



Rekayasa pembuatan indikator oksigen dengan membran pemisah

Endang Warsiki*, Andi Nurul Aulia Sari, Ika Amalia Kartika, Indah Yuliasih, Titi Candra Sunarti

Teknik Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

Article history

Diterima:

13 Desember 2022

Diperbaiki:

4 Maret 2023

Disetujui:

5 April 2023

Keyword

*Oxygen detector;
oxygen indicator;
smart packaging*

ABSTRACT

Oxygen indicators in food packaging can be used to monitor the shelf life and quality of the product, especially in a vacuum or modified atmosphere packaged, by sensing the indicator's color change. The mechanism of the oxygen indicator is a redox reaction which is compromised redox dye, reducing compound, and alkali compound. These substances can be formulated as a tablet/sachet or a printed layer or laminated in a polymer film. This study aimed to examine the performance of the oxygen indicator in various concentrations of glucose and NaOH. This research was carried out in 3 stages, i.e. (i) producing oxygen indicators; (ii) characterizing the oxygen indicator before it was activated, and (iii) testing the irreversibility of the indicator. The results showed that the oxygen indicator had been successfully made in two compartments of NaOH and glucose-methylene blue with LDPE as a membrane barrier. The indicator's color remains the same in blue before it was activated. It seems that the concentration of glucose and natrium oxide did not have any significant difference in the initial color of the indicator. Once the indicator was activated by pressing the NaOH compartment, the color of the indicator turned purplish, and after a long while, the indicator turned white. The concentration of NaOH and storage temperature significantly affected the turning color's acceleration. A sample in the concentration of glucose 0.2 M and NaOH 0.2 M proved irreversible with °hue values of 208.57 to 313.201. © hak cipta dilindungi undang-undang.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

* Penulis korespondensi

Email : endangwarsiki@apps.ipb.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v18i4.17784

PENDAHULUAN

Indikator oksigen merupakan pemantau atau pendeteksi oksigen pada lingkungan dalam kemasan makanan yang memudahkan produsen, pengecer dan konsumen mengetahui kondisi kebocoran suatu produk (Sari et al. 2021). Kebocoran kemasan harus diketahui sejak dini agar segera dapat dilakukan penanganan untuk memastikan bahwa stabilitas dan masa simpan produk sesuai dengan klaim pada tanggal kedaluarsa. Kebocoran kecil pada kemasan tidak kasat mata namun akibat kebocoran ini produk dapat rusak sebelum masa simpan terlampaui. Seperti pada produk obat-obatan, kebocoran kemasan dapat berakibat fatal bagi pasien pengguna obat tersebut. Menurut Fang et al. (2017), prinsip kerja indikator gas adalah perubahan warna yang mencerminkan perubahan komposisi gas dalam kemasan.

Indikator oksigen yang telah tersedia secara komersial contohnya *Ageless Eye*TM, diproduksi oleh Mitsubishi *Gas Chemical Incorporation* dalam bentuk tablet dengan menggunakan reaksi redoks. Indikator oksigen reaksi redoks memiliki sistem yang sederhana. Menurut Smolander et al. (1997) komposisi indikator oksigen dengan reaksi redoks terdiri dari pewarna redoks, senyawa pereduksi dan senyawa alkali yang dapat diformulasikan sebagai tablet (Muslimah et al. 2018) atau *printed layer*, atau dapat dilaminasi dalam film polimer serta bubuk dalam saset (Ronycarya 2014).

Menurut Mills (2005), indikator oksigen untuk industri kemasan harus memiliki respon ireversibel (warna tidak kembali ke warna awal sebelum teroksidasi oksigen). Saat oksigen masuk ke dalam kemasan akibat kebocoran kecil atau permeabilitas plastik tinggi (Siracusa 2012) akan memungkinkan pertumbuhan mikroba dalam waktu singkat dan oksigen akan dikonversi menjadi karbon dioksida (Pertiwi et al. 2020). Akibatnya produk mengalami ketengikan (Renate et al. 2014; Wasono dan Yuwono 2014) yang pada akhirnya akan mempercepat kerusakan produk dalam kemasan. Pertambahan oksigen dalam kemasan juga akan meningkatkan laju metabolisme mikroba khususnya pada kemasan atmosfer termodifikasi daging ayam (Lei et al. 2023). Dilansir dalam Warsiki et al. (2016), pertumbuhan mikroba aerobik merusak pangan akan berbanding lurus dengan jumlah oksigen. Berdasarkan hal tersebut maka Muslimah et al.

(2018) melakukan penelitian yang menghasilkan indikator oksigen yang bersifat ireversibel dengan menggunakan glukosa sebagai agen pereduksi, metilen biru sebagai agen pewarna dan kalsium hidroksida atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebagai katalisator. Katalisator berguna untuk mempersingkat waktu glukosa mereduksi metilen biru (ditandai dengan perubahan warna indikator dari biru menjadi putih). $\text{Ca}(\text{OH})_2$ adalah senyawa yang tidak larut dalam air, berwarna putih, harganya relatif murah dan banyak tersedia di pasaran.

Indikator oksigen yang bekerja berdasarkan reaksi redoks ini paling banyak dikembangkan secara komersial, namun demikian sistem ini masih memiliki kekurangan yaitu membutuhkan kondisi anaerob dalam penyimpanannya yang membuat indikator ini mahal dan jauh dari ideal (Mills 2005). Jang dan Won (2014) melakukan penelitian untuk mengatasi masalah tersebut melalui pendekatan baru, sederhana dan praktis yaitu indikator oksigen reaksi redoks yang diaktifkan dengan tekanan. Tidak seperti indikator oksigen pada umumnya yang siap pakai, komponen indikator oksigen ini dipisahkan secara fisik oleh penghalang yang mudah dihancurkan dengan metode fisik sederhana seperti ditekan dengan tangan. Saat komponen bersentuhan satu sama lain, komponen indikator akan aktif dan bereaksi sebagai indikator oksigen.

Penelitian ini menghasilkan solusi bahwa indikator oksigen yang diaktifkan dengan tekanan harus memisahkan pewarna redoks (metilen biru) dan senyawa pereduksi (glukosa) dari senyawa alkali. Hanya saja proses pembuatan indikator oksigen pada penelitian Jang dan Won (2014) masih belum praktis dan membutuhkan biaya tinggi dalam proses pembuatannya. Proses ini membutuhkan alat vakum dalam membuat dua kompartemen. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian pembuatan indikator oksigen dengan membran pemisah. Membran ini akan memisahkan komponen basa (NaOH) dengan gula pereduksi dan metilen biru. Membran dapat berbahan plastik permeabel seperti polietilen densitas rendah/*low density polyethylene* (LDPE). Dengan pemisahan dua kompartemen ini akan menghasilkan indikator yang lebih murah. Penelitian ini bertujuan memproduksi indikator oksigen dengan membrane terpisah dengan variasi perlakuan perbedaan konsentrasi glukosa-metilen biru dan NaOH serta menguji perubahan warna indikator tersebut terhadap pengaruh suhu penyimpanan.

METODE

Bahan dan Alat

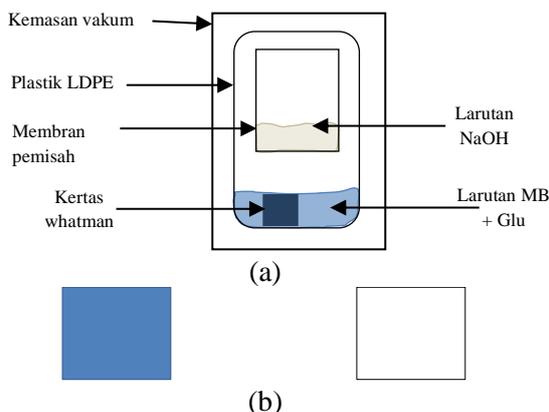
Bahan kimia yang digunakan pada penelitian ini adalah metilen biru, glukosa, dan NaOH. Selain itu juga disiapkan bahan lain seperti aquades, kertas *whatman*, plastik vakum dan plastik LDPE (*low density polyethylene*) sebagai bahan kemasan. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pendingin bersuhu $10\pm 1^\circ\text{C}$, dan inkubator suhu $25\pm 1^\circ\text{C}$, *heat-sealer* plastik, batang pengaduk, sudip, termometer, gelas piala, gelas ukur, neraca analitik, pipet tetes, jar, dan *colorimeter* dan peralatan lainnya.

Prosedur Kerja

Penelitian ini terdiri atas tiga tahap yaitu: 1) pembuatan indikator oksigen dengan membran pemisah, 2) pengamatan perubahan warna indikator oksigen sebelum diaktifkan, 3) pengamatan sifat ireversibilitas.

Pembuatan Indikator Oksigen dengan Membran Pemisah

Prinsip dari oksigen indikator adalah reaksi gula pereduksi glukosa dengan oksigen dalam suasana basa. Metilen biru merupakan indikator asam basa yang akan menjadi agen perubah warna. Berikut adalah desain dari indikator oksigen pada penelitian ini (Gambar 1). Agen katalisator NaOH dan agen pereduksi-indikator (glukosa-metilen biru) dikemas dalam 2 kompartemen yang berbeda. Plastik LDPE berperan sebagai membran atau film pemisah antara larutan NaOH dan campuran glukosa-metilen biru. Sedangkan kertas *whatman* digunakan sebagai penyerap warna untuk memperlihatkan perubahan warna yang akan terjadi.



Gambar 1 (a) Desain indikator oksigen dengan membran pemisah sebelum aktivasi dan (b) perubahan label/kertas *whatman* sesaat setelah diaktifasi

Pada penelitian ini larutan glukosa-metilen biru merupakan larutan indikator yang diletakkan di luar membran. Glukosa dilarutkan dalam aquades pada 3 (tiga) konsentrasi yang berbeda dengan kode perlakuan seperti pada Tabel 1. Pada penelitian ini konsentrasi metilen biru ditetapkan pada 0,4 mmol (Mills et al. 2015).

Tabel 1 Kode perlakuan konsentrasi glukosa

Kode perlakuan	Konsentrasi glukosa (Mol)
A1	0.1
A2	0.2
A3	0.4

Campuran glukosa-metilen biru sebanyak 100 ml dimasukkan ke dalam kemasan plastik LDPE dengan ukuran 5 cm × 6 cm yang telah berisi kertas *whatman* dengan ukuran 1 cm × 1 cm. NaOH dilarutkan dalam aquades sebagai komponen dalam membran. Ada 3 (tiga) variasi konsentrasi NaOH yang dicobakan pada penelitian ini seperti kode pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2 Kode perlakuan konsentrasi NaOH

Kode perlakuan	Konsentrasi NaOH (M)
B1	0.2
B2	0.4
B3	0.6

Larutan NaOH ini kemudian dikemas menggunakan plastik LDPE dengan ukuran 3 cm × 3 cm dalam jumlah 200 ml, kemudian dialirkan gas nitrogen hingga kemasan mengembang. Larutan dalam membran dimasukkan kedalam kemasan luar membran lalu dikelim menggunakan *heat-sealer*. Langkah terakhir adalah mengemas indikator oksigen ini secara vakum dengan plastik nilon.

Penyimpanan Indikator Oksigen

Indikator oksigen disimpan pada 3 (tiga) suhu penyimpanan yang berbeda yaitu kulkas $10\pm 1^\circ\text{C}$, suhu ruangan berpendingin $20\pm 1^\circ\text{C}$ dan suhu ruang $30\pm 1^\circ\text{C}$ selama 4 hari. Suhu penyimpanan ini merepresentasikan suhu penyimpanan yang umum digunakan untuk produk pangan.

Pengamatan Perubahan Warna Indikator Oksigen

Pengamatan perubahan warna indikator oksigen dimulai sejak indikator belum diaktifasi. Artinya pada saat membran pemisah belum

dipecahkan dan komponen penyusun indikator masih berada di 2 (dua) kompartemen yang berbeda. Pengamatan perubahan warna dilakukan secara kualitatif dengan fotografi menggunakan kamera. Perubahan warna juga diukur secara kuantitatif menggunakan *colorimeter* untuk mendapatkan nilai L (*lightness*/kecerahan), °hue dan ΔE. Nilai °hue dan ΔE dihitung dengan persamaan (1) dan (2).

$$^{\circ}hue = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad (1)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (2)$$

Keterangan :

ΔE = perubahan warna akibat perlakuan

ΔL = perbedaan antara nilai L sebelum dan sesudah perlakuan

Δa = perbedaan antara nilai a sebelum dan sesudah perlakuan

Δb = perbedaan antara nilai b sebelum dan sesudah perlakuan

Pengukuran dilakukan pada 5 (lima) titik yang berbeda dan masing masing titik dilakukan pengukuran 2 kali). Analisis perubahan warna (ΔE) mengacu pada Hrčková et al. (2018) yang dibagi dalam 5 tingkat perubahan warna, yaitu ΔE < 0,2 (tidak terlihat); 0,2 < ΔE < 2,0 (sangat kecil); 2,0 < ΔE < 3,0 (kecil); 3,0 < ΔE < 6,0 (sedang); 6,0 < ΔE < 12 (besar) dan ΔE > 12 (warna berbeda). Waktu yang dibutuhkan oleh indikator untuk berubah warna dicatat dengan *stopwatch*.

Uji ireversibilitas

Pengujian sifat ireversibilitas dilakukan dengan mengaktivasi indikator yaitu menekan kemasan yang berisi larutan NaOH dan gas nitrogen sehingga membran pembatas akan pecah dan ketiga bahan utama indikator akan bereaksi. Saat pencampuran glukosa dan metilen biru dalam keadaan alkali, glukosa akan mereduksi metilen biru yang ditandai dengan perubahan warna dari biru/ungu menjadi putih. Selanjutnya kemasan diberikan udara dengan laju aliran yaitu sebesar 2 l/menit, 4 l/menit, dan 6 l/menit dalam waktu 5 menit. Indikator dikemas kembali dan ditutup rapat dan diamati apakah warna biru atau ungu pada indikator kembali berubah menjadi warna semula (putih) atau tidak. Jika indikator kembali berwarna putih, maka dihitung lagi waktu yang dibutuhkan indikator kembali berubah ke warna

semula (biru). Perubahan warna indikator kemudian diukur nilai °hue.

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok Faktorial dengan 2 faktor yaitu faktor A (konsentrasi NaOH) dan faktor B (konsentrasi glukosa) dengan masing-masing 3 taraf. Setiap perlakuan dilakukan dalam 3 kali ulangan. Pada penelitian ini, suhu dijadikan blok atas dasar adanya perbedaan pemberian suhu terhadap indikator oksigen. Analisis data menggunakan ANOVA dan uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) dengan α = 0.05 menggunakan *Minitab Statistical Software*. Model matematis untuk rancangan percobaan indikator oksigen sebelum diaktifkan adalah sebagai berikut (persamaan 3):

$$Y_{ijk} = \mu + K_k + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (3)$$

Keterangan:

Y_{ijk} = Nilai pengamatan faktor perlakuan A pada taraf ke-i dan faktor perlakuan B pada taraf ke-j pada kelompok ke-k

K_k = Pengaruh kelompok ke-k

A_i = Pengaruh faktor perlakuan A pada taraf ke-i

B_j = Pengaruh faktor perlakuan B pada taraf ke-j

M = Rataan umum

AB_{ij} = Pengaruh interaksi dari faktor perlakuan A pada taraf ke-i dan faktor perlakuan B pada taraf ke-j

ε_{ijk} = galat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Indikator oksigen pada penelitian ini terdiri dari metilen biru (sebagai agen pewarna), glukosa (sebagai agen pereduksi) dan natrium hidroksida (sebagai agen katalisator). Reaksi yang diharapkan adalah perubahan warna metilen biru yang dapat dilihat secara visual ketika oksigen masuk dalam kemasan. Pada penelitian ini larutan NaOH dan glukosa-metilen biru dipisahkan oleh membra film LDPE. Menurut Jang dan Won (2014), indikator oksigen seperti ini akan memberikan kelebihan dibandingkan dengan sistem indikator satu kompartemen atau tablet/saset karena tidak memerlukan ruang penyimpanan kedap udara ketika indikator oksigen belum digunakan. Seperti diketahui bahwa indikator oksigen sangat sensitif terhadap keberadaan oksigen/udara oleh karena itu

diperlukan ruang penyimpanan khusus yang tentunya akan menambah biaya produksi.

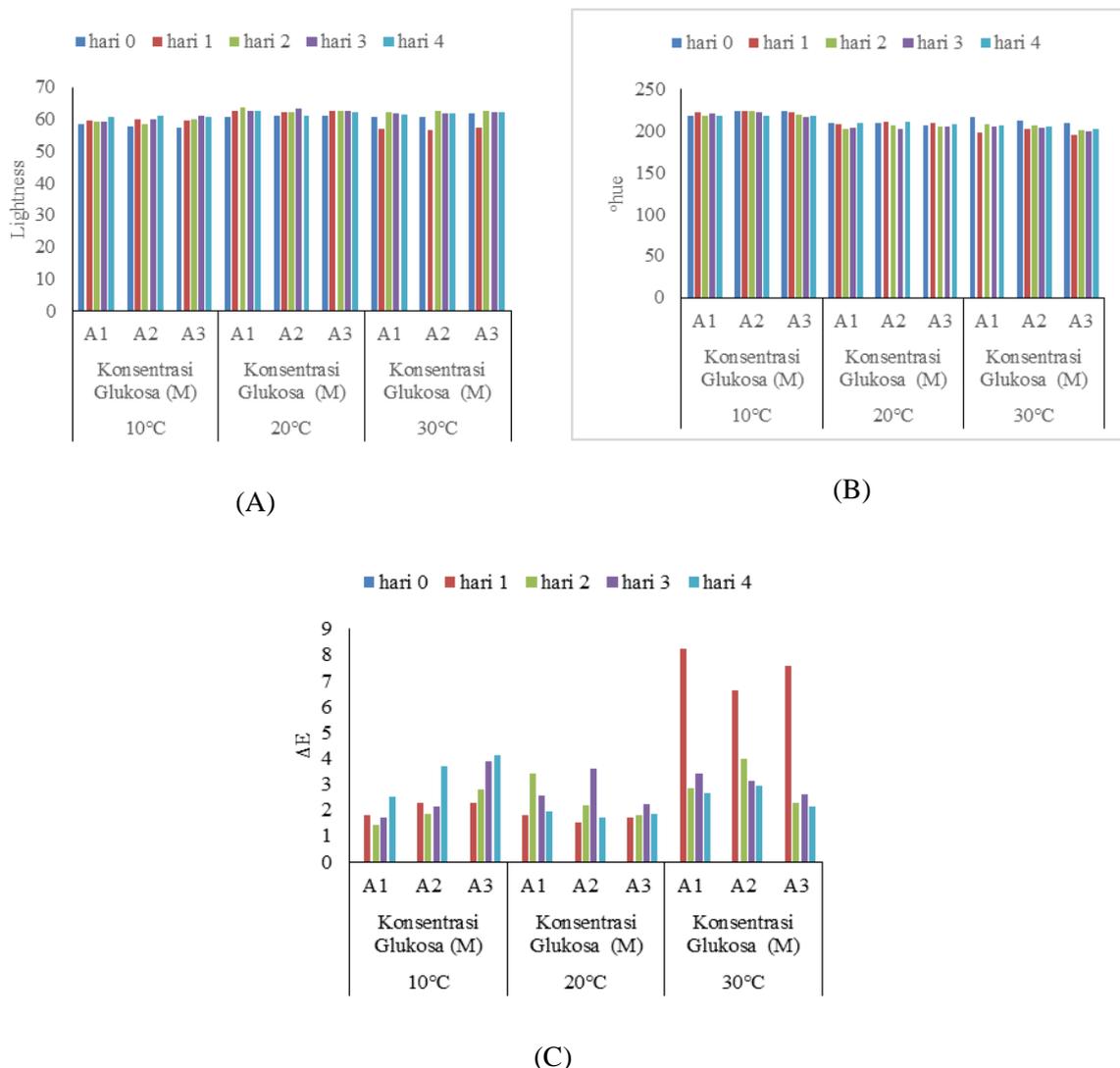
Respon Indikator Sebelum Diaktifkan terhadap Suhu Penyimpanan

Pada hasil pengujian indikator oksigen sebelum diaktifkan diperoleh hasil bahwa perlakuan lama penyimpanan, suhu dan konsentrasi glukosa tidak memberikan perubahan warna indikator oksigen. Dengan demikian dapat

dikatakan bahwa penelitian ini telah berhasil memproduksi indikator oksigen yang stabil sebelum indikator ini digunakan atau diaktifkan. Tabel 3 memperlihatkan warna indikator oksigen pada berbagai konsentrasi glukosa yang disimpan pada berbagai suhu. Hasil pengamatan warna secara visual memperlihatkan bahwa warna indikator tetap biru dan stabil sampai penyimpanan hari ke-4.

Tabel 3 Perubahan warna indikator oksigen sebelum diaktivasi pada berbagai suhu penyimpanan

Lama penyimpanan (hari)	Suhu penyimpanan (°C)	Perlakuan		
		B1	B2	B3
Hari ke-0	10			
	20			
	30			
Hari ke-1	10			
	20			
	30			
Hari ke-2	10			
	20			
	30			
Hari ke-3	10			
	20			
	30			
Hari ke-4	10			
	20			
	30			



Gambar 2 Nilai L (A); °hue (B); ΔE (C) warna indikator oksigen sebelum diaktivasi

Hasil pengukuran kuantitatif dengan *colorimeter* yang disajikan pada Gambar 2 juga mendukung hasil pengamatan visual. Pada hasil pengujian indikator oksigen sebelum diaktifkan (Gambar 2) diperoleh hasil bahwa konsentrasi glukosa dan suhu penyimpanan mempunyai nilai L dan °hue yang cenderung konstan.

Berbeda dengan nilai L dan °hue, nilai ΔE menunjukkan perubahan warna total indikator per satu satuan waktu. Pada Gambar 2 terlihat bahwa perlakuan A1 (glukosa 0.1 mol) pada penyimpanan suhu 30°C mempunyai perubahan warna total yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lain. Hal ini dapat dijelaskan bahwa suhu tinggi akan mempercepat proses reaksi seperti yang dijelaskan oleh Anjana (2014) pada studi kinetika dekomposisi glukosa terhadap suhu. Pada penelitiannya Arjuna mendemonstrasikan bahwa semakin tinggi suhu, semakin besar pula konstanta

laju reaksi dan sesuai dengan persamaan Arrhenius. Pada penelitian ini ΔE merupakan total perbedaan warna dari hari ke-t terhadap warna hari ke-0.

Indikator oksigen sebelum diaktifkan menghasilkan analisis ragam (ANOVA pada $\alpha = 0,05$) dimana suhu dan lama penyimpanan berpengaruh terhadap nilai L, °hue dan ΔE. Konsentrasi glukosa hanya berpengaruh nyata terhadap nilai °hue sedangkan interaksi lama penyimpanan dan konsentrasi glukosa tidak berpengaruh nyata terhadap nilai L, °hue dan ΔE. Sesuai dengan penelitian Anderson et al. (2012), Bani et al. (2013) yang menyatakan bahwa laju reaksi redoks berbanding lurus dengan konsentrasi glukosa dan metilen biru. Uji lanjut Duncan untuk nilai L menunjukkan bahwa lama penyimpanan hari ke-0 dan ke-1 tidak berbeda signifikan dibandingkan dengan hari ke-2 hingga hari ke-4.

Namun demikian, untuk nilai °hue berbeda nyata pada hari pertama dengan warna *cyan-blue*, dan untuk nilai ΔE hari ke-1 berbeda nyata dengan hari ke-2 hingga hari ke-4. Nilai ΔE (nilai perubahan warna) pada hari pertama berada pada kondisi perubahan warna yang sedang tetapi pada hari setelahnya menunjukkan perubahan warna yang kecil.

Konsentrasi glukosa terhadap nilai °hue menunjukkan pengaruh tidak nyata, dimana konsentrasi glukosa 0,1 M tidak berbeda signifikan dengan konsentrasi glukosa 0,2 M dan 0,4 M. Namun demikian indikator oksigen dengan konsentrasi glukosa 0,2 M berbeda nyata dengan 4 M. Dari hasil kedua perlakuan tersebut cukup bukti bahwa indikator akan mengalami perubahan warna atau bekerja saat glukosa sebagai agen pereduksi metilen biru berada pada kondisi basa yaitu saat bercampurnya NaOH dengan glukosa-metilen biru.

Secara visual, indikator oksigen hasil penelitian ini tidak mengalami perubahan warna yang signifikan sebelum diaktivasi. Pada umumnya perubahan warna indikator didasarkan pada perubahan warna sebagai akibat dari reaksi kimia atau enzimatis (Dobrucka dan Cierpiszewski 2014). Hasil yang sama juga diperoleh Jang dan Won (2014) yang melakukan pemisahan bahan indikator oksigen pada dua kompartemen. Hasil penelitiannya telah mendapatkan kondisi terbaik dengan memisahkan larutan glukosa-metilen biru dari larutan NaOH.

Uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa masing-masing taraf pada perlakuan suhu berbeda signifikan pada parameter nilai L dan °hue. Dengan urutan nilai L tertinggi ke terendah adalah suhu ruangan berpendingin, suhu ruang lalu suhu kulkas masing-masing nilainya 62,217; 60,871 dan 59,443. Nilai °hue menurun berdasarkan peningkatan nilai blok dengan nilai masing-masing suhu kulkas, suhu ruangan berpendingin dan suhu ruang adalah 220,39; 206,65 dan 204,34. Sedangkan untuk nilai ΔE perbedaan signifikan hanya terjadi pada suhu ruang. Hal ini diduga karena peningkatan suhu berbanding lurus dengan jarak antar molekul zat. Seperti diketahui bahwa semakin tinggi suhu akan menyebabkan molekul mudah bergerak dan jarak molekul menjadi semakin jauh. Suhu merupakan faktor yang mempengaruhi laju reaksi suatu molekul zat. Menurut Bani et al. (2013), semakin tinggi suhu maka akan lebih banyak tumbukan yang terjadi dalam satuan waktu. Tumbukan inilah yang

dibutuhkan untuk mereaksikan molekul zat, yang dalam hal ini adalah peningkatan nilai ΔE . Hasil yang sama juga ditemui pada penelitian lain mengenai perubahan warna terhadap suhu oleh Nofrida (2013). Pada penelitian ini telah menghasilkan bahwa warna indikator daun erpa stabil pada suhu beku (-2°C) sampai pengamatan hari ke hari ke 78 dan berubah dengan cepat pada suhu ruang (27°C) yang hanya memerlukan waktu 8 jam.

Uji ireversibilitas

Pada pengujian ini ditujukan untuk melihat respon indikator oksigen setelah pemberian udara dengan keadaan dimasukkan kedalam jar selama 1 hari (Tabel 4 dan Gambar 3). Sesaat setelah diaktivasi dengan memecahkan pembatas membran plastik LDPE, maka larutan NaOH dan larutan glukosa-metilen biru akan bercampur dan label kertas whatman berangsur angsur berubah menjadi putih. Setelah dialirkan udara (ada oksigen) terlihat bahwa indikator oksigen mengalami peningkatan nilai °hue, dengan rata-rata perubahan warna dari putih menjadi magenta. Perubahan warna ini akibat proses oksidasi yang masih berlangsung setelah diberikan aliran udara. Indikator tidak menunjukkan perubahan warna menjadi putih kembali sehingga disimpulkan bahwa indikator memenuhi sifat ireversibel.

Pada penelitian ini konsentrasi NaOH berpengaruh nyata terhadap perubahan warna indikator oksigen. Pada hasil perlakuan ireversibilitas menunjukkan bahwa nilai °hue indikator oksigen dengan konsentrasi NaOH 0,6 M lebih rendah dibandingkan °hue dengan konsentrasi lainnya sehingga senyawa alkali sebagai agen katalisator diduga berpengaruh terhadap reaksi reduksi indikator. Kondisi reduksi indikator dengan nilai °hue yang rendah juga berpengaruh pada hasil pengujian ini dengan nilai °hue yang lebih rendah.

Proses oksidasi indikator oksigen dengan membran pemisah ini masih membutuhkan perbaikan dibandingkan dengan indikator oksigen hasil penelitian lainnya. Hal ini dikarenakan proses oksidasi indikator ini membutuhkan waktu lama yaitu sehari. Hal tersebut lebih lama apabila dibandingkan dengan sensitivitas indikator oksigen berbentuk tablet dari Muslimah (2018) yang hanya membutuhkan waktu 31 detik untuk berubah dari keadaan tereduksi yaitu berwarna putih lalu teroksidasi menjadi ungu.

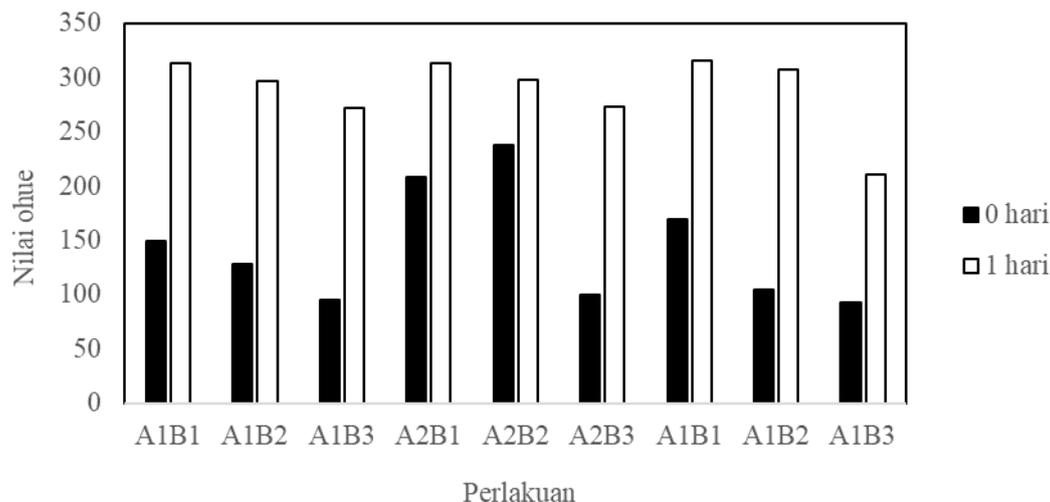
Potensi Aplikasi Indikator Oksigen Sebagai Kemasan Cerdas Pendeteksi Kebocoran

Indikator oksigen berpotensi untuk diaplikasikan sebagai pendeteksi kebocoran pada kemasan produk agroindustry, khususnya kemasan vakum dan kemasan atmosfer termodifikasi. Perubahan warna indikator (dalam hal ini adalah label kertas whatman) dari warna biru sebelum diaktivasi menjadi putih setelah diaktivasi (proses reduksi metilen biru oleh glukosa) dan selanjutnya menjadi magenta-ungu (proses oksidasi glukosa-metilen oleh oksigen) dapat dijadikan pedoman kebocoran kemasan

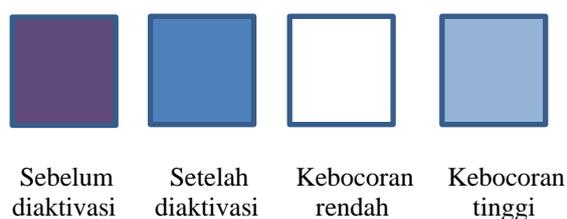
(Gambar 4). Indikator oksigen ini dapat disematkan ke dalam kemasan produk. Sebagaimana kinerja kemasan cerdas lainnya (Dobrucka dan Cierpiszewski, 2014; Eaton, 2022; Warsiki dan Rofifah, 2018; Putri et al., Warsiki, 2019a; Putri et al., 2019b; Iskandar et al., 2020), perubahan warna indikator dapat dijadikan panduan masuknya oksigen atau udara dalam kemasan yang selanjutnya akan memungkinkan percepatan kerusakan produk dalam kemasan tersebut. Indikator oksigen berbasis perubahan warna sebagai kemasan cerdas dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 4 Warna indikator oksigen setelah diaktivasi pada berbagai laju alir udara (L/min)

Glukosa	NaOH	2 L		4 L		6 L	
		Pemberian Tekanan	1 Hari	Pemberian Tekanan	1 Hari	Pemberian Tekanan	1 Hari
0,1	0,2						
		170.82	327.513	155.60	305.873	122.860	305.843
0,2	0,2						
		265.10	320.163	221.10	309.803	119.217	309.637
0,4	0,2						
		177.46	317.650	221.66	313.430	104.900	312.783
0,1	0,4						
		111.20	297.583	148.273	302.687	126.563	291.730
0,2	0,4						
		289.76	293.950	308.187	296.780	116.510	303.833
0,4	0,4						
		101.28	312.300	103.873	292.943	106.367	312.303
0,1	0,6						
		98.08	279.223	94.197	264.483	95.277	272.583
0,2	0,6						
		99.17	280.023	98.867	267.037	100.990	273.380
0,4	0,6						
		97.24	125.807	88.640	227.203	97.317	275.620



Gambar 3 Nilai °hue indikator oksigen setelah diaktifkan



Gambar 4 Perubahan warna indikator oksigen sebagai pendeteksi kebocoran kemasan

KESIMPULAN

Desain indikator oksigen dengan membran pemisah plastik LDPE telah berhasil diproduksi. Indikator berwarna biru sebelum diaktivasi. Suhu penyimpanan dan konsentrasi glukosa-metilen biru tidak berpengaruh signifikan terhadap warna biru ini. Indikator oksigen telah menunjukkan sifat ireversibel pada suhu ruangan dengan perubahan warna biru menjadi putih ketika diaktivasi dan selanjutnya berangsur-angsur berubah menjadi keunguan setelah bereaksi dengan oksigen. Warna ungu yang stabil dicapai setelah 1 hari penyimpanan. Konsentrasi glukosa berpengaruh terhadap percepatan reduksi metilen biru. Semakin tinggi konsentrasi glukosa maka semakin cepat proses reduksi indikator dan semakin cepat warna biru label kertas whatman menjadi putih. Perlakuan konsentrasi glukosa 0,2 M dan NaOH 0,2 M terbukti ireversibel dengan nilai °hue 208,57 berubah menjadi 313,201.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson, L., Wittkopp, S.M., Painter, C.J., Liegel, J.J., Schreiner, R., Bell, J.A., Shakhashiri, B.Z. 2012. What is happening

when the blue bottle bleaches: An investigation of the methylene blue-catalyzed air oxidation of glucose. *Journal of Chemical Education* 89:1425–1431.

Anjana, F., Oktaviani, W.R., Roesyadi, A. 2014. Studi kinetika dekomposisi glukosa pada temperatur tinggi. *Jurnal Teknik Pomits* 3 (2): 122 -125.

Bani, M., Santjojo, D.H., Masruroh. 2013. Pengaruh Suhu Reaksi Reduksi Terhadap Pemurnian Karbon Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *Natural B* 2:159–163.

Dobrucka, R., Cierpiszewski, R. 2014. Active and intelligent packaging food-research and development-a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 64:7–15.

Eaton, K. 2002. A novel colorimetric oxygen sensor: dye redox chemistry in a thin polymer film. *Sensors and Actuators* 85:42–51.

Fang, Z., Zhao, Y., Warner, R.D., Johnson, S.K. 2017. Active and intelligent packaging in meat industry. Elsevier Ltd.

Hrčková, M., Koleda, P., Koleda, P., Barčík, Š., Štefková, J. 2018. Color Change of Selected Wood Species Affected by Thermal Treatment and Sanding. *BioResources* 13(4):8956–75.

Iskandar, A., Yuliasih, I., Warsiki, E. 2020. Performance Improvement of Fruit Ripeness Smart Label Based On Ammonium Molibdat Color Indicators. *Indones Food Sci & Technol J.* 3(2):48–57.

- Available from: <https://online-journal.unja.ac.id/iftj/article/view/10178>
- Jang, N.Y., Won, K. 2014. New pressure activated compartmented oxygen indicator for intelligent food packaging. *International Journal of Food Science and Technology* 49: 650-654.
- Lei Y., Zhang Y., Cheng Y., Huang J, Huang M. 2023. Monitoring and identification of spoilage-related microorganisms in braised chicken with modified atmosphere packaging during refrigerated storage. *Food Sci Hum Wellness [Internet]* 12(1):28–34. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213453022001227>
- Mills, A. 2005. Oxygen indicators and intelligent inks for packaging food. *Chemical Society Reviews* 34:1003–1011.
- Muslimah, F., Warsiki, E., Kartika, I.A. 2018. Rekayasa Produksi Indikator Oksigen Sebagai Pendeteksi Kebocoran Kemasan. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 28(3):309-317.
- Nofrida, R., Warsiki, E., Yuliasih, I. 2013. Pengaruh suhu penyimpanan terhadap perubahan warna label cerdas indikator warna dari daun erpa (*Aerva sanguinolenta*). *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 23(3): 232-241.
- Pertiwi, R., Suhartatik, N., Mustofa, A. 2020. Estimasi umur simpan snack bars beras ketan hitam (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) dan labu kuning (*Cucurbita moschata*) dengan metode AAS (Accelerated Storage Studies). *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*. 13(2):104.
- Putri, P.G., Warsiki, E., Sugiarto. 2019a. The Stability of Extract *Indigofera tinctoria* for Color Indicator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 347:012070. doi:10.1088/1755-1315/347/1/012070
- Putri, V.J., Warsiki, E., Syamsu, K., Iskandar, A. 2019b. Application Nano Zeolite-Molybdate for Avocado Ripeness Indicator. *IOP Conf Series Earth and Environmental Science*. 347(1):0–7. doi:10.1088/1755-1315/347/1/012063
- Renate, D., Pratama, F., Yuliati, K., Priyanto, G. 2014. Model kinetika degradasi capsaicin cabai merah giling pada berbagai kondisi suhu penyimpanan. *Agritech* 14 (3): 330-336.
- Ronycahya, A.B. 2014. Indikator oksigen berbasis Metilen Biru sebagai pendeteksi kebocoran kemasan. Skripsi. Bogor [ID], IPB University.
- Sari, A.N.A., Warsiki, E., Kartika, I.A. 2021. Innovation of oxygen indicator for packaging leak detector: A review. *IOP Conf Series Earth and Environment Science*. 749(1):12009. <https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/749/1/012009>
- Siracusa, V. 2012. Food packaging permeability behaviour : A report. *International Journal of Polymer Science* 2012:1–11.
- Smolander, M., Hurme, E., Ahvenainen, H. 1997. Leak Indicators for modified-atmosphere. *Trends in Food Science & Technology* 8:101–106
- Warsiki, E., Rahayuningsih, M., Anggarani, R.R. 2016. Media Berindikator Warna Sebagai Pendeteksi *Salmonella typhimurium*. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 26(3): 276-283.
- Warsiki E, Rofifah N. 2018. Dragon fruit freshness detector based on methyl red colour indicator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 012016. doi:10.1088/1755-1315/209/1/0120162018
- Wasono, M.S.E., Yuwono, S.S. 2014. Pendugaan Umur Simpan Tepung Pisang Goreng Menggunakan Metode Accelerated Shelf Life Testing Dengan Pendekatan Arrhenius. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 2:178–187.