator for food packaging. In *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods* (pp. 111-128). John Wiley & Sons, Ltd.
- Sohail, M., Sun, D., & Zhu, Z. (2008). Recent development in intelligent packaging for enhancing food quality and safety. *Critical reviews in Food Science and Nutrition*, 58(1), 1-41.
- Soltani, M., Alimardani, R., Mobli, H., & Mohtasebi, S. S. (2015). Modified atmosphere packaging; A progressive technology for shelf-life extension of fruits and vegetables. *Journal of Applied Packaging Research*, 7(3), 33-59.
- Sucipta, I. N., Suriasih, K., & Kencana, P. K. D. (2017). *Pengemasan Pangan Kajian Pengemasan yang Aman, Nyaman, Efektif dan Efisien*. Udayana Press.
- Suryanto, Edi. (2008). Kimia oksigen singlet: sensitiser, cahaya dan reaktivitasnya

- terhadap asam lemak tak jenuh. *Chemistry Progress*, 1(2), 117-124.
- Taware, N. A. (2021). Smart food packaging: concepts and innovations are constantly changing to meet the increasing demands and challenges of modern society. *Au-Fait Journal*, 9(7), 35-40.
- Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F., De Meulenaer, B., (2014). Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science & Technology*, 39(1), 47-62.
- van Dongen, W. D., & de Kruijf, N. (2007). ACTIPAK in Europe. In *Intelligent and Active Packaging for Fruit and Vegetables*. CRC Press.
- Won, K., Jang, N., Y., Jeon, J. (2016). A Natural component-based oxygen indicator with in-pack activation for intelligent food packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(51), 9675-9679.
- Won, S., & Won, K. (2021). Self-powered flexible oxygen sensors for intelligent food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 29(100713), 1-6.
- Xie, S. Y., Liu, X. H., Li, H. B., & Huang, C. (2014). The application of oxygen indicator in food packaging. *Advanced Materials Research*, 945-949, 2037-2042.
- Yan, M. R., Hsieh, S., & Ricacho, N. (2022). Innovative food packaging, food quality and safety, and consumer perspectives. *Processes*, 10(747), 1-13.