

## Keberkesanan Tokoferol sebagai Antioksidan dalam Ayam Salai (Effectiveness of Tocopherol as Antioxidant in Chicken Jerky)

CHIE CHING BOON<sup>1</sup>, LEE SIN CHANG<sup>2,3</sup>, ABDUL SALAM BABJI<sup>1,3</sup>, CHRIS MUN FEI YAP<sup>4</sup>, JIA MIN TAM<sup>4</sup> NOORUL SYUHADA MOHD RAZALI<sup>1,3</sup> & SENG JOE LIM<sup>1,3,\*</sup>

<sup>1</sup>*Department of Food Sciences, Faculty of Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

<sup>2</sup>*Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Applied Sciences, UCSI University Kuala Lumpur, No.1, Jalan Menara Gading, UCSI Heights 56000 Cheras, Kuala Lumpur, Federal Territory, Malaysia*

<sup>3</sup>*Innovation Centre for Confectionery Technology (MANIS), Faculty of Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

<sup>4</sup>*Wing Heong Food Industries Sdn Bhd, No. 2, Jalan 7/7 Taman Industri Selesa Jaya, 43300 Seri Kembangan, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

*Diserahkan: 5 Disember 2022/Diterima: 17 Mac 2023*

### ABSTRAK

Kajian ini dijalankan untuk mengenal pasti keberkesanan tokoferol sebagai antioksidan dalam ayam salai. Perapan ayam telah disediakan dengan tiga formulasi mengandungi tokoferol yang berbeza kepekatan iaitu 100 mg/kg, 200 mg/kg dan 300 mg/kg. Ujian jangka hayat dipercepat (ASLT) telah dijalankan berdasarkan nilai  $Q_{10}$  yang dikenal pasti pada 1.30 dengan penyimpanan sampel pada suhu 57 °C selama empat minggu adalah bersamaan dengan hayat simpanan selama 61.5 hari pada suhu bilik. Hasil kajian menunjukkan bahawa nilai peroksida (pengoksidaan primer) bagi semua sampel tidak berbeza secara signifikan ( $p>0.05$ ) manakala nilai TBARS (pengoksidaan sekunder) bagi sampel ditambah tokoferol adalah lebih rendah secara signifikan ( $p<0.05$ ) berbanding sampel tanpa tokoferol. Ayam salai didapati mempunyai warna yang lebih gelap dan pengurangan keamatan pada kemerahan dan kekuningan sepanjang penyimpanan. Aktiviti air sampel ayam salai yang ditambah tokoferol adalah tidak berbeza secara signifikan ( $p>0.05$ ) berbanding dengan sampel tanpa antioksidan. Semua sampel ayam salai menjadi lebih berasid sepanjang penyimpanan dan menunjukkan perbezaan secara signifikan ( $p<0.05$ ) manakala jumlah kiraan plat bagi semua sampel adalah kurang daripada  $10^6$  cfu/g. Keputusan ujian sensori menunjukkan bahawa penerimaan keseluruhan sampel ayam salai yang ditambah tokoferol, BHT dan sampel tanpa antioksidan tidak menunjukkan perbezaan yang signifikan ( $p>0.05$ ). Secara kesimpulannya, kajian ini menunjukkan bahawa penambahan tokoferol sebagai antioksidan telah mengurangkan tekanan oksidatif ayam salai dan formulasi perapan 300 mg/kg tokoferol mempunyai potensi untuk dibangunkan sebagai produk ayam salai dengan kestabilan oksidatif tinggi.

Kata kunci: Antioksidan; ayam salai; pengoksidaan lipid; tokoferol

### ABSTRACT

This study was performed to determine the effectiveness of tocopherol as antioxidant in chicken jerky. The marinade for jerky was prepared in three formulations with different tocopherol contents at 100 mg/kg, 200 mg/kg and 300 mg/kg, as well as with synthetic antioxidant (BHT) and without antioxidants. Accelerated shelf-life testing (ASLT) was performed based on a pre-determined  $Q_{10}$  value of 1.30, where storage of the jerky at 57 °C for 4 weeks are equivalent to 61.5 days storage at room temperature. The result obtained has shown that there was no significant difference ( $p>0.05$ ) in peroxide value (primary oxidation), while TBARS value (secondary oxidation) of chicken jerky with tocopherol was significantly ( $p<0.05$ ) lower than sample without tocopherol. All chicken jerky samples were found to have darker colour and loss intensity of redness and yellowness throughout the storage. Chicken jerky with tocopherol showed that there was no significant difference ( $p>0.05$ ) in water activity compared to sample without antioxidant. All the samples became acidic throughout the storage and showed significant difference ( $p<0.05$ ), while the total plate

count for all samples were less than  $10^6$  cfu/g. There was no significant different ( $p>0.05$ ) in overall acceptance of chicken jerky with tocopherol, BHT and sample without antioxidant, during the sensory evaluation. As a conclusion, this study showed that the addition of tocopherol as antioxidant had reduced oxidative stress of chicken jerky and formulation 300 mg/kg tocopherol can be developed to produce chicken jerky product with high oxidative stability.

Keywords: Antioxidant; chicken jerky; lipid oxidation; tocopherol

## PENGENALAN

Salai atau *jerky* dalam Bahasa Inggeris merupakan satu jenis produk daging yang dihasilkan daripada hirisan daging atau daging yang dikisar. Perkataan *Jerky* berasal daripada perkataan Sepanyol iaitu *Charqui* yang bermaksud daging kering. Produk salai ini banyak dimakan oleh rakyat Amerika Selatan dan Amerika Utara, serta masyarakat Cina di seluruh dunia (Luckose et al. 2017). Tujuan awal penghasilan salai adalah untuk mengelakkan pertumbuhan mikroorganisma pada salai dan meningkatkan hayat simpanan daging. Aktiviti air perlu dikawal pada julat 0.70 ke 0.85 untuk mencapai kestabilan jangka hayat produk makanan (Lim et al. 2014).

Menurut Silva et al. (2017), ayam salai adalah lebih mudah terdedah kepada pengoksidaan lipid kerana ayam salai mempunyai asid lemak tak tepu berbanding dengan daging salai. Kestabilan oksidatif lemak tak tepu menurun apabila kandungan asid lemak tak tepu meningkat (Zelenka et al. 2008). Kebanyakan produk pengoksidaan sekunder akan menyumbang kepada ciri sensori dan kesan biologi yang tidak diingini (Barriuso, Astiasarán & Ansorena 2013). Selain itu, nilai nutrisi dan ciri sensori produk juga akan dipengaruhi oleh pengoksidaan lipid (Domínguez et al. 2019).

Kestabilan oksidatif pada produk daging boleh dipertingkatkan dengan penambahan antioksidan. Antioksidan berfungsi untuk mengelakkan fasa perambatan dengan menderma radikal hidrogen kepada radikal bebas (Masuda et al. 2001). Namun, penggunaan antioksidan sintetik telah menimbulkan masalah keselamatan dan tidak dapat diterima oleh pengguna (Kumar et al. 2015). Oleh itu, antioksidan semula jadi mempunyai potensi yang lebih tinggi untuk meningkatkan kestabilan oksidatif produk. Tokoferol merupakan salah satu antioksidan semula jadi dan bersifat lipofilik yang disintesis oleh semua tumbuhan dan kandungan tokoferol dalam biji adalah tinggi (Sattler et al. 2004). Mekanisme tokoferol sebagai antioksidan adalah mendermakan hidrogen kepada radikal peroksil ( $LOO\cdot$ ) untuk membentuk radikal hidroperoksida

( $LOOH$ ) yang stabil (Landes 2005). Berdasarkan Peraturan-Peraturan Makanan Malaysia 1985, tokoferol merupakan antioksidan yang dibenarkan untuk ditambah ke dalam makanan tertentu termasuk produk daging. Had jumlah tokoferol untuk ditambahkan dalam produk daging (produk unggas) ialah 300 mg/kg yang disesuaikan mengikut jumlah lemak dalam daging dan tidak boleh digunakan bersama antioksidan lain (Manassis et al. 2020).

Justeru, objektif kajian ini adalah untuk menentukan kesan kepekatan tokoferol yang berbeza terhadap ciri fizikokimia dan mikrobiologi ayam salai. Analisis kandungan tokoferol, nilai peroksida (PV) dan penentuan spesies reaktif asid thiobarbiturik (TBARS) turut dijalankan untuk mengenal pasti tahap pengoksidaan ayam salai. Penilaian sensori juga dijalankan untuk menentukan kesan kepekatan tokoferol pada kualiti sensori ayam salai.

## BAHAN DAN KAEDAH

### BAHAN

Dada ayam yang dibeli dari Econsave, Kajang telah digunakan untuk menghasilkan ayam salai. Serbuk lada hitam dan serbuk lima rempah jenama Meriah, garam putih halus jenama *Double Swallow* keluaran Seng Hin Brothers Enterprises Sdn. Bhd. dan gula jenama PRAI telah digunakan dalam kajian ini. Tokoferol dan BHT gred makanan yang digunakan dalam kajian ini adalah diperolehi dari SIGMA (USA).

### PENYEDIAAN SAMPEL

Ayam salai telah disediakan dengan tiga formulasi yang berbeza kepekatan tokoferol iaitu 100, 200 dan 300 mg/kg. Kawalan positif dengan penambahan 100 mg/kg BHT dan kawalan negatif tanpa antioksidan turut disediakan. Dada ayam telah dikisar dan diperap bersama bahan lain iaitu gula (10%), garam (2%), serbuk lada hitam (0.25%) dan serbuk lima rempah (0.1%) selama tiga jam. Saiz kepingan tersebut adalah 10 cm

× 10 cm dengan ketebalannya 0.4 cm dan dikeringkan pada suhu 71 °C selama dua jam dalam ketuhar (Force Air Convention Oven, PROTECH Model FAC-350), berdasarkan saranan USDA dengan suhu produk harus mencapai 71 °C semasa pemrosesan. Selepas pemrosesan, sampel ayam salai dibungkus secara vakum, menggunakan plastik nilon.

#### UJIAN JANGKA HAYAT DIPERCEPAT (ASLT)

##### Penentuan nilai $Q_{10}$

Sebelum ujian jangka hayat dijalankan, nilai  $Q_{10}$  telah dikenal pasti dengan penyimpanan ayam salai kawalan negatif pada tiga suhu masing-masing pada 27 °C, 40 °C dan 50 °C selama 28 hari dengan menentukan nilai peroksida (PV) sepanjang tempoh penyimpanan. Data kinetik telah dianalisis menggunakan model matematik (Özilgen & Özilgen 1990) dan ditentukan menggunakan Persamaan (1) dan (2).

$$kt = \ln\left(1 - \frac{C}{C_{max}}\right) + \ln\left(\frac{x}{1-x}\right) \quad (1)$$

$$x = \frac{C}{C_{max}} \quad (2)$$

dengan k adalah pemalar kadar tindak balas; C adalah jumlah kepekatan pengoksidaan lipid;  $C_{max}$  adalah nilai parameter C maksimum yang dicapai pada akhir pengoksidaan lipid. Kinetik pengoksidaan lipid dinyatakan dalam persamaan autokatalitik dari segi pecahan lipid tidak teroksidasi,  $1 - x$  (dengan x dihitung seperti Persamaan (2)).

Kesan suhu pada pengoksidaan lipid ayam salai adalah seperti Persamaan Arrhenius (Persamaan 3) (Labuza 1984).

$$k = A_0 e^{-E_a/RT} \quad (3)$$

dengan k adalah pemalar kadar tindak balas;  $A_0$  adalah pemalar Arrhenius;  $E_a$  adalah tenaga pengaktifan (dihitung berdasarkan graf  $\ln(k)$  menentang  $1/T$ ); R adalah pemalar gas (8.315 J/°K mole) dan T adalah (suhu dalam unit °K).

Nilai  $Q_{10}$  adalah parameter tindak balas yang bergantung pada perubahan suhu dan ditentukan menggunakan Persamaan 4 (Jaimez-Ordaz et al. 2019; Waltzeko & Labuza 1976).

$$\ln Q_{10} = \frac{E_a}{R} \left( \frac{10}{T(T+10)} \right) \quad (4)$$

Nilai  $Q_{10}$  yang diperoleh (1.30) telah digunakan untuk menghitung jangka masa penyimpanan selama 4 minggu pada suhu 57 °C yang setanding dengan penuaan masa sebenar iaitu 61.5 hari.

##### Penentuan jangka hayat menggunakan kaedah ASLT

Tempoh masa penuaan dipercepat (AATD) untuk lima kumpulan ayam salai (kawalan positif, kawalan negatif serta ayam salai dengan tiga jenis perapan) yang disimpan pada suhu 57 °C ditentukan menggunakan formula dinyatakan oleh Sunwansri et al. (2009) seperti Persamaan (5) dan (6).

$$AAR = Q_{10}^{\frac{AAT-AT}{10}} \quad (5)$$

$$AATD = \frac{DRTA}{AAR} \quad (6)$$

dengan AAR adalah kadar penuaan dipercepat;  $Q_{10}$  adalah faktor penuaan dipercepat; AAT adalah suhu penuaan dipercepat (57 °C); AT adalah suhu bilik (27 °C); AATD adalah tempoh penuaan dipercepat dan DRTA adalah penuaan masa sebenar yang diinginkan (61.5 hari). Berdasarkan nilai  $Q_{10}$  yang diperoleh, nilai AAR yang didapati menggunakan Persamaan (5) adalah sebanyak 2.197. Dengan Persamaan (6) iaitu  $AATD = DRTA/AAR$ , didapati AATD adalah selama 28 hari. Oleh itu, ayam salai telah disimpan pada suhu 57 °C selama empat minggu untuk analisis ASLT dengan sama dengan penuaan sebenar iaitu selama 61.5 hari.

#### KANDUNGAN TOKOFEROL

Sebanyak 1 g ayam salai dimasukkan ke dalam tiub emparan yang mengandungi 45 mL etanol tulen. Seterusnya, sampel tersebut telah disonikasi selama 50 minit pada suhu bilik menggunakan alat sonikasi Soniclean 250HT (Thebarton, Australia) dengan kuasa sonikasi 120 W yang memberikan frekuensi sonikasi sebanyak 43 kHz (+/- 2kHz), untuk pengekstrakan tokoferol daripada sampel ke dalam etanol. Sampel tersebut kemudiannya dipipet ke kuvet dan serapan dibaca pada jarak gelombang 304 nm menggunakan spektrofotometer UV (Yilmaz & Ozturk 2004). Lengkung piawai telah disediakan dengan menggunakan tokoferol pada kepekatan antara 10 µg/mL dan 200 µg/mL (Hanif et al. 2020).

#### PENGEKSTRAKAN LIPID

Pengekstrakan lipid daripada ayam salai telah dilakukan dengan menggunakan kaedah Folch. Sebanyak 30 g ayam salai ditambah ke dalam 300 mL kloroform:metanol (1:2 v/v) dan dipanaskan ke suhu 60 °C selama 10 minit. Seterusnya, campuran sampel tersebut telah dihomogen dan diempar pada 1800 ×g selama 10 minit. Campuran tersebut telah ditapis dan 5 mL air suling turut ditambah ke tapisan tersebut untuk tujuan emparan kali kedua. Fasa organik ditapis melalui natrium sulfat anhidrat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dan dikumpulkan (Rahayu, Martono & Rohman 2018; Waskitho, Lukitaningsih & Rohman 2016). Ekstrak lipid telah disimpan pada suhu -40 °C untuk uji kaji nilai peroksida dan TBARS (Jin et al. 2012).

#### NILAI PEROKSIDA (PV)

Sebanyak 1 g daripada sampel lipid yang diekstrak telah dilarutkan dalam 30 mL kloroform:asid asetik (2:3). Kemudian, 0.5 mL kalium iodida tepu telah ditambah dan disimpan di tempat gelap selama 1 minit. Selepas itu, 30 mL air suling dan 0.5 mL 1% larutan kanji telah ditambahkan (Lekjing 2016). Campuran tersebut turut dititrat dengan 0.01 N larutan natrium thiosulfat (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sehingga warna biru hilang.

#### PENENTUAN SPESIES REAKTIF ASID THIOBARBITURIK (TBARS)

Sebanyak 0.4 g sampel lipid telah diletakkan di dalam tabung uji dengan penutup seterusnya 3 mL reagen TBA dan 17 mL larutan TCA-HCl ditambahkan. Campuran tersebut telah divorteks seterusnya direndamkan dalam air didih (100 °C) selama 30 minit untuk perkembangan warna. Selepas itu, tabung uji disejukkan ke suhu bilik dan 5 mL larutan tersebut divorteks bersama 5 mL kloroform selama 1 minit kemudiannya diempar pada kelajuan 1800 × g selama 10 minit. Fasa cecair telah diemparkan semula selama 10 minit di bawah keadaan yang sama (Wang & Xiong 2005). Serapan telah dibaca dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS (Model JENWAY 6100) pada jarak gelombang 532 nm. Lengkung piawai disediakan dengan menggunakan 1,1,3,3-tetraetoksipropana (TEP) pada kepekatan antara 0.000625 mg/kg ke 0.02 mg/kg.

#### ANALISIS FIZIKOKIMIA

##### *Nilai pH*

Nilai pH ayam salai telah diuji dengan menambah sebanyak 5 g sampel ke dalam 45 mL air suling dan dihomogen selama 60 saat, pada kelajuan 3000 rpm,

menggunakan penghomogen Ultra Turrax (IKA, Jerman). Meter pH (FiveEasy Plus FP20, Mettler Toledo, UK) telah dikalibrasi terlebih dahulu dengan larutan penimbal pH 4.01 dan pH 7.00 pada suhu bilik 25 °C. Semua sampel telah dikacau sebelum bacaan pH diambil (Isa et al. 2022).

##### *Warna*

Warna ayam salai telah dikaji menggunakan kolorimeter (CR-400 Chroma Meter, Konica Minolta Sensing Americas, USA) dengan sumber cahaya lampu xenon denyut dengan apertur 8 mm dan pengesan fotosel silikon. Kromameter telah dikalibrasi dengan jubin putih dahulu sebelum memulakan penentuan warna ayam salai. Warna ayam salai telah ditentukan dengan nilai L\* (kecerahan), a\* (kemerahan) dan b\* (kekuningan). Nilai L\* mengukur tahap kecerahan dengan julat gelap (0) hingga terang (100). Nilai positif a\* menunjukkan darjah kemerahan manakala nilai negatif a\* mewakili darjah kehijauan. Bagi nilai positif b\* menunjukkan darjah kekuningan dan nilai negatif menunjukkan darjah kebiruan (Ng et al. 2020).

##### *Aktiviti air*

Aktiviti air dalam ayam salai telah dikaji dengan meter aktiviti air (Novasina Lab Masteraw). Sebanyak 2 g ayam salai yang dikisar telah diletak pada cawan aluminium. Sampel tersebut perlu tidak melebihi garisan pada cawan aluminium. Alatan ini perlu dikalibrasi dengan larutan natrium klorida (NaCl) tidak tepu dengan aktiviti air 0.76 (Gan et al. 2020).

#### ANALISIS MIKROBIOLOGI - JUMLAH KIRAAN PLAT (TPC)

Teknik yang digunakan ialah kaedah sebaran piring dengan menggunakan Kiraan Plat Agar (PCA). Sebanyak 25 g ayam salai telah dihomogen bersama 225 mL Pencair Pemulihan Maksimum (MRD) dengan menggunakan pengaduk Stomacher 400 selama 60 saat. Pencairan telah dilakukan sehingga 10<sup>-2</sup>. Sebanyak 0.1 mL daripada setiap pencairan disebar ke seluruh permukaan agar. Piring Petri tersebut telah dieram pada suhu 37 °C selama 24 hingga 48 jam (Sorapukdee et al. 2016). Hanya plat yang mengandungi jumlah koloni antara 25 hingga 250 dihitung dalam unit pembentuk koloni bagi setiap gram sampel (CFU/g) (Loo et al. 2022).

##### *Penilaian sensori*

Penilaian sensori telah dilakukan menggunakan ujian hedonik berskala tujuh titik bersama borang soal selidik.

Seramai 30 panel telah dipilih secara rawak daripada pelajar UKM untuk menjalani ujian hedonik terhadap ayam salai yang mengandungi kandungan tokoferol yang berbeza. Atribut yang termasuk dalam ujian hedonik ini adalah warna, aroma, tekstur, kekunyahan, kekerasan dan penerimaan keseluruhan. Panel telah memilih skala daripada paling tidak suka (skala 1) hingga paling suka (skala 7) berdasarkan setiap atribut. Setiap panel telah diberikan 5 sampel ayam salai dengan saiznya 2.5 cm × 2.5 cm (Ramlan et al. 2021).

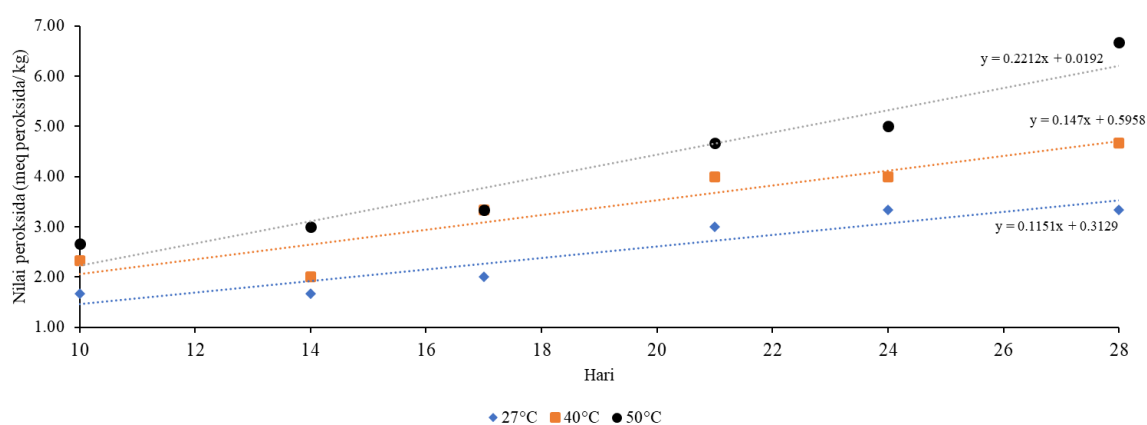
## HASIL DAN PERBINCANGAN

### NILAI $Q_{10}$

Dalam penentuan nilai  $Q_{10}$ , sampel ayam salai pada suhu 27 °C dan 40 °C tidak berbeza secara signifikan ( $p>0.05$ ) berbanding hari penyimpanan ke-28 dan hari ke-10 manakala sampel yang disimpan pada suhu 50 °C

telah menunjukkan perbezaan yang signifikan ( $p<0.05$ ) berbanding hari penyimpanan ke-28 dengan hari ke-10 seperti dalam Rajah 1. Peningkatan nilai peroksida ini menunjukkan bahawa kepekatan hidroperoksida iaitu produk primer pengoksidaan lipid telah meningkat sepanjang penyimpanan.

Berdasarkan Jadual 1, didapati bahawa kadar pemalar tertib sifar iaitu nilai k bagi ujian peroksida telah meningkat dengan peningkatan pada suhu 27 °C, 40 °C dan 50 °C. Dengan menggunakan nilai peroksida yang diperolehi, nilai tenaga pengaktifan telah dihitung untuk dimasukkan dalam Persamaan (4). Daripada pengiraan tersebut, didapati nilai  $Q_{10}$  adalah 1.30. Nilai yang didapati adalah lebih rendah daripada seperti dalam kajian Labuza (1982) dengan julatnya antara 1.5 ke 2. Keadaan ini berkemungkinan bahawa hidroperoksida telah bertindak balas untuk menghasilkan produk sekunder atau kesan pembungkusan vakum kepada produk seperti dalam kajian Gibbs (2015).



RAJAH 1. Graf nilai peroksida menentang hari penyimpanan untuk penentuan kadar pemalar (k)

JADUAL 1. Nilai kadar pemalar pada suhu yang berbeza

Suhu (°C)	27	40	50
Pemalar kadar tindak balas (k)	0.1151	0.1470	0.2212

## UJIAN JANGKA HAYAT DIPERCEPAT (ASLT)

Penyimpanan pada suhu yang lebih tinggi daripada suhu bilik telah mempercepatkan perubahan fizikal dan kimia dalam ayam salai pada masa yang singkat. Daripada ujian nilai peroksida yang dikaji, didapati kerentanan ayam salai terhadap pengoksidaan lipid. Oleh itu, ujian ASLT dipercayai memberikan pada maklumat yang tepat terhadap pengoksidaan lipid dalam ayam salai yang mengandungi tokoferol, BHT dan tanpa antioksidan.

Ayam salai mempunyai jangka hayat lebih daripada 6 bulan pada kandungan kelembapan 15% ke 20% (Ndia, Ina & Kaka 2021) manakala bagi produk salai yang dihasilkan di industri, jangka hayat biasanya adalah selama 2 tahun kerana ditambah dengan pengawet (Zdanowska-Saśiadek et al. 2022). Menurut USDA-FSIS, hayat simpanan bagi produk salai yang dibungkus secara komersial adalah selama 12 bulan manakala salai jenis buatan sendiri adalah selama 1 hingga 2 bulan. Berdasarkan kajian ini, nilai peroksida dan TBARS bagi ayam salai yang sama dengan penyimpanan sebenar 61.5 hari menunjukkan bahawa ayam salai yang ditambah tokoferol masih mempunyai nilai peroksida dan TBARS yang boleh diterima dan dijangka mempunyai jangka hayat yang lebih panjang, tetapi tidak dikaji atas sebab limitasi kajian.

## AKTIVITI AIR

Jadual 2 menunjukkan bahawa terdapat sedikit fluktuasi pada aktiviti air ayam salai. Aktiviti air ayam salai meningkat sepanjang tempoh penyimpanan pada ketigatiga suhu, terutamanya pada hari 17 ke hari 28 yang menunjukkan peningkatan yang signifikan ( $p < 0.05$ ). Namun, pengiraan  $Q_{10}$  tidak berdasarkan aktiviti air kerana objektif kajian adalah untuk mengenal pasti kesan antioksidan tokoferol terhadap ayam salai. Aktiviti air ayam salai dicadangkan berada dalam julat 0.60 ke 0.85 (USFDA 2014). Menurut kajian Kim et al. (2021), dinyatakan bahawa peningkatan pada aktiviti air akan mengaktifkan pengoksidaan lipid. Pada aktiviti air yang rendah, pengoksidaan lipid juga rendah mungkin disebabkan pergerakan logam peralihan yang tidak aktif (Choe & Oh 2013). Dalam kajian ini, peningkatan aktiviti air telah menunjukkan bahawa pengoksidaan lipid yang tinggi seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.

## KANDUNGAN TOKOFEROL

Semua sampel ayam salai telah menunjukkan penurunan kandungan tokoferol dari minggu penyimpanan pertama dan minggu penyimpanan keempat seperti dalam Rajah 2. Berdasarkan kajian Azzi (2007), kepekatan alfa tokoferol plasma dan tisu mungkin berkurang di bawah keadaan penghasilan radikal yang tinggi dan produk pengoksidaannya akan diuraikan dan ditangkap oleh alfa tokoferol yang bertindak sebagai antioksidan.

JADUAL 2. Aktiviti air ayam salai pada suhu dan masa penyimpanan yang berbeza

Hari	Suhu (°C)		
	27	40	50
7	0.680±0.03 <sup>cde</sup>	0.666±0.00 <sup>dc</sup>	0.691±0.01 <sup>cde</sup>
10	0.677±0.02 <sup>cde</sup>	0.690±0.01 <sup>cde</sup>	0.707±0.01 <sup>bde</sup>
14	0.641±0.02 <sup>c</sup>	0.662±0.02 <sup>dc</sup>	0.681±0.02 <sup>cde</sup>
17	0.669±0.04 <sup>dc</sup>	0.661±0.02 <sup>dc</sup>	0.640±0.01 <sup>c</sup>
21	0.751±0.05 <sup>abc</sup>	0.729±0.06 <sup>abcd</sup>	0.717±0.01 <sup>abcde</sup>
28	0.773±0.02 <sup>ab</sup>	0.797±0.04 <sup>a</sup>	0.723±0.03 <sup>abcd</sup>

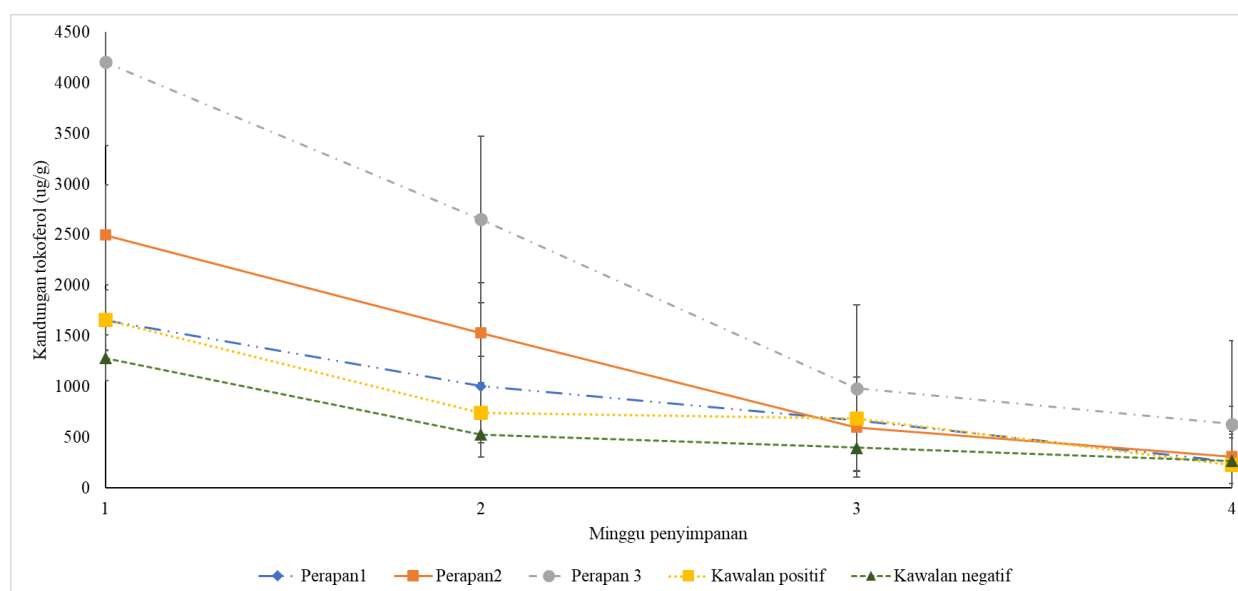
Abjad berbeza<sup>(a-c)</sup> menunjukkan perbezaan signifikan ( $p < 0.05$ )

Menurut Higgins et al. (1998), kandungan alfa tokoferol akan menurun apabila tokoferol menjadi mekanisme pertahanan utama antioksidan. Walaupun tokoferol adalah antioksidan untuk menentang pengoksidaan lipid pengantaraan radikal namun kandungannya menurun dengan cepat kerana tokoferol akan teroksidasi apabila di bawah tekanan oksidatif yang lama seperti suhu yang tinggi atau tidak dijana semula oleh Vitamin C (Leskovec et al. 2018). Oleh itu, penurunan kandungan tokoferol pada setiap minggu penyimpanan boleh dijelaskan dengan sifat dan mekanisme tokoferol yang menghalang pengoksidaan. Menurut Xiong et al. (2020), suhu merupakan faktor penting yang mempengaruhi mekanisme pertahanan antioksidan. Selain itu, kajian Nystrom et al. (2007) juga menyatakan bahawa antioksidan ini agak mudah meruap dan tidak boleh menghalang pengoksidaan pada suhu tinggi untuk jangka masa yang lama. Ini boleh dijelaskan dengan kepekatan radikal dalam produk tersebut. Menurut kajian Kumar et al. (2015) bahawa apabila kepekatan antioksidan berada atas paras ambang, jumlah radikal bebas akan berkekal malar. Sebaliknya, kepekatan antioksidan yang di bawah paras

ambang akan meningkatkan kepekatan radikal dan molekul antioksidan yang selebihnya akan digunakan dalam mekanisme pertahanan pengoksidaan. Oleh itu, penyimpanan ayam salai pada 57 °C selama empat minggu boleh dinyatakan telah meningkatkan tekanan oksidatif dalam ayam salai dan mengaktifkan mekanisme pertahanan tokoferol.

#### NILAI PEROKSIDA (PV)

Berdasarkan Jadual 3, julat nilai peroksida adalah antara 1.333 meq peroksida/kg hingga 7.333 meq peroksida/kg sepanjang empat minggu penyimpanan. Nilai peroksida bagi semua sampel tidak menunjukkan perbezaan yang signifikan ( $p > 0.05$ ) pada setiap minggu penyimpanan. Menurut kajian Rezaeifar et al. (2020), dinyatakan bahawa nilai peroksida yang dibenarkan dalam daging adalah 10-20 meq peroksida/kg dan nilai PV semua sampel ayam salai dalam kajian ini adalah dalam had tersebut. Didapati nilai peroksida tidak menunjukkan trend pengoksidaan sampel ayam salai. Oleh itu, analisis TBARS dijalankan untuk menentukan pengoksidaan sekunder sampel ayam salai.



Perapan 1= 100 mg/kg tokoferol; Perapan 2= 200 tokoferol; Perapan 3= 300 mg/kg tokoferol; Kawalan positif= 100 mg/kg BHT; Kawalan negatif= tanpa antioksidan

RAJAH 2. Graf kandungan tokoferol ayam salai menentang minggu penyimpanan

JADUAL 3. Nilai peroksida ayam salai mengikut kepekatan tokoferol dan masa penyimpanan yang berbeza

	Nilai peroksida (meq peroksida/kg)			
	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Perapan 1	2.667±1.15 <sup>ab</sup>	3.333±1.15 <sup>ab</sup>	4.000±0.00 <sup>ab</sup>	4.667±1.15 <sup>ab</sup>
Perapan 2	2.667±1.15 <sup>ab</sup>	3.333±1.15 <sup>ab</sup>	4.000±2.00 <sup>ab</sup>	5.333±2.31 <sup>ab</sup>
Perapan 3	1.333±1.15 <sup>b</sup>	2.667±1.15 <sup>ab</sup>	3.333±1.15 <sup>ab</sup>	5.333±1.15 <sup>ab</sup>
Kawalan positif	2.000±2.00 <sup>b</sup>	2.000±0.00 <sup>b</sup>	3.333±1.15 <sup>ab</sup>	5.333±2.31 <sup>ab</sup>
Kawalan negatif	3.333±1.31 <sup>ab</sup>	5.333±1.15 <sup>ab</sup>	6.000±2.00 <sup>ab</sup>	7.333±3.06 <sup>a</sup>

Abjad berbeza<sup>(a-b)</sup> pada analisis yang sama menunjukkan perbezaan signifikan ( $p < 0.05$ ).

Perapan 1= 100 mg/kg tokoferol; Perapan 2= 200 tokoferol; Perapan 3= 300 mg/kg tokoferol; Kawalan positif= 100 mg/kg BHT; Kawalan negatif= tanpa antioksidan

#### PENENTUAN SPESIES REAKTIF ASID THIOBARBITURIK (TBARS)

Produk primer pengoksidaan akan terurai ke produk sekunder apabila pengoksidaan berlaku pada kadar yang cepat (Gray & Monahan 1992). Berdasarkan Rajah 3, nilai TBARS bagi sampel perapan 3 adalah terendah manakala sampel kawalan negatif mencatatkan nilai TBARS tertinggi berbanding dengan sampel lain. Semua sampel telah menunjukkan peningkatan nilai TBARS pada minggu keempat berbanding dengan minggu pertama kecuali sampel kawalan positif. Nilai TBARS bagi sampel perapan 1 meningkat daripada 0.26 mg/kg sampel pada minggu penyimpanan pertama ke 0.35 mg MDA/kg sampel pada minggu penyimpanan keempat, sampel perapan 2 pula mencapai nilai 0.31 mg MDA/kg sampel pada minggu keempat manakala sampel perapan 3 mempunyai nilai TBARS yang paling rendah pada minggu keempat iaitu 0.23 mg MDA/kg sampel. Nilai TBARS bagi sampel kawalan positif adalah 0.26 mg MDA/kg sampel dan sampel kawalan adalah 0.39 mg MDA/kg sampel pada minggu keempat. Hasil kajian ini adalah menyamai hasil kajian Ipek et al. (2019) dan Mazur-Kuśnirek et al. (2019) bahawa penambahan tokoferol telah menyumbang kepada nilai TBARS yang rendah berbanding dengan kawalan negatif dalam produk sosej dan daging ayam. Tokoferol sebagai antioksidan fenolik mempunyai aktiviti pendermaan radikal hidrogen yang tinggi dan kehadiran kumpulan hidroksil aromatik adalah penentu penting dalam pendermaan hidrogen dan penghapusan radikal bebas (Lee et al. 2020). Oleh itu, hasil kajian ini telah menunjukkan sifat

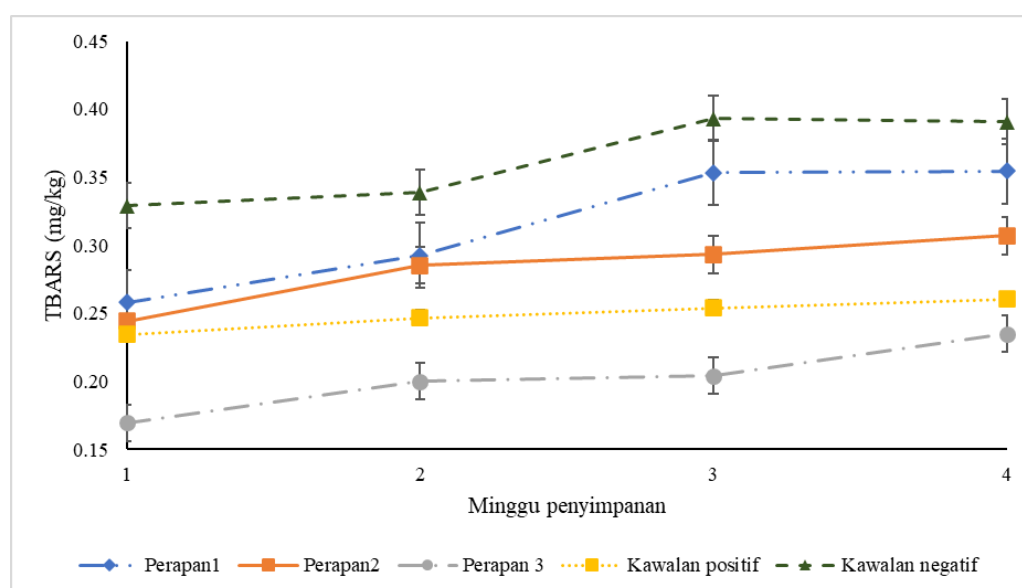
antioksidanya dengan penyusutan oksigen singlet dan pemecahan tindak balas rantai radikal pada ayam salai (Nacak et al. 2019).

Menurut kajian Moemeni dan Yazdanpanah (2020), dinyatakan bahawa 0.2-0.6 mg MDA/kg telah menyumbang kepada ketengikan pada daging lembu dan sampel tersebut kurang diterima oleh panel. Selain itu, nilai ambang sebanyak 2 mg MDA/kg telah dilaporkan boleh diterima dalam daging lembu (Campo et al. 2006). Selain itu, kajian Ferreira et al. (2016) menyatakan bahawa kebanyakan kajian menunjukkan bahawa penerimaan nilai TBARS adalah antara 2 ke 3 mg MDA/kg sampel. Kajian ini menunjukkan bahawa nilai TBARS ayam salai yang sama dengan penyimpanan sebenar iaitu 61.5 hari masih berada dalam had yang boleh diterima. Gabungan tokoferol dengan vitamin C boleh diaplikasikan untuk memberikan kesan sinergistik dalam mengurangkan penghasilan sebatian TBARS dalam tisu otot (Djenane et al. 2002; Fiego et al. 2004).

#### NILAI pH

Berdasarkan Rajah 4, julat pH bagi setiap sampel sepanjang penyimpanan empat minggu tersebut adalah 4.72-5.89. Sampel kawalan negatif telah mencatatkan nilai pH terendah secara signifikan ( $p < 0.05$ ) dengan bacaan 5.41±0.01 pada minggu penyimpanan kedua, 5.04±0.01 pada minggu penyimpanan ketiga dan 4.72±0.00 pada minggu penyimpanan yang keempat berbanding dengan sampel yang mengandungi tokoferol dan BHT.





Perapan 1= 100 mg/kg tokoferol; Perapan 2= 200 tokoferol; Perapan 3= 300 mg/kg tokoferol; Kawalan positif= 100 mg/kg BHT; Kawalan negatif= tanpa antioksidan

RAJAH 3. Nilai TBARS ayam salai sepanjang tempoh penyimpanan

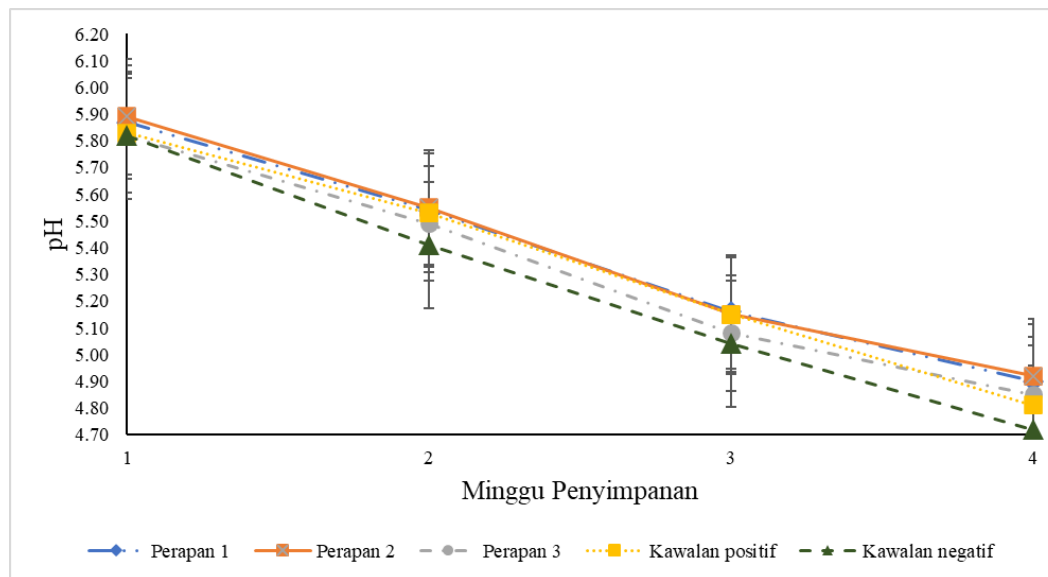
Dalam empat minggu penyimpanan, didapati semua sampel ayam salai telah menjadi lebih berasid. Hasil kajian ini adalah sama dengan kajian Chen et al. (2019) dan Wen et al. (2021) bahawa pH sampel turun semasa proses penyimpanan. Penurunan pH adalah kerana kehadiran asid lemak bebas seperti yang dinyatakan dalam kajian Inchingolo, Cardenia dan Rodriguez-Estrada (2013) bahawa lipolisis akan menyumbang kepada sifat berasid. Menurut kajian Atinafu dan Bedemo (2011), asid lemak biasanya adalah dalam bentuk trigliserida dan asid lemak akan dihidrolisis menjadi asid lemak bebas semasa penyimpanan sebelum atau selepas pemprosesan. Kajian Mahesar et al. (2014) juga menyatakan bahawa tahap asid lemak bebas bergantung pada masa, suhu dan kandungan kelembapan. Berdasarkan nilai peroksida dan TBARS dalam kajian ini, pengoksidaan lipid dalam ayam salai semakin meningkat sepanjang penyimpanan. Ini telah menunjukkan bahawa mekanisme pertahanan tokoferol semakin menurun disebabkan kandungan tokoferol rendah yang tertinggal dalam ayam salai. Kumpulan berfungsi asid karboksilik pada asid lemak memberikan sifat berasid. Oleh itu, ayam salai menjadi lebih berasid kerana jumlah asid lemak bebas meningkat sepanjang penyimpanan.

#### WARNA

Berdasarkan Jadual 4, nilai kecerahan ( $L^*$ ) telah menurun

pada minggu keempat penyimpanan berbanding dengan minggu pertama penyimpanan. Nilai kecerahan sampel perapan 1 telah menurun sebanyak 17.81 berbanding minggu penyimpanan keempat dengan minggu penyimpanan pertama, sampel perapan 2 pula menurun sebanyak 17.11, manakala penurunan sebanyak 13.41, 16.09 dan 12.72 masing-masing bagi sampel perapan 3, sampel kawalan positif dan sampel kawalan negatif. Hasil ini menunjukkan bahawa warna sampel ayam salai menjadi semakin gelap semasa proses penyimpanan. Hasil ini adalah sama dengan kajian Fernandez-Lopez et al. (2005) dalam bebola daging lembu yang disimpan pada suhu 8 °C selama 12 hari. Hasil ini juga disokong dengan kajian Heitschmidt (2015) bahawa kegelapan produk mungkin disebabkan oleh tindak balas Maillard iaitu tindak balas antara gula penurun dan kumpulan amino. Tindak balas Maillard ini akan berlaku pada kadar cepat dalam aktiviti air perantaraan iaitu dari 0.5 ke 0.8 (Ruan et al. 2018) dengan aktiviti ayam salai dalam kajian ini adalah dalam julat tersebut.

Didapati tiada perbezaan signifikan ( $p > 0.05$ ) dalam nilai kemerahan ( $a^*$ ) antara sampel pada setiap minggu penyimpanan. Namun, nilai  $a^*$  untuk semua sampel menunjukkan penurunan secara signifikan ( $p < 0.05$ ) pada minggu kedua berbanding minggu pertama dan minggu kedua berbanding minggu ketiga. Semua sampel telah menunjukkan pengurangan kemerahan



Perapan 1= 100 mg/kg tokoferol; Perapan 2= 200 tokoferol; Perapan 3= 300 mg/kg tokoferol; Kawalan positif= 100 mg/kg BHT; Kawalan negatif= tanpa antioksidan

RAJAH 4. pH ayam salai pada minggu penyimpanan yang berbeza

sepanjang penyimpanan yang juga dilaporkan oleh Silva et al. (2018). Keadaan ini berkemungkinan akibat hubungan pergantungan antara pengoksidaan lipid dan pengoksidaan warna dalam daging (Zhang et al. 2016). Pengoksidaan pigmen boleh memangkinkan pengoksidaan lipid dan radikal bebas yang dihasilkan akan mengoksidakan atom besi atau menyahtukarkan molekul mioglobin dan mengubah warna produk secara negatif (Selani et al. 2011).

Bagi nilai penentuan kekuningan ( $b^*$ ) pula, semua sampel adalah bernilai positif dan telah menunjukkan perbezaan signifikan ( $p < 0.05$ ) berbanding minggu penyimpanan pertama dengan minggu penyimpanan keempat. Sampel perapan 1 telah menurun dari 12.82 pada minggu pertama kepada 3.09 pada minggu penyimpanan keempat, sampel perapan 2 pula menurun daripada 19.32 kepada 3.19 dan sampel perapan 3 menurun daripada 17.38 kepada 4.08. Bagi sampel kawalan positif, kekuningannya telah menurun sebanyak 13.83 daripada nilai 17.34 pada minggu pertama manakala sampel kawalan negatif menurun sebanyak 11.06 kepada 4.26. Penurunan nilai  $b^*$  ini adalah serupa dengan kajian Kong et al. (2011), Lee et al. (2017) dan Yang dan Chen (1993). Nilai  $b^*$  positif pada setiap minggu penyimpanan mungkin disebabkan tindak balas Maillard. Merujuk kepada kajian Cui dan Decker (2016), tindak balas Maillard akan berlaku pada kehadiran

karbonil (gula penurunan, asid askorbik) dan produk aldehid daripada pengoksidaan lipid dan kumpulan amina bebas (lisin).

#### AKTIVITI AIR

Berdasarkan Rajah 5, aktiviti air sampel perapan 2 dan sampel kawalan negatif telah menunjukkan perbezaan yang signifikan ( $p < 0.05$ ) berbanding minggu penyimpanan pertama ke minggu keempat. Aktiviti sampel perapan 1 telah meningkat daripada 0.645 kepada 0.710, sampel perapan 2 meningkat daripada 0.639 kepada 0.727 dan sampel perapan 3 meningkat daripada 0.634 kepada 0.679 sepanjang penyimpanan. Bagi sampel kawalan positif, aktiviti airnya telah meningkat daripada 0.630 kepada 0.679 manakala sampel kawalan negatif meningkat daripada 0.636 kepada 0.755 dari minggu penyimpanan pertama ke minggu penyimpanan keempat. Menurut Nielsen (2005), aktiviti air adalah bergantung pada suhu dan perubahan aktiviti air adalah kerana berlakunya perubahan pada pengikatan air, penceraian air, keterlarutan zat terlarut dalam air atau keadaan matriks. Selain itu, kajian Syamaladevi et al. (2016) juga menyatakan bahawa suhu tinggi mengganggu ikatan hidrogen antara air dan molekul hidrofobik mengakibatkan pertambahan bilangan molekul air bebas dan menyumbang kepada peningkatan aktiviti air.

JADUAL 4. Warna ayam salai mengikut kepekatan tokoferol dan masa penyimpanan yang berbeza

Parameter	Sampel	Minggu			
		1	2	3	4
L*	Perapan 1	35.94±2.21 <sup>ab</sup>	32.17±1.20 <sup>bc</sup>	18.99±0.84 <sup>gh</sup>	18.13±0.61 <sup>h</sup>
	Perapan 2	35.94±1.55 <sup>ab</sup>	28.50±0.94 <sup>cd</sup>	20.34±2.66 <sup>fgh</sup>	18.83±2.56 <sup>gh</sup>
	Perapan 3	37.57±2.17 <sup>a</sup>	24.43±0.84 <sup>def</sup>	22.92±2.55 <sup>efgh</sup>	22.16±2.21 <sup>efgh</sup>
	Kawalan positif	34.53±0.68 <sup>ab</sup>	25.92±0.71 <sup>de</sup>	21.35±0.60 <sup>efgh</sup>	18.44±1.27 <sup>h</sup>
	Kawalan negatif	33.69±0.51 <sup>ab</sup>	24.29±0.77 <sup>def</sup>	23.68±1.86 <sup>defg</sup>	20.97±2.13 <sup>efgh</sup>
	a*	Perapan 1	10.41±1.21 <sup>ab</sup>	6.00±1.00 <sup>e</sup>	1.60±0.44 <sup>d</sup>
Perapan 2		12.66±1.37 <sup>a</sup>	8.43±0.49 <sup>bc</sup>	1.86±0.75 <sup>d</sup>	1.12±0.68 <sup>d</sup>
Perapan 3		11.54±0.55 <sup>a</sup>	7.11±0.75 <sup>e</sup>	2.48±0.06 <sup>d</sup>	1.37±0.83 <sup>d</sup>
Kawalan positif		12.30±0.64 <sup>a</sup>	7.02±1.70 <sup>e</sup>	2.23±1.19 <sup>d</sup>	0.78±0.35 <sup>d</sup>
Kawalan negatif		11.88±0.49 <sup>a</sup>	6.02±0.56 <sup>e</sup>	1.96±0.56 <sup>d</sup>	1.41±0.24 <sup>d</sup>
b*		Perapan 1	12.82±0.51 <sup>cd</sup>	9.90±2.05 <sup>def</sup>	3.88±1.13 <sup>i</sup>
	Perapan 2	19.32±1.64 <sup>a</sup>	11.01±0.52 <sup>dc</sup>	4.17±0.54 <sup>i</sup>	3.19±0.71 <sup>i</sup>
	Perapan 3	17.38±1.22 <sup>ab</sup>	8.08±0.17 <sup>efg</sup>	5.10±1.40 <sup>ghi</sup>	4.08±0.09 <sup>i</sup>
	Kawalan positif	17.34±1.06 <sup>ab</sup>	9.10±0.60 <sup>ef</sup>	4.67±0.48 <sup>i</sup>	3.51±0.44 <sup>i</sup>
	Kawalan negatif	15.32±1.22 <sup>bc</sup>	7.83±0.78 <sup>fgh</sup>	4.83±1.72 <sup>hi</sup>	4.26±0.92 <sup>i</sup>

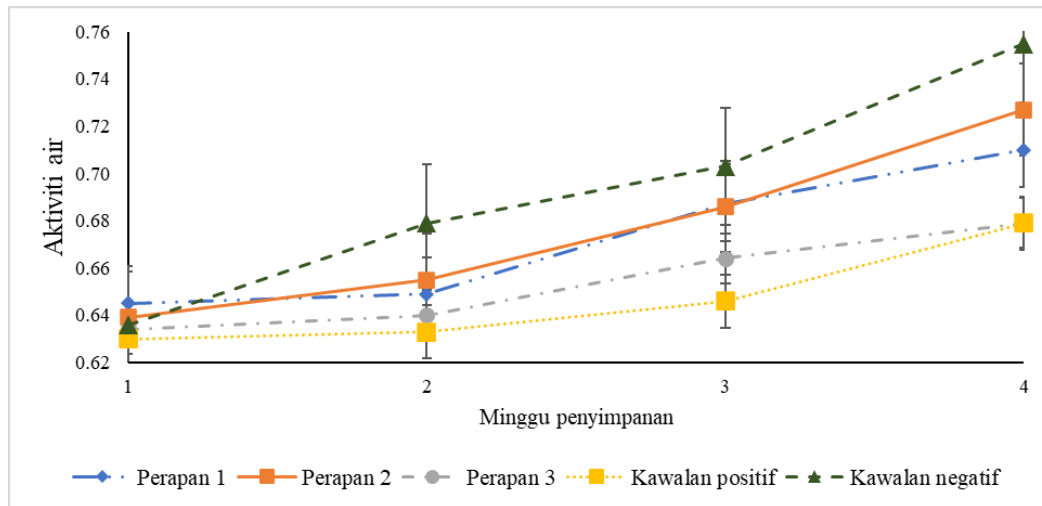
Abjad berbeza<sup>(a-i)</sup> pada parameter yang sama menunjukkan perbezaan signifikan ( $p < 0.05$ )

Perapan 1= 100 mg/kg tokoferol; Perapan 2= 200 tokoferol; Perapan 3= 300 mg/kg tokoferol; Kawalan positif= 100 mg/kg BHT; Kawalan negatif= tanpa antioksidan  
Kata kunci: L\*=keterangan, a\*=kemarahan, b\*=kekuningan

Kehadiran molekul air bebas dalam makanan menyokong pertumbuhan mikrob, tindak balas kimia serta enzim dan proses kemerosotan (Cheng et al. 2015). Bagi makanan kelembapan perantaraan, potensi kimianya adalah dipengaruhi oleh kandungan garam selain bergantung pada kepekatan zat terlarut lain (Martuscelli et al. 2017). Oleh itu, apabila ikatan hidrofobik dan hidrofilik dalam produk daging terurai, air yang terikat akan terbebas dan menyumbang kepada peningkatan aktiviti air.

#### JUMLAH KIRAAN PLAT

Jadual 5 merupakan jumlah kiraan plat pada sampel ayam salai selama empat minggu penyimpanan. Pertumbuhan mikroorganisma pada semua sampel ayam salai sepanjang empat minggu adalah masih dalam had pertumbuhan mikroorganisma bagi produk daging iaitu  $10^6$  cfu/g (Peraturan-Peraturan Makanan Malaysia 1985). Hasil ini boleh dijelaskan dengan penurunan pH pada produk daging dapat mengelakkan atau melambatkan pertumbuhan kulat (Hong et al. 2012). Selain itu,



Perapan 1= 100 mg/kg tokoferol; Perapan 2= 200 tokoferol; Perapan 3= 300 mg/kg tokoferol; Kawalan positif= 100 mg/kg BHT; Kawalan negatif= tanpa antioksidan

RAJAH 5. Aktiviti air ayam salai pada minggu penyimpanan yang berbeza

JADUAL 5. Jumlah kiraan plat bagi setiap sampel pada minggu penyimpanan yang berbeza

Sampel	Jumlah kiraan plat (cfu/g)			
	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Perapan 1	5	$1.0 \times 10^2$	25	$2.2 \times 10^3$
Perapan 2	15	30	5	$3.6 \times 10^2$
Perapan 3	0	60	0	$1.4 \times 10^2$
Kawalan positif	65	15	30	$1.8 \times 10^3$
Kawalan negatif	35	20	$1.0 \times 10^3$	$5.5 \times 10^2$

Kata kunci: Perapan 1= 100 mg/kg tokoferol; Perapan 2= 200 tokoferol; Perapan 3= 300 mg/kg tokoferol; Kawalan positif= 100 mg/kg BHT; Kawalan negatif= tanpa antioksidan

kemungkinan pertumbuhan bakteria jenis asidofilik agak rendah kerana bakteria tersebut memerlukan pH 3 atau lebih rendah (Leanwala 2022). Antara spesies mikrob yang berkemungkinan untuk tumbuh pada produk daging dibawah keadaan anaerobik adalah *Clostridium* spp., *Alcaligenes*, *Proteus* dan juga bakteria asid laktik.

PENILAIAN SENSORI

Jadual 6 menunjukkan min skor bagi atribut warna bagi lima ayam salai yang disediakan dengan perbezaan kandungan tokoferol. Secara keseluruhan, hasil analisis ANOVA menunjukkan tiada perbezaan yang signifikan ( $p > 0.05$ ) antara semua sampel bagi atribut warna, aroma,

tekstur, kekerasan dan kekunyahan. Secara ringkasnya, penambahan tokoferol pada sampel ayam salai tidak menunjukkan perbezaan dan panel dapat menerima ayam salai yang ditambah tokoferol.

Daripada Jadual 6, didapati sampel perapan 3 dan kawalan positif mempunyai jumlah min skor semua atribut yang lebih tinggi berbanding sampel lain. Ini menunjukkan sampel perapan 3 mempunyai potensi

untuk dibangunkan sebagai produk ayam salai dengan kestabilan oksidatif yang tinggi. Formulasi perapan 3 juga memenuhi keperluan Peraturan-Peraturan Makanan Malaysia 1985 dengan tokoferol merupakan antioksidan yang dibenarkan untuk ditambah kepada makanan tertentu termasuk produk daging dengan had jumlah tokoferol sebanyak 300 mg/kg.

JADUAL 6. Skor hedonik bagi lima sampel ayam salai yang mempunyai kandungan tokoferol yang berbeza

	Perapan 1	Perapan 2	Perapan 3	Kawalan positif	Kawalan negatif
Warna	4.43±1.22 <sup>a</sup>	4.40±1.33 <sup>a</sup>	4.87±1.50 <sup>a</sup>	4.70±1.42 <sup>a</sup>	4.10±1.16 <sup>a</sup>
Aroma	4.90±1.12 <sup>a</sup>	4.83±1.09 <sup>a</sup>	4.60±1.19 <sup>a</sup>	4.70±1.12 <sup>a</sup>	4.53±1.04 <sup>a</sup>
Tekstur	3.90±1.63 <sup>a</sup>	4.17±1.46 <sup>a</sup>	4.73±1.48 <sup>a</sup>	4.87±1.46 <sup>a</sup>	4.73±1.34 <sup>a</sup>
Kekunyahan	4.30±1.73 <sup>a</sup>	4.40±1.45 <sup>a</sup>	4.90±1.54 <sup>a</sup>	5.20±1.21 <sup>a</sup>	4.97±1.25 <sup>a</sup>
Kekerasan	4.13±1.78 <sup>a</sup>	4.17±1.60 <sup>a</sup>	5.17±1.44 <sup>a</sup>	4.93±1.34 <sup>a</sup>	4.80±1.27 <sup>a</sup>
Penerimaan keseluruhan	4.53±1.61 <sup>a</sup>	4.60±1.13 <sup>a</sup>	4.80±1.49 <sup>a</sup>	5.07±1.05 <sup>a</sup>	4.83±1.15 <sup>a</sup>

Abjad superskrip yang sama menunjukkan tiada perbezaan signifikan ( $p > 0.05$ )

Kata kunci: Perapan 1= 100 mg/kg tokoferol; Perapan 2= 200 tokoferol; Perapan 3= 300 mg/kg tokoferol; Kawalan positif= 100 mg/kg BHT; Kawalan negatif= tanpa antioksidan

### Soal Selidik

Daripada 30 panel, sebanyak 30% adalah lelaki dan 70% adalah perempuan yang berumur antara 20 tahun dan 25 tahun berbangsa Melayu, Cina dan India. Menurut soal selidik yang dijalankan, majoritinya iaitu 60% merupakan penggemar ayam salai. Daripada panel tersebut, sebanyak 40% panel tidak pernah mencuba ayam salai dan selain daripadanya akan makan ayam salai sebulan sekali. Hasil soal selidik ini menunjukkan kebanyakan panel iaitu sebanyak 73% mengutamakan faktor rasa semasa memilih ayam salai. Seterusnya, keutamaan yang dipertimbangkan adalah jenama dengan 13% diikuti dengan faktor harga serta faktor lain seperti tempat memperoleh dengan peratusan 7%. Semua daripada panel tersebut tidak pernah mengambil produk daging yang ditambah tokoferol. Hal ini mungkin disebabkan panel tidak sedar bahawa produk yang diambil sebenarnya mengandungi tokoferol kerana terdapat produk yang ditambah dengan minyak sayuran atau punca lain yang mengandungi tokoferol.

### KESIMPULAN

Daripada kajian ini, didapati nilai peroksida dan TBARS bagi sampel ayam salai yang ditambah dengan tokoferol adalah lebih rendah berbanding dengan kawalan negatif iaitu sampel tanpa antioksidan dan tidak berbeza secara signifikan berbanding kawalan positif (ditambah BHT). Ini telah menunjukkan tokoferol mempunyai sifat antioksidan dalam ayam salai, setanding dengan antioksida sintetik. Warna ayam salai telah menjadi gelap dan keamatan kemerahan dan kekuningan berkurang sepanjang penyimpanan manakala aktiviti air ayam salai telah meningkat dan telah menjadi berasid. Penilaian sensori menunjukkan penerimaan pengguna terhadap produk ayam salai yang ditambah tokoferol tidak berbeza berbanding kawalan negatif dan positif. Ini menunjukkan penambahannya tidak merubah tahap penerimaan pengguna terhadap ciri sensori ayam salai. Secara ringkasnya, penambahan tokoferol sebagai antioksidan dapat mengurangkan tekanan oksidatif dan meningkatkan kestabilan lipid ayam salai. Perapan 3 iaitu

dengan 300 mg/kg tokoferol telah menunjukkan potensi tinggi untuk dibangunkan sebagai produk ayam salai dengan kestabilan oksidatif yang tinggi.

#### PENGHARGAAN

Penyelidikan ini disokong oleh Geran Universiti Penyelidikan (GUP-2018-114) yang diperuntukkan oleh Universiti Kebangsaan Malaysia. Setinggi-tinggi penghargaan kepada Jabatan Sains Makanan dan Pusat Inovasi Teknologi Manisan (MANIS), Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia serta Wing Heong Food Industries Sdn. Bhd. yang memperuntukkan kemudahan infrastruktur yang diperlukan untuk projek penyelidikan ini.

#### RUJUKAN

- Atinafu, D.G. & Bedemo, B. 2011. Estimation of total free fatty acid and cholesterol content in some commercial edible oils in Ethiopia, Bahir DAR. *Journal of Cereals Oilseeds* 2(5): 71-76.
- Azzi, A. 2007. Molecular mechanism of  $\alpha$ -tocopherol action. *Free Radical Biology Medicine* 43(1): 16-21.
- Barriuso, B., Astiasarán, I. & Ansorena, D. 2013. A review of analytical methods measuring lipid oxidation status in foods: A challenging task. *European Food Research Technology* 236(1): 1-15.
- Campo, M., Nute, G., Hughes, S., Enser, M., Wood, J. & Richardson, R. 2006. Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science* 72(2): 303-311.
- Chen, J., Hu, Y., Wen, R., Liu, Q., Chen, Q. & Kong, B. 2019. Effect of NaCl substitutes on the physical, microbial and sensory characteristics of Harbin dry sausage. *Meat Science* 156: 205-213.
- Cheng, J.H., Sun, D.W., Pu, H. & Zhu, Z. 2015. Development of hyperspectral imaging coupled with chemometric analysis to monitor K value for evaluation of chemical spoilage in fish fillets. *Food Chemistry* 185: 245-253.
- Choe, E. & Oh, S. 2013. Effects of water activity on the lipid oxidation and antioxidants of dried laver (*Porphyra*) during storage in the dark. *Journal of Food Science* 78(8): C1144-C1151.
- Cui, L. & Decker, E.A. 2016. Phospholipids in foods: Prooxidants or antioxidants? *Journal of the Science of Food Agriculture* 96(1): 18-31.
- Djenane, D., Sanchez-Escalante, A., Beltrán, J.A. & Roncales, P. 2002. Ability of  $\alpha$ -tocopherol, taurine and rosemary, in combination with vitamin C, to increase the oxidative stability of beef steaks packaged in modified atmosphere. *Food Chemistry* 76(4): 407-415.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F.J., Zhang, W. & Lorenzo, J.M. 2019. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants* 8(10): 429.
- US Food & Drug Administration (USFDA). 2014. Water activity (aw) in foods. *Inspection Technical Guides*. <https://www.fda.gov/inspections-compliance-enforcement-and-criminal-investigations/inspection-technical-guides/water-activity-aw-foods>
- Fernandez-Lopez, J., Zhi, N., Aleson-Carbonell, L., Pérez-Alvarez, J.A. & Kuri, V. 2005. Antioxidant and antibacterial activities of natural extracts: Application in beef meatballs. *Meat Science* 69(3): 371-380.
- Ferreira, P.S., Spolidorio, L.C., Manthey, J.A. & Cesar, T.B. 2016. Citrus flavanones prevent systemic inflammation and ameliorate oxidative stress in C57BL/6J mice fed high-fat diet. *Food and Function* 7: 2675-2681.
- Fiego, D.L., Santoro, P., Macchioni, P., Mazzoni, D., Piattoni, F., Tassone, F. & De Leonibus, E. 2004. The effect of dietary supplementation of vitamins C and E on the  $\alpha$ -tocopherol content of muscles, liver and kidney, on the stability of lipids, and on certain meat quality parameters of the longissimus dorsi of rabbits. *Meat Science* 67(2): 319-327.
- Gan, J.Y., Chang, L.S., Mat Nasir, N.A., Babji, A.S. & Lim, S.J. 2020. Evaluation of physicochemical properties, amino acid profile and bioactivities of edible bird's nest hydrolysate as affected by drying methods. *LWT-Food Science and Technology* 131: 109777.
- Gibbs, G. 2015. Accelerated shelf life of a health bar contained in different bio-based packaging materials. Master Thesis. Clemson University (Unpublished).
- Gray, J.I. & Monahan, F.J. 1992. Measurement of lipid oxidation in meat and meat products. *Trends in Food Science Technology* 3: 315-319.
- Haniff, M., Yahaya, S.A., Aziz, N.S., Wan Aida, W.M., Sofian Seng, N.S., Abdul Rahman, H.A., Mohd Razali, N.S. & Lim, S.J. 2020. Development of carotenoid-rich mayonnaise using carotino oil. *Journal of Food Processing and Preservation* 44: e14688.
- Heitschmidt, J.D. 2015. Quality attributes of ready-to-eat bison meat snacks during 40 °C accelerated storage. Master Thesis. Kansas State University (Unpublished).
- Higgins, F., Kerry, J., Buckley, D. & Morrissey, P. 1998. Effect of dietary  $\alpha$ -tocopheryl acetate supplementation on  $\alpha$ -tocopherol distribution in raw turkey muscles and its effect on the storage stability of cooked turkey meat. *Meat Science* 50(3): 373-383.
- Hong, H., Luo, Y., Zhou, Z. & Shen, H. 2012. Effects of low concentration of salt and sucrose on the quality of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets stored at 4 °C. *Food Chemistry* 133(1): 102-107.
- Inchingolo, R., Cardenia, V. & Rodriguez-Estrada, M.T. 2013. The effects of microwave heating on edible oils and lipid-containing food. *Lipid Technology* 25(3): 59-61.
- İpek, G., Kavuşan, H.S., Serdaroglu, M. & Öztürk-Kerimoğlu, B. 2019. Incorporation of gelled emulsions with  $\alpha$ -tocopherol as fat replacer in heat-treated fermented sausages. *65th International Congress of Meat Science and Technology Conference*, Berlin, Germany.

- Isa, N.I.M., Ibrahim, N.N.A., Sabran, S.N.J., Sofian-Seng, N.S., Lim, S.J., Rahman, H.A., Wan Mustapha, W.A. & Razali, N.S.M. 2022. Kesan kepekatan fukoidan dan tempoh penapaian terhadap pencirian fizikokimia kombucha diperkuat dengan fukoidan. *Sains Malaysiana* 51(10): 3295-3306.
- Jaimez-Ordaz, J., Pérez-Flores, J.G., Castaneda-Ovando, A., González-Olivares, L.G., Anorve-Morga, J. & Contreras-Lopez, E. 2019. Kinetic parameters of lipid oxidation in third generation (3G) snacks and its influence on shelf-life. *Food Science Technology* 39: 136-140.
- Jin, G., He, L., Zhang, J., Yu, X., Wang, J. & Huang, F. 2012. Effects of temperature and NaCl percentage on lipid oxidation in pork muscle and exploration of the controlling method using response surface methodology (RSM). *Food Chemistry* 131(3): 817-825.
- Kim, S.M., Kim, T.K., Kim, H.W., Jung, S., Yong, H.I. & Choi, Y.S. 2021. Quality characteristics of semi-dried restructured jerky processed using super-heated steam. *Foods* 10(4): 762.
- Kong, J., Perkins, L.B., Dougherty, M.P. & Camire, M.E. 2011. Control of lipid oxidation in extruded salmon jerky snacks. *Journal of Food Science* 76(1): C8-C13.
- Kumar, Y., Yadav, D.N., Ahmad, T. & Narsaiah, K. 2015. Recent trends in the use of natural antioxidants for meat and meat products. *Comprehensive Reviews in Food Science Food Safety* 14(6): 796-812.
- Labuza, T.P. 1984. Application of chemical kinetics to deterioration of foods. *Journal of Chemical Education* 61(4): 348-358.
- Labuza, T.P. 1982. *Shelf-life Dating of Foods*. Westport: Food & Nutrition Press, Inc.
- Landes, N. 2005. Vitamin E: Elucidation of the mechanism of side chain degradation and gene regulatory functions. PhD Thesis. Universität Potsdam (Unpublished).
- Leanwala, A.P. 2022. Application of extremophiles in food industries. In *Physiology, Genomics, and Biotechnological Applications of Extremophiles*, edited by Gunjal, A.B., Thombre, R. & Parray, J.A. IGI Global. pp. 251-259.
- Lee, J.H., Alford, L., Kannan, G. & Kouakou, B. 2017. Curing properties of sodium nitrite in restructured goat meat (chevon) jerky. *International Journal of Food Properties* 20(3): 526-537.
- Lee, S.Y., Lee, D.Y., Kim, O.Y., Kang, H.J., Kim, H.S. & Hur, S.J. 2020. Overview of studies on the use of natural antioxidative materials in meat products. *Food Science of Animal Resources* 40(6): 863-880.
- Lekjing, S. 2016. A chitosan-based coating with or without clove oil extends the shelf life of cooked pork sausages in refrigerated storage. *Meat Science* 111: 192-197.
- Leskovec, J., Levart, A., Svete, A.N., Perić, L., Stojčić, M.Đ., Žikić, D., Salobir, J. & Rezar, V. 2018. Effects of supplementation with  $\alpha$ -tocopherol, ascorbic acid, selenium, or their combination in linseed oil-enriched diets on the oxidative status in broilers. *Poultry Science* 97(5): 1641-1650.
- Lim, H., Kim, G., Jung, E., Seo, H., Joo, S., Jin, S. & Yang, H. 2014. Effect of curing time on the physicochemical and sensory properties of beef jerky replaced salt with soy sauce, red pepper paste and soybean paste. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 27(8): 1174-1180.
- Loo, Y.Y., Lim, H.Y., Sofian-Seng, N.S., Wan Mustapha, W.A. & Mohd Razali, N.S. 2022. Physicochemical characteristics and microbiological quality of silkworm (*Bombyx mori*) larval and pupae powder: Comparative study. *Sains Malaysiana* 51(2): 547-558.
- Luckose, F., Pandey, M.C. & Harilal, P.T. 2017. Effect of sodium chloride reduction on drying kinetics of restructured chicken jerky. *Food Bioscience* 19: 156-162.
- Mahesar, S., Sherazi, S., Khaskheli, A.R. & Kandhro, A.A. 2014. Analytical approaches for the assessment of free fatty acids in oils and fats. *Analytical Methods* 6(14): 4956-4963.
- Manassis, G., Kalogianni, A.I., Lazou, T., Moschovas, M., Bossis, I. & Gelasakis, A.I. 2020. Plant-derived natural antioxidants in meat and meat products. *Antioxidants* 9(12): 1215.
- Martuscelli, M., Lupieri, L., Sacchetti, G., Mastrocola, D. & Pittia, P. 2017. Prediction of the salt content from water activity analysis in dry-cured ham. *Journal of Food Engineering* 200: 29-39.
- Masuda, T., Inaba, Y. & Takeda, Y. 2001. Antioxidant mechanism of carnosic acid: Structural identification of two oxidation products. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 49(11): 5560-5565.
- Mazur-Kuśnerek, M., Antoszkiewicz, Z., Lipiński, K., Kaliniewicz, J. & Kotlarczyk, S. 2019. The effect of polyphenols and vitamin E on the antioxidant status and meat quality of broiler chickens fed low-quality oil. *Archives Animal Breeding* 62(1): 287-296.
- Moemeni, F. & Yazdanpanah, S. 2020. Oxidative stability, color, and physicochemical and sensorial properties of raw stacked and ground meat treated with Shahpouri orange juice. *Journal of Food Quality* 2020: 8886527.
- Nacak, B., Kavusan, H., Sari, B., Can, H. & Serdaroglu, M. 2019. Collaborative effect of fat reduction and  $\alpha$ -tocopherol incorporation on oxidative stability in beef sausages. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. p. 012084.
- Ndia, Y.M.D., Ina, Y.T. & Kaka, A. 2021. Concentration of lontar sugar (*Borassus flabellifer* Linn) and its effect on physicochemical and organoleptic properties of village chicken jerky. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* 9(4): 251-259.
- Ng, S.R., Noor, H.S.M., Ramachandran, R., Tan, H.Y., Ch'ng, S.E., Chang, L.S., Babji, A.S. & Lim, S.J. 2020. Recovery of glycopeptides by enzymatic hydrolysis of edible bird's nest: The physicochemical characteristics and protein profile. *Journal of Food Measurement and Characterization* 14: 2635-2645.

- Nielsen, S. 2005. *Handbook of Food Analysis, Physical Characterization and Nutrient Analysis*. Wiley Online Library.
- Nyström, L., Achrenius, T., Lampi, A.M., Moreau, R.A. & Piironen, V. 2007. A comparison of the antioxidant properties of steryl ferulates with tocopherol at high temperatures. *Food Chemistry* 101(3): 947-954.
- Özilgen, S. & Özilgen, M. 1990. Kinetic model of lipid oxidation in foods. *Journal of Food Science* 55(2): 498-498.
- Rahayu, W., Martono, S. & Rohman, A. 2018. The potential use of infrared spectroscopy and multivariate analysis for differentiation of beef meatball from dog meat for Halal authentication analysis. *Journal of Advanced Veterinary Animal Research* 5(3): 307-314.
- Ramlan, N.A.F.M., Mohammad, S.M., Karim, R., Muhammad, S.K.S., Ismail, M. & Zawawi, N. 2021. Nutritional composition, techno-functional properties and sensory analysis of pan bread fortified with kenaf seeds dietary fibre. *Sains Malaysiana* 50(11): 3285-3296.
- Rezaeifar, M., Mehdizadeh, T., Mojaddar Langroodi, A. & Rezaei, F. 2020. Effect of chitosan edible coating enriched with lemon verbena extract and essential oil on the shelf life of vacuum rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Food Safety* 40(3): e12781.
- Ruan, D., Wang, H. & Cheng, F. 2018. *The Maillard Reaction in Food Chemistry: Current Technology and Applications*. Springer International Publishing.
- Sattler, S.E., Gilliland, L.U., Magallanes-Lundback, M., Pollard, M. & Dellapenna, D. 2004. Vitamin E is essential for seed longevity and for preventing lipid peroxidation during germination. *The Plant Cell* 16(6): 1419-1432.
- Selani, M., Contreras-Castillo, C., Shirahigue, L., Gallo, C., Plata-Oviedo, M. & Montes-Villanueva, N. 2011. Wine industry residues extracts as natural antioxidants in raw and cooked chicken meat during frozen storage. *Meat Science* 88(3): 397-403.
- Silva, F.A., Estévez, M., Ferreira, V.C., Silva, S.A., Lemos, L.T., Ida, E.I., Shimokomaki, M. & Madruga, M.S. 2018. Protein and lipid oxidations in jerky chicken and consequences on sensory quality. *LWT* 97: 341-348.
- Silva, F.A., Estévez, M., Ferreira, V.C., Silva, S.A., Lemos, L.T., Ida, E.I., Shimokomaki, M. & Madruga, M.S. 2017. Characterization of preserved meat from spent hen and broiler by salting and forced-air drying. *Journal of Food Processing Preservation* 41(4): e13048.
- Sorapukdee, S., Uesakulrungrueng, C. & Pilasombut, K. 2016. Effects of humectant and roasting on physicochemical and sensory properties of jerky made from spent hen meat. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 36(3): 326.
- Suwansri, S., Ratanatriwong, P. & Thanasukarn, P. 2009. Development of crystallized palm-syrup sugar as a natural sweetener. *Asian Journal of Food and Agro-Industry SI*: S130-S136.
- Syamaladevi, R.M., Tadapaneni, R.K., Xu, J., Villa-Rojas, R., Tang, J., Carter, B., Sablani, S. & Marks, B. 2016. Water activity change at elevated temperatures and thermal resistance of *Salmonella* in all purpose wheat flour and peanut butter. *Food Research International* 81: 163-170.
- Waltzeko, P. & Labuza, T. 1976. Accelerated shelf-life testing of an intermediate moisture food in air and in an oxygen-free atmosphere. *Journal of Food Science* 41(6): 1338-1344.
- Wang, L.L. & Xiong, Y.L. 2005. Inhibition of lipid oxidation in cooked beef patties by hydrolyzed potato protein is related to its reducing and radical scavenging ability. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 53(23): 9186-9192.
- Waskitho, D., Lukitaningsih, E. & Rohman, A. 2016. Analysis of lard in lipstick formulation using FTIR spectroscopy and multivariate calibration: A comparison of three extraction methods. *Journal of Oleo Science* 65(10): 815-824.
- Wen, R., Lv, Y., Li, X.A., Chen, Q. & Kong, B. 2021. High-throughput sequencing approach to reveal the bacterial diversity of traditional yak jerky from the Tibetan regions. *Meat Science* 172: 108348.
- Xiong, Q., Zhang, M., Wang, T., Wang, D., Sun, C., Bian, H. & Xu, W. 2020. Lipid oxidation induced by heating in chicken meat and the relationship with oxidants and antioxidant enzymes activities. *Poultry Science* 99(3): 1761-1767.
- Yang, C. & Chen, T.C. 1993. Effects of refrigerated storage, pH adjustment, and marinade on color of raw and microwave cooked chicken meat. *Poultry Science* 72(2): 355-362.
- Yilmaz, B. & Ozturk, M. 2004. Comparison of two derivative spectrophotometric methods for the determination of  $\alpha$ -tocopherol in pharmaceutical preparations. *Il Farmaco* 59(9): 723-727.
- Zdanowska-Sąsiadek, Ż., Damaziak, J.M., Marchewka, J., Horbańczuk, O., Józwick, A., Wójcik, W. & Horbańczuk, J. 2022. Lipid and protein oxidation during storage and *in vitro* gastrointestinal digestion of ostrich, beef and chicken jerky snacks. *Animal Science Papers and Reports* 40(3): 305-316.
- Zelenka, J., Jarošová, A. & Schneiderová, D. 2008. Influence of n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids on sensory characteristics of chicken meat. *Czech Journal of Animal Science* 53(7): 299-305.
- Zhang, H., Wu, J. & Guo, X. 2016. Effects of antimicrobial and antioxidant activities of spice extracts on raw chicken meat quality. *Food Science and Human Wellness* 5(1): 39-48.

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: joe@ukm.edu.my